KI FIZETI MEG AZ ÁRÁT?

KLÍMAVÁLTOZÁS, KÖRNYEZETSZENNYEZÉS ÉS AZ EMBERI ÉRDEKEK



NAGY KÁROLY – ChatGPT

Ki fizeti meg az árát?

Klímaváltozás, környezetszennyezés és az emberi érdekek

2026

Tartalomjegyzék

Előszó – A bolygó változik. És mi?

Az ember évezredek óta alakítja környezetét. A következményeket azonban sokszor csak később ismeri fel. Miért vált a környezetvédelem tudományos kérdésből gazdasági és politikai konfliktussá? Miről szól ez a könyv, és miről nem?

I. Amikor az ember átalakította a környezetét

1. A Föld sohasem volt változatlan

Jégkorszakok, meleg időszakok és természetes éghajlati ciklusok. A múltban voltak a mainál sokkal melegebb korszakok. Miért jelenthet mégis veszélyt néhány fokos felmelegedés a mai civilizációra?

2. Az erdők, amelyek eltűntek

Az erdőirtás kezdetei, a mezőgazdaság és a középkori fakitermelés. Izland erdőinek pusztulása. A Húsvét-sziget története és a korábbi ökológiai összeomlás-elmélet újraértékelése.

3. Amikor visszatérnek az erdők

Az európai erdőterület történeti változásai. A fosszilis energia megjelenése, a mezőgazdaság átalakulása és az erdőtelepítések. Mi a különbség a természetes erdő és az ipari faültetvény között?

4. A fa után a szén következett

Az ipari forradalom energiaéhsége. Szén, vas, acél és a tömegtermelés kialakulása. Amikor egy környezeti probléma enyhítése egy másik kialakulásához járul hozzá.

II. Amikor észrevettük a következményeket

5. A füstös városoktól a tisztább levegőig

Az 1952-es londoni szmog. Savas esők és ipari kibocsátások. A környezetvédelmi jogszabályok születése. Miért kell gyakran katasztrófa ahhoz, hogy cselekedjünk?

6. A folyók, tengerek és óceánok szennyezése

Szennyvíz, műanyagok, vegyi anyagok és túlhalászat. Az óceánok szerepe a szén-dioxid elnyelésében és az oxigéntermelésben. Miért marad kevésbé látható a vízi környezet pusztulása?

7. Klimatikus fordulópontok – amikor a Föld rendszerei átbillennek

Amikor a Föld rendszerei átbillennek

8. Hogyan fedeztük fel a klímaváltozást?

Az üvegházhatás felismerése. Természetes és emberi hatások elkülönítése. Naptevékenység, vulkanizmus, óceáni folyamatok. Mit tudunk bizonyosan, és mit nem?

9. Adatok, modellek és a tudomány hitelessége

Hőmérsékleti mérések, adatsorok korrekciója, előrejelzések. A Climategate tanulságai. Tudományos vita, tévedés, manipuláció és a manipuláció vádja.

III. A szennyezés nem ismer országhatárokat

10. A gazdag világ környezeti öröksége

Az iparosodott országok történelmi kibocsátása. Jelenlegi és egy főre jutó környezetterhelés. A fejlett országok fogyasztása és a fejlődő országok termelése közötti kapcsolat.

11. Amerika, Kína és a feltörekvő világ

A világ nagy kibocsátói és ipari központjai. A kínai termelés és a nyugati fogyasztás kapcsolata. India és más fejlődő országok gazdasági felzárkózása.

12. Banglades – amikor mások szennyezésének is megfizetjük az árát

Árvizek, ciklonok, tengerszint-emelkedés és elsósodó földek. A klímaváltozás hatásainak egyenlőtlen eloszlása. A sikeres alkalmazkodás példái.

13. Jogunk van-e ugyanúgy fejlődni?

A fejlődő országok energiaigénye. A történelmi felelősség kérdése. Klímafinanszírozás, támogatások és nemzetközi megállapodások.

IV. A tisztább gazdaság rejtett környezeti költségei

14. A szennyezés exportja

Miért helyezik át a környezetterhelő iparágakat más országokba? Az olcsóbb munkaerő, az eltérő környezetvédelmi szabályok és a nemzetközi munkamegosztás szerepe. A termelési és fogyasztási alapú környezeti mérlegek különbsége.

15. Zöld üzemanyag, eltűnő erdők

Bioetanol, biodízel, cukornád, kukorica és pálmaolaj. Indonézia és Brazília példája. Közvetlen és közvetett erdőirtás. A helyi lakosság megélhetése és a globális környezetvédelmi célok ellentéte.

16. A hulladék világkereskedelme

Miért éri meg más országokba szállítani a hulladékot? Az indiai hajóbontók, az afrikai elektronikai hulladék és a veszélyes anyagok nemzetközi útjai. A jogszerű újrahasznosítás és a környezeti teheráthelyezés különbsége.

17. Amikor a szemétből bűnözői üzlet lesz

A hulladékmaffia gazdasági modellje. Hamis engedélyek, illegális lerakók és veszélyes anyagok. Az Olaszországból és Németországból Magyarországra szállított gumiabroncsok története. Az osztrák azbeszttartalmú kőzúzalék ügye mint határon átnyúló szennyezési eset.

18. A tiszta technológia piszkos nyersanyagai

A ritkaföldfémek bányászata, szétválasztása és finomítása. Kína ipari fölényének kialakulása. A környezeti terhek, a technológiai tudás és a termelési kapacitások áthelyezése. Hogyan lesz a gazdasági függőségből geopolitikai eszköz?

19. Az elektromos világ anyagigénye

Akkumulátorok, réz, lítium, nikkel és kobalt. Bányászat és kohászat. A bányászati térségek társadalmi konfliktusai. Az elektromos autók és más tiszta technológiák teljes életciklusának környezeti mérlege.

20. Az energetikai választások közös mérlege

Atomenergia, megújulók, hálózatok, tárolás, energiahatékonyság és ellátásbiztonság

V. Háború, pusztítás és környezeti örökség

21. A háborúk láthatatlan környezeti ára

A hadműveletek energiafogyasztása és kibocsátása. Erdőtüzek, olajfinomítók, vegyi üzemek és infrastruktúra pusztulása. Az 1991-es kuvaiti olajkúttüzek, az ukrajnai háború és a közel-keleti, iráni konfliktusok környezeti következményei.

22. A robbanások után visszamaradó mérgek

Lőszerek, robbanóanyagok és repeszek közvetlen levegő-, talaj- és vízszennyezése. Nehézfémek és robbanóanyag-maradványok. A katonai tevékenység hosszú távú ökológiai és egészségügyi kockázatai.

23. A háború, amely nem ér véget a békekötéssel

Laosz és Vietnám fel nem robbant lőszerei. Második világháborús bombák Budapesten. A termőföldek megtisztítása, az aknamentesítés és a mentesítés költségei. Miért fizetnek a későbbi nemzedékek a korábbi háborúkért?

24. Ki fizeti meg a háborús környezeti károkat?

Nemzetközi humanitárius jog és környezetvédelem. A katonai kibocsátások elszámolása. Háborús kártérítés, újjáépítés és környezeti helyreállítás. A felelősség megállapításának nehézségei.

VI. A környezetvédelem politikai és gazdasági világa

25. Egyetlen szám bűvöletében – a szén-dioxid

Hogyan vált a CO_2-kibocsátás a klímapolitika központi mutatójává? A számszerűsíthetőség politikai előnyei. Rövid és hosszú távú hatások. Milyen problémák szorulhatnak háttérbe, ha a környezetpolitikát egyetlen mutató uralja?

26. Mit tehetünk még a kibocsátás csökkentésén kívül?

Metáncsökkentés, vízgazdálkodás, erdővédelem, talajvédelem, energiahatékonyság. Megelőzés és alkalmazkodás. A beavatkozások költségeinek, eredményeinek és korlátainak összehasonlítása.

27. Mennyit ér a környezetvédelem?

Bjørn Lomborg megközelítése. Költség–haszon elemzés, technológiai innováció és alternatív társadalmi célok. Mennyit költsünk a megelőzésre, az alkalmazkodásra és más emberi szükségletekre?

28. Amikor a környezetvédelem üzletté válik

Kibocsátási kvóták, karbonpiacok, támogatások és új iparágak. A greenwashing jelensége. A KLM és a DWS dokumentált ügyei. Minden zöld, amit zöldre festenek?

29. A politika időszámítása

Választási ciklusok és hosszú távú környezeti célok. Klímakonferenciák és nemzetközi megállapodások. Az amerikai klímapolitika irányváltásai. A rövid távú politikai érdekek és a több évtizedes környezeti folyamatok ütközése.

30. A gazdasági lobbik ereje

Energiaipar, autógyártás, mezőgazdaság és zöldipar. Vállalati érdekképviselet, kutatásfinanszírozás és politikai befolyás. Milyen mozgástere van az egyénnek a nagy gazdasági szereplőkhöz képest?

31. A turizmus két arca

Amikor a világ megismerése és megóvása ellentmondásba kerül egymással

VII. Az ember, a társadalom és a környezeti vita

32. Miért éppen én kezdjem?

Az elektromos autó és az egyéni áldozatvállalás kérdése. Hajózás, repülés, magánrepülőgépek és politikai példamutatás. A potyautas-probléma és a társadalmi igazságosság.

33. Kié a döntés, kié a felelősség?

Az egyéni fogyasztás és a rendszerszintű döntések különbsége. Ki alakítja az energiaellátást, a közlekedést és a termékkínálatot? A felelősség áthárítása az állampolgárra.

34. Az egyéni tiltakozástól a világmozgalomig – a Greta Thunberg-jelenség

A környezetvédő mozgalmak története. Greenpeace, Fridays for Future és más civil kezdeményezések. A közös fellépés ereje. Tiltakozás, polgári engedetlenség és társadalmi nyomásgyakorlás.

35. Ki áll a mozgalmak mögött?

A civil szervezetek finanszírozása és politikai kapcsolatai. Független kezdeményezések, gazdasági érdekek, szervezett kampányok és befolyásolás. Milyen bizonyítékok alapján lehet manipulációról beszélni?

36. A tagadástól a klímaszorongásig

Klímatagadás, túlzó katasztrófakommunikáció, politikai propaganda és dezinformáció. A média és a közösségi hálózatok szerepe. Miért nehéz megőrizni a józan mérlegelést?

VIII. Képesek vagyunk-e változtatni?

37. Amikor sikerült megvédeni a környezetet

A londoni szmog visszaszorítása, a savas esők elleni intézkedések, az ózonréteg védelme, a folyók megtisztítása és az erdőterületek helyreállítása. Mitől működnek bizonyos környezetvédelmi programok?

38. Felkészülés egy változó világra

Vízbiztonság, élelmiszer-termelés, ellenálló infrastruktúra és alkalmazkodó városok. Új technológiák és a mesterséges intelligencia lehetőségei. Mit tehetnek az államok, a vállalatok és a helyi közösségek?

39. Amikor az ember a Föld termosztátjához nyúl

Geoengineering – a bolygó éghajlatának mesterséges szabályozása

40. Hogyan dönthetünk közösen a jövőnkről?

Tudományos tények, gazdasági érdekek és demokratikus döntések. A nemzetközi együttműködés nehézségei. Ki viselje a költségeket? Hogyan teremthető bizalom a társadalmi szereplők között?

Epilógus

A természet törvényeit nem lehet megszavazni, és a környezeti következmények nem igazodnak az országhatárokhoz. Az emberi társadalmaknak azonban dönteniük kell arról, hogyan használják az erőforrásokat, és hogyan osztják el a hasznokat és a károkat.

Előszó

A bolygó változik. És mi?

Mottó: „A természetnek nincs szüksége az emberre. Az embernek viszont szüksége van a természetre.

Különös, hogy mégis mi viselkedünk úgy, mintha fordítva lenne.”

Egy termék árcéduláján sok minden szerepel: a nyersanyag, a munkabér, a szállítás és a kereskedő haszna. A szennyezett folyó megtisztítása, az elveszített termőtalaj vagy a következő nemzedékekre maradó kár azonban gyakran hiányzik róla. Ezeket a költségeket is megfizeti valaki. Csak nem feltétlenül az, aki a terméket megvásárolja vagy az eladásán keres.

Ki fizeti meg az árát? Ez a kérdés köti össze a könyv történeteit.

Az ember mindig átalakította a környezetét. Erdőt irtott, hogy élelmet termeljen, szenet bányászott, hogy fűtsön és gépeket működtessen, folyókat szabályozott, hogy megvédje településeit. Ezzel jólétet teremtett, betegségeket szorított vissza, és emberek millióinak életét könnyítette meg. Ugyanezek a változások azonban olyan károkat is okoztak, amelyeket kezdetben nem ismertünk fel, vagy kényelmesebb volt figyelmen kívül hagyni.

Később megtanultunk szennyvizet tisztítani, ipari kibocsátásokat csökkenteni és káros anyagokat kiváltani. A környezetvédelem története ezért sikerek története is. Csakhogy a helyi javulás mögött néha a terhek áthelyezése áll: a gyár más országban füstöl, a hulladék távoli kikötőbe érkezik, a tisztább technológiához szükséges nyersanyagot mások földjéből termelik ki.

Ez a könyv a klímaváltozást ebben a tágabb összefüggésben vizsgálja. A természeti folyamatok mellett azokat a gazdasági, politikai és társadalmi döntéseket keresi, amelyek meghatározzák, hol keletkezik a kár, ki részesül a haszonból, és kinek jut lehetőség a védekezésre.

Miért várunk áldozatot attól, akinek alig van választása? Milyen fejlődési utat kínálunk azoknak az országoknak, amelyek most szeretnék elérni a gazdagabb világ életszínvonalát? Ki takarítja el a háborúk mérgező örökségét? És hogyan különböztethetjük meg a valódi környezeti eredményt a jól hangzó ígérettől?

A válaszokhoz szükségünk van a tudományra. A bizonyítékok súlyát azonban nem a politikai rokonszenv dönti el, és egy intézkedés eredményességét sem igazolja önmagában a jó szándék. Elfogadhatjuk az emberi eredetű felmelegedés tudományos bizonyítékait, miközben vitatjuk egy támogatás, tilalom vagy beruházás célszerűségét. Éppen a probléma súlya követeli meg, hogy a megoldásokat is kritikusan vizsgáljuk.

Közben a halogatásnak is ára van. A megszokott rendszer fenntartása éppúgy döntés, mint az átalakítása, és annak következményei is egyenlőtlenül oszlanak el. Aki ma megtakarítja a megelőzés költségét, nem feltétlenül lesz ott, amikor a kárt rendezni kell.

A következő fejezetekben eltűnő és visszatérő erdőkkel, szennyezett és megtisztított folyókkal, ipari érdekekkel, háborús örökségekkel és környezetvédelmi sikerekkel

találkozunk. Ezeken keresztül azt vizsgáljuk, hogyan lehet úgy javítani az életünket, hogy közben megőrizzük annak természeti feltételeit.

A könyv címében feltett kérdés végül minden döntésünknél visszatér. Amikor olcsó energiát, tiszta vizet, biztonságos otthont vagy új technológiát szeretnénk, érdemes megkérdeznünk:

a teljes árat látjuk — vagy egy részét valaki más fizeti meg helyettünk?

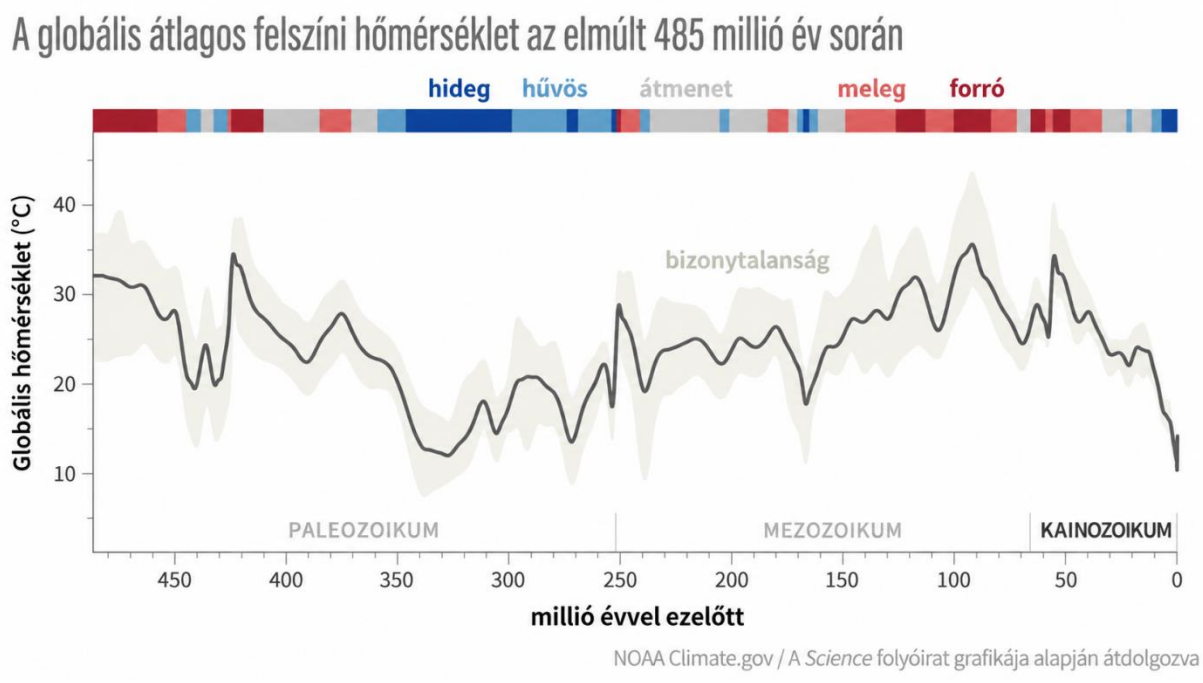
I. rész – Amikor az ember átalakította a környezetét

1. A Föld sohasem volt változatlan

Egy bolygó, amely állandóan változik

Amikor az éghajlatváltozásról beszélünk, gyakran úgy tekintünk a Földre, mintha egykor állandó, kiegyensúlyozott rendszer lett volna, amelynek működését az ember zavarta meg. Ez a kép azonban nem felel meg a valóságnak. Bolygónk története éppen az ellenkezőjéről tanúskodik: a Föld éghajlata sohasem volt változatlan.

A több mint négymilliárd éves földtörténet során kontinensek keletkeztek és szakadtak szét, hegységek emelkedtek ki és pusztultak le, óceánok nyíltak meg és záródtak be. A légkör összetétele jelentősen átalakult, a tengerek szintje hol emelkedett, hol csökkent, a sarkvidékeket időnként hatalmas jégtakarók borították, más korszakokban pedig a Földön alig vagy egyáltalán nem létezett állandó szárazföldi jég.



1. ábra: A Föld becsült globális átlaghőmérsékletének változásai az elmúlt 485 millió évben. A földtörténet során a mainál jóval melegebb és hidegebb időszakok váltották egymást. A grafikon bizonytalansági tartományokat is tartalmaz.

   Forrás: NOAA Climate.gov, Judd és munkatársai (2024).

Az éghajlat változásai nem kivételes események, hanem bolygónk természetes történetének részei.

Ez a felismerés fontos, mert a mai klímaváltozásról folyó viták egyik gyakran elhangzó érve éppen az, hogy a Föld korábban is felmelegedett és lehűlt, jóval az ember megjelenése előtt. Ez az állítás önmagában helyes. A belőle néha levont következtetés azonban, miszerint a jelenlegi felmelegedés miatt sincs okunk aggodalomra, már nem következik belőle.

Ahhoz, hogy megértsük a különbséget, először meg kell ismernünk a természetes éghajlatváltozások működését.

A jég és a meleg váltakozó korszakai

A Föld történetében többször alakultak ki olyan időszakok, amikor a sarkvidékeken és a kontinensek jelentős részén hatalmas jégtakarók terjeszkedtek. Ezeket jégkorszakoknak nevezzük.

A legutóbbi nagy eljegesedési időszak csúcspontján, körülbelül 20 ezer évvel ezelőtt, Észak-Amerika és Észak-Európa jelentős részét több kilométer vastag jég borította. A mai Skandinávia területén hatalmas jégtömeg nehezedett a földkéregre, és a gleccserek délebbre is kiterjedtek.

Mivel rengeteg víz halmozódott fel a szárazföldi jégtakarókban, a világtenger átlagos szintje mintegy 125–130 méterrel alacsonyabb volt a mainál. Olyan területek emelkedtek a tengerszint fölé, amelyek ma víz alatt vannak. Ázsia és Észak-Amerika között például szárazföldi kapcsolat létezett a mai Bering-szoros térségében.

A Föld globális átlaghőmérséklete ekkor mindössze körülbelül 5–7 Celsius-fokkal volt alacsonyabb az iparosodás előtti értéknél.

Érdemes ennél az adatnál megállni.

Néhány fokos eltérés első hallásra jelentéktelennek tűnhet. Egy átlagos tavaszi napon ennél jóval nagyobb hőmérséklet-változást is tapasztalhatunk reggel és délután között. A Föld egészének átlaghőmérsékletében bekövetkező néhány fokos változás azonban egészen más nagyságrendet jelent.

Hat fokkal alacsonyabb globális átlaghőmérséklet elegendő volt ahhoz, hogy kontinensnyi területeket borítson jég, megváltozzon a növényzet elterjedése, átrendeződjenek az élőhelyek, és a tengerek szintje több mint száz méterrel csökkenjen.

Ez az egyik legfontosabb tanulság a mai felmelegedés megértéséhez: a globális átlaghőmérséklet néhány fokos változása nem egyszerűen enyhébb telet vagy melegebb nyarat jelent, hanem a bolygó egész működését módosíthatja.

A legutóbbi eljegesedés végét követően a jégtakarók fokozatosan visszahúzódtak, a tengerek szintje emelkedett, és megkezdődött az a viszonylag meleg időszak, amelyet holocénnek nevezünk. Ez körülbelül 11 700 évvel ezelőtt kezdődött, és a földtörténeti időbeosztás szerint ma is tart.

Az emberi civilizáció fejlődése nagyrészt erre az időszakra esik.

Amikor a Föld sokkal melegebb volt

A jégkorszakok mellett a földtörténet olyan korszakokat is ismer, amikor a Föld lényegesen melegebb volt a mainál.

A dinoszauruszok korának jelentős részében például meleg, üvegházhatású éghajlat uralkodott. A sarkvidékek környezetében is éltek növények és állatok, amelyek a mai hideg viszonyok között nem maradhatnának fenn. A kontinensek helyzete, az óceáni áramlások és a légkör összetétele ugyanakkor jelentősen különbözött a maitól.

Még látványosabb példát találunk a körülbelül 50 millió évvel ezelőtti korai eocénben. A Föld globális átlaghőmérséklete ebben az időszakban a becslések szerint 10–18 Celsius-fokkal is meghaladhatta az iparosodás előtti értéket. Állandó kontinentális jégtakarók lényegében nem léteztek, a tengerek szintje pedig sok tíz méterrel magasabb volt.

De nem szükséges ilyen távoli múltba tekintenünk.

Körülbelül hárommillió évvel ezelőtt, a pliocén egyik meleg időszakában a globális átlaghőmérséklet 2,5–4 fokkal haladta meg az iparosodás előtti értéket. A tengerek szintje a becslések szerint 5–25 méterrel magasabban állt a mainál.

Ezek az adatok azt mutatják, hogy a Föld képes a jelenleginél sokkal melegebb éghajlati állapotban is létezni.

Felmerül tehát a kérdés: ha a Föld már átélt ilyen meleg korszakokat, miért kellene néhány fokos mai felmelegedéstől tartanunk?

A válaszhoz meg kell különböztetnünk két dolgot: a bolygó fennmaradását és az emberi civilizáció számára kedvező körülmények fennmaradását.

A Földet mint bolygót nem fenyegeti a mai éghajlatváltozás. Az élet egésze sem valószínű, hogy eltűnne. A kérdés sokkal inkább az, hogy a jelenlegi élővilág, a mezőgazdaság, a települések és a társadalmi rendszerek milyen mértékben képesek alkalmazkodni az átalakuló környezethez.

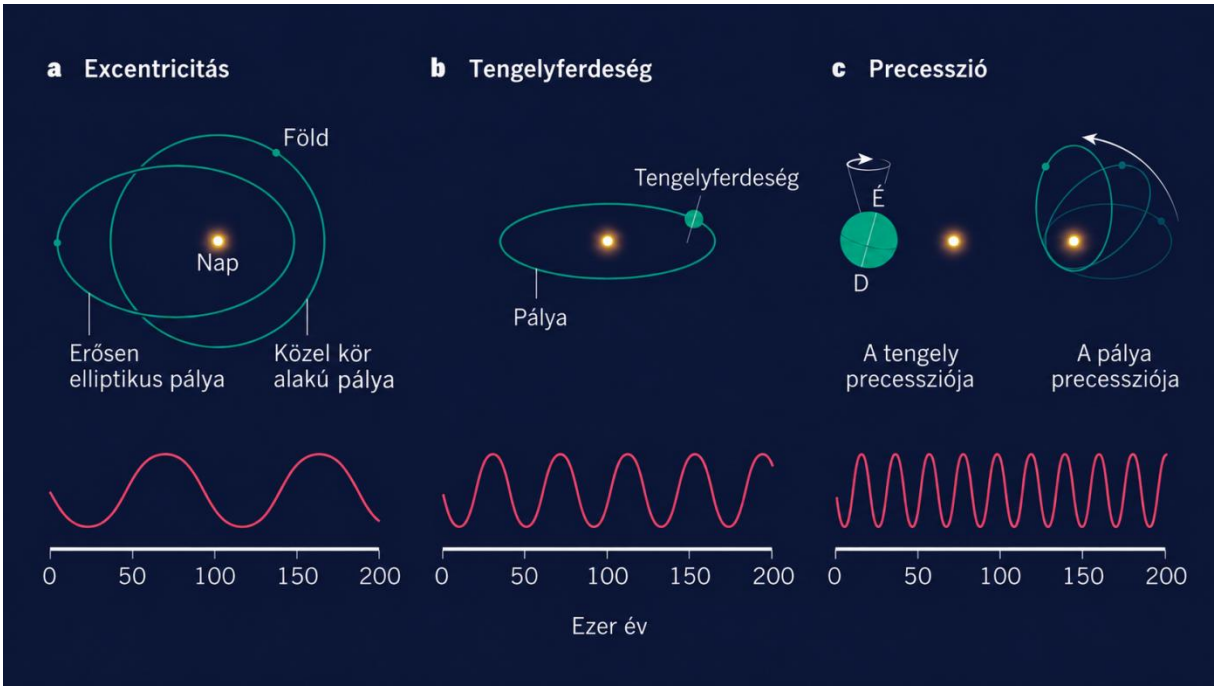
A földtörténet meleg korszakai nem azt bizonyítják, hogy a felmelegedés veszélytelen. Éppen ellenkezőleg: megmutatják, mennyire más világ alakulhat ki néhány fokkal magasabb átlaghőmérséklet mellett.

Mi mozgatja a Föld éghajlatát?

A természetes éghajlatváltozásokat nem egyetlen tényező okozza. A Föld éghajlata összetett rendszer, amelyben a Nap sugárzása, a légkör, az óceánok, a szárazföldek, a jégtakarók és az élővilág kölcsönösen hatnak egymásra.

Az egyik fontos tényező a Föld Nap körüli mozgásának változása.

Bolygónk pályája nem tökéletes kör, forgástengelyének dőlésszöge nem állandó, és a tengely iránya is lassan változik. Ezek a folyamatok több tízezer, illetve százezer éves időskálán módosítják, hogy a napsugárzás mikor és milyen földrajzi területeket ér a legerősebben.



2. ábra: A Milanković-ciklusok. A Föld pályájának alakja, forgástengelyének dőlésszöge és a tengely iránya hosszú idő alatt változik. Ezek a folyamatok befolyásolják a napsugárzás földrajzi és évszakos eloszlását, és hozzájárulnak a jégkorszakok kialakulásához.

A jelenségek összefüggéseit Milanković-ciklusoknak nevezzük, a szerb tudós, Milutin Milanković munkássága nyomán.

Ezek a változások fontos szerepet játszottak az elmúlt néhány millió év jégkorszaki és melegebb időszakainak váltakozásában.

A napsugárzás földrajzi és évszakos eloszlásának viszonylag kis változásai ugyanis további folyamatokat indíthatnak el.

Ha például az északi félteke magasabb szélességein a nyári napsugárzás gyengül, a télen felhalmozódott hó egy része nyáron sem olvad el. Az egyre vastagodó hó- és jégtakaró több napfényt ver vissza a világűrbe, így tovább hűti a környezetét.

Ez az úgynevezett jég–albedó visszacsatolás. Az albedó azt fejezi ki, hogy egy felszín a ráérkező napsugárzás mekkora részét veri vissza.

A fehér hó és jég sokkal több napfényt ver vissza, mint a sötét óceán vagy a növényzettel borított szárazföld. Ha a jég területe növekszik, a lehűlés erősödhet. Ha viszont a jég olvadni kezd, a felszín egyre több napsugárzást nyel el, ami gyorsíthatja a melegedést.

A légkör összetétele szintén meghatározó.

A szén-dioxid, a metán és más üvegházhatású gázok elnyelik, majd különböző irányokba kisugározzák a Föld felszíne által kibocsátott hősugárzás egy részét. Nélkülük bolygónk sokkal hidegebb lenne, és a mai formájában ismert élet jelentős része nem létezhetne.

Az üvegházhatás tehát önmagában nem káros jelenség. A probléma akkor keletkezhet, ha a légkör összetétele olyan mértékben és ütemben változik meg, hogy az éghajlati rendszer új egyensúly felé mozdul.

A földtörténeti múltban az üvegházhatású gázok mennyisége természetes folyamatok miatt is változott. A vulkáni működés, a kőzetek mállása, az óceánok szén-dioxid-felvétele és -leadása, valamint az élővilág működése egyaránt befolyásolta a légkör összetételét.

A vulkánkitörések ráadásul rövid távon hűthetik is a Földet. Egy nagy robbanásos kitörés során a sztratoszférába kerülő kénvegyületekből képződő apró részecskék visszaverik a napsugárzás egy részét. Ez néhány évig tartó globális lehűlést idézhet elő.

A kontinensek vándorlása és a hegységképződés szintén alakítja az éghajlatot. A szárazföldek elhelyezkedése befolyásolja az óceáni áramlásokat, a csapadék eloszlását és a légköri cirkulációt. Egy óceáni átjáró megnyílása vagy elzáródása hosszú idő alatt jelentős éghajlati következményekkel járhat.

A Föld éghajlatát tehát nem egyetlen kapcsoló szabályozza. Sokféle hatás és visszacsatolás együttese alakítja, ezért a változások nem mindig egyenletesek, és nem minden esetben könnyen visszafordíthatók.

Hogyan ismerhetjük meg a múlt éghajlatát?

Jogosan merülhet fel a kérdés: honnan tudjuk, milyen volt az éghajlat tízezer, százezer vagy akár több millió évvel ezelőtt, amikor még hőmérők sem léteztek?

A válasz az, hogy a természet számos módon megőrizte saját történetének nyomait.

A sarkvidéki jégtakarók például különleges archívumok. A Grönlandon és az Antarktiszon felhalmozódott hó rétegről rétegre jéggé préselődik. A jégben apró légbuborékok maradnak, amelyek a keletkezésük idejének légköréből származó gázokat őrzik.

A jégmagok vizsgálatával ezért nemcsak a múlt hőmérsékleti viszonyaira lehet következtetni, hanem bizonyos üvegházhatású gázok egykori koncentrációja is közvetlenül mérhető.

Az óceánok fenekén felhalmozódó üledékek szintén információt tárolnak. Az egykori tengeri élőlények mészvázának kémiai és izotópos összetétele, valamint az üledékekben megőrzött maradványok segítenek rekonstruálni a régi tengerek hőmérsékletét és más környezeti jellemzőit.

A fák évgyűrűi, a korallok növekedési rétegei, a barlangi cseppkövek és a tavak üledékei további adatokat szolgáltatnak.

Ezek a módszerek nem egyformán pontosak, és eltérő időtávokat fednek le. Egyetlen mérési eredményből nem lehet megismerni a múlt egész éghajlatát. Amikor azonban különböző

földrajzi területek és egymástól független vizsgálati módszerek hasonló eredményekre vezetnek, egyre megbízhatóbb kép rajzolódik ki.

A modern éghajlatkutatás ereje éppen ebben rejlik: a műszeres mérések, a földtörténeti bizonyítékok és a fizikai törvényeken alapuló modellek eredményeit egymással összevethetjük.

A múlt éghajlatának kutatása ezért nem pusztán történeti érdekesség. Segít megérteni, hogy a Föld rendszere hogyan reagál a különböző hatásokra, és milyen következményekkel járhat a légkör összetételének megváltozása.

A holocén: egy viszonylag stabil világ

Az ember mint biológiai faj jóval régebb óta létezik, mint a mai civilizáció. A Homo sapiens története mintegy 300 ezer évre nyúlik vissza, és őseink számos eltérő éghajlati körülményhez alkalmazkodtak.

A mezőgazdaság kialakulása, az első állandó települések megjelenése, majd a városok és államok létrejötte azonban nagyrészt a holocén időszakára esett.

Ez az egybeesés nem véletlen.

A jégkorszak végével sok térségben kedvezőbbé váltak a körülmények az állandó letelepedéshez. A viszonylag kiszámítható évszakos változások lehetővé tették a növénytermesztés és az állattartás fejlődését. Az emberek fokozatosan megtanulták, hol és mikor érdemes vetni, milyen növények termeszthetők, és hogyan lehet a vízkészleteket hasznosítani.

A mezőgazdaság fejlődése ugyanakkor nem egyszerűen az éghajlat függvénye volt. Szerepet játszott benne a népesség változása, a helyi növény- és állatvilág, a technikai tudás és a társadalmi együttműködés is. A holocén viszonylagos éghajlati stabilitása azonban kedvező keretet biztosított mindehhez.

Fontos hangsúlyozni, hogy a holocén sem volt teljesen egyenletes vagy zavartalan időszak. Előfordultak tartós szárazságok, hűvösebb és melegebb évszázadok, árvizek, valamint olyan regionális éghajlatváltozások, amelyek társadalmak fejlődésére, vándorlására vagy hanyatlására is hatottak.

Az éghajlat azonban a globális átlagot tekintve viszonylag szűk tartományban ingadozott ahhoz képest, amit a jégkorszakok és a földtörténet nagy meleg időszakai között tapasztalunk.

Az ember erre a világra építette fel civilizációját.

A termőföldek elhelyezkedése, az öntözőrendszerek, a városok, a kikötők, az utak és később az ipari létesítmények mind az adott térségben megszokott környezeti feltételekhez igazodtak.

Egy több ezer éves város nem mozgatható egyszerűen más helyre, ha a tengerszint emelkedik. Egy mezőgazdasági térség termelési szerkezete sem alakítható át egyik évről a másikra, ha megváltozik a csapadék mennyisége vagy évszakos eloszlása.

A civilizáció nem változatlan éghajlatot igényel, de az alkalmazkodásnak időre, erőforrásokra és előrelátásra van szüksége.

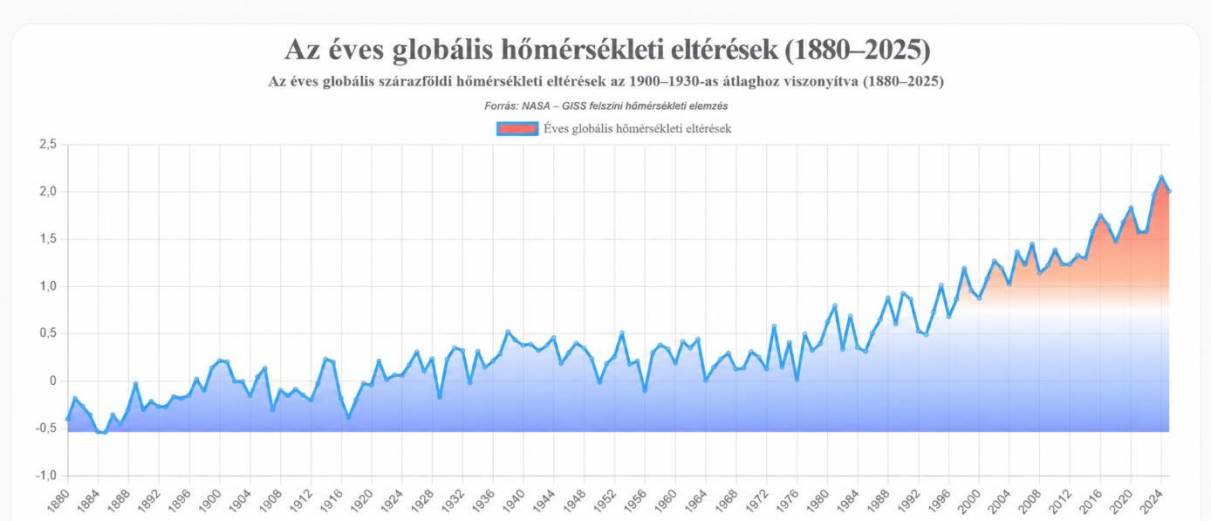
Miért nem mindegy, milyen gyorsan változik az éghajlat?

A természetes éghajlatváltozások jelentős része évezredek, tízezrek vagy még hosszabb idő alatt játszódott le.

A növény- és állatfajok elterjedési területei ilyenkor fokozatosan módosulhattak. A melegebb éghajlathoz alkalmazkodó fajok északabbra vagy magasabb hegyvidéki területekre húzódhattak, míg más fajok visszaszorultak, esetenként kipusztultak.

Az alkalmazkodás természetesen régebben sem volt mindig sikeres. A földtörténet számos tömeges kihalási eseményt ismer, amelyekben az éghajlati és környezeti változások jelentős szerepet játszottak.

A mai változás egyik legfontosabb sajátossága azonban a sebessége.



3. ábra: A globális átlaghőmérséklet változása a műszeres megfigyelések kezdete óta. A 19. század vége óta bekövetkezett felmelegedés különösen az elmúlt évtizedekben gyorsult fel.

Forrás: [NASA GISS hőmérsékleti adatok](#).

A legutóbbi jégkorszakból való átmenet során a Föld globális átlaghőmérséklete több ezer év alatt emelkedett néhány fokkal. A jelenlegi, emberi tevékenység által okozott felmelegedés hasonló nagyságrendű változást lényegesen rövidebb idő alatt idézhet elő.

A NASA értékelése szerint a mai felmelegedés üteme a legutóbbi jégkorszak utáni átlagos természetes felmelegedéshez képest hozzávetőleg tízszer gyorsabb. Ez nem jelenti azt, hogy a múltban sohasem történtek hirtelen regionális változások, de jól érzékelteti a jelenlegi folyamat rendkívüli sebességét.

A természetes rendszerek alkalmazkodóképessége véges.

Egy erdő fafajainak összetétele nem változtatható meg néhány év alatt. A hosszú életű fák még évtizedekig vagy évszázadokig megmaradhatnak olyan területeken, ahol az új körülmények már nem kedveznek az utánpótlásuknak. A korallzátonyok, a vizes élőhelyek és a magashegységi ökoszisztémák különösen érzékenyek lehetnek a gyors változásokra.

Az emberi társadalom technikai lehetőségei ugyan lényegesen nagyobbak, de itt is vannak korlátok.

Öntözőrendszereket építhetünk, ellenállóbb növényfajtákat nemesíthetünk, árvízvédelmi létesítményeket hozhatunk létre, és épületeinket alkalmassá tehetjük a szélsőségesebb időjárás elviselésére. Mindez azonban pénzt, energiát, alapanyagokat, szaktudást és időt igényel.

Ráadásul a változások nem mindenhol egyformán jelentkeznek.

A globális átlaghőmérséklet kétfokos emelkedése nem azt jelenti, hogy minden országban, minden évszakban pontosan két fokkal lesz melegebb.

A szárazföldek általában gyorsabban melegszenek, mint az óceánok, a sarkvidékeken pedig különösen erős lehet a változás. Egyes térségekben gyakoribbá válhatnak a rendkívüli hőhullámok, másutt a csapadék eloszlása vagy a szélsőséges esőzések kockázata változhat meg.

A mezőgazdaság számára gyakran nem az éves átlaghőmérséklet a döntő, hanem az, hogy a növény fejlődésének kritikus időszakában mennyi csapadék hullik, milyen magasra emelkedik a hőmérséklet, és előfordul-e néhány napos, rendkívül erős hőstressz.

Egy ország éves átlaghőmérséklete viszonylag mérsékelten változhat, miközben bizonyos időjárási szélsőségek már jelentős gazdasági károkat okoznak.

Nemcsak a hőmérséklet számít

Az éghajlatváltozásról szóló közbeszéd gyakran egyetlen szám körül forog: hány fokkal lesz melegebb a Föld?

Ez a szám fontos, de önmagában nem írja le a várható következményeket.

Az éghajlati rendszerben a hőmérséklet változása számos más folyamatot is befolyásol. A melegebb levegő több vízgőzt képes tartalmazni, ami módosítja a víz körforgását. A magasabb hőmérséklet növeli a párolgás lehetőségét, és bizonyos körülmények között súlyosbíthatja az aszályokat, ugyanakkor intenzívebb csapadékhullásnak is kedvezhet.

Az óceánok felmelegedése megváltoztatja a tengeri élővilág feltételeit, hozzájárul a víz hőtágulásához, így a tengerszint emelkedéséhez is.

A szárazföldi jégtakarók olvadása további víztömeget juttat az óceánokba. Ez a folyamat különösen fontos, mert a hatalmas jégtakarók nem feltétlenül kerülnek gyorsan új egyensúlyba.

Ha például egy melegebb éghajlati állapot hosszú ideig fennmarad, a grönlandi vagy antarktiszi jégtakarók részleges elvesztése évszázadokon, sőt évezredeken keresztül folytatódhat.

A korábban említett pliocén időszak tengerszintje figyelmeztető példa. A néhány fokkal melegebb Földön a tengerek sok méterrel magasabban álltak. Ez természetesen nem jelenti azt, hogy hasonló mértékű emelkedés néhány évtized alatt bekövetkezne. Azt viszont megmutatja, hogy a tartós felmelegedésnek igen hosszú távú következményei lehetnek.

A múlt tehát nemcsak azt árulja el, milyen gyors változások történtek, hanem azt is, hogy bizonyos folyamatok mennyi ideig folytatódhatnak akkor is, amikor a kiváltó körülmények már stabilizálódtak.

Mit nevezünk természetesnek?

A mai éghajlatváltozás vitájában gyakran összekeveredik két különböző kérdés.

Az egyik az, hogy léteznek-e természetes éghajlatváltozások.

Erre a válasz egyértelműen igen.

A másik kérdés az, hogy a jelenleg tapasztalható gyors globális felmelegedés döntően természetes folyamatok következménye-e.

Erre a tudományos bizonyítékok alapján a válasz nem.

A kutatók nem pusztán abból következtetnek az emberi tevékenység szerepére, hogy az iparosodás óta emelkedett a hőmérséklet és a légköri szén-dioxid mennyisége. Vizsgálják az egyes hatások fizikai mechanizmusait, a napsugárzás változását, a vulkáni tevékenységet, az óceánok hőtartalmát és a légkör különböző rétegeiben bekövetkező változásokat is.

A megfigyelt felmelegedés nagysága és térbeli mintázata nem magyarázható meg kielégítően a természetes hatásokkal. A fosszilis energiahordozók elégetéséből, a földhasználat változásából és más emberi tevékenységekből származó üvegházhatású gázok többlete viszont összhangban áll a mért változásokkal.

Az Éghajlatváltozási Kormányközi Testület, az IPCC hatodik értékelő jelentése egyértelműen megállapította, hogy az emberi tevékenység, elsősorban az üvegházhatású gázok kibocsátása, globális felmelegedést okozott.

A természetes éghajlatváltozások létezése tehát nem cáfolja az emberi eredetű felmelegedést.

Éppen a természetes változások tanulmányozása segített megérteni azokat a fizikai folyamatokat, amelyek révén az ember ma befolyásolja a bolygó éghajlatát.

A természet alkalmazkodik – de milyen áron?

Gyakran elhangzik az az érv is, hogy a természet mindig alkalmazkodott a változásokhoz, tehát most is alkalmazkodni fog.

Ez bizonyos értelemben igaz.

Az élet több milliárd éve létezik a Földön, és ezalatt rendkívül eltérő környezeti viszonyokhoz alkalmazkodott. Fajok jelentek meg, változtak meg és pusztultak ki, miközben új ökoszisztémák alakultak ki.

Az alkalmazkodás azonban nem jelenti azt, hogy minden élőlény vagy minden ökológiai rendszer fennmarad.

Ha egy erdő kiszárad, helyén idővel más növénytársulás jelenhet meg. Ha egy korallzátony elpusztul, az óceán élővilága nem szűnik meg, de a korábbi gazdag életközösség eltűnhet. Ha egy térség mezőgazdasági termelése visszaesik, más területeken esetleg növekedhet a termés, ez azonban nem oldja meg automatikusan az érintett lakosság megélhetési problémáit.

A természetnek nincs olyan célja, hogy megőrizze az ember számára kedvező állapotokat.

Az evolúció nem biztosíték a veszteségek ellen, hanem annak a folyamata, hogy a változó környezetben bizonyos élőlények fennmaradnak és szaporodnak, mások pedig nem.

Az emberi civilizáció szempontjából ezért nem elegendő az a megállapítás, hogy a Föld már sok mindent túlélt.

A kérdés az, hogy mi magunk milyen változásokat tudunk elviselni, milyen költséggel tudunk alkalmazkodni, és milyen természeti értékeket veszítünk el közben.

Amikor a múltból jövőbeli figyelmeztetés lesz

A földtörténet tanulmányozása különös kettősséget tár elénk.

Egyrészt megmutatja, hogy a Föld éghajlata rendkívül változékony rendszer, amely sokkal hidegebb és sokkal melegebb állapotokat is átélt. Ebből következik, hogy nincs egyetlen, örökre rögzített, természetesnek nevezhető éghajlati állapot.

Másrészt arra is figyelmeztet, hogy az átlaghőmérséklet viszonylag kis változásai hatalmas földrajzi és ökológiai átrendeződésekkel járhatnak.

A mai emberi civilizáció nem egy tetszőleges éghajlati állapothoz alkalmazkodott, hanem a holocén viszonylag stabil viszonyai között jött létre és fejlődött.

A mezőgazdaság, a vízellátás, a közlekedés, az épített környezet és a gazdasági kapcsolatok mind erre a környezetre épültek. A gyorsan változó éghajlat azért jelent különösen nagy kihívást, mert egyszerre módosíthatja ezeknek a rendszereknek a működési feltételeit.

Amikor eltűnnek a gleccserek – a klímaváltozás látható bizonyítékai

Az alpesi gleccserek visszahúzódása történelmi és újabb fényképeken. A Pasterze és a Rhône-gleccser változása különösen szemléletes.

A klímaváltozás következményeiről sokan még ma is úgy beszélnek, mintha azok csupán számítógépes modellekben léteznének. A globális átlaghőmérséklet néhány tized fokos növekedése a mindennapokban nehezen érzékelhető. A gleccserek azonban egészen más képet mutatnak. Ahol néhány évtizeddel ezelőtt hatalmas jégtömegek borították a hegyoldalakat és völgyeket, ott ma egyre gyakrabban csupasz sziklák, törmelékmezők és újonnan kialakult tavak találhatók.

A gleccserek a Föld éghajlatának különösen érzékeny jelzőrendszerei. Télen a felhalmozódó hó gyarapítja őket, nyáron az olvadás csökkenti tömegüket. Ha a két folyamat hosszú időn keresztül egyensúlyban van, a gleccser tömege viszonylag stabil maradhat. Ha azonban az olvadás tartósan meghaladja az utánpótlást, a jégtömeg zsugorodni kezd.

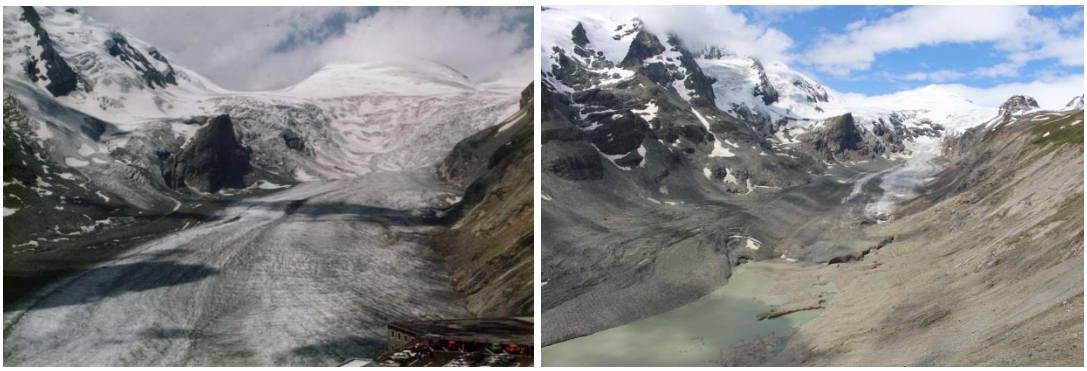
A változást nemcsak a hőmérséklet, hanem a csapadék mennyisége, évszakos eloszlása és a napsugárzás is befolyásolja. Egyetlen gleccser egyetlen évének változása ezért még nem bizonyítja a globális felmelegedést. A világ számos hegységében évtizedeken keresztül megfigyelt, egyidejű jégveszteség azonban már rendkívül erős éghajlati bizonyíték.

A World Glacier Monitoring Service adatai szerint a világ gleccserei – Grönland és az Antarktisz nagy jégtakaróit nem számítva – 1975 és 2025 között mintegy 9600 milliárd tonna jeget veszítettek. Csak 2025-ben hozzávetőleg 408 milliárd tonna jég tűnt el. Ez az egyetlen évi veszteség körülbelül 1,1 milliméterrel járult hozzá a globális tengerszint emelkedéséhez.

Az Alpok – a szemünk előtt eltűnő jégvilág

Az európai gleccserek visszahúzódása különösen jól dokumentált. A 19. századból fennmaradt térképek, festmények és fényképek összehasonlíthatók a mai műholdfelvételekkel. A változás sok helyen megdöbbentő.

Ausztria legismertebb gleccsere, a Grossglockner lábánál húzódó Pasterze egykor hatalmas jégfolyamként töltötte ki a völgyet. Az elmúlt évtizedekben a jégnyelv jelentősen visszahúzódott és elvékonyodott. Egykori helyén törmelékkel borított felszínek és olvadékvízből kialakult tavak jelennek meg.



4. ábra: A Pasterze-gleccser visszahúzódása a Grossglockner lábánál. (szerző felvétele 1991-2019)

Hasonló folyamat figyelhető meg Svájcban, a Rhône-gleccsernél. A Furka-hágó közelében található jégfolyam egykor a híres Belvédère szálloda közelébe ért, napjainkra azonban jelentősen visszahúzódott. A gleccser végétől egyre távolabb kerülnek azok a helyek, ahonnan a turisták évtizedekkel korábban közvetlenül megközelíthették a jeget.



5. ábra: A Rhône-gleccser környezetének átalakulása a svájci Furka-hágónál. (szerző felvétele 1991-2019)

A szerző személyes megfigyelése:

Az Alpok gleccsereinek változását magam is megtapasztaltam. Az elmúlt húsz év során többször jártam az ausztriai Grossglocknernél és a svájci Rhône-gleccsernél. Megdöbbentő volt látni, milyen drámai mértékben visszahúzódtak a korábban hatalmasnak tűnő jégtömegek. A változás felismeréséhez nem volt szükség tudományos műszerekre: ugyanazokon a helyeken állva szabad szemmel is nyilvánvaló volt, mennyi jég tűnt el.

2026 októberében újabb figyelmeztető hír érkezett a szomszédos Szlovéniából. A Triglav-hegység egykor mintegy 40 hektáros gleccserének fő, felszínen látható jégtömege gyakorlatilag eltűnt. A korábban összefüggő jégmező zsugorodása évtizedek óta megfigyelhető volt, a megmaradt jég azonban az utóbbi években különösen gyorsan fogyatkozott.

A Triglav története jól mutatja, hogy a gleccserek eltűnése nem feltétlenül hirtelen katasztrófa. Sokszor hosszú, pontosan dokumentált folyamat végállomása.

A Föld természetes édesvíztározói

A gleccserek nem pusztán látványos természeti képződmények. A hó és a jég hatalmas mennyiségű édesvizet tárol, amely évszázadok vagy akár évezredek alatt halmozódott fel.

A Föld édesvízkészletének legnagyobb része a sarki jégtakarókban és a gleccserekben található. A két legnagyobb készletet Grönland és az Antarktisz jégtakarója őrzi, de a hegységek gleccserei is fontos szerepet játszanak a vízellátásban.

A hegyi gleccserek különleges tulajdonsága, hogy természetes víztározóként működnek. A hideg időszakban felhalmozódó hó és jég egy része a melegebb hónapokban megolvad, és vízzel táplálja a folyókat.

Ez különösen akkor értékes, amikor kevés csapadék hullik. A gleccserolvadék ugyanis olyan időszakokban is hozzájárulhat a folyók vízhozamához, amikor a mezőgazdaságnak és a lakosságnak nagy szüksége van a vízre.

A felmelegedés kezdetben akár növelheti is a gleccserekből származó vízmennyiséget. A fokozódó olvadás miatt egy ideig több víz érkezhet a folyókba. Ez azonban megtévesztő átmeneti állapot.

Ahogy a jégtömeg csökken, egy idő után elérkezik a maximális olvadékvíz-hozam időszaka, amelyet a szakirodalom peak water néven említ. Ezt követően a gleccserek már nem képesek fenntartani a korábbi vízutánpótlást.

Vagyis a kezdeti vízbőség hosszú távon vízhiányba fordulhat.

A Himalája – amikor milliárdok vízellátása kerül veszélybe



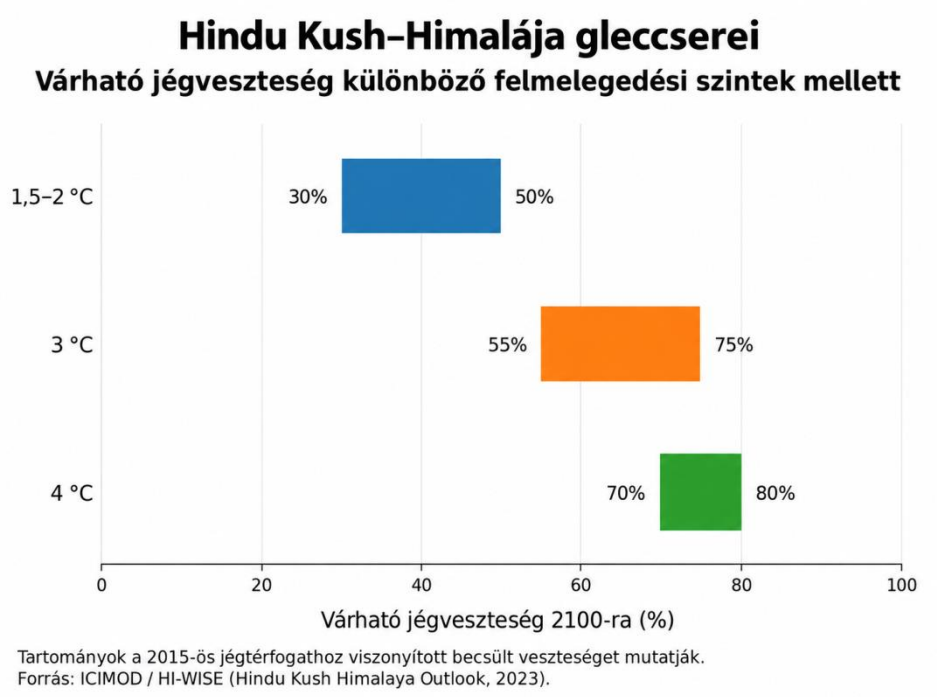
6. ábra: Imja glacier lake level being lowered | Lindsey Nicholson



7. ábra: Himalája gleccserei

A gleccserek visszahúzódásának talán legsúlyosabb társadalmi következményei Ázsiában jelentkezhetnek. A Himalája, a Hindukus és a Karakorum hegységeinek jég- és hótakarója a világ egyik legfontosabb magashegységi édesvízrendszere.

A térségből erednek Ázsia legnagyobb folyói közül többen, például az Indus, a Gangesz, a Brahmaputra, a Mekong és a Jangce. Ezek vízgyűjtő területein hatalmas népesség él, a folyók pedig nélkülözhetetlenek a mezőgazdaság, az ivóvízellátás, az ipar és a villamosenergia-termelés számára.



A térség különösen érzékeny a klímaváltozásra. Az ICIMOD 2023-as átfogó tanulmánya szerint a Hindukus–Himalája gleccsereinek jégvesztesége a 2011–2020 közötti évtizedben 65 százalékkal gyorsabb volt, mint az előző tíz évben. Magas kibocsátású forgatókönyv mellett a gleccserek a század végére jégtérfogatuk akár 80 százalékát is elveszíthetik.

India különösen nagy kihívás előtt áll

India hatalmas népessége és mezőgazdaságának vízigénye miatt rendkívül érzékeny a vízellátás változásaira. Az ország északi részén a Himalájából eredő folyók létfontosságúak.

Fontos azonban különbséget tenni a folyók vízforrásai között. A Gangesz és a Brahmaputra vízhozamának jelentős részét a monszunesők adják, míg az Indus vízrendszerében a magashegységi hó- és gleccserolvadék szerepe különösen nagy. A gleccserek eltűnése tehát nem jelenti azt, hogy ezek a folyók teljesen kiszáradnak, de alapvetően megváltoztathatja vízjárásukat.

A legnagyobb probléma a vízellátás időbeli egyenlőtlensége lehet. Előfordulhat, hogy a monszun idején pusztító árvizek keletkeznek, miközben a száraz évszakban egyre súlyosabb vízhiány alakul ki.

Az ICIMOD 2026 áprilisában közzétett jelentése szerint a Hindukus–Himalája térségben a téli hótakaró fennmaradási idejét jellemző mutató 27,8 százalékkal maradt el a sokéves átlagtól. Ez a megfigyelések több mint húszéves történetének legalacsonyabb értéke volt, és immár a negyedik egymást követő, átlag alatti hóviszonyokat mutató év.

A visszahúzódó gleccserek és a csökkenő hótakaró együttesen veszélyeztethetik a mezőgazdasági termelést. A rizs, a búza és más alapvető élelmiszernövények termesztéséhez megfelelő időben rendelkezésre álló öntözővíz szükséges. Ha a vízellátás kiszámíthatatlanná válik, az nemcsak terméskiesést, hanem élelmiszerár-emelkedést és társadalmi feszültségeket is okozhat.

A veszély ráadásul túlmutat Indián. Az Indus vízrendszere Pakisztán számára is létfontosságú, a Brahmaputra pedig Kínát, Indiát és Bangladest kapcsolja össze. A vízkészletek változása ezért a már ma is összetett nemzetközi kapcsolatokban további konfliktusforrássá válhat.

A Himalája gleccsereinek sorsa így nem csupán természetvédelmi kérdés, hanem több ország hosszú távú gazdasági és társadalmi stabilitását is érinti.

A gleccserek olvadásának egy másik szomorú következménye is van. A Dolomitok olvadó jege százéves háborús lövedékeket, a Himalája visszahúzódó gleccserei évtizedekkel ezelőtt elhunyt hegymászókat tárnak fel. A jég sokáig megőrizte az emberi történelem nyomait. Most, hogy eltűnik, ezeket is visszaadja. De amit elveszítünk, az ennél sokkal nagyobb: a Föld évezredek alatt felhalmozódott természetes édesvízkészleteinek egy részét.

Az olvadás új veszélyeket is teremt

A visszahúzódó gleccserek nemcsak a jövő vízellátását veszélyeztetik. Rövidebb távon új természeti kockázatokat is létrehoznak.

A gleccserek előtt vagy mellett felhalmozódó olvadékvízből tavak keletkezhetnek. Ezeket gyakran laza törmelékgátak tartják vissza. Ha a gát átszakad, hatalmas víztömeg zúdulhat le a völgyekbe, hidakat, utakat, településeket és vízerőműveket pusztítva el.

A felengedő magashegységi örökfagy szintén növelheti a földcsuszamlások és sziklaomlások veszélyét. Így a gleccserek visszahúzódása egyszerre teremthet rövid távon árvízveszélyt és hosszabb távon vízhiányt.

A veszélyeztetett térségekben ezért nem elegendő a jégveszteség megfigyelése. Szükség van korai előrejelző rendszerekre, megfelelő víztározókra, hatékonyabb öntözési technológiákra és a határokon átnyúló vízgazdálkodási együttműködésre is.

Megmenthetők-e a gleccserek?

Az olvadás lassítására több helyi megoldással is kísérleteznek. Svájcban például egyes gleccserek kisebb, turisztikailag vagy gazdaságilag fontos részeit világos színű, a napsugárzást visszaverő takarókkal borítják a nyári időszakban.



8. ábra: Rhone gleccsert fehér takarókkal védik a napsugárzástól (szerző felvétele 2019)

Ezek a módszerek helyileg mérsékelhetik a jégveszteséget, de több százezer gleccser megóvására nem alkalmazhatók gazdaságosan.

A gleccserek megőrzésének legfontosabb feltétele továbbra is a globális felmelegedés korlátozása. Ugyanakkor a már bekövetkezett hőmérséklet-emelkedés miatt számos kisebb gleccser további zsugorodása akkor is elkerülhetetlen lehet, ha sikerül gyorsan csökkenteni az üvegházhatású gázok kibocsátását.

A már eltűnt jégtömegek természetes visszaépülése pedig rendkívül hosszú időt igényelne, és a jelenlegi éghajlati viszonyok mellett sok helyen nem is lehetséges.

A jég eltűnésének ára

A gleccserek visszahúzódása a klímaváltozás egyik legjobban megfigyelhető következménye. A folyamat műholdfelvételekkel, terepi mérésekkel, történelmi fényképekkel és akár személyes emlékekkel is nyomon követhető.

Az Alpokban a változás elsősorban a táj, a turizmus, a helyi vízháztartás és a természeti veszélyek átalakulásában jelentkezik. A Himalájában és más magashegységi térségekben azonban ennél jóval nagyobb a tét: a vízellátás, a mezőgazdasági termelés és emberek százmillióinak megélhetése.

A természetes jégtározók elvesztését nem lehet egyszerűen néhány új víztározó építésével pótolni. A gleccserek olyan, hosszú idő alatt felhalmozódott vízkészletet képviselnek, amelynek fokozatos elvesztése megváltoztathatja egész folyórendszerek működését.

A gleccserek eltűnése talán a klímaváltozás egyik legszemléletesebb figyelmeztetése: nemcsak a táj változik meg, hanem olyan természeti tartalékokat veszítünk el, amelyek létrejöttéhez évszázadokra vagy évezredekre volt szükség, elvesztésükhöz viszont elegendő lehet néhány emberöltő.

A kérdés tehát nem az, hogy a Föld kibír-e további két-három fokos felmelegedést.

Kibírja. A bolygó történetében ennél jóval nagyobb változások is előfordultak.

A valódi kérdés az, hogy az emberiség képes-e megőrizni a civilizáció működéséhez szükséges feltételeket egy olyan világban, amelynek éghajlata néhány emberöltő alatt jelentősen átalakulhat.

Van azonban egy további különbség is a földtörténeti múlt és a jelen között.

A jégkorszakokat, a kontinensek vándorlását vagy a Nap körüli pálya változásait az ember nem tudta befolyásolni. A jelenlegi felmelegedés jelentős részét viszont saját tevékenységével idézte elő. Ez azt jelenti, hogy bizonyos mértékig a további változás nagyságára is hatással lehet.

A földtörténet során először létezik olyan faj, amely nemcsak elszenvedi a bolygó környezetének változásait, hanem globális léptékben maga is alakítja azokat, és tudományos eszközökkel képes felismerni ennek következményeit.

Ezzel azonban újfajta felelősség is megjelent.

Nem az a feladatunk, hogy változatlanná tegyük a Földet. Ez sem lehetséges, sem szükséges. Az igazi kihívás az, hogy saját tevékenységünkkel ne változtassuk meg olyan gyorsan és olyan mértékben környezetünk működését, hogy ahhoz már ne tudjunk elfogadható veszteségekkel alkalmazkodni.

A következő fejezetben azt vizsgáljuk meg, hogyan kezdődött az ember környezetalakító tevékenysége jóval az ipari forradalom előtt, és miként jutottunk el a táj kezdetleges átalakításától a bolygó egészét befolyásoló civilizációig.

Források

- WGMS / Nature Reviews Earth & Environment (2026) – Globális gleccsertömeg-veszteség
- ICIMOD (2023) – A Hindukus–Himalája jég- és vízkészleteinek jövője
- ICIMOD (2026) – Himalájai hótakarójelentés
- UNESCO (2025) – Mountains and Glaciers: Water Towers

- IPCC – Hatodik értékelő jelentés, 9. fejezet: földtörténeti meleg időszakok, jégtakarók és tengerszintváltozások.
- NASA – Evidence for Climate Change: a múltbeli és jelenlegi éghajlatváltozások bizonyítékai és sebessége.
- IPCC – Climate Change 2023, összefoglaló megállapítások: az emberi eredetű felmelegedés tudományos értékelése.

2. Az erdők, amelyek eltűntek

Amikor az ember még az erdő része volt

Az ember történetének túlnyomó részében nem az erdők átalakítója, hanem azok egyik lakója volt. A vadászó-gyűjtögető közösségek számára az erdő egyszerre jelentett élelmiszerforrást, menedéket, tüzelőanyagot és nyersanyagokat. A fák gyümölcsöt, magvakat és leveleket adtak, a növényzet között vadállatok éltek, a faanyagból szerszámok, fegyverek és egyszerű építmények készültek.

Az ember már ebben az időszakban is befolyásolta környezetét. Tüzet használt, növényeket gyűjtött, állatokra vadászott, és bizonyos területeken tudatosan alakította a növényzetet. Egyes közösségek rendszeresen felgyújtották az aljnövényzetet, hogy könnyebbé tegyék a közlekedést, elősegítsék bizonyos hasznos növények növekedését, vagy kedvezőbb élőhelyeket teremtsenek a vadászható állatok számára.

A tűz használata az emberiség egyik legkorábbi környezetalakító eszköze lett. Az ellenőrzött égetés egyes tájakon növelhette az élőhelyek változatosságát, másutt viszont hozzájárulhatott az erdők visszaszorulásához. Hatása a helyi éghajlattól, a növényzettől, a tűz gyakoriságától és az emberi népesség nagyságától függött.

Nem beszélhetünk tehát egyetlen olyan pillanatról, amikor az ember először kezdte megváltoztatni a természetet. A különbség sokkal inkább a beavatkozás mértékében és tartósságában rejlett.

Amíg az ember kis létszámú, mozgékony közösségekben élt, környezetalakító tevékenysége általában korlátozott területekre terjedt ki. A mezőgazdaság megjelenésével azonban alapvető változás következett be.

Az ember többé nem csupán alkalmazkodni próbált a természeti környezethez, hanem egyre nagyobb területeken saját igényeinek megfelelően kezdte átalakítani azt.

Az első földművesek és az erdők visszaszorulása

Körülbelül 12 ezer évvel ezelőtt, a legutóbbi jégkorszak végét követően, a világ több térségében fokozatosan kialakult a növénytermesztés és az állattenyésztés.

A Közel-Kelet termékeny félholdnak nevezett vidékén megkezdődött a gabonafélék termesztése, majd más térségekben is létrejöttek önálló mezőgazdasági központok. Kínában a rizs és a köles, Amerikában többek között a kukorica és a burgonya, más vidékeken pedig különféle helyi növények váltak a földművelés alapjává.

A mezőgazdaság egyik legfontosabb feltétele a megfelelő termőterület biztosítása volt.

Az erdőkkel borított vidékeken ehhez fákat kellett kivágni, a cserjéket eltávolítani, és a területet alkalmassá tenni a növénytermesztésre. A kivágott fát építkezésre és tüzelésre használták, az ágakat és a maradék növényzetet gyakran elégették.

Az így keletkező hamu átmenetileg javíthatta a talaj tápanyag-ellátottságát, de a hatás nem tartott örökké. Ha a föld kimerült, a közösség újabb területeket vonhatott művelésbe, miközben a korábban használt földet pihentette vagy elhagyta.



9. ábra: Az újkőkori földművelés terjedésével az ember egyre nagyobb erdőterületeket alakított át szántófölddé. A fák kivágása és a növényzet felégetése mezőgazdasági területek kialakítását tette lehetővé.

   Forrás: Science China Press – újkőkori földművelés rekonstrukciója

A váltógazdálkodás és az égetéses földművelés bizonyos formái megfelelően hosszú pihenőidő mellett akár tartósan is működhettek. A népesség növekedésével és a művelési ciklusok rövidülésével azonban egyre nagyobb lett a veszélye annak, hogy az erdő nem tud kellő mértékben megújulni.

Az erdőirtás mögött kezdetben nem valamiféle tudatos természetromboló szándék állt. Az embereknek élelemre, lakóhelyre és tüzelőanyagra volt szükségük.

A mezőgazdaság ugyanakkor olyan folyamatot indított el, amely később egész kontinensek arculatát változtatta meg.

A természetes erdők helyén szántóföldek, legelők és települések jelentek meg. Az erdők közötti összefüggő élőhelyek feldarabolódtak, és egyre több növény- és állatfaj szorult vissza a megmaradt erdős területekre.

A mezőgazdaság terjedése tehát nemcsak a tájat alakította át, hanem az élővilág összetételét is.

A fa mint az első nagy energiaforrás

A modern ipari civilizáció működését ma elsősorban a fosszilis energiahordozók és a villamos energia felől szemléljük. A történelem nagy részében azonban a fa jelentette az emberiség legfontosabb, közvetlenül felhasznált tüzelőanyagát.

Fával főztek, fűtöttek, kerámiát égettek, élelmiszert tartósítottak, és számos kézműves tevékenységhez is tüzet használtak.

A kohászat megjelenése tovább növelte a faigényt. A fémek előállításához magas hőmérséklet kellett, amelyet sokáig elsősorban faszén segítségével biztosítottak.

A faszén előállításakor a fát oxigénszegény környezetben hevítették. Az így keletkező, nagy széntartalmú tüzelőanyag alkalmas volt a magasabb hőmérsékletet igénylő technológiák működtetésére.

A fémfeldolgozás fejlődése ezért közvetlen kapcsolatban állt az erdőkkel.

A vaskohászat, az üveggyártás, a sófőzés és más iparágak jelentős mennyiségű tüzelőanyagot fogyasztottak. Egy-egy nagyobb termelőközpont környezetében az erdők fokozatosan megritkulhattak vagy eltűnhettek.

A fa azonban nemcsak energiaforrás volt. Házak, hidak, erődítmények, szekerek, bányajáratok és hajók építéséhez is szükség volt rá.

A hajóépítés különösen sok, megfelelő méretű és alakú faanyagot igényelt. A tengeri kereskedelem és a hadiflották fejlődése ezért sok országban stratégiai jelentőségűvé tette az erdőket.

Az emberiség első nagy nyersanyag- és energiaellátási rendszere jelentős részben az erdőkre épült.

Ebben az időszakban még nem léteztek globális fosszilisenergia-hálózatok, de a természetes erőforrások felhasználása már sok helyen meghaladta a helyi erdők természetes megújulási ütemét.

A középkor nagy erdőirtásai

Európa jelentős részét az ókorban és a kora középkorban még kiterjedt erdőségek borították. Természetesen a római korban is nagy területeken folyt mezőgazdasági termelés, és a korabeli városok, bányák, kohók vagy építkezések jelentős mennyiségű fát igényeltek.

A római birodalom egyes vidékein ezért már az ókorban jelentős erdőirtások történtek.

A birodalom nyugati részének hanyatlását követően bizonyos területeken az erdők ismét terjeszkedni kezdtek. Más térségekben azonban a mezőgazdasági használat folytonossága megmaradt.

A középkor későbbi szakaszában, különösen a 11–13. században, Európa számos vidékén újabb nagyszabású erdőirtási hullám bontakozott ki.



10. ábra: Középkori erdei munkások egy korabeli kézirat ábrázolásán. A mezőgazdasági területek bővítése, az építkezések és a tüzelőanyag iránti igény Európa számos vidékén az erdők jelentős visszaszorulásához vezetett.

Forrás: El País – középkori erdőkről szóló történeti összeállítás.

A népesség növekedése több élelmiszert követelt. Új falvak jöttek létre, mezőgazdasági területeket alakítottak ki, mocsarakat csapoltak le, és egyre távolabbi vidékeket vontak be a termelésbe.

Az erdők visszaszorulása azonban nem mindenütt ugyanabban az ütemben zajlott. Az alföldi, termékeny területeken gyakran gyorsabb volt az átalakulás, mint a hegyvidékeken vagy a nehezen megközelíthető térségekben.

A középkori Európa tájképe így fokozatosan a ma is ismert kultúrtáj irányába változott. Szántóföldek, legelők, szőlőültetvények, falvak és városok váltakoztak a megmaradt erdőkkel.

A folyamatban a kolostorok, földbirtokosok és uralkodók is fontos szerepet játszottak. Az új területek művelésbe vonása gazdasági hasznot és adóbevételt jelentett. A föld értékét sok esetben éppen az növelte, ha az erdőt kivágták, és helyén mezőgazdasági termelés indulhatott.

Mai szemmel különösnek tűnhet, hogy az erdő eltűnését akkoriban gyakran fejlődésnek tekintették.

Pedig a korabeli társadalom számára a művelhető föld sokszor közvetlenül a túlélést jelentette. Az erdőirtás élelmiszer-termelést, lakóhelyet és gazdasági lehetőségeket teremtett.

A környezeti következmények azonban fokozatosan jelentkeztek.

Amikor eltűnik a talaj védelme

Az erdő nem egyszerűen fák együttese.

A lombkorona mérsékli a csapadék közvetlen becsapódását a talajra, a növényzet gyökerei segítenek összetartani a földet, az avarréteg pedig szerves anyagokkal gazdagítja a talajt és befolyásolja a víz beszivárgását.

Az erdő eltávolítása ezért nem csupán a faállomány elvesztését jelenti.

Ha a talajt megfosztják növényi borításától, a csapadék könnyebben lemoshatja a felső, tápanyagokban gazdag réteget. Meredekebb lejtőkön vízmosások alakulhatnak ki, a talaj a folyókba és tavakba kerülhet, ahol hordalékként rakódik le.

Szárazabb területeken a szél is jelentős mennyiségű talajt szállíthat el.

A talajpusztulás különösen veszélyes folyamat, mert a termékeny talajréteg kialakulása rendszerint sokkal lassabb, mint annak elvesztése.

Néhány év alatt olyan mennyiségű talaj pusztulhat el, amelynek természetes pótlódásához évszázadokra vagy még hosszabb időre lenne szükség.

Egy erdő tehát nemcsak a fáiban tárol értéket. A talaj, a vízháztartás és az élővilág egész rendszere kapcsolódik hozzá.

Az ember sokszor akkor szembesült ezzel, amikor az erdő már eltűnt.

Az erdő mint vagyon – és mint korlátozott erőforrás

Az erdők visszaszorulása idővel arra késztette a társadalmakat, hogy szabályozzák a fakitermelést.

Európa több országában az uralkodók és földbirtokosok már a középkorban korlátozták az erdőhasználatot. Ezek a rendelkezések azonban nem feltétlenül természetvédelmi célokat szolgáltak.

Gyakran a vadászati jogok fenntartása, a faanyag biztosítása vagy a birtokos gazdasági érdeke állt a háttérben.

Az erdő értékes vagyontárgy lett, amelynek használatáról szabályokat kellett alkotni.

A későbbi évszázadokban fokozatosan kialakult a tervszerű erdőgazdálkodás gondolata is. Ennek egyik alapelve az volt, hogy hosszabb távon nem szabad több fát kitermelni, mint amennyi újratermelődik.

Ez a fenntartható erdőgazdálkodás fontos előzménye volt, még akkor is, ha az eredeti cél elsősorban a faanyag folyamatos biztosítása volt, nem pedig a biológiai sokféleség megőrzése.

A gazdasági érdek és a környezetvédelem tehát már ekkor sajátos kapcsolatba került.

Az erdők védelme sokszor nem azért kezdődött, mert az ember felismerte minden ökológiai szerepüket, hanem azért, mert attól tartott, hogy elfogy egy nélkülözhetetlen nyersanyag.

Ez a felismerés később más természeti erőforrások esetében is visszatért.

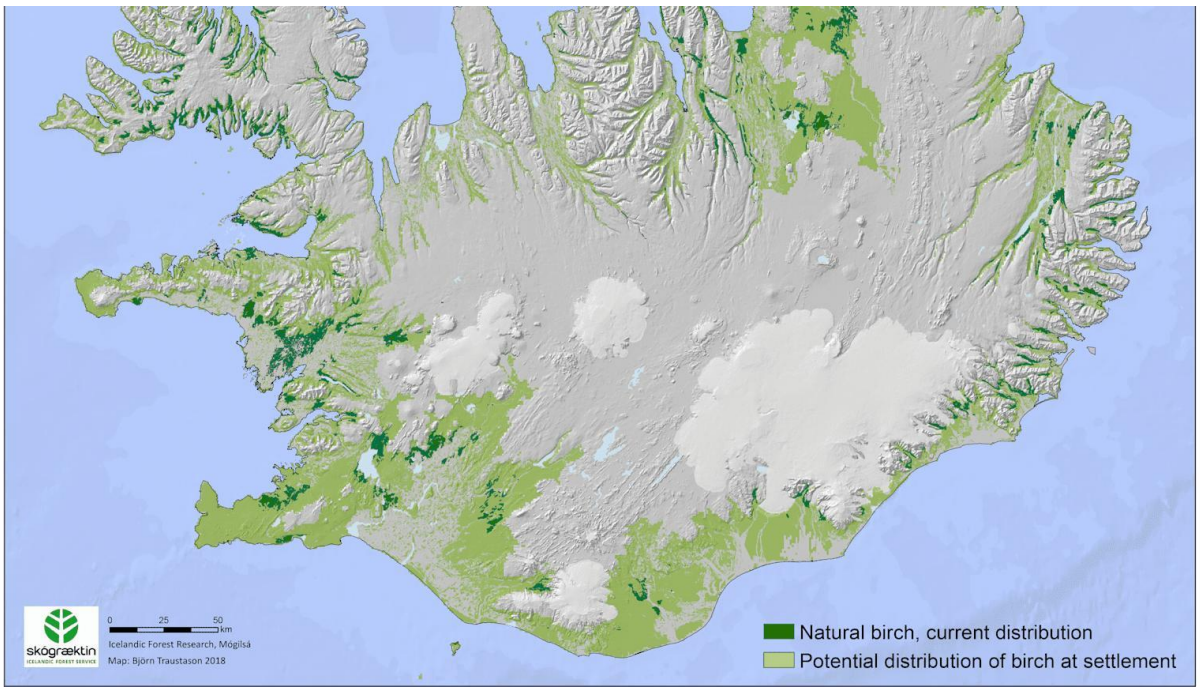
Izland: egy ország, amely elveszítette erdeit

Izlandot ma a vulkánok, gleccserek, lávamezők és hatalmas, nyílt tájak országaként ismerjük. Az utazó gyakran órákon keresztül haladhat úgy, hogy alig lát fát.

Könnyű azt gondolni, hogy az északi fekvés és a zord éghajlat miatt Izland mindig ilyen kopár volt.

A valóság azonban egészen más.

Amikor a skandináv telepesek a 9. század végén megkezdték Izland tartós benépesítését, a sziget jelentős részén erdők és fás növénytársulások éltek. A becslések szerint az ország területének mintegy 25–40 százalékát boríthatták nyírerdők és cserjések.



11. ábra: Izland természetes nyírerdőinek elterjedése. A térképen a világoszöld a betelepülés korára becsült erdőterületet, a sötétzöld a később felmért fennmaradt nyíreseket jelöli. A különbség az elmúlt több mint ezer év tájátalakításának mértékét érzékelteti.

Forrás: Izlandi Erdészeti Szolgálat, Björn Traustason, 2018; Yle.

Ezek nem a közép-európai bükkösökhöz vagy tölgyesekhez hasonló erdők voltak. Az izlandi körülményekhez alkalmazkodó, gyakran alacsony növésű, sok helyen bokorszerű nyírek alkották őket, amelyek védett völgyekben akár magasabb fákká is fejlődhettek.

A telepeseknek azonban fára és legelőre volt szükségük.

Az erdőket kivágták építkezéshez, tüzeléshez és a mezőgazdasági területek kialakításához. A juh- és más állattartás terjedése tovább csökkentette az erdők megújulásának esélyét.

A fiatal facsemetéket az állatok gyakran lelegelték, így az egyszer kivágott erdő sok területen nem tudott természetes módon visszatelepülni.

A folyamatnak azonban volt egy másik, még súlyosabb következménye.

Izland talajainak jelentős része vulkáni eredetű, és a növénytakaró elvesztése után különösen érzékennyé válhat az erózióra. Az erős szél és a csapadék hatására a talaj fokozatosan pusztult.

A korábban növényzettel borított területek egy részén kopár, homokos vagy köves felszínek alakultak ki.

Az erdők eltűnése és a túllegeltetés önmagukat erősítő folyamatokat indíthatott el. A növényzet pusztulása fokozta az eróziót, az erózió pedig egyre nehezebbé tette az új növényzet megtelepedését.

Mindehhez a vulkáni működés és az éghajlat természetes ingadozásai is hozzájárultak.



12. ábra: Súlyos talajerózió Izlandon. A növényzet elvesztése után a szél és a víz fokozatosan elszállíthatja a termékeny talajréteget. A megmaradt növényzettel borított földdarabok érzékeltetik a pusztulás mértékét.

Forrás: Bændablaðið – Izland talajkincse.

A 20. század közepére Izland eredeti erdeinek túlnyomó többsége eltűnt. A természetes nyíres vegetáció kiterjedése a sziget területének egy százaléka körüli vagy annál is kisebb értékre zsugorodhatott.

A mai Izland tájképe tehát jelentős részben emberi tevékenység és természetes folyamatok hosszú kölcsönhatásának eredménye.



13. ábra: Izland kopár, erózió által formált tája. A vulkáni eredetű felszínek természetes módon is lehetnek növényzet nélküliek, ezért a konkrét fotó helyszínét és történetét is érdemes feltüntetni.

Visszatérhetnek-e Izland erdei?

Izland története nemcsak a környezetpusztulásról, hanem a helyreállítás lehetőségéről is szól.

Az országban a 19. század végén kezdődtek szervezett erdőtelepítési kísérletek, a 20. században pedig egyre nagyobb figyelmet fordítottak a talajvédelemre és a növényzet helyreállítására.

A természetes nyíresek megmaradt részeinek védelme, a legeltetés korlátozása és a tudatos erdőtelepítés egyes területeken már jelentős eredményeket hozott.

A fák visszatérésével javulhat a talaj védelme, nőhet a szervesanyag-tartalma, új élőhelyek alakulhatnak ki, és mérséklődhet az erózió.

A helyreállítás azonban nem egyszerű feladat.

A talaj sok helyen már olyan mértékben elpusztult, hogy az erdő természetes visszatelepülése rendkívül lassú lenne. Ráadásul az erdőtelepítések során azt is mérlegelni kell, hogy az adott területen milyen növénytársulás őshonos, és milyen ökológiai következményekkel járhat az idegenhonos fafajok alkalmazása.

Nem minden kopár területre kell erdőt telepíteni. Izlandon is léteznek természetes, erdő nélküli élőhelyek, amelyek önmagukban értékesek.

A cél ezért nem az, hogy mindenütt fák nőjenek, hanem az, hogy a súlyosan leromlott területeken helyreálljanak a működőképes, lehetőleg őshonos ökoszisztémák.



14. ábra: Helyreálló növényzet Izlandon. Az őshonos fás növényzet visszatelepítése és a talaj védelme lehetőséget ad az emberi tevékenység következtében leromlott területek részleges regenerálódására.

Forrás: Nordic Council of Ministers – Rewilding Deserts in Iceland.

Izland példája megmutatja, hogy az erdőirtás következményei akár ezer évvel később is meghatározhatják egy ország tájképét. Ugyanakkor azt is bizonyítja, hogy megfelelő beavatkozással a károk egy része mérsékelhető, és a természet bizonyos folyamatai újraindíthatók.

A Húsvét-sziget: az ökológiai összeomlás híres története

A Csendes-óceán délkeleti részén fekvő Húsvét-sziget, őslakos nevén Rapa Nui, a világ egyik legelszigeteltebb lakott szigete.

A dél-amerikai partoktól körülbelül 3700 kilométerre található, területe mindössze 164 négyzetkilométer. A sziget világhírűvé vált hatalmas kőszobrairól, a moaikról, amelyek közül sok ma is a sziget partvidékén vagy a régi kőbányák környezetében áll.

A régészeti bizonyítékok alapján a szigetet polinéz hajósok népesítették be, valószínűleg a 13. század körül.

Az új lakók egy olyan környezetben telepedtek le, amely jelentősen különbözött a maitól. A szigeten egykor kiterjedt pálmaerdők éltek. Ezek a fák élelmet, növényi nyersanyagokat, valamint az élővilág számára fontos élőhelyeket biztosítottak.

A következő évszázadokban az erdők fokozatosan eltűntek.

Amikor az európaiak 1722-ben először dokumentáltan elérték a szigetet, a táj már nagyrészt fátlan volt. A korábbi erdők kiterjedésére ma elsősorban a talajban megmaradt növényi maradványokból, pollenekből és más régészeti, illetve környezettörténeti bizonyítékokból következtethetünk.

Az erdők eltűnése tehát történeti tény.



15. ábra: A Húsvét-sziget (Rapa Nui) híres moai szobrai. A szigetet egykor pálmaerdők borították, amelyek a polinéz betelepülést követő évszázadokban eltűntek. A korábban feltételezett, erdőirtás okozta társadalmi összeomlást az újabb kutatások megkérdőjelezik.

Az azonban már jóval bonyolultabb kérdés, hogy pontosan mi okozta a pusztulásukat, és milyen következményekkel járt ez a sziget lakosságára.

A Húsvét-sziget hosszú időn keresztül a környezeti erőforrások felelőtlen felhasználásának egyik legismertebb példája volt.

A közismert történet szerint a sziget lakói fokozatosan kivágták az erdőket, többek között a hatalmas kőszobrok mozgatásához szükséges faanyag biztosítására. Amikor elfogytak a fák, már nem tudtak megfelelő hajókat építeni, csökkentek az élelmiszerforrások, a talaj pusztulni kezdett, és a társadalom egyre súlyosabb válságba került.

Az elmélet szerint az erőforráshiány éhínséghez, háborúkhoz és végül a lakosság jelentős részének pusztulásához vezetett.

A történet különösen erős figyelmeztetésnek tűnt, mert a Húsvét-sziget zárt rendszerként volt értelmezhető. Lakói nem számíthattak arra, hogy a kimerült erőforrásokat távoli területekről pótolhatják.

A sziget így az egész Föld kicsinyített másává vált a környezetvédelmi gondolkodásban.

Az elméletet széles körben ismertté tette Jared Diamond 2005-ben megjelent Összeomlás című könyve is.

Az értelmezés szerint a Húsvét-sziget története arra figyelmeztetett, hogy egy társadalom saját maga is elpusztíthatja fennmaradásának természeti alapjait.

Csakhogy a régészeti, ökológiai és genetikai kutatások eredményei azóta jelentősen árnyalták ezt a történetet.

Valóban a sziget lakói pusztították el az erdőket?

Az erdőpusztulás okairól ma sincs minden részletében lezárt tudományos álláspont.

A korábbi magyarázatok elsősorban az emberi fakitermelésre és az égetéses földhasználatra helyezték a hangsúlyt. Az ásatások során talált elszenesedett növényi maradványok és égett talajrétegek igazolják, hogy az emberek valóban irtották a növényzetet.

Egy másik elmélet azonban felhívta a figyelmet egy addig kevésbé hangsúlyozott szereplőre: a polinéz patkányra.

A szigetet benépesítő hajósokkal együtt patkányok is érkeztek. Ezek az állatok az őshonos növény- és állatvilág számára új, idegenhonos fajnak számítottak.

A patkányok elfogyasztották a pálmafák magvait, ezzel akadályozhatták az erdő természetes megújulását.

Egy fa kivágása és egy erdő végleges eltűnése ugyanis nem ugyanaz.

Ha a kivágott fa helyén új növények képesek megtelepedni, az erdő idővel regenerálódhat. Ha azonban a magokat rendszeresen elpusztítják, a természetes megújulás megszakadhat.

A patkányok szerepéről régóta folyik tudományos vita. Egy 2010-es vizsgálat az emberi égetések elsődleges jelentőségét hangsúlyozta, míg Terry Hunt és Carl Lipo 2025-ben megjelent tanulmánya új régészeti bizonyítékok és ökológiai modellek alapján ismét jelentős szerepet tulajdonított a patkányok magfogyasztásának.

A kutatók szerint a patkányok és az emberi földhasználat együttes hatása is elegendő lehetett a pálmaerdők tartós pusztulásához. A modell eredményei azonban nem közvetlen mérései az egykori patkánynépességnek, és a különböző tényezők pontos hozzájárulása továbbra is vitatott.

Ez a különbség fontos.

A Húsvét-sziget erdőinek eltűnéséhez nem feltétlenül volt szükség arra, hogy az emberek az utolsó fáig mindent kivágjanak. Elég lehetett a fakitermelés, a földhasználat és egy behurcolt állatfaj olyan együttese, amelyből az erdő már nem tudott helyreállni.

Az ember tehát nemcsak közvetlen pusztítással, hanem az ökológiai kapcsolatok megváltoztatásával is képes alapvetően átalakítani a környezetét.

Összeomlott-e a Húsvét-sziget társadalma?

Az erdők eltűnésénél is jelentősebb változás történt a sziget történetének értelmezésében.

A klasszikus összeomláselmélet abból indult ki, hogy Rapa Nuin egykor igen nagy, akár 15 ezer főt is meghaladó népesség élhetett, amely az erdőpusztulás következtében drasztikusan lecsökkent, még az európaiak érkezése előtt.

Ezt a feltételezést azonban az újabb kutatások nem támasztják alá meggyőzően.

A 2024 júniusában a Science Advances folyóiratban megjelent vizsgálat műholdfelvételek és terepi adatok segítségével újraértékelte a sziget egykori mezőgazdasági területeit.

A kutatók különösen az úgynevezett kőkerteket vizsgálták. Ezekben a termőtalajt kisebb-nagyobb kövekkel borították és alakították át, hogy javítsák a víz- és tápanyagviszonyokat, valamint mérsékeljék a talaj kedvezőtlen környezeti hatásait.



16. ábra: A Húsvét-sziget hagyományos kőkerjeinek maradványai. A kövek alkalmazásával a sziget lakói javították a növénytermesztés feltételeit. Az ilyen mezőgazdasági területek újabb kutatásai fontos szerepet játszanak a sziget történetének újraértékelésében.

Forrás: Davis és munkatársai, Science Advances (2024).

Az eredmények szerint az intenzíven művelt kőkertek területe jóval kisebb lehetett a korábbi becsléseknél. Ez kétségessé tette azt a feltételezést is, hogy a szigeten valaha rendkívül nagy népesség élt volna.

A kutatók inkább egy kisebb, a korlátozott erőforrásokhoz alkalmazkodó közösség képét rajzolták meg.

Néhány hónappal később, 2024 szeptemberében a Nature folyóiratban újabb jelentős kutatás jelent meg.

A tudósok 15 régi Rapa Nui-i lakos örökítőanyagát vizsgálták meg, és genetikai módszerekkel rekonstruálták a sziget népességtörténetét.

Az elemzés nem talált bizonyítékot arra a feltételezett, rendkívül súlyos népesség-összeomlásra, amelyet a korábbi elmélet a 17. századra helyezett.

A genetikai eredmények inkább arra utaltak, hogy a sziget lakossága az európai kapcsolatfelvétel előtti évszázadokban viszonylag kis létszámú, de fennmaradó és alkalmazkodó közösséget alkotott.

A kutatás természetesen nem bizonyítja, hogy a sziget lakói sohasem éltek át súlyos válságokat vagy konfliktusokat. Azt azonban erősen megkérdőjelezi, hogy az erdők eltűnése önmagában egy hatalmas, hirtelen demográfiai összeomláshoz vezetett volna.

A Húsvét-sziget története így különösen érdekes példává vált arra, hogyan változhat meg egy közismert történelmi magyarázat, amikor új bizonyítékok kerülnek elő.

Az erdők valóban eltűntek.

A társadalom azonban nem feltétlenül omlott össze emiatt.

Sőt, az újabb kutatások szerint a sziget lakói figyelemre méltó alkalmazkodóképességről tettek tanúbizonyságot.

A valódi tragédia később következett

A Húsvét-sziget lakosságát valóban súlyos demográfiai katasztrófa érte, de ennek legjobban dokumentált eseményei jóval az első európai kapcsolatfelvétel után következtek be.

Az európai hajósok megjelenésével új betegségek, erőszakos konfliktusok és később a rabszolga-kereskedelem is pusztították a sziget népességét.

A 19. században a perui rabszolga-kereskedők számos szigetlakót hurcoltak el kényszermunkára. A behurcolt fertőző betegségek további súlyos veszteségeket okoztak.

A sziget lakossága végül a 19. század második felében mintegy száz főre csökkent.

Ez már nem feltételezett, ősi ökológiai összeomlás, hanem történelmi forrásokkal is dokumentált emberi tragédia.

A különbség erkölcsi és történeti szempontból sem közömbös.

Ha ugyanis a Húsvét-sziget lakóinak pusztulását elsősorban saját környezetrombolásukkal magyarázzuk, háttérbe szorulhat az a tény, hogy a legsúlyosabb népességveszteségeket a külső beavatkozás, a rabszolga-kereskedelem és a behurcolt betegségek okozták.

A modern kutatás ezért nem pusztán egy környezetvédelmi példázatot értékelt újra, hanem egy nép történelmének értelmezését is.

Mit tanulhatunk mégis a Húsvét-sziget történetéből?

A klasszikus összeomláselmélet megkérdőjelezése nem jelenti azt, hogy a Húsvét-sziget története elveszítette környezetvédelmi jelentőségét.

Éppen ellenkezőleg.

Az új értelmezés talán még összetettebb és tanulságosabb képet kínál.

A sziget erdőinek eltűnése megmutatja, hogy egy viszonylag kis emberi közösség is képes alapvetően megváltoztatni környezetének működését, különösen akkor, ha a terület elszigetelt, és az élővilág sérülékeny.

A patkányok feltételezett szerepe arra figyelmeztet, hogy az emberi tevékenység közvetett hatásai legalább olyan jelentősek lehetnek, mint a közvetlen beavatkozások.

A sziget lakóinak fennmaradása ugyanakkor azt bizonyítja, hogy egy társadalom korlátozott erőforrások mellett is képes lehet alkalmazkodni a megváltozott körülményekhez.

A történet tehát nem feltétlenül az elkerülhetetlen pusztulásról szól, hanem a környezeti átalakulás, az alkalmazkodás és a társadalmi sérülékenység összetett kapcsolatáról.

És van még egy fontos tanulsága.

A környezetvédelemnek is szüksége van önkritikára.

Egy látványos, könnyen megjegyezhető történet rendkívül hatékony lehet a figyelem felkeltésében. Ha azonban az új tudományos bizonyítékok megkérdőjelezik az eredeti magyarázatot, akkor azt módosítani kell.

A környezetvédelem hitelességét nem az szolgálja, ha minden korábbi figyelmeztetést változatlanul fenntartunk, hanem az, ha a tényeket akkor is elfogadjuk, amikor azok kevésbé drámai vagy bonyolultabb történetet eredményeznek.

Két sziget, két különböző történet

Izland és a Húsvét-sziget egymástól több ezer kilométerre található, éghajlatuk, történelmük és élőviláguk egészen különböző.

Mégis van valami közös bennük.

Mindkét szigeten olyan népesség telepedett le, amely magával hozta korábbi életmódját, eszközeit, mezőgazdasági módszereit és állatait. Az új lakók mindkét helyen jelentősen átalakították az eredeti növényzetet.

Mindkét szigeten kiterjedt erdőségek tűntek el, és a változások következményei évszázadokkal később is láthatók.

A két történet azonban lényeges különbségekre is rámutat.

Izlandon az erdőirtás, a legeltetés és a talajpusztulás kapcsolata jól dokumentált. A pusztulás jelentős része emberi földhasználathoz kötődik, bár a természetes tényezők szerepe sem hanyagolható el.

A Húsvét-szigeten az erdők eltűnése szintén bizonyított, de annak pontos okairól és társadalmi következményeiről ma is tudományos viták folynak. A korábban széles körben elfogadott összeomláselméletet az újabb kutatások alapvetően megkérdőjelezték.

A két példa együttesen azt mutatja, hogy az emberi környezetalakítás következményei nem vezethetők vissza egyszerű, mindenütt érvényes törvényszerűségekre.

Az erdők eltűnése súlyos ökológiai változás, de társadalmi hatása függ a helyi természeti adottságoktól, a népesség nagyságától, a rendelkezésre álló technológiáktól, az alkalmazkodóképességtől és a külső kapcsolatoktól is.

Az első nagy környezeti átalakítás tanulságai

Az erdőirtás az emberiség egyik legrégebbi és legnagyobb kiterjedésű környezetalakító tevékenysége.

Sok évezreddel az ipari forradalom előtt megkezdődött, és a mezőgazdaság, a városok, a hajózás, a kohászat, valamint a kereskedelem fejlődésével egyre nagyobb méreteket öltött.

A fák kivágása önmagában nem feltétlenül jelent környezeti katasztrófát. Az erdő megújuló erőforrás lehet, ha használata nem haladja meg regenerálódási képességét, és a gazdálkodás megőrzi az élőhelyek, a talaj és a vízháztartás megfelelő működését.

A probléma akkor jelentkezik, amikor az ember egy összetett ökológiai rendszerből csak a közvetlenül hasznosítható erőforrást látja.

A fa tüzelőanyagnak, építőanyagnak vagy eladható nyersanyagnak tűnik. Az erdő helyén kialakított szántóföld élelmiszert termel, a legelő állatokat tart el.

Az erdő más szolgáltatásai azonban gyakran csak akkor válnak nyilvánvalóvá, amikor már hiányoznak.

A talaj védelme, a víz visszatartása, a helyi éghajlat mérséklése, a biológiai sokféleség fenntartása és a szén tárolása mind olyan értékek, amelyek nem feltétlenül jelennek meg közvetlenül a fakitermelés gazdasági elszámolásában.

Az erdőirtás története ezért egy általánosabb problémára világít rá.

Az ember gyakran gyorsabban képes átalakítani egy természeti rendszert, mint ahogyan megérti annak működését.

A mezőgazdaság létrejötte nélkül nem alakulhatott volna ki a mai civilizáció. A házak, városok, utak és ipari létesítmények felépítéséhez is szükség volt a természet átalakítására.

A környezetvédelem feladata ezért nem az, hogy minden emberi beavatkozást eleve károsnak minősítsen. Sokkal inkább annak felismerése, hogy a beavatkozások milyen közvetlen és közvetett következményekkel járnak, és melyek azok a határok, amelyeket nem célszerű átlépni.

Az erdők története egy további fontos felismeréshez is elvezet.

Az ember sokáig elsősorban helyi környezetét alakította át. Egy erdő kivágásának következményeit rendszerint azok a közösségek érzékelték először, amelyek az adott területen éltek.

A népesség növekedésével, a kereskedelem terjedésével és a technikai fejlődéssel azonban a környezetalakítás fokozatosan túllépett a helyi határokon.

Egy város tüzelőanyag-szükséglete távoli erdőket is érinthetett. Egy hadiflotta megépítéséhez egész térségek faanyagát használhatták fel. A bányászat és a kohászat egyre nagyobb területekről igényelt nyersanyagokat és energiát.

A civilizáció növekedése tehát fokozatosan kiterjesztette az ember környezeti hatásainak földrajzi határait.

Ez a folyamat évszázadokkal később, az ipari forradalom során egészen új méreteket öltött.

Az erdők eltűnése volt az egyik első jele annak, hogy az ember már nem csupán résztvevője a természet működésének, hanem egyre nagyobb léptékben annak átalakítójává vált.

És ezzel elkezdődött egy olyan történet, amelyben a természeti erőforrások felhasználása, a gazdasági fejlődés és a környezeti következmények mind szorosabban összekapcsolódtak.

A fejezet fontosabb tudományos forrásai

- Izlandi Erdészeti Szolgálat – Az izlandi erdők története. Az eredeti erdőborítottság és az erdőirtás történeti áttekintése.
- Land and Forest Iceland – Az izlandi nyírerdők és a talaj széntartalma. Az erdő-helyreállítás ökológiai jelentősége.
- Davis és munkatársai (2024), Science Advances. A Húsvét-sziget egykori mezőgazdasági területeinek új felmérése.
- Moreno-Mayar és munkatársai (2024), Nature. A Húsvét-sziget népességtörténetének genetikai újraértékelése.
- Hunt és Lipo (2025), Journal of Archaeological Science. A behurcolt patkányok szerepének új vizsgálata a Húsvét-sziget erdőinek eltűnésében.
- Nature (2024) – A Húsvét-sziget összeomláselméletének újraértékelése.

3. Amikor visszatérnek az erdők

Az erdőirtás történetének váratlan fordulata

Évezredeken keresztül az emberi civilizáció fejlődését az erdők visszaszorulása kísérte. A mezőgazdasági területek növekedtek, a települések terjeszkedtek, a bányák, kohók és hajóépítő műhelyek pedig egyre több faanyagot igényeltek.

A folyamat különösen Európában volt látványos. A középkor végére a kontinens számos sűrűn lakott vidékén a természetes erdők jelentős része eltűnt, és helyüket szántóföldek, legelők, gyümölcsösök, települések és utak foglalták el.

Ha egy 18. századi európai természettudós előre akarta volna jelezni az erdők jövőjét, alighanem további pusztulásukra számított volna. A népesség növekedett, a városok terjeszkedtek, az ipar fejlődött. Minden arra utalt, hogy egyre több fára és egyre több mezőgazdasági területre lesz szükség.

A 19. századtól azonban több országban váratlan fordulat kezdődött.

Az erdők pusztulása először lelassult, majd bizonyos térségekben megállt. Később az erdővel borított terület növekedni kezdett.

A tudomány ezt a jelenséget *erdőátmenetnek* nevezi. Lényege, hogy egy ország vagy térség hosszú ideig tartó erdővesztés után olyan fejlődési szakaszba jut, amelyben a természetes visszaerdősülés és az erdőtelepítés együttesen már meghaladja az újabb erdőirtás mértékét.

Ez azonban nem egyik napról a másikra történt, és nem is minden európai országban azonos időpontban.

Az erdők visszatéréséhez több, egymással összefüggő gazdasági és technológiai változásra volt szükség.

A szén, amely megmentette a fák egy részét

Első pillantásra különösnek tűnhet, hogy az erdők visszatérésében az ipari forradalom egyik legfontosabb energiahordozója, a kőszén is szerepet játszott.

Ma a kőszénre elsősorban mint a légszennyezés és a szén-dioxid-kibocsátás egyik legfontosabb történeti forrására gondolunk. Ez indokolt, de a történetnek van egy másik oldala is.

Az iparosodás előtt Európában a fa volt az egyik legfontosabb tüzelőanyag. Fával fűtötték az otthonokat, faszenet használtak a kohászatban, és a különböző ipari tevékenységek is hatalmas mennyiségű faanyagot fogyasztottak.

A kőszén elterjedése fokozatosan csökkentette a tüzelőfa és a faszén iránti kereslet egy részét.

A folyamat Nagy-Britanniában különösen korán indult meg. A növekvő városok és ipari központok egyre nagyobb mennyiségű szenet használtak, majd a gőzgépek elterjedésével a szén az ipari energiatermelés meghatározó alapanyagává vált.

A vaskohászat fejlődésében is döntő szerepet játszott, hogy a faszenet sok feladatnál fokozatosan felváltotta a koksz, amelyet kőszénből állítottak elő.

Ezzel az ipar energiaigénye részben elszakadt az erdőktől.

Korábban egy nagyobb kohó működését végső soron a környező erdők növekedési üteme korlátozhatta. A szénbányászat elterjedésével a felhasználható energia mennyiségét már nem közvetlenül az adott térség faállománya határozta meg.

A változás nem jelentette azt, hogy megszűnt a fakitermelés. Az építkezések, a papírgyártás és más iparágak továbbra is jelentős mennyiségű fát igényeltek, egyes területeken pedig még sokáig fontos tüzelőanyag maradt a fa.

A fosszilis energiahordozók mégis hozzájárultak ahhoz, hogy Európa egyes vidékein mérséklődjön az erdőkre nehezedő nyomás.

Ennek azonban súlyos következménye lett.

Az ember korábban elsősorban a bioszféra viszonylag rövid idő alatt megújuló szénkészleteiből nyert energiát. A kőszén, majd a kőolaj és a földgáz felhasználásával egyre nagyobb mennyiségben kezdte felszabadítani azt a szenet is, amely geológiai idő alatt halmozódott fel a földkéregben.

A fa helyett elégetett szén tehát csökkenthette bizonyos erdők kitermelési terhelését, miközben új, globális környezeti problémát teremtett.

Ez a környezettörténet egyik fontos ellentmondása: **egy technológia megoldhat egy helyi környezeti problémát, miközben más léptékben újabbat idéz elő.**

Amikor kevesebb földön több élelmiszert termeltek

Az erdők visszatérésének másik meghatározó oka a mezőgazdaság átalakulása volt.

A hagyományos mezőgazdasági társadalmakban az élelmiszer-termelés növelésének egyik legegyszerűbb módja újabb földterületek művelésbe vonása volt.

Ha több gabonára volt szükség, újabb erdőket vágtak ki. Ha növekedett az állatállomány, további legelőket alakítottak ki.

A mezőgazdasági technológia fejlődésével azonban fokozatosan megváltozott a helyzet.

A hatékonyabb ekék, a vetésforgó, a növénynemesítés, majd a gépesítés és a műtrágyák elterjedése jelentősen növelte az egy hektáron előállítható termés mennyiségét.

A 20. században a mezőgazdasági termelékenység sok országban rendkívül gyorsan emelkedett. Egyre kevesebb mezőgazdasági munkás tudta megtermelni egyre több ember élelmiszerét.

A terméshozamok növekedése azonban önmagában még nem garantálja, hogy erdők szabadulnak fel. Ha egy termék előállítása jövedelmezőbbé válik, a termelők akár újabb

területeket is művelésbe vonhatnak. Ezért a mezőgazdasági fejlődés erdővédelmi hatása függött a gazdasági körülményektől, a földtulajdontól és a szabályozástól is.

Európa számos térségében azonban valóban lehetővé vált, hogy a növekvő népességet ne kizárólag újabb erdők feltörésével lássák el élelmiszerrel.

Különösen fontos változás volt a gyengébb minőségű mezőgazdasági területek felhagyása.

A meredek hegyoldalak, a köves, nehezen művelhető földek és a távoli legelők gazdasági jelentősége fokozatosan csökkent. A mezőgazdasági termelés egyre inkább a kedvezőbb adottságú területekre összpontosult.

A felhagyott földeken pedig megindulhatott a természetes növényzet visszatérése.

Először lágyszárú növények és cserjék telepedtek meg, később megjelentek az első fák. Ha a területen nem folytatódott intenzív legeltetés vagy rendszeres égetés, évtizedek alatt új erdő alakulhatott ki.

Ez különösen Dél- és Közép-Európa egyes hegyvidékein vált látványossá.

A falvakból a városokba

A mezőgazdaság átalakulásával egy időben Európa népességének egyre nagyobb része költözött városokba.

Az ipari munkahelyek, a kereskedelem és később a szolgáltatások fejlődése csökkentette a falusi mezőgazdasági munkától való függést.

A vidéki elvándorlás következtében számos, korábban művelt terület gazdátlanná vagy gazdaságilag jelentéktelenné vált.

A természet pedig fokozatosan visszafoglalta ezeket.

Az egykori kaszálók szélén megjelentek a cserjék, majd a fák. A felhagyott legelőkön és szántókon lassan erdős növényzet alakult ki.

A folyamat különösen ott volt gyors, ahol a közelben már léteztek erdők, amelyekből a magvak természetes úton eljuthattak az új területekre.

Nem minden elhagyott mezőgazdasági terület erdősült be. A helyi éghajlat, a talaj állapota és a legeltetés fennmaradása jelentősen befolyásolta a folyamatot.

Ahol azonban kedvezőek voltak a feltételek, ott az erdő visszatéréséhez nem feltétlenül kellett fákat ültetni.

Elég volt megszüntetni azt a folyamatos emberi beavatkozást, amely korábban megakadályozta a megtelepedésüket.

A természetes visszaerdősülés az európai erdőterület növekedésének egyik fontos tényezőjévé vált.



17. ábra: Idős európai bükkös. A különböző korú fák, az odvas törzsek és a korhadó faanyag számos élőlény számára biztosítanak élőhelyet.

Ez a folyamat ugyanakkor sajátos természetvédelmi dilemmát is teremtett. A hagyományos legeltetés és kaszálás évszázadokon át olyan fajgazdag gyepeket tartott fenn, amelyek önmagukban is jelentős természeti értéket képviseltek.



18. ábra: Szabályos sorokba telepített fenyőállomány. A hasonló korú és méretű fák megkönnyítik a gazdasági célú faanyagtermelést, de az ilyen állományok gyakran egyszerűbb ökológiai szerkezetűek.

Ha ezek erdősülnek be, növekedhet a fás területek aránya, de eltűnhetnek a nyílt élőhelyekhez kötődő növény- és állatfajok.

Vagyis az erdőterület növekedése nem minden esetben jelent automatikusan természetvédelmi javulást.

Az erdőgazdálkodás új szemlélete

A 18–19. században a faanyaghiány egyre több európai országban gazdasági és állami kérdéssé vált.

A bányászat, az építkezések, a hadseregek és a hajózás számára nélkülözhetetlen volt a fa. A készletek kimerülése ezért nem egyszerűen helyi gondot, hanem gazdasági és stratégiai veszélyt jelentett.

A német nyelvterületen különösen jelentős fejlődésnek indult a tervszerű erdőgazdálkodás.

Ennek egyik alapelve az volt, hogy hosszabb távon nem szabad több faanyagot kitermelni, mint amennyit az erdő képes újratermelni.

A tartamosság elve a modern fenntarthatósági gondolkodás egyik fontos történeti előzménye lett.

Az erdőket felmérték, állományukat nyilvántartották, a kitermelést előre tervezték, és egyre nagyobb szerepet kapott az új erdők telepítése.

Ez jelentős előrelépést jelentett a korábbi, sokszor ellenőrizetlen fakitermeléshez képest.

Ugyanakkor új problémát is létrehozott.

A gazdasági célú erdőgazdálkodás számára az ideális erdő gyakran olyan faállományt jelentett, amely gyorsan növekszik, egyenletes minőségű faanyagot szolgáltat, és viszonylag könnyen kitermelhető.

Ennek megfelelően sok helyen az elegyes, eltérő korú természetes erdőket egyetlen vagy néhány fafajból álló, szabályos szerkezetű ültetvények váltották fel.

Az erdő ugyan visszatért, de sokszor más formában.

Európa ismét zöldül

A 20. század második felére Európa számos országában tartósan növekedni kezdett az erdők területe.

A folyamat nemcsak a természetes visszaerdősülésnek volt köszönhető. Jelentős szerepet játszottak benne az állami erdőtelepítési programok, a tudatos erdőgazdálkodás, a mezőgazdasági szerkezetváltás és a gazdaság fejlődése is.

Spanyolországban nagy kiterjedésű erdőtelepítési programokat indítottak, Franciaországban jelentős területek erdősültek be, és Közép-Európa több országában is növekedett az erdőborítás.

Az európai erdők területe 1990 és 2025 között a FOREST EUROPE jelentése szerint mintegy 11 százalékkal növekedett. Az összehasonlítható adatsorban az erdőterület megközelítette a 232 millió hektárt, ami körülbelül 35 százalékos erdősültséget jelent.

Forrás: FOREST EUROPE, State of Europe's Forests 2025. A jelentés földrajzi lehatárolása szerint.

Ez figyelemre méltó eredmény egy olyan kontinensen, ahol a korábbi évszázadokban hatalmas területeken irtották ki az erdőket.

A növekedés azonban nem minden országban volt egyenletes, és az elmúlt időszakban a bővülés üteme lassult.

A statisztikák értelmezésénél arra is figyelni kell, hogy a különböző jelentések Európa eltérő földrajzi területeit vizsgálhatják. Az Európai Unió, a FOREST EUROPE által lefedett országok és a teljes földrajzi Európa – különösen Oroszország ázsiai területeinek beszámítása szempontjából – nem ugyanazt jelentik.

Az erdőterület változásáról szóló számadatokat ezért mindig a pontos földrajzi lefedettségükkel együtt kell értelmezni.

Mindezek mellett az európai erdők területi növekedése valós és jelentős folyamat.

De vajon ez azt jelenti, hogy a kontinens természetes erdővilága is helyreállt?

A válasz ennél jóval összetettebb.

Magyarország: az Alföld fásításától a mai erdőkig

Magyarország erdőtörténete jól példázza az európai változásokat.

A történelmi idők során az erdők kiterjedése jelentősen csökkent. A mezőgazdaság terjedése, a legeltetés, a települések fejlődése és a fakitermelés mind hozzájárultak a természetes növényzet átalakulásához.

A 19. századra a mai Magyarország területén különösen az Alföldön vált jelentőssé az erdők hiánya.

Az erdőtelepítések egyik fontos célja éppen a homokos, szélnek kitett területek megkötése volt.

Az Alföld egyes térségeiben telepített erdők mérsékelték a széleróziót, csökkentették a homok mozgását, és gazdaságilag hasznosítható faanyagot biztosítottak.

A telepítések során azonban gyakran olyan fafajokat alkalmaztak, amelyek nem tartoztak az adott térség eredeti erdőalkotó fajai közé.

Az akác például Észak-Amerikából került Európába, és Magyarországon különösen nagy jelentőségre tett szert. Gyors növekedése, viszonylagos szárazságtűrése, faanyagának hasznosíthatósága és méhészeti jelentősége miatt széles körben telepítették.

Az akác ugyanakkor idegenhonos, sok területen inváziós viselkedésű faj. Megváltoztathatja a talaj nitrogénviszonyait, és kiszoríthatja a természetes növénytársulások egyes fajait.

Hasonlóan összetett a különböző fenyőtelepítések megítélése is. Egyes telepítések fontos talajvédelmi vagy gazdasági célokat szolgáltak, de a helyi adottságokhoz kevésbé illeszkedő állományok sérülékennyé válhatnak a szárazsággal, a kártevőkkel és a szélsőséges időjárással szemben.

Magyarország erdőterülete a 20. század során jelentősen növekedett. Az ország erdősültsége a század eleji, nagyjából 12 százalékos értékről napjainkra 20 százalék fölé emelkedett.

Ez jelentős természetvédelmi, tájgazdálkodási és gazdasági eredmény, ugyanakkor a mennyiségi növekedés mögött nagyon különböző természetességű erdőállományok találhatók.

A magyar erdők között vannak természetközeli bükkösök, tölgyesek és ártéri erdők, de találunk nagy kiterjedésű, gazdasági célú akácosokat, nemesnyárasokat és más telepített állományokat is.

Az erdőterület növekedése tehát itt sem azonos a természetes élőhelyek teljes helyreállásával.

Tarvágás és tűzifa: amikor az erdő politikai kérdéssé válik

Magyarország erdőterülete az elmúlt évszázadban jelentősen növekedett, az erdők használatáról azonban ma is komoly viták folynak.

Ezek középpontjában különösen a tarvágás, a természetvédelmi területeken végzett fakitermelés és a fa energetikai hasznosítása áll.

A köznyelvben tarvágásnak nevezünk szinte minden olyan fakitermelést, amely után nagyobb, fáktól megfosztott terület marad vissza. Az erdészeti szaknyelv azonban különbséget tesz a tarvágás és a fokozatos felújítóvágás befejező művelete, a végvágás között. Az előbbi esetben az állományt lényegében egy lépésben termelik ki, míg az utóbbinál a kitermelést több szakaszban végzik, lehetőséget adva a természetes újulat megjelenésére.

A természetvédelmi következmények azonban nem kizárólag az alkalmazott eljárás elnevezésétől függenek. Ha egy erdőterületről rövid idő alatt eltűnik az idős faállomány jelentős része, az megváltoztatja a fényviszonyokat, a talaj mikroklímáját, a vízháztartást és az élővilág feltételeit.

Különösen érzékeny kérdés ez a természetvédelmi oltalom alatt álló erdőkben.

Az erdőgazdálkodás szereplői a faanyag folyamatos biztosítását, a tervezett erdőfelújítást és a gazdasági fenntarthatóságot hangsúlyozzák. A természetvédelmi szervezetek ezzel szemben elsősorban az idős erdők, az élőhelyek folytonossága és a biológiai sokféleség megőrzését sürgetik. A két szempont nem minden esetben összeegyeztethetetlen, de a védett erdőkben végzett fakitermelés korlátai tartós vitát váltanak ki.

Magyarországon a konfliktus 2022-ben különösen élessé vált, amikor az energiaválság idején a kormány a tűzifaellátás biztosítása érdekében átmenetileg könnyített bizonyos fakitermelési szabályokon. A rendelkezések természetvédelmi tiltakozást váltottak ki. A szabályozás kérdése később is napirenden maradt, és alkotmányossági vitákat is eredményezett.



19. ábra a könyvhöz: Fakivágás a Duna–Dráva Nemzeti Parkhoz tartozó gemenci erdőben, 2026 januárjában. A mintegy százéves kőrisállomány kitermelése jól szemlélteti a természetvédelmi szempontok és a gazdasági célú erdőhasználat közötti vitát.

Forrás: Magyar Hang – Tarvágás a Gemencben.

A konfliktus azonban nem érthető meg az ország energiaellátásának figyelembevétele nélkül.

Magyarországon ma is sok háztartás használ tűzifát, különösen vidéken. Egyes családok számára a fa nem kényelmi vagy hagyományőrző választás, hanem a téli fűtés egyik legfontosabb, gazdaságilag elérhető lehetősége.

A Központi Statisztikai Hivatal 2025-ös statisztikai évkönyvében közölt adatok szerint a lakások mintegy ötödében a tűzifa az elsődleges fűtési energiahordozó. Ez önmagában is mutatja, hogy a fakitermelés kérdése nem választható el a lakosság megélhetésétől.

A fával fűtő háztartások között jelentős különbségek vannak. Egy korszerű, jól szigetelt épület hatékony fatüzelésű berendezése lényegesen kevesebb tüzelőanyagot igényelhet, mint egy rosszul szigetelt ház régi kályhája. A nedves fa és az elavult tüzelőberendezések ráadásul jelentős helyi légszennyezést okozhatnak.

A fa energetikai felhasználása nem korlátozódik a háztartásokra. Magyarországon biomasszát felhasználó erőművek és távhőrendszerek is működnek, amelyek energiaellátásuk egy részét fás biomasszából biztosítják.

Ennek megítélése szintén összetett.

A fa megújuló energiahordozó lehet, amennyiben a kitermelt állomány helyén új erdő fejlődik. A megújulás azonban nem jelenti azt, hogy a fa elégetése azonnal szén-dioxid-semleges lenne. Az égés során a fában tárolt szén gyorsan a légkörbe kerül, míg annak újbóli megkötése a növekvő erdőben évtizedeket vehet igénybe.

Fontos különbség van aközött is, hogy egy erőmű erdészeti melléktermékét és másként nehezen hasznosítható faanyagot használ fel, vagy olyan törzsfát éget el, amelynek kitermelése értékes erdei élőhelyeket érint.

A fa energetikai hasznosításának környezeti mérlegét ezért nem lehet pusztán azzal eldönteni, hogy a fa megújuló erőforrás.

A fakitermelés visszafogása ugyanakkor a jelenlegi körülmények között bizonyos háztartások fűtési költségeit vagy a biomasszát használó létesítmények működését is érintheti. A természetvédelmi korlátozás ezért könnyen szociális és energiapolitikai kérdéssé válik.

A lehetséges megoldásokat nem feltétlenül a két véglet – a teljes fakitermelési tilalom vagy a korlátozások nélküli erdőhasználat – között kell keresni.

A magas természetességű, idős és védett erdők fokozott megóvása mellett gazdasági célú erdőkben továbbra is lehet faanyagot termelni. A folyamatos erdőborítást biztosító gazdálkodási módszerek, a hatékonyabb faanyag-felhasználás, az épületek hőszigetelése és a korszerűbb fűtési rendszerek egyaránt csökkenthetik az erdőkre nehezedő terhelést.

Mindez azonban beruházásokat, hosszú távú tervezést és társadalmi egyeztetést igényel.

A magyarországi tarvágásvita ezért jóval többről szól, mint arról, hogy szabad-e fákat kivágni.

Arról kell dönteni, hogy az erdők különböző szerepei – a faanyagtermelés, az energiaellátás, a természetvédelem, a víz- és talajvédelem, valamint a rekreáció – között milyen egyensúlyt alakítunk ki.

A környezetvédelem akkor lehet tartósan eredményes, ha a természeti értékek megőrzésével együtt azokat az embereket is figyelembe veszi, akiknek megélhetése és mindennapi energiaellátása ma még az erdők használatától függ.

Erdő vagy faültetvény?

Egy laikus számára könnyen úgy tűnhet, hogy ahol sok fa nő egymás mellett, ott erdő van.

Ökológiai szempontból azonban lényeges különbség lehet két, első pillantásra hasonlóan zöld terület között.

Egy természetes vagy természetközeli erdő rendkívül összetett élő rendszer.

A fák között gyakran több faj található, és az egyes példányok különböző korúak és méretűek. Az idős fák mellett fiatal csemeték növekednek, a lombkorona alatt cserjék, lágyszárú növények, mohák és gombák élnek.

A kidőlt fák és az elhalt ágak nem egyszerűen haszontalan hulladékok, hanem az ökoszisztéma fontos részei.

A korhadó faanyagban rovarok és gombák élnek, amelyek számos madárnak és más állatnak nyújtanak táplálékot. Az odvas fák fészkelőhelyet biztosítanak, a lehulló levelek és ágak pedig hozzájárulnak a talaj szervesanyag-készletének utánpótlásához.

Az erdő életének jelentős része a talajban zajlik.

A gyökerek, gombák, baktériumok és más talajlakó szervezetek bonyolult kapcsolatrendszert alkotnak, amely részt vesz a tápanyagok körforgásában és a talaj szerkezetének fenntartásában.

Ezzel szemben egy ipari célú faültetvény rendszerint jóval egyszerűbb felépítésű.

A fákat gyakran szabályos sorokba ültetik, hasonló korúak, és sok esetben egyetlen fafajhoz tartoznak. A gazdálkodás célja meghatározott mennyiségű és minőségű faanyag előállítása.

Az állományt előre tervezett időpontokban ritkítják, majd kitermelik, és újabb fákat telepítenek a helyére.

A módszer gazdaságilag hatékony lehet. A kitermelés tervezhető, a gépesítés könnyebb, a faanyag minősége viszonylag egyenletes.

Ökológiai szempontból azonban az ilyen ültetvények gyakran szegényesebb élőhelyet kínálnak, mint egy természetközeli erdő.

Kevesebb lehet bennük az idős, odvas vagy korhadó fa, egyszerűbb az állomány szerkezete, és bizonyos élőlénycsoportok számára hiányozhatnak a megfelelő életfeltételek.

A különbség azonban nem fekete-fehér. Egy őshonos fafajokból álló, megfelelően kezelt gazdasági erdő is lehet fajgazdag, míg egy természetes úton létrejött, fiatal erdő még viszonylag egyszerű szerkezetű lehet.

Az erdők természetessége nem két végletes kategória, hanem fokozatok sorozata.

Miért jelent kockázatot az egyetlen fafaj?

Az ipari faültetvények egyik fontos sajátossága az állomány egyöntetűsége.

Ha egy nagy területen azonos fafajhoz tartozó, hasonló korú fák nőnek, akkor a teljes állomány gyakran hasonló módon reagál az időjárásra, a betegségekre és a kártevőkre.

Egy adott kórokozó vagy rovarfaj számára így kedvező feltételek alakulhatnak ki.

A közép-európai lucfenyvesek pusztulása látványos példája ennek a sérülékenységnek.

A lucfenyőt sok helyen természetes elterjedési területén kívül vagy annak kedvezőtlenebb részein is nagy kiterjedésben telepítették. A melegedő éghajlat, a tartós szárazság és a szúbogarak felszaporodása együttesen hatalmas károkat okozott.



20. ábra: Elpusztult lucfenyők a németországi Harz Nemzeti Parkban. A szárazság és a szúbogarak együttes hatására nagy területeken pusztultak el a fák. Az elhalt állomány alatt új növényzet jelenik meg.

Forrás: Harz Nemzeti Park.

A fák vízhiány miatt legyengülhetnek, így védekezőképességük is csökken. Ha a szúbogarak számára kedvező körülmények alakulnak ki, a pusztulás gyorsan kiterjedhet nagyobb területekre.

A változatosabb összetételű erdőkben egyetlen fafajt támadó kártevő általában nem tudja ugyanilyen módon az egész állományt elpusztítani.

Ez nem jelenti azt, hogy a vegyes erdők minden körülmények között ellenállóbbak, vagy hogy a természetes erdőket nem érhetik súlyos károk. Aszály, tűzvész, vihar és kórokozók természetes erdőkben is pusztíthatnak.

A fafajok, korosztályok és szerkezeti elemek változatossága azonban gyakran növeli annak esélyét, hogy egy károsító esemény után az erdő legalább egy része fennmaradjon, és megkezdődhessen a regeneráció.

A biológiai sokféleség így nem csupán esztétikai vagy természetvédelmi érték, hanem a működőképesség egyik fontos biztosítéka is.

Egy erdő nem attól természetes, hogy senki sem ültette

A természetes és telepített erdők megkülönböztetése további pontosítást igényel.

Egy ember által telepített erdő idővel fokozatosan természetesebbé válhat, ha őshonos fajokból áll, megfelelő környezeti feltételek között fejlődik, és lehetőséget kap arra, hogy természetes folyamatok alakítsák.

Fordítva is igaz: egy természetes eredetű erdő ökológiai értéke jelentősen csökkenhet, ha rendszeresen eltávolítják belőle az idős fákat és a holtfát, vagy egyoldalú gazdálkodással elszegényítik az élőhelyeket.

Ezért az erdő természetességét nem lehet egyszerűen a telepítés tényéből vagy a fák számából meghatározni.

Fontos szempont a fafajok összetétele, a fák kora, az állomány térbeli változatossága, a holtfa mennyisége, a természetes megújulás lehetősége és az emberi beavatkozás intenzitása.

Az erdő időbeli folytonossága különösen jelentős.

Egy több évszázada erdővel borított területen olyan talajlakó élőlények, gombák és növények maradhattak fenn, amelyek csak nagyon lassan képesek új élőhelyeket elfoglalni.

Ha egy ősi erdőt kivágnak, majd néhány év múlva fákat ültetnek a helyére, a terület ismét erdőként jelenhet meg a statisztikákban.

Az eredeti ökoszisztéma helyreállása azonban sokkal hosszabb időt vehet igénybe, és bizonyos elveszett értékek egyáltalán nem pótolhatók.

Az erdő tehát nem pusztán meghatározott számú fa adott területen.

Az erdő élőlények és ökológiai folyamatok történetileg kialakult rendszere.

Mennyi szenet tárol az erdő?

Az erdők szerepe a klímaváltozás elleni küzdelemben az utóbbi évtizedekben különösen nagy figyelmet kapott.

A fák a fotoszintézis során szén-dioxidot vesznek fel a légkörből. A szén egy részét törzsükben, ágaikban, gyökereikben és leveleikben tárolják, más része pedig az avaron és az elhalt növényi maradványokon keresztül a talajba kerül.

Az erdők így jelentős szénraktárakat alkotnak.

Az új erdők növekedésük során szén-dioxidot vonhatnak ki a légkörből, ezért az erdőtelepítés és a természetes visszaerdősülés bizonyos körülmények között hozzájárulhat az éghajlatváltozás mérsékléséhez.

De itt sem elegendő egyszerűen megszámolni az elültetett fákat.

A tárolt szén mennyisége függ a fafajtól, az erdő korától, a talaj tulajdonságaitól, az éghajlattól és a gazdálkodás módjától.

Egy idős természetes erdő jelentős szénkészlettel rendelkezhet az élő fákban, az elhalt faanyagban és a talajban. Egy fiatal ültetvény gyorsan növekedhet, de a teljes ökoszisztéma szénkészlete ettől még kisebb lehet.

A fakitermelés után a szén további sorsa attól is függ, mire használják a kitermelt faanyagot.

Ha a fából hosszú élettartamú épületelem vagy bútor készül, a benne tárolt szén akár évtizedekig vagy évszázadokig is megmaradhat. Ha a fát elégetik, a szén-dioxid gyorsan visszakerül a légkörbe.

A természetes erdők megőrzése és az új erdők telepítése ezért nem egymást helyettesítő, hanem egymást kiegészítő feladatok lehetnek.

Egy frissen telepített erdő nem tekinthető egyszerűen egy kivágott, több száz éves természetes erdő egyenértékű pótlásának.

A faültetés nem mindenütt jelent természetvédelmet

Az erdőtelepítést ma gyakran általánosan kedvező környezetvédelmi tevékenységnek tekintjük.

Sok esetben valóban az.

A megfelelő helyre, megfelelő fafajokkal telepített erdő segíthet a talaj védelmében, új élőhelyeket teremthet, javíthatja a helyi mikroklímát, és hozzájárulhat a szén megkötéséhez.

De léteznek olyan élőhelyek, amelyeken a fák telepítése kifejezetten káros lehet.

A természetes gyepek, sztyeppék, szavannák és bizonyos vizes élőhelyek nem azért fátlanok, mert korábban valaki feltétlenül kiirtotta az erdőt.

Ezek saját jogon létező, gyakran rendkívül fajgazdag ökoszisztémák.

Ha egy természetes gyepet sűrű erdőültetvénnyé alakítanak, eltűnhetnek a nyílt élőhelyekhez alkalmazkodott növények és állatok.

A fák vízfogyasztása is fontos tényező. Bizonyos száraz területeken a nagy kiterjedésű faültetvények csökkenthetik a talajvíz vagy a felszíni vízkészletek elérhetőségét.

A tőzeglápok és más szénben gazdag talajok megbolygatása pedig akár jelentős üvegházhatásúgáz-kibocsátást is okozhat.

Az erdőtelepítés tehát nem önmagában jó vagy rossz tevékenység.

A helyes kérdés az, hogy az adott területen milyen ökoszisztéma működött természetes módon, milyen környezeti károsodást szeretnénk helyreállítani, és milyen következményekkel jár a választott beavatkozás.

A természetvédelem célja nem az, hogy minden négyzetméteren fák nőjenek.

A cél a működőképes, változatos és ellenálló ökoszisztémák megőrzése, illetve helyreállítása.

Európa erdői és a láthatatlan import

Az európai erdőterület növekedésének van még egy kevésbé látványos oldala.

A gazdagabb országok gazdasági fejlődése során nemcsak hatékonyabbá vált a mezőgazdaságuk, hanem egyre több terméket importáltak is.

Élelmiszerek, takarmányok, faanyagok, papírtermékek és más áruk érkeznek a világ különböző részeiből.

Egy ország erdőterülete tehát úgy is növekedhet, hogy közben fogyasztása hozzájárul más országok erdőinek pusztulásához.

Ha például egy európai ország mezőgazdasági földjeinek egy részén ismét erdő nő, miközben az állattenyésztéséhez szükséges takarmányt olyan térségből importálja, ahol annak előállítása érdekében erdőket irtanak, akkor a környezeti terhelés részben áthelyeződött.

A helyi statisztika javulhat, a globális mérleg azonban nem feltétlenül.

Ez nem jelenti azt, hogy az európai erdősülés pusztán látszateredmény lenne. A természetes visszaerdősülés, az erdővédelem és az erdőtelepítések valódi környezeti előnyökkel járhatnak.

Arra azonban figyelmeztet, hogy egy ország környezeti teljesítményét nem lehet kizárólag a saját területén megfigyelhető változásokból megítélni.

A globális kereskedelem korában az ember környezeti hatása gyakran messze túlterjed országa határain.

Ugyanez a probléma később az ipari termelés, a bányászat, az energiatermelés és a hulladékkezelés esetében is újra megjelenik.

A visszatérő erdők tanulsága

Az európai erdők története fontos ellenpélda arra az elképzelésre, hogy a gazdasági fejlődés szükségszerűen mindig növekvő környezetpusztítással jár.

A fa tüzelőanyagként való részleges kiváltása, a mezőgazdasági termelékenység növekedése, a vidéki földhasználat átalakulása, az erdővédelmi szabályozás és a tudatos erdőtelepítés együttesen lehetővé tették, hogy sok országban megforduljon az évszázados erdővesztés.

Ez valódi eredmény.

Ugyanakkor az európai tapasztalat nem jelenti azt, hogy a természet automatikusan helyreáll, amint egy társadalom meggazdagszik.

A gazdasági fejlődés új környezeti terheléseket is létrehozhat, és az erdők visszatérése gyakran nem az eredeti természetes ökoszisztémák újjászületését jelenti.

A természetes erdő, a gazdasági célú erdő és a gyors növekedésű faültetvény között jelentős különbségek lehetnek. Mindegyiknek megvan a maga szerepe, de nem helyettesítik korlátlanul egymást.

A faanyag előállítására szükségünk van. Egy megfelelően kezelt gazdasági erdő megújuló nyersanyagot biztosíthat, és csökkentheti más, nagyobb környezeti terhelésű anyagok használatát.



21. ábra: Az elhalt fák között új generáció nő fel a Harz Nemzeti Parkban. A pusztulás és az újjászületés az erdő természetes életciklusának is része, bár a változás sebességét és mértékét az emberi tevékenység is befolyásolhatja.

Forrás: Harz Nemzeti Park.

A természetközeli erdők megőrzése azonban más célt szolgál: olyan élő rendszereket védünk velük, amelyek összetettségét és történeti folytonosságát emberi technológiával csak korlátozottan tudjuk pótolni.

A két feladatot nem szabad összekeverni.

Az erdők visszatérése végül arra is rámutat, hogy az ember és a természet kapcsolata nem kizárólag a pusztítás története.

Az ember képes lerontani a környezetét, de képes felismerni a károkat, megváltoztatni gazdálkodási módszereit, és bizonyos feltételek mellett elősegíteni a természet regenerálódását is.

Az igazi előrelépés azonban nem pusztán az, ha több fát ültetünk. Hanem az, ha megtanuljuk megkülönböztetni a nyersanyagtermelést az ökoszisztémák megőrzésétől, és mindkettőt a maga helyén, megfelelő eszközökkel végezzük.

Az erdők európai visszatérése ezért egyszerre sikertörténet és figyelmeztetés.

Sikertörténet, mert bizonyítja, hogy a hosszú ideig tartó környezetpusztulás bizonyos körülmények között megfordítható.

Figyelmeztetés, mert megmutatja, hogy a környezet állapotát nem lehet egyetlen mutatóval – még az erdőterület nagyságával sem – megbízhatóan leírni.

A következő fejezetekben egyre gyakrabban találkozunk majd ezzel a problémával: a gazdasági és technológiai fejlődés egyes környezeti terheket csökkent, másokat viszont növel, áthelyez vagy olyan módon alakít át, amelynek következményeit csak később ismerjük fel.

Amikor az élővilág csendben eltűnik

Biológiai sokféleség, beporzók, mezőgazdasági tájak, feldarabolódó élőhelyek és inváziós fajok

A környezetvédelemről szóló viták középpontjában ma elsősorban a szén-dioxid-kibocsátás és a globális felmelegedés áll. A politikai célkitűzéseket gyakran tonnában mérhető kibocsátáscsökkentéshez, megújulóenergia-kapacitásokhoz vagy erdőtelepítési programokhoz kötik.

Csakhogy a természet állapotát nem lehet egyetlen mérőszámmal jellemezni.

Egy terület lehet zöld anélkül, hogy gazdag élővilágnak adna otthont. Egy szabályosan telepített erdő jelentős mennyiségű szén-dioxidot köthet meg, miközben sokkal kevesebb növény- és állatfaj számára biztosít megfelelő élőhelyet, mint egy természetes erdőtársulás. Egy intenzíven művelt mezőgazdasági terület hatalmas mennyiségű élelmiszert termelhet, miközben fokozatosan eltűnnek belőle a vadvirágok, a rovarok és a madarak.

A természet pusztulása ráadásul nem mindig látványos.

Egy erdőtűz, egy kiszáradó tó vagy egy korallzátony kifehéredése könnyen megragadja a figyelmet. Sokkal nehezebb észrevenni, hogy egy réten évről évre kevesebb lepke repül, egy szántóföld fölött megritkulnak a madarak, vagy egy patakból eltűnik néhány korábban gyakori halfaj.

Pedig ezek a változások egy összetett folyamat részei.

Az élővilág fogyása nem egyszerűen azt jelenti, hogy egyre kevesebb állat és növény él a Földön. A természetet fenntartó kapcsolatrendszerek is átalakulnak, gyengülnek vagy megszakadnak.

Mit jelent valójában a biológiai sokféleség?







22. ábra: A biológiai sokféleség nemcsak a fajok számát jelenti, hanem azok genetikai változatosságát, a különböző élőhelyeket és az élőlények közötti kapcsolatokat is.

A biológiai sokféleség, vagyis a biodiverzitás fogalma három alapvető szintet foglal magában.

Az első a genetikai változatosság. Egy faj egyedei nem teljesen egyformák. A genetikai különbségek hozzájárulhatnak ahhoz, hogy egyes egyedek jobban ellenálljanak betegségeknek, hőmérsékleti szélsőségeknek vagy más környezeti változásoknak.

A második a fajok sokfélesége. Egy természetes élőhelyen növények, állatok, gombák és mikroorganizmusok sokasága élhet együtt.

A harmadik az ökoszisztémák változatossága. Az erdők, gyepek, lápok, folyók, tavak, tengerek és más élőhelyek eltérő közösségeknek adnak otthont, amelyek egymással is kapcsolatban állnak.

Egy rét élővilága például jóval több a rajta növő füvek és virágok összességénél.

A növények táplálékot biztosítanak a növényevő állatoknak. A virágokat rovarok porozzák be. A rovarokat madarak, pókok és más állatok fogyasztják. A talajban gombák, baktériumok és apró állatok bontják le az elhalt szerves anyagokat, visszajuttatva a tápanyagokat a körforgásba.

Ha ebből a rendszerből egyes szereplők eltűnnek, a következmények más fajokra is átterjedhetnek.

A természet tehát nem különálló fajok gyűjteménye, hanem egymással összekapcsolódó folyamatok hálózata.

Ez magyarázza, hogy egy élőhely pusztulása olykor jóval súlyosabb következményekkel járhat, mint amire pusztán az eltűnt fajok számából következtetnénk.

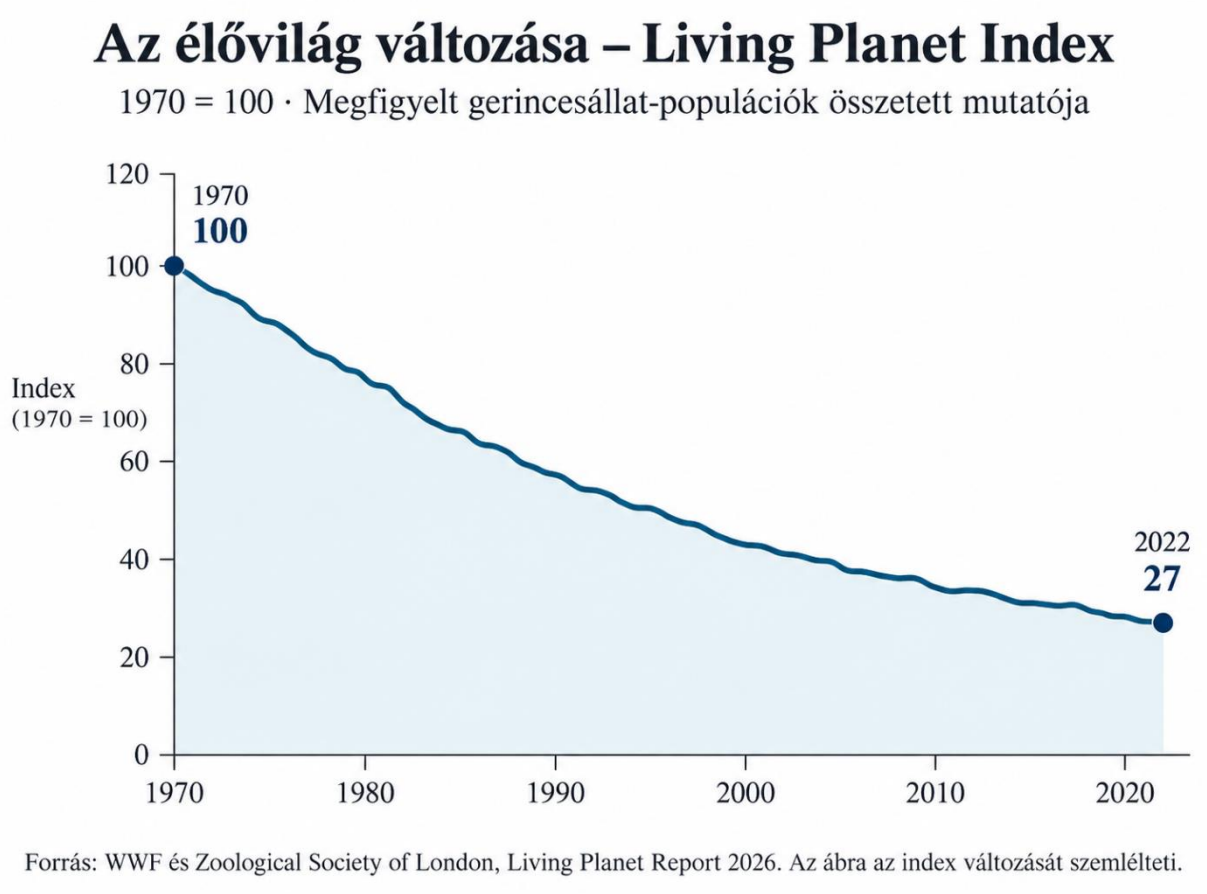
Mekkora a veszteség?

Az élővilág fogyásáról szóló adatok értelmezésekor különösen fontos megkülönböztetni a fajok kihalását, az egyedek számának csökkenését és a helyi állományok változását.

A IPBES – a biológiai sokféleséggel és az ökoszisztéma-szolgáltatásokkal foglalkozó nemzetközi tudományos testület – 2019-es globális értékelése szerint mintegy egymillió állat- és növényfajt fenyegethet kihalás, sokukat akár néhány évtizeden belül, ha a veszélyeztető folyamatok nem változnak. Ez becslés a kihalási kockázatra, nem azt jelenti, hogy egymillió faj már eltűnt.

A WWF 2026 októberében közzétett Living Planet Report jelentése egy másik mutatóval szemlélteti a folyamatot.

A jelentés szerint a vizsgált vadon élő gerincesállat-populációk nagyságát követő Living Planet Index 1970 és 2022 között átlagosan 73 százalékkal csökkent. A számítás 5790 faj 35 803 állományának megfigyelési adataira épül.



Forrás: WWF és Zoological Society of London, Living Planet Report 2026. Az ábra az index változását szemlélteti.

Ezt az adatot gyakran félreértelmezik.

A 73 százalékos csökkenés nem jelenti azt, hogy a Föld állatainak 73 százaléka elpusztult, vagy hogy ennyi faj kihalt.

A mutató a megfigyelt állományok nagyságának átlagos, geometriai átlagon alapuló változását fejezi ki. A vizsgált állományok között csökkenők, stabilak és növekvők egyaránt vannak. Az index nem az összes élő állat egyedszámának népszámlálása.

Az eredmény ettől még komoly figyelmeztetés. Sok élőhelyen olyan mértékű állománycsökkenések történtek, amelyek az ökológiai kapcsolatok működését is veszélyeztethetik.

A csökkenés különösen súlyos az édesvízi rendszerekben. A 2026-os jelentésben a megfigyelt édesvízi populációk indexe 85 százalékkal, a szárazföldieké 69 százalékkal, a tengeri populációké 59 százalékkal csökkent a vizsgált időszakban.

Az élővilág fogyása tehát nem kizárólag az erdőirtás vagy a klímaváltozás következménye. A folyók átalakítása, a mezőgazdasági terjeszkedés, a túlhalászat, a szennyezés és az idegenhonos fajok terjedése szintén jelentős szerepet játszik benne.

Amikor a mezőgazdasági táj elveszíti az élővilágát







23. ábra: A változatos mezőgazdasági táj sövényeket, fasorokat, réteket és kisebb parcellákat foglalhat magában. A nagy táblás művelés nagyobb gépesítési hatékonyságot tesz lehetővé, de gyakran csökkenti az élőhelyek változatosságát.

Az európai mezőgazdaság az elmúlt évszázadban rendkívül sokat változott.

A korábbi mozaikos tájban szántóföldek, legelők, kaszálók, fasorok, sövények, vízfolyások és kisebb erdőfoltok váltották egymást.

Ezek az élőhelyek nem feltétlenül érintetlen természeti területek voltak. Jelentős részük emberi használat mellett alakult ki és maradt fenn.

A hagyományos kaszálás, legeltetés és kisebb táblás gazdálkodás azonban sok növény- és állatfaj számára megfelelő életfeltételeket biztosíthatott.

A modern mezőgazdaság fejlődése jelentősen növelte a terméshozamokat. A gépesítés, a műtrágyák, a növényvédő szerek, a korszerű vetőmagok és az öntözés sok térségben alapvető szerepet játszott az élelmiszer-ellátás javításában.

Ezzel párhuzamosan azonban a mezőgazdasági táj szerkezete is megváltozott.

A kisebb parcellákat összevonták, a sövényeket és fasorokat sok helyen eltávolították, egyes nedves területeket lecsapoltak, és nagy összefüggő szántóföldeket alakítottak ki.

A gazdálkodás gazdasági szempontból hatékonyabbá válhatott, miközben egyes fajok elveszítették táplálkozó- és fészkelőhelyeiket.

Különösen jól mutatja ezt a mezőgazdasági területeken élő madarak állományának alakulása.

Az Európai Környezetvédelmi Ügynökség adatai szerint az Európai Unióban a gyakori mezőgazdasági madarak állományindexe 1990 és 2024 között mintegy 41 százalékkal csökkent. Ugyanebben az időszakban az erdei madarak indexe hozzávetőleg 8 százalékkal esett vissza.

A különbség figyelemre méltó.

A mezei pacsirták, foglyok, fürjek és más mezőgazdasági élőhelyekhez kötődő madarak számára a táj változatossága, a táplálék mennyisége és a megfelelő költőhelyek megléte meghatározó.

Ha eltűnnek a mezsgyék, csökken a rovarok mennyisége, vagy a mezőgazdasági munkák időzítése kedvezőtlenül érinti a fészkelést, az állományok visszaeshetnek.

A gyepek esetében egy másik ellentmondás is jelentkezik.

Nemcsak a túl intenzív használat lehet káros, hanem bizonyos hagyományosan kezelt élőhelyek teljes felhagyása is.

Egy fajgazdag, kaszálással vagy legeltetéssel fenntartott rét cserjésedni, majd erdősödni kezdhet, ha megszűnik a korábbi használat. Ez természetes szukcessziós folyamat, de közben eltűnhetnek azok a fajok, amelyek a nyílt, napfényes gyepekhez alkalmazkodtak.

Így előfordulhat, hogy egy területen növekszik a fás növényzet aránya, miközben a természetvédelmi szempontból értékes gyepi fajok visszaszorulnak.

Ez az egyik legjobb példa arra, miért nem azonos a természetvédelem az erdőterület mindenáron történő növelésével.

A beporzók: apró élőlények, nélkülözhetetlen kapcsolatok





24. ábra: A vadméhek, poszméhek, lepkék, zengőlegyek és más beporzók a természetes növénytársulások és a mezőgazdasági termelés működésében is fontos szerepet töltenek be.

A beporzók fogyása a biológiai sokféleség csökkenésének egyik legközvetlenebbül érthető példája.

A virágos növények jelentős része állatok segítségével szaporodik. A rovarok a virágok felkeresése közben virágport szállítanak egyik növényről a másikra, lehetővé téve a megtermékenyítést.

A legismertebb beporzó a házi méh, de a természetes beporzásban vadméhek, poszméhek, lepkék, molyok, legyek, bogarak, egyes madarak és denevérek is részt vesznek.

A házi méh és a vadon élő beporzók szerepét azonban nem szabad összekeverni.

A méhészek által tartott házi méh gazdaságilag fontos, emberi kezelés alatt álló faj. A vadon élő beporzók sokfélesége viszont olyan ökológiai kapcsolatrendszert alkot, amelyet egyetlen tenyésztett faj nem feltétlenül képes helyettesíteni.

Az IPBES 2016-os átfogó értékelése szerint a világ vezető élelmiszernövény-típusainak több mint háromnegyedénél a terméshozam vagy a termés minősége legalább részben függ az állati beporzástól.

Ez az adat nem azt jelenti, hogy az emberiség élelmiszerének háromnegyede eltűnne a beporzók nélkül.

A világ mezőgazdasági termésmennyiségének jelentős részét olyan növények adják, például a búza, a rizs és a kukorica, amelyek nem vagy alig függnek állati beporzástól.

A beporzók szerepe viszont kiemelkedő sok gyümölcs, olajos mag, dióféle és zöldségnövény termesztésében.

Ezért a beporzók fogyása nem feltétlenül elsősorban az élelmiszer összmennyiségét veszélyezteti, hanem a táplálkozás változatosságát, egyes termények elérhetőségét, árát és a természetes növényközösségek fennmaradását.

A vadon élő beporzók számára több tényező együttesen okozhat problémát.

A virágos élőhelyek eltűnése csökkenti a táplálék mennyiségét. A mezőgazdasági vegyszerek közvetlen vagy közvetett hatásokat gyakorolhatnak rájuk. A betegségek és élősködők bizonyos állományokat súlyosan károsíthatnak, miközben a klímaváltozás módosíthatja a növények virágzási idejét és a beporzók aktivitását.

Ha egy rovarfaj megjelenése és az általa látogatott növény virágzása időben eltávolodik egymástól, a korábban jól működő kapcsolat gyengülhet.

A természetben tehát nem csupán az számít, hogy egy faj jelen van-e.

Az is fontos, hogy a megfelelő időben és helyen találkozik-e azokkal a fajokkal, amelyekkel együttműködésben él.

A rovarvilág fogyása: valóban eltűnnek a rovarok?

Az elmúlt évtizedekben több kutatás számolt be arról, hogy bizonyos térségekben jelentősen csökkent a rovarok mennyisége.

Különösen nagy figyelmet kapott egy 2017-ben megjelent németországi vizsgálat, amely 27 éven keresztül gyűjtött adatok alapján a repülő rovarok biomasszájának több mint 75 százalékos csökkenését mutatta ki a vizsgált természetvédelmi területeken.

Az eredmény azért volt meglepő, mert a kutatás nem intenzíven művelt szántóföldeken, hanem védett területeken végzett mérésekre épült.

Az adatok azonban nem jelentik azt, hogy Európa valamennyi rovarfajának állománya háromnegyedével csökkent volna.

A rovarok rendkívül változatos élőlénycsoportot alkotnak. Egyes fajok visszaszorulnak, mások stabil állományokat tartanak fenn, és vannak olyanok is, amelyek terjeszkednek.

A nagyobb földrajzi területre kiterjedő kutatások eredményei sem minden esetben azonosak.

A szárazföldi rovarok egyes csoportjai jelentős veszteségeket szenvedhetnek el, míg bizonyos édesvízi rovarok állományai javulást mutathatnak például a vízminőség helyreállításának következtében.

A fontos tanulság nem az, hogy valamennyi rovar eltűnés előtt áll.

Hanem az, hogy a rovarvilág változásait nem lehet kizárólag néhány látványos faj alapján megítélni.

A rovarok a természetes táplálékhálózatok alapvető szereplői. Táplálékot jelentenek madaraknak, denevéreknek, kétéltűeknek és más állatoknak, közreműködnek a szerves anyagok lebontásában és a beporzásban, valamint számos esetben szabályozzák más rovarfajok állományát.

A rovarok csökkenése így olyan fajokat is érinthet, amelyek közvetlenül nem szenvednek az élőhelyváltozástól.

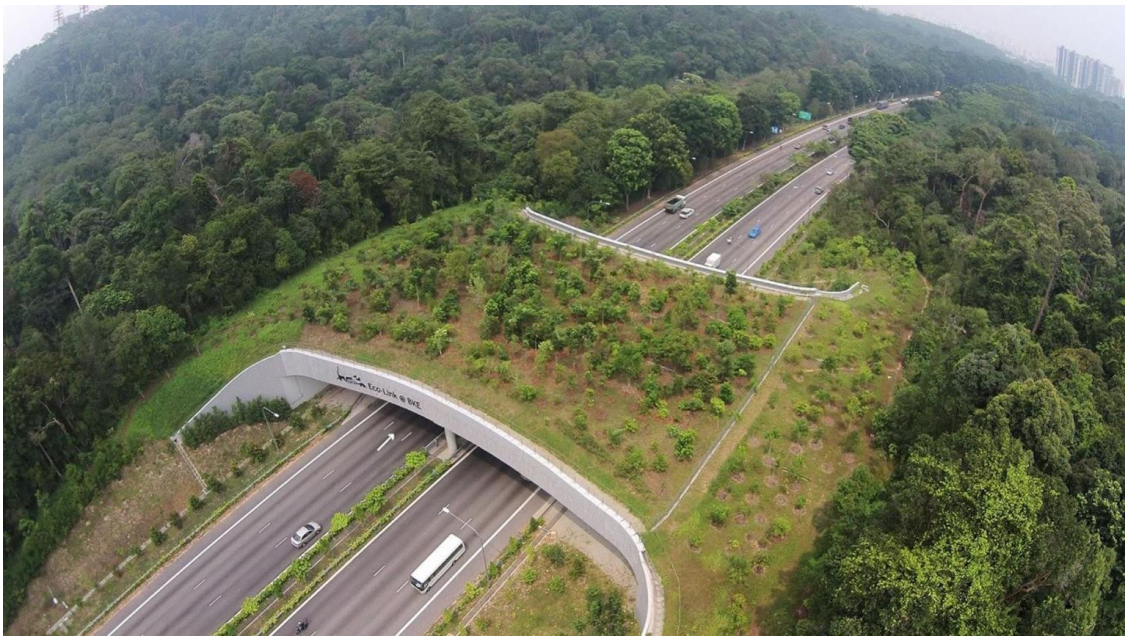
Egy rovarevő madár számára például hiába áll rendelkezésre megfelelő fészkelőhely, ha a költési időszakban nem talál elegendő táplálékot fiókái számára.

Az élővilág tehát sok esetben nem egyetlen látványos esemény következtében omlik össze.

A változás az ökológiai kapcsolatok fokozatos gyengülésével kezdődhet.

Amikor az utak feldarabolják a természetet





25. ábra: Az autópályák, vasútvonalak és beépített területek elválaszthatják egymástól az élőhelyeket. A vadátjárók és ökológiai folyosók segíthetnek helyreállítani a kapcsolatokat.

Az élőhelyek pusztulását gyakran azzal azonosítjuk, hogy egy erdőt kivágnak, egy lápot lecsapolnak vagy egy rétet beépítenek.

Az élővilág azonban akkor is károsodhat, ha az élőhely területe jelentős részben megmarad, de kisebb, egymástól elszigetelt foltokra szakad.

Ezt nevezzük élőhely-feldarabolódásnak, vagy fragmentációnak.

Képzeljünk el egy nagy összefüggő erdőt, amelyben különböző állatfajok szabadon mozoghatnak.

Ha az erdőn autópálya halad keresztül, a terület egyik felén élő állatok számára nehezebbé vagy veszélyessé válhat a másik oldal elérése.

A kisebb emlősök, kétéltűek és más, korlátozott mozgásképességű állatok számára már egy forgalmas út is jelentős akadályt képezhet.

A feldarabolódás következtében egyes helyi állományok elszigetelődhetnek egymástól.

Ez hosszabb távon csökkentheti a genetikai változatosságot, megnehezítheti az elpusztult állományok természetes újratelepülését, és növelheti a helyi kipusztulás veszélyét.

Az Európai Környezetvédelmi Ügynökség szerint Európa jelentős területeit feldarabolta a közlekedési hálózatok és a települések terjeszkedése. Az élőhelyek közötti kapcsolatok megőrzése ezért a természetvédelem egyik fontos feladata.

A feldarabolódás nemcsak az erdőkben jelentkezik.

Egy folyón épített duzzasztógát elválaszthatja egymástól a halak szaporodó- és táplálkozóhelyeit. A bekerített mezőgazdasági területek korlátozhatják egyes állatok mozgását. A városok és iparterületek pedig megszakíthatják azokat a természetes kapcsolatokat, amelyek korábban összekötötték az élőhelyeket.

Az ökológiai folyosók célja ezeknek a kapcsolatoknak a megőrzése vagy helyreállítása.

Ilyen megoldás lehet egy vadátjáró az autópálya felett, egy alagút a kétéltűek számára, egy folyó menti természetes növénysáv vagy az egymástól elszigetelt erdőfoltok összekötése.

Ezek az intézkedések gyakran kevésbé látványosak, mint egy nagyszabású erdőtelepítés.

Ökológiai jelentőségük azonban adott esetben nagyobb lehet.

A természet számára nemcsak az a fontos, hogy mekkora terület marad meg, hanem az is, hogy az élőlények képesek-e mozogni, szaporodni és kapcsolatot tartani egymással.

Az inváziós fajok: amikor egy új szereplő felborítja az egyensúlyt





26. ábra: Az ázsiai lódarázs és a parlagfű két különböző példája az idegenhonos fajok terjedésének. Nem minden idegenhonos faj inváziós, de egyesek jelentős ökológiai, gazdasági vagy egészségügyi károkat okozhatnak.

Az emberiség története során növény- és állatfajok sokaságát juttatta el olyan területekre, ahol azok természetes körülmények között nem fordultak volna elő.

Egyes növényeket élelmiszerként, dísznövényként vagy erdészeti célból telepítettek. Más fajok véletlenül, a kereskedelmi szállítmányokkal, hajókkal vagy járművekkel érkeztek új kontinensekre.

Az idegenhonos fajok jelenléte önmagában nem feltétlenül okoz problémát.

Sok betelepített növény és állat nem terjed agresszíven, és nem gyakorol jelentős káros hatást az őshonos élővilágra.

Egyes fajok azonban olyan új környezetbe kerülnek, ahol kevés természetes ellenségük van, és gyorsan képesek elszaporodni.

Ha terjedésük a biológiai sokféleség csökkenését, az ökoszisztémák működésének károsodását vagy más jelentős kedvezőtlen következményeket okoz, inváziós idegenhonos fajokról beszélünk.

Az IPBES 2023-as értékelése szerint világszerte több mint 37 ezer, emberi közvetítéssel új térségekbe került idegenhonos fajt tartanak nyilván. Közülük több mint 3500 fajról ismert, hogy jelentős káros hatásokat okoz.

A probléma különösen súlyos lehet a szigeteken, ahol az őshonos élővilág hosszú időn keresztül viszonylagos elszigeteltségben fejlődött.

Egy új ragadozó, növényevő vagy betegséget terjesztő faj megjelenése olyan élőlényeket veszélyeztethet, amelyek nem alkalmazkodtak ehhez az új nyomáshoz.

Az inváziós fajok azonban a kontinenseken is komoly problémákat okozhatnak.

Magyarországon jól ismert példa a parlagfű, amely Észak-Amerikából került Európába. Terjedése jelentős egészségügyi terhet okoz az allergiás lakosság számára, miközben a mezőgazdasági termelést is érintheti.

Más példák közé tartoznak az egyes inváziós akác- és bálványfafajok természetvédelmi szempontból érzékeny élőhelyeken, valamint a vizekben megjelenő idegenhonos halak és gerinctelenek.

Az akác különösen érdekes példa, mert gazdasági és ökológiai megítélése eltérhet.

A fehér akác Magyarországon jelentős faanyag- és méztermelő faj, és számos térségben fontos gazdasági szerepet tölt be.

Ugyanakkor bizonyos természetes élőhelyeken terjedése átalakíthatja a növényközösségeket, megváltoztathatja a talaj nitrogénháztartását, és kiszoríthat őshonos fajokat.

Ebből nem az következik, hogy minden akácost meg kell szüntetni.

Hanem az, hogy egy növény gazdasági hasznossága és természetvédelmi értéke nem feltétlenül esik egybe.

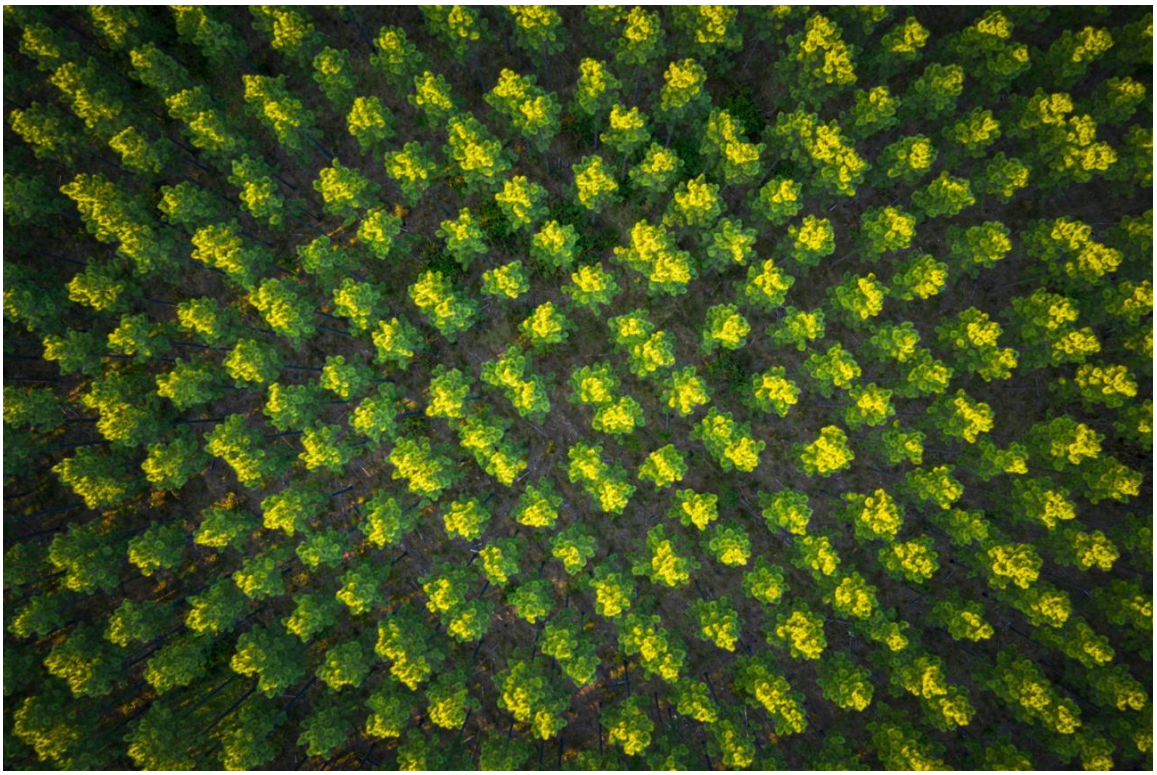
Az inváziós fajok problémája azt is megmutatja, hogy a globális kereskedelem és az emberi mobilitás a természetes fajközösségek összetételét is alakítja.

Az új fajok terjedését ráadásul a klímaváltozás tovább módosíthatja. Az enyhébb telek egyes idegenhonos fajok túlélését és észak felé történő terjeszkedését is elősegíthetik.

A megelőzés különösen fontos, mert egy már széles körben elterjedt inváziós faj visszaszorítása gyakran rendkívül költséges, és bizonyos esetekben gyakorlatilag lehetetlen.

Miért nem elegendő új erdőket telepíteni?





27. ábra: Az azonos fafajból álló ültetvényerdő és egy természetes, vegyes korú erdő egyaránt lehet fás vegetáció, ökológiai működésük és fajgazdagságuk azonban jelentősen eltérhet.

A környezetvédelmi programokban gyakran szerepel az erdőterületek növelése.

Ez sok szempontból indokolt. Az erdők szén-dioxidot kötnek meg, hozzájárulhatnak a talaj és a vízháztartás védelméhez, kedvezően befolyásolhatják a helyi mikroklímát, és élőhelyet biztosíthatnak számos fajnak.

De nem minden erdő egyforma.

Egy természetes erdőben különböző korú és méretű fák, cserjék, lágyszárú növények, gombák és mikroorganizmusok élhetnek együtt.

Az elhalt fák és korhadó fatörzsek nem pusztán hulladékok, hanem sok rovar, gomba, madár és más élőlény nélkülözhetetlen élőhelyei.

Egy gazdasági célú faültetvény ezzel szemben gyakran egy vagy néhány fafajból áll, hasonló korú egyedekkel és szabályos ültetési renddel.

Az ilyen erdő is nyújthat környezeti előnyöket, de természetvédelmi értéke rendszerint nem azonos egy természetes erdőével.

Az ENSZ Élelmezési és Mezőgazdasági Szervezetének, a FAO-nak a 2025-ös globális erdőértékelése szerint a világ erdőterülete mintegy 4,14 milliárd hektár, ami a szárazföldek körülbelül egyharmadát teszi ki. A jelentés külön elemzi a természetes úton regenerálódó és a telepített erdőket, valamint az erdők kezelési és természetvédelmi jellemzőit.

Az erdők területe azonban önmagában nem mutatja meg azok természetességét vagy biológiai sokféleségét.

Ha egy országban nő az erdőterület, az pozitív változást jelezhet, de vizsgálni kell, milyen erdők jöttek létre, milyen élőhelyek helyén, és hogyan történik a kezelésük.

Különösen fontos, hogy az erdőtelepítés ne veszélyeztessen más értékes természetes élőhelyeket.

Egy őshonos fajokban gazdag sztyepprét, homoki gyep vagy természetes mocsár nem feltétlenül válik természetvédelmi szempontból értékesebbé attól, hogy fákkal ültetik be.

A nyílt élőhelyek sajátos növény- és állatvilága sok esetben éppen a fás vegetáció hiányához alkalmazkodott.

Ez Magyarországon is fontos kérdés, hiszen az ország természeti értékei között nemcsak az erdők, hanem a pusztai gyepek, szikesek, homoki élőhelyek, lápok és mocsarak is kiemelkedő szerepet töltenek be.

A természetvédelem célja ezért nem egyszerűen az, hogy minél több területet borítsanak fák.

Hanem az, hogy az adott tájra jellemző, természetes vagy természetközeli élőhelyek megfelelő állapotban maradjanak fenn.

A korallzátonyok: amikor az élőhely szerkezete tűnik el

A korallzátonyok pusztulása látványos példája annak, milyen szorosan kapcsolódik egymáshoz az éghajlatváltozás és a biológiai sokféleség.

A zátonyépítő korallok apró állatok, amelyek mészvázakat hoznak létre, és sok esetben szoros együttélésben élnek a bennük található fotoszintetizáló mikroorganizmusokkal.

A korallzátonyok több ezer év alatt összetett térbeli szerkezeteket alakíthatnak ki.

Az üregek, elágazások és kisebb élőhelyek számos halfaj, rák, puhatestű és más tengeri élőlény számára nyújtanak menedéket és táplálkozóhelyet.

A tartósan magas tengervíz-hőmérséklet azonban megzavarhatja a korallok és szimbiontáik kapcsolatát, ami korallfehéredéshez vezethet.

A fehéredés nem feltétlenül jelenti a korall azonnali pusztulását. Ha a kedvezőtlen körülmények megszűnnek, egyes korallok regenerálódhatnak.

A hosszan tartó vagy ismétlődő hőstressz azonban tömeges elhullást okozhat.

Ilyenkor nemcsak az egyes koralltelepek sérülnek, hanem az általuk kialakított élőhely szerkezete is leépülhet.

Ennek következményei sok más fajra is átterjedhetnek.

A korallzátonyok példája ezért túlmutat a hőmérséklet-emelkedés kérdésén.

Megmutatja, hogy egy ökoszisztéma károsodása nem pusztán az egyes fajok elvesztését, hanem az egész élőhely működésének megváltozását jelentheti.

A szén-dioxid nem a természet állapotának általános mérőszáma

A klímaváltozás elleni fellépés egyik fő célja az üvegházhatású gázok kibocsátásának csökkentése.

Ez tudományosan indokolt.

A probléma akkor merül fel, amikor a környezetvédelmi döntések során a szén-dioxid-egyenleg szinte kizárólagos mérőszámmá válik.

Egy beruházás lehet kedvező a kibocsátás szempontjából, miközben jelentős helyi természeti károkat okoz.

Egy vízerőmű alacsony működési szén-dioxid-kibocsátású villamos energiát termelhet, de megváltoztathatja a folyó természetes vízjárását, az üledékszállítást és a halak vándorlási lehetőségeit.

Egy nagy napelempark hozzájárulhat a fosszilis energia felhasználásának csökkentéséhez, de ha természetvédelmi szempontból értékes területre telepítik, az élőhelyek károsodását okozhatja.

Ugyanakkor egy megfelelően tervezett napelempark alatt és környezetében természetközeli növényzet is kialakítható, amely bizonyos korábban intenzíven használt területekhez képest akár kedvezőbb élőhelyi feltételeket teremthet.

Hasonló ellentmondás jelentkezhet a bioüzemanyagoknál, az erdőtelepítésnél és egyes vízgazdálkodási beruházásoknál.

A szén-dioxid-kibocsátás mérséklése tehát szükséges, de nem elegendő feltétele a fenntartható környezeti működésnek.

A beruházások megítélésénél külön kell vizsgálni az éghajlati hatásokat, a földhasználatot, a vízkészleteket, a talajállapotot, a szennyezést és a biológiai sokféleséget.

Egy alacsony szén-dioxid-kibocsátású technológia nem feltétlenül jelent minden szempontból környezetbarát megoldást.

És fordítva: egy természetvédelmi szempontból értékes táj megőrzése akkor is indokolt lehet, ha az ott tárolt szén mennyisége viszonylag alacsony.

A természet értékét ugyanis nem kizárólag az határozza meg, hogy mennyi szén-dioxidot képes megkötni.

Mi történik, ha eltűnnek a kapcsolatok?

Az élővilág fogyásának egyik legnehezebben előre jelezhető következménye, hogy a fajok közötti kapcsolatok megváltozása az egész ökoszisztéma működését érintheti.

Egy ragadozóállomány csökkenése például bizonyos növényevők elszaporodását eredményezheti, ami fokozott növényfogyasztáshoz vezethet.

Egy beporzófaj visszaszorulása csökkentheti egyes növények szaporodási sikerét.

Egy rovarevő madárfaj eltűnése megváltoztathatja a rovarállományok szabályozását.

Egy folyó vízjárásának módosulása pedig egyszerre érintheti a halakat, a vízinövényeket, a parti élőhelyeket és a talajvízviszonyokat.

Ezek a változások nem minden esetben következnek be, és hatásuk a helyi ökoszisztéma szerkezetétől függ.

A természetes rendszerek bizonyos mértékig képesek alkalmazkodni.

Egyes fajok részben helyettesíthetik mások ökológiai szerepét, és vannak olyan élőhelyek, amelyek jelentős zavarások után is regenerálódhatnak.

A biológiai sokféleség azonban gyakran hozzájárul az ökoszisztémák ellenálló képességéhez.

Ha több faj lát el hasonló feladatokat, egyetlen faj visszaszorulása kisebb zavart okozhat. Ha viszont egy meghatározó kapcsolatnak nincs megfelelő helyettesítője, az adott faj eltűnése aránytalanul nagy következményekkel járhat.

Ezért a biológiai sokféleség megőrzése nem kizárólag a ritka vagy látványos állatfajok védelméről szól.

A hétköznapi, korábban gyakori fajok állományainak változása is fontos jelzés lehet.

Egy területen élhetnek továbbra is madarak, miközben néhány, korábban tömegesen előforduló faj szinte teljesen eltűnik.

Egy erdő zöldnek és egészségesnek tűnhet, miközben megváltozik a talajélet, a gombaközösség vagy az erdőben élő rovarok összetétele.

A természet állapotának vizsgálata ezért nem korlátozódhat a felszín látványára.

Vissza lehet-e fordítani az élővilág fogyását?







28. ábra: A vizes élőhelyek helyreállítása, a mezőgazdasági táj változatosságának növelése és a természetes növényzet visszatelepítése segítheti az élővilág regenerálódását.

A biológiai sokféleség fogyásáról szóló hírek gyakran azt a benyomást keltik, hogy a folyamat megállíthatatlan.

Ez azonban nem minden esetben igaz.

A természetes rendszerek jelentős regenerációs képességgel rendelkezhetnek, ha a károsító hatásokat sikerül csökkenteni, és megmaradnak a helyreállításhoz szükséges feltételek.

A szennyezett folyók vízminőségének javítása után egyes halfajok visszatérhetnek.

A lecsapolt területek megfelelő vízellátásának helyreállítása lehetővé teheti vizes élőhelyek újjáéledését.

A mezőgazdasági tájban kialakított virágos sávok, sövények, fasorok és természetközeli területek javíthatják a beporzók és más állatok életfeltételeit.

Az ökológiai folyosók pedig lehetővé tehetik, hogy az egymástól elszigetelt állományok újra kapcsolatba kerüljenek.

A siker azonban nem automatikus.

Egy természetes élőhely kialakulásához sokszor hosszú idő szükséges. Egy évszázadok alatt létrejött erdő vagy láp ökológiai működését nem lehet néhány év alatt teljes egészében pótolni.

Az élőhely-helyreállítás ezért nem jelent felmentést a meglévő természeti értékek pusztítása alól.

Egy régi erdő kivágása után telepített új erdő nem feltétlenül helyettesíti az elveszített élőhelyet.

Ugyanígy egy elpusztított természetes gyep helyén kialakított park nem feltétlenül őrzi meg az eredeti terület fajgazdagságát.

A helyreállítás legfontosabb kiegészítője ezért a még meglévő értékes élőhelyek megőrzése.

A természetvédelmi intézkedések eredményességét sem pusztán a kijelölt védett területek nagysága alapján kell értékelni.

Az számít, hogy javul-e az élőhelyek állapota, stabilizálódnak-e az állományok, és helyreállnak-e a természetes kapcsolatok.

A természetvédelem nem versenyezhet önmagával

A környezetpolitika egyik legfontosabb jövőbeli feladata a különböző környezeti célok összehangolása.

Nem elegendő kizárólag az üvegházhatású gázok kibocsátását csökkenteni, ha közben a természeti élőhelyek tovább pusztulnak.

Ugyanakkor a biológiai sokféleség megőrzése sem lehet tartósan sikeres az éghajlatváltozás hatásainak figyelmen kívül hagyásával.

A két terület szorosan összefügg, de nem azonos.

A természetes erdők, lápok és tengeri élőhelyek egyszerre tölthetnek be fontos szerepet a szén tárolásában és a biológiai sokféleség fenntartásában.

Más esetekben viszont valódi konfliktusok merülhetnek fel a klímavédelmi beruházások és a természetvédelem között.

Ezeket a konfliktusokat nem lehet azzal megoldani, hogy minden beruházást automatikusan környezetbarátnak tekintünk, amely csökkenti a szén-dioxid-kibocsátást.

A környezeti hatásokat több szempont alapján kell vizsgálni.

Egy terület értékét nem kizárólag a rajta álló fák száma, egy folyó értékét nem csak a vízenergia-termelési lehetőség, egy mezőgazdasági táj értékét pedig nem csupán az elérhető terméshozam határozza meg.

A természet olyan összetett rendszer, amelynek működése sok, egymástól függő folyamat eredménye.

Ezeknek a kapcsolatoknak egy részét már jól ismerjük, más részüket még csak most kezdjük feltárni.

Ezért a biológiai sokféleség megőrzése nem pusztán érzelmi vagy esztétikai kérdés.

Hosszú távú gazdasági, élelmezésbiztonsági és társadalmi jelentősége is van.

Amikor a természet vesztesége nem látszik a gazdasági mérlegben

Egy erdő kivágása után az eladott faanyag értéke megjelenik a gazdasági statisztikákban.

Egy mezőgazdasági terület terméshozama szintén pénzben mérhető.

Egy út vagy ipari létesítmény megépítése beruházásként szerepelhet a nemzeti számlákban.

De mi történik azokkal az értékekkel, amelyek ugyanilyen könnyen nem fejezhetők ki pénzben?

Mennyit ér egy folyó természetes öntisztuló képessége? Egy változatos mezőgazdasági táj beporzóközössége? Egy természetes erdő vízmegtartása, talajvédelme vagy génállománya?

A természet által biztosított szolgáltatások jelentős része nem jelenik meg közvetlenül a piaci árakban.

Egy termék lehet olcsó azért, mert előállítása során a természeti erőforrások károsodásának költségét senki sem fizeti meg.

A költség azonban ettől még létezik.

Megjelenhet később romló terméshozamokban, drágább víztisztításban, gyakoribb helyreállítási munkákban vagy olyan veszteségekben, amelyeket már nem lehet teljesen pótolni.

A természetvesztés gazdasági következményeit ezért nem szabad kizárólag az elveszített fajok pénzbeli értékére korlátozni.

Sokkal fontosabb kérdés, hogy egy természeti rendszer károsodása milyen további folyamatokat indít el.

A biológiai sokféleség megőrzése ebben az értelemben a jövőbeli kockázatok mérséklésének egyik formája.

Nem minden zöld terület élő természet

A környezetvédelem sokszor látványos eredményeket mutat be: több ezer hektár erdőtelepítést, új parkokat, rehabilitált tájakat vagy jelentős mennyiségű megkötött szén-dioxidot.

Ezek értékes eredmények lehetnek.

De a természet állapota ennél összetettebb.

Egy erdő lehet gazdaságilag jól kezelt, miközben kevés holtfát és idős fát tartalmaz, ezért egyes fajok számára korlátozott élőhelyet biztosít.

Egy mezőgazdasági táj lehet rendezett és termelékeny, miközben a beporzók és a mezei madarak állománya folyamatosan csökken.

Egy folyó lehet szabályozott és jól hajózható, miközben elveszíti természetes ártereit és halainak vándorlási lehetőségeit.

És egy nagy kiterjedésű zöldfelület sem feltétlenül jelent biológiailag gazdag élőhelyet, ha csupán néhány növényfajból áll.

A természetvédelem valódi eredményét ezért nem lehet kizárólag a területnagysággal, a megtelepített fák számával vagy a megkötött szén mennyiségével mérni.

A természet nem attól marad életben, hogy elegendő zöld színt látunk a térképen, hanem attól, hogy fennmaradnak azok az élőlények és kapcsolatok, amelyek működtetik.

Források és további olvasmányok

- FOREST EUROPE – State of Europe's Forests 2025, az európai erdőterület és faállomány alakulásáról.
- FAO – Global Forest Resources Assessment 2025 – nemzetközileg összehasonlítható erdészeti adatok.
- Our World in Data – Global Forest Transition – az erdőátmenet történeti és gazdasági okai.
- UNESCO – Európa ősbükkösei – az idős természetes erdők jelentősége.

- IPBES – Global Assessment Report (2019). A biológiai sokféleség globális állapota, veszélyeztető tényezői és a kihalási kockázatok.
- WWF – Living Planet Report 2026. A megfigyelt gerincesállat-populációk hosszú távú változásai.
- Our World in Data – A Living Planet Index értelmezése. A 73 százalékos indexcsökkenés jelentése és gyakori félreértelmezései.
- European Environment Agency – Common Bird Index. Az európai mezőgazdasági és erdei madárállományok alakulása.
- IPBES – Pollinators, Pollination and Food Production (2016). A beporzók ökológiai és mezőgazdasági jelentősége.
- IPBES – Invasive Alien Species Assessment (2023). Az inváziós fajok terjedése és következményei.
- EEA – Forest Connectivity in Europe. Az élőhelyek összekapcsoltságának természetvédelmi jelentősége.
- FAO – Global Forest Resources Assessment 2025. Az erdőterületek és erdőtípusok változásai.

4. A fa után a szén következett

Amikor a természet már nem tudott elegendő energiát adni

Az emberiség történetében az energia felhasználásának lehetősége mindig meghatározta a civilizáció fejlődését. Az első közösségek saját izomerejükre, majd a háziasított állatok munkájára támaszkodtak. A tűz megszelídítésével azonban az ember olyan energiaforráshoz jutott, amely jelentősen kibővítette lehetőségeit.

A fa elégetésével élelmet készíthetett, fűthette lakóhelyét, kiégethette az agyagot, később pedig fémeket olvaszthatott és dolgozhatott fel.

Évezredeken át a fa jelentette az emberi civilizáció egyik legfontosabb energiahordozóját. A folyók vízenergiája és a szél hajtóereje szintén fontos szerepet játszott, de a magas hőmérsékletet igénylő technológiákhoz nélkülözhetetlen volt a tüzelőanyag.

A társadalmak fejlődésével azonban egyre több energiára volt szükség.

A városok növekedtek, az építkezésekhez és a hajózáshoz mind több faanyag kellett, a kohászat pedig hatalmas mennyiségű faszenet fogyasztott. A népesség növekedése eközben a mezőgazdasági területek további bővítését is megkövetelte.

Az erdőkre így egyszerre több oldalról nehezedett nyomás. A fának azonban volt egy alapvető korlátja: az erdők csak meghatározott sebességgel képesek újratermelni azt. Egy fa néhány perc alatt elégethető, de ahhoz, hogy hasonló méretű fa nőjön a helyén, rendszerint évtizedekre van szükség. Ha egy társadalom tartósan több fát fogyasztott, mint amennyi újratermelődött, a készletek előbb-utóbb csökkentek.

A fa ára emelkedhetett, a tüzelőanyagot egyre távolabbról kellett beszerezni, és a nagy energiaigényű iparágak működése nehezebbé válhatott. Európa egyes térségeiben már a kora újkorban jelentős gazdasági problémává vált a megfelelő minőségű faanyag és faszén biztosítása.

A civilizáció energiaigénye kezdte meghaladni a helyben rendelkezésre álló, gyorsan megújuló erőforrások lehetőségeit. Az ember azonban ekkor már régóta ismert egy másik éghető anyagot is: a szenet.

A föld alá temetett erdők energiája

A kőszén története több százmillió évvel ezelőtt kezdődött.

A karbon időszakban, körülbelül 359–299 millió évvel ezelőtt, a Föld egyes vidékein kiterjedt mocsárerdők és nedves élőhelyek alakultak ki. Az elpusztult növények maradványai oxigénben szegény környezetben halmozódtak fel, ahol lebomlásuk nem ment végbe teljesen.

A felhalmozódó növényi anyagot később üledékrétegek temették be. A növekvő nyomás és hőmérséklet hatására az anyag összetétele lassan megváltozott, és hosszú földtörténeti folyamat során különböző szénfajták keletkeztek.

Fontos, hogy a ma kitermelt szén nem kizárólag a karbon időszak erdőiből származik. Jelentős széntelepek fiatalabb földtörténeti korszakokban is kialakultak, eltérő növényzetből és eltérő környezeti feltételek között.

A barnakőszén, a feketekőszén és az antracit között jelentős különbségek vannak a széntartalom, a fűtőérték és más tulajdonságok tekintetében.

Közös jellemzőjük azonban, hogy bennük a növényi eredetű szerves anyag széntartalmának jelentős része rendkívül hosszú ideig megőrződött.

A kőszén tehát a földtörténet során felhalmozódott kémiai energia egyik formája.

Egy erdő energiakészlete a napsugárzás és a fotoszintézis révén folyamatosan újratermelődhet. A széntelepek ezzel szemben olyan, geológiai idő alatt kialakult készletek, amelyek emberi időléptékben nem megújulók.

Az ember a szén felhasználásával olyan energiaraktárhoz jutott, amelynek felhalmozódásához évmilliókra volt szükség. Ez alapvetően új lehetőséget teremtett.

A rendelkezésre álló energia mennyiségét többé nem kizárólag a környező erdők területe, a növények növekedési sebessége vagy a folyók és a szél pillanatnyi teljesítménye korlátozta.

Megnyílt az út ahhoz, hogy az ember a földkéregben felhalmozódott hatalmas energiatartalékokat is felhasználja.

A szén nem az ipari forradalom találmánya

A szenet már az ókorban is ismerték és használták. Kínában, Európa egyes vidékein és más térségekben évszázadokkal az ipari forradalom előtt is bányásztak éghető kőzeteket.

Angliában a középkorban már kereskedtek szénnel, amelyet egyes városokban fűtésre és különféle ipari munkákhoz használtak.

A szén azonban sokáig nem tudta mindenütt helyettesíteni a faszenet.

Ennek egyik oka az volt, hogy a természetes kőszén különféle szennyezőket, például kénvegyületeket tartalmazhat. Ezek a fémek előállításánál és feldolgozásánál kedvezőtlen hatást gyakorolhattak a végtermék tulajdonságaira.

A kohászatban ezért sokáig előnyben részesítették a faszenet. A fordulatot nem egyszerűen a szén használata, hanem a felhasználásához szükséges technológia fejlődése hozta meg.

Az egyik legfontosabb találmány a koksz kohászati alkalmazása volt. A kokszot megfelelő minőségű kőszén levegőtől nagyrészt elzárt hevítésével állítják elő. A folyamat során különféle illékony anyagok távoznak, és szilárd, nagy széntartalmú, magas hőmérsékleten is megfelelő szilárdságú anyag marad vissza.

A koksz nemcsak tüzelőanyagként hasznosítható, hanem a vasérc kohósításánál kémiai szerepet is betölt: elősegíti a vas-oxidok redukcióját, vagyis a fémes vas kinyerését.

Ez a tulajdonsága döntő jelentőségűvé vált az ipari vaskohászat fejlődésében.

Coalbrookdale: egy technológiai fordulat helyszíne

1709-ben az angliai Coalbrookdale településen Abraham Darby sikeresen alkalmazott kokszot a vasérc nagyolvasztóban történő feldolgozásához.

A módszer nem jelentette a faszén azonnali kiszorulását, és kezdetben elsősorban bizonyos öntöttvas termékek előállítására volt alkalmas. Mégis olyan technológiai fejlődés kezdetét jelentette, amely alapvetően megváltoztatta a vasgyártás lehetőségeit.

A faszenes kohászat számára az erdők rendelkezésre állása fontos korlátozó tényező volt. A koksz alkalmazásával a termelés egyre inkább a szénbányákra támaszkodhatott.

A technológia fejlődésével nagyobb kohókat építhettek, növekedett a termelés, és csökkenhetett a vas előállításának költsége.

A vas ekkor már régóta ismert és használt anyag volt. A változás abban rejlett, hogy egyre nagyobb mennyiségben és egyre kedvezőbb áron vált előállíthatóvá.

A bőségesebb és olcsóbb vas újabb technológiák elterjedését segítette. A gépekhez több fémalkatrészt készíthettek, a bányászat és az építőipar fejlettebb eszközökhöz jutott, majd megjelentek a vasból készült nagyobb tartószerkezetek is.

Az 1779-ben elkészült coalbrookdale-i Iron Bridge, a világ egyik első nagy öntöttvas hídja, ennek a változásnak látványos jelképe lett.

A korabeli szemlélők számára a vashíd a technikai haladás rendkívüli eredményét jelentette.



29. ábra: William Williams 1780-as festménye az 1779-ben elkészült coalbrookdale-i öntöttvas hídról. A háttérben ipari létesítmények füstje látható. A kép egyszerre szemlélteti az ipari fejlődést és a környezet átalakulását.

Forrás: Wikimedia Commons – közkincs.

Ma már jól látható a történet másik oldala is.

A kokszra épülő vaskohászat hozzájárult az ipari termelés növekedéséhez és a faszén iránti igény mérsékléséhez, ugyanakkor a fosszilis szén elégetését a modern ipar egyik alapfolyamatává tette.

Az erdőkre nehezedő nyomás egy része csökkent, de a szénbányák és a kohók környezetében újfajta terhelések jelentek meg.

A gőzgép és az energia felszabadítása a helyhez kötöttségből

A szén ipari jelentőségét a gőzgép fejlődése tovább növelte.

A korai ipari üzemek energiaellátása nagyrészt a vízfolyásoktól függött. A vízimalmok és vízikerekek évszázadokon keresztül fontos munkagépeket hajtottak, de működésük a megfelelő vízhozamhoz és földrajzi helyszínhez kötődött.

A gőzgép új lehetőséget kínált.

Ha a tüzelőanyag rendelkezésre állt, a gép elvileg olyan helyen is működhetett, ahol nem volt megfelelő vízenergia.

A gőzgép fejlődésének első jelentős lépései szorosan összekapcsolódtak a bányászattal.

A mélyebbre hatoló szénbányákban egyre nagyobb gondot okozott a beszivárgó víz eltávolítása. Thomas Newcomen 1712-ben üzembe helyezett gőzgépe éppen ezt a problémát segített megoldani.

A korai gépek hatásfoka alacsony volt, és sok szenet fogyasztottak. Mégis gazdaságosan működhettek ott, ahol a tüzelőanyag közvetlenül rendelkezésre állt, és a víz eltávolítása nélkül a bánya nem termelhetett volna.

James Watt és munkatársai a 18. század második felében jelentős fejlesztéseket hajtottak végre a gőzgépeken. A külön kondenzátor alkalmazása csökkentette a hőveszteséget, a forgómozgás előállítására alkalmas megoldások pedig lehetővé tették, hogy a gépeket egyre több iparágban használják.

A gőzgép így fokozatosan az ipari termelés egyik meghatározó energiaforrásává vált.

Szivattyúkat, textilipari gépeket, malmokat és más berendezéseket hajtottak vele. Később a vasúti mozdonyok és a gőzhajók is új távlatokat nyitottak a közlekedésben.

A szén és a gőzgép kapcsolata különösen érdekes.

A szénbányászat fejlődése nagyobb energiaforrást biztosított a gőzgépek számára, a gőzgépek pedig lehetővé tették a szénbányák víztelenítését és a kitermelés növelését.

Az egyik technológia fejlődése így ösztönözte a másikét.

Ez az egymást erősítő folyamat az ipari forradalom egyik legfontosabb hajtóereje lett.

Amikor megszületett a tömegtermelés

Az ipari forradalom jelentősége messze túlmutatott az energiaforrások változásán.

A nagyobb mennyiségben rendelkezésre álló energia lehetővé tette a termelés gépesítését, az üzemek növekedését és a munkafolyamatok átalakítását.

A korábbi kézműves termelésben egy mester vagy kisebb műhely készítette el a termék jelentős részét. A gyári termelés ezzel szemben egyre inkább különálló műveletekre bontotta a munkát.

A gépek és a munkások meghatározott feladatokat végeztek, az egyes folyamatokat pedig egységes termelési rendszerbe szervezték.

Az első nagy változások különösen a textiliparban jelentkeztek.

A fonás és a szövés gépesítése jelentősen növelte a termelékenységet. A gépek gyártásához és működtetéséhez ugyanakkor vasra, energiára, szerszámokra és közlekedési infrastruktúrára volt szükség.

A gépesítés így újabb keresletet teremtett a szén és a fémek iránt.

A termelés növekedése a szállítás fejlődését is megkövetelte. A csatornák és a vasutak összekapcsolták a bányákat, ipari központokat és kikötőket.

A vasút különösen fontos szerepet játszott.

A sínekhez, mozdonyokhoz, hidakhoz és kocsikhoz nagy mennyiségű vasra, később acélra volt szükség. A mozdonyok szenet fogyasztottak, miközben éppen a szén és más nyersanyagok gyorsabb, olcsóbb szállítását tették lehetővé.

A rendszer ismét önmagát erősítette.

A nagyobb széntermelés több energiát biztosított a vasgyártáshoz. A több vas több gép és vasút építését tette lehetővé. A fejlődő szállítás tovább növelte a piacokat és az ipari termelés lehetőségeit.

A 19. század közepétől az acélgyártás fejlődése újabb fordulatot hozott. Henry Bessemer 1856-ban bemutatott eljárása, majd más acélgyártási technológiák lehetővé tették a nagyobb mennyiségű, viszonylag olcsó acél előállítását.

Az acélból vasutak, hidak, hajók, gépek és később magas épületek szerkezetei készültek.

Az ipari civilizáció anyagi alapjává fokozatosan a szénre, vasra és acélra épülő technológiai rendszer vált.

Az energia és az anyagtermelés közötti kapcsolat szorosabb lett, mint korábban bármikor.

A fejlődés ára: a bányák világa

A szén felhasználása új ipari lehetőségeket teremtett, de a kitermelése súlyos emberi és környezeti terhekkel járt.

A korai szénbányák munkakörülményei gyakran rendkívül veszélyesek voltak.

A mélyben dolgozó bányászokat omlások, robbanások, vízbetörések és mérgező gázok fenyegették. A szénpor belégzése hosszú távon súlyos tüdőbetegségeket okozhatott.

A bányákban sok helyen nők és gyermekek is dolgoztak. A munka rendkívül megterhelő volt, a biztonsági előírások pedig sokáig hiányosak maradtak.

A bányászat a felszíni környezetet is átalakította.

A meddőhányók, a kitermelt kőzetek, a bányavizek és a szállítási létesítmények megváltoztatták a tájat. A mélyművelésű bányák felett bizonyos területeken talajsüllyedések jelentkezhettek.

A szénben és a környező kőzetekben található kéntartalmú ásványok levegővel és vízzel érintkezve savas bányavizek kialakulásához járulhatnak hozzá. Ezek megfelelő kezelés nélkül károsíthatják a folyók és patakok élővilágát.

A később elterjedő külszíni bányászat pedig még közvetlenebb módon alakította át a tájat: hatalmas föld- és kőzettömegeket mozgatott meg, és nagy kiterjedésű területeken távolította el az eredeti növényzetet.

A szén tehát nem csupán energiát adott. A kitermelés helyén is új környezeti problémákat hozott létre.

E problémák egy része még évtizedekkel a bányák bezárása után is fennmaradhat.

A füst, amely a haladás jelképéből veszélyforrássá vált

A 19. század ipari városainak egyik legjellegzetesebb látványa a gyárkéményekből felszálló füst volt.

A korabeli ábrázolásokon a hatalmas kémények gyakran a gazdasági fejlődés, a termelés és a jólét jelképeiként jelentek meg.

A sok füst működő üzemeket, munkalehetőségeket és növekvő ipari teljesítményt jelentett.

A valóságban azonban a széntüzelés súlyos légszennyezést okozott.

A kőszén elégetése során szén-dioxid mellett kén-dioxid, nitrogén-oxidok, szilárd részecskék és más szennyező anyagok is a légkörbe kerülhetnek. A kibocsátás összetétele függ a szén minőségétől, az égés körülményeitől és az alkalmazott tisztítási technológiától.

A nagy ipari városokban a gyárak, erőművek és lakóházak kéményeiből származó füst időnként sűrű szmogot hozott létre.

A szmog különösen kedvezőtlen meteorológiai körülmények között válhatott veszélyessé, amikor a légkör alsó rétegeiben felhalmozódtak a szennyező anyagok.

London már a 19. században hírhedt volt füstös levegőjéről. A problémát azonban sokáig a nagyvárosi élet szükségszerű velejárójának tekintették.

A változáshoz súlyos tragédiákra volt szükség. Erről bővebben a következő fejezetben írunk.

A látható szennyezés és a láthatatlan szén-dioxid

A légszennyezés csökkentése az iparosodott országokban később jelentős eredményeket hozott.

A füstgázok tisztítása, a jobb égéstechnika, a szigorúbb kibocsátási előírások és a széntüzelés visszaszorítása sok városban lényegesen javította a levegő minőségét.

A korábban füstbe burkolózó ipari központok jelentős része ma már sokkal tisztább levegőjű.

Ezzel azonban nem szűnt meg a fosszilis energiahordozók felhasználásának minden környezeti problémája.

A szén-dioxid ugyanis egészen más természetű szennyezőanyag, mint a korom vagy a kén-dioxid.

Normál légköri koncentrációban nem mérgező, nincs színe és szaga, ezért a kibocsátása közvetlen érzékszerveinkkel nem észlelhető. Ugyanakkor üvegházhatású gázként hozzájárul a Föld energiaegyensúlyának megváltozásához.

A korom és más rövid élettartamú légszennyezők kibocsátásának mérséklése viszonylag gyorsan javíthatja a levegő minőségét.

A szén-dioxid viszont hosszú távon is befolyásolja az éghajlatot. A kibocsátott szén-dioxid egy része az óceánokba és a szárazföldi rendszerekbe kerül, más része hosszú ideig a légkörben marad. Egy egyszeri kibocsátás éghajlati hatása ezért sokkal tovább fennmaradhat, mint egy helyi füstszennyezésé.

Ráadásul a szén-dioxidot nem lehet ugyanúgy kiszűrni a hagyományos füstgáztisztító berendezésekkel, mint a korom vagy bizonyos savas gázok jelentős részét.

A modern ipari társadalmak így fokozatosan megtanulták csökkenteni a széntüzelés egyes, közvetlenül érzékelhető káros hatásait, miközben az üvegházhatású gázok felhalmozódása hosszú időn keresztül tovább folytatódott.

A környezeti probléma egy része láthatatlanná vált.

Amikor a helyi problémából globális probléma lett

Az erdőirtás következményei hosszú időn keresztül elsősorban helyi vagy regionális szinten jelentkeztek.

Egy kivágott erdő helyén növekedhetett a talajerózió, megváltozhatott a vízháztartás, és eltűnhettek bizonyos élőhelyek.

A szénbányászat és a széntüzelés kezdetben szintén jól körülhatárolható térségekben okozott súlyos károkat.

A bányák környezetében megváltozott a táj, az ipari városokban romlott a levegő minősége, a szennyezett folyókban pedig károsodott az élővilág.

A fosszilis energiahordozók felhasználásának növekedésével azonban egy új folyamat is kibontakozott.

A földtörténet során hosszú időre elraktározódott szén egyre nagyobb mennyiségben került vissza a légkörbe.

A természetes szénkörforgásban a növények, az állatok, a talaj, az óceánok és a légkör között folyamatos az anyagcsere. A fosszilis energiahordozók elégetése viszont olyan

szénkészletekből juttat további szén-dioxidot az aktív körforgásba, amelyek évmilliókon keresztül elkülönültek attól.

A légkör nem ismeri az országhatárokat.

Egy angliai gyárkéményből, egy németországi erőműből vagy egy magyarországi széntüzelésű kazánból kibocsátott szén-dioxid idővel a globális légköri rendszer részévé válik.

A kibocsátás éghajlati hatása ezért nem marad a keletkezés helyén.

A modern ipari civilizáció egyik legfontosabb környezeti sajátossága éppen ez lett: az egyes országok gazdasági tevékenysége egyre inkább az egész bolygóra kiterjedő következményekkel jár.

Magyarország: a szénre épülő ipari fejlődés

A szén szerepe Magyarország gazdaságtörténetében is meghatározó volt.

A 19. század folyamán a hazai bányavidékeken egyre nagyobb jelentőséget kapott a szénkitermelés. A bányászat fejlődése szorosan kapcsolódott a vasútépítéshez, az iparosodáshoz és a városok növekedéséhez.

A pécsi, a dorogi, a tatabányai, a nógrádi és a borsodi szénmedencék hosszú időn keresztül fontos energiaforrásokat biztosítottak.

A szénre alapozott ipari központok környezetében új települések és munkásnegyedek jöttek létre. A bányák és az ipari üzemek munkahelyeket teremtettek, miközben alapvetően megváltoztatták a környező tájat.

A 20. században a magyar szén- és lignitbányászat különösen az energiaellátás és a nehézipar fejlesztésével kapcsolódott össze.

A vaskohászat, az acélgyártás, a cementipar és a villamosenergia-termelés jelentős mennyiségű energiát igényelt.

Miskolc, Diósgyőr és Ózd ipari története jól mutatja, hogyan formálta át a kohászat és a szénre épülő ipar egész térségek gazdasági és társadalmi szerkezetét.

A rendszerváltás utáni ipari átalakulás során a bányák és kohók egy részét bezárták vagy jelentősen átszervezték.

Ez sok településen súlyos gazdasági és szociális következményekkel járt.

A munkalehetőségek megszűnése, a népesség elvándorlása és az ipari létesítmények elhagyása új problémákat hozott létre.

Ugyanakkor a környezetterhelés egy része jelentősen csökkent. A korábban súlyosan szennyezett ipari térségekben javulhatott a levegő minősége, és lehetőség nyílt egyes területek rekultivációjára.

A bányászati múlt öröksége azonban továbbra is jelen van.

A meddőhányók, a felhagyott bányák, az ipari hulladékok és a korábban szennyezett területek kezelése sok esetben hosszú távú feladat.

Magyarországon a szénhez kapcsolódó környezeti vita, napjainkban is folytatódik, különösen a lignit alapú villamosenergia-termelés és az energiaellátás átalakítása körül.

A Mátrai Erőmű és a hozzá kapcsolódó lignitbányászat például jól mutatja az energiabiztonság, a gazdasági érdekek, a foglalkoztatás és az éghajlatvédelmi célok összetett kapcsolatát.



30. ábra: Külszíni lignitbányászat Visontán. A hatalmas kotrógépek működése szemlélteti, milyen méretű tájátalakítással járhat a fosszilis energiahordozók kitermelése.

Forrás: Wikimedia Commons – Visonta.

Egy szénalapú erőmű leállítása vagy átalakítása nem kizárólag környezetvédelmi döntés. Az áramellátás biztonságát, a beruházások költségeit, a munkavállalók helyzetét és a térség gazdasági jövőjét is érinti.

Az ipari forradalom idején a szénre való áttérés az energiaellátás új lehetőségeit nyitotta meg. Ma ugyanezen energiahordozó fokozatos kiváltása jelent technológiai, gazdasági és társadalmi kihívást.

Egy probléma megoldása nem mindig jelenti a környezeti terhelés csökkenését

Az erdőirtás és a szénre való áttérés története a környezetvédelem egyik legfontosabb általános tanulságát hordozza.

A technológiai fejlődés gyakran valódi problémákat old meg.

A szén felhasználása lehetővé tette, hogy a növekvő ipar energiaigényének egy részét ne az erdők további kitermelésével fedezzék. A koksz alkalmazása növelte a vasgyártás lehetőségeit, a gőzgép pedig megszüntette az ipari termelés korábbi helyhez kötöttségének jelentős részét.

A termelékenység növekedése hozzájárult a közlekedés, az infrastruktúra, az egészségügyi ellátás és az életszínvonal hosszú távú fejlődéséhez.

A technológiai előnyök tehát valóságosak voltak.

Ugyanakkor az új energiaforrás új környezeti problémákat is létrehozott.

A fa helyett szenet égettek, ezzel bizonyos erdők terhelése mérséklődhetett. A szén kitermelése azonban károsította a tájat, elégetése pedig szennyezte a levegőt.

A légszennyezés csökkentésére később újabb technológiák születtek, amelyek valóban javították sok ipari térség környezeti állapotát.

A fosszilis szén-dioxid kibocsátásának problémája azonban fennmaradt.

Az ember tehát nem egyszerűen az egyik szennyező technológiát cserélte le egy másikra. Olyan fejlődési folyamatot indított el, amely egyes környezeti korlátokat feloldott, miközben újakat teremtett.

Ezt a jelenséget a későbbi energia átmeneteknél is megfigyelhetjük.

A kőolaj számos feladatban kiváltotta a szenet, de saját környezeti terheket hozott létre. A földgáz elégetése bizonyos szennyezőkből kevesebbet bocsáthat ki, mint a széné, ugyanakkor továbbra is fosszilis energiahordozó, és kitermelése, szállítása során metán szabadulhat fel.

A megújuló energiaforrások alkalmazása csökkentheti a fosszilis tüzelőanyagoktól való függést, de előállításukhoz és működtetésükhöz is szükség van nyersanyagokra, ipari termelésre, területekre és infrastruktúrára.

Ebből természetesen nem következik, hogy minden technológia környezeti hatása azonos lenne.

Éppen ellenkezőleg: a különböző megoldások teljes életciklusának vizsgálata teszi lehetővé, hogy összehasonlítsuk a terhelésüket.

Nem elegendő azt megkérdezni, hogy egy technológia megoldja-e azt a problémát, amelyre létrehozták.

Azt is vizsgálni kell, hogy milyen további erőforrásokat igényel, milyen szennyezéseket okoz, milyen hosszú távú következményei vannak, és a terhelés nem kerül-e egyszerűen máshová.

Az ipari civilizáció új korszakot nyitott

Az ipari forradalom nem pusztán a gépek és gyárak története.

Alapvető változást jelentett az ember és a természeti környezet kapcsolatában.

A korábbi társadalmak energiafelhasználása jelentős részben a napsugárzásból viszonylag rövid idő alatt megújuló készletekre épült: a növényekre, az állati munkára, a folyókra és a szélre.

A fosszilis energiahordozók felhasználásával az ember olyan energiaforrásokhoz jutott, amelyek felhalmozódása évmilliókat vett igénybe.

Ez a változás rendkívüli gazdasági növekedést tett lehetővé, és hozzájárult a modern civilizáció kialakulásához.

Ugyanakkor először teremtette meg annak feltételeit, hogy az emberi energiafelhasználás közvetlenül és tartósan befolyásolja az egész Föld légkörének összetételét.

A szén korában az ember egyre kevésbé függött a környező erdők közvetlen energiaellátó képességétől, de ezzel párhuzamosan egyre erősebben függött a földkéregből kitermelt, véges készletektől.

A természet korlátai tehát nem szűntek meg. Csak megváltozott a formájuk.

Az erdők után a szén következett. A szén után a kőolaj és a földgáz, majd az atomenergia és a modern megújuló energiaforrások.

Minden új energiaforrás új technológiai lehetőségeket teremtett, de egyben új kérdéseket is felvetett az emberi civilizáció fenntarthatóságáról.

Az ipari forradalom legfontosabb környezeti tanulsága talán éppen az, hogy egy természeti korlát technológiai leküzdése még nem jelenti a környezeti problémák megszűnését.

A valódi előrelépéshez nemcsak több vagy olcsóbb energia előállítására van szükség, hanem annak megértésére is, hogy energiafelhasználásunk milyen hatást gyakorol a természeti rendszerek egészére.

A modern környezetvédelem egyik legfontosabb feladata éppen ez: felismerni a közvetlen előnyök mögött a hosszú távú következményeket is.

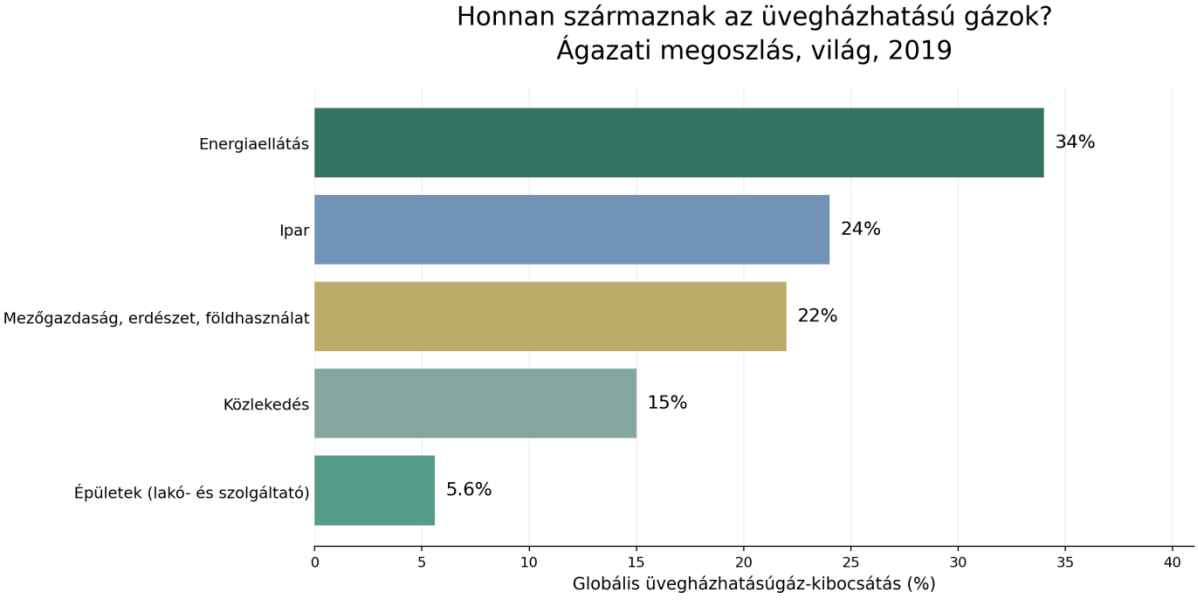
Kik a legnagyobb szennyezők? – Az ipar környezeti mérlege

Amikor a környezetszennyezésről beszélünk, többnyire füstölgő gyárkémények, hatalmas bányák, olajfinomítók és vegyi üzemek jutnak eszünkbe. Nem véletlenül. Az ipari forradalom óta a termelés növekedése alapvetően alakította át a Föld környezetét.

Az ipar ugyanakkor a modern civilizáció egyik alapja. Acél nélkül nem építhetnénk hidakat és vasutakat, cement nélkül nem lennének mai városaink, a vegyipar termékei nélkül pedig a gyógyszergyártás, a mezőgazdaság és számos más ágazat működése is elképzelhetetlen lenne.

Az ipar környezeti hatásainak vizsgálatakor ezért nem az a valódi kérdés, hogy szükség van-e ipari termelésre, hanem az, hogy annak milyen környezeti ára van, és hogyan lehet ezt mérsékelni.

De melyek a legnagyobb szennyezők?



Közvetlen kibocsátások: az áram- és hőtermelés az energiaellátásban szerepel; nincs átterhelve a fogyasztókra.
A kerekítések miatt az összeg nem pontosan 100%.

Forrás: IPCC AR6, III. munkacsoport (2022), B.2.1 – 2019-es adatok.

A válasz meglepően összetett, mert a környezetszennyezésnek nincs egyetlen, minden hatást összefoglaló mérőszáma.

Egy acélmű hatalmas mennyiségű szén-dioxidot bocsáthat ki, míg egy viszonylag kis aranybánya súlyos higanyszennyezést okozhat. Egy papírgyár nagy vízfelhasználással működhet, egy vegyi üzem pedig már kis mennyiségű, tartósan megmaradó anyag kibocsátásával is komoly környezeti kockázatot jelenthet.

A legnagyobb szén-dioxid-kibocsátó tehát nem feltétlenül a legveszélyesebb helyi környezetszennyező.

Az energiatermelés rejtett ára – Anyagigény, bányászat és újrahasznosítás

Amikor az energiatermelés környezeti hatásairól beszélünk, legtöbbször a szén-dioxid-kibocsátást hasonlítjuk össze. A széntüzelésű erőművek sokat bocsátanak ki, a földgázerőművek kevesebbet, míg a nap-, szél-, víz- és atomenergia működés közbeni közvetlen szén-dioxid-kibocsátása rendkívül alacsony vagy nulla.

Ez fontos különbség, de korántsem jelenti a teljes környezeti mérleget.

Egy nagy vízerőmű megépítéséhez több millió köbméter betonra is szükség lehet. Egy atomerőmű hatalmas vasbeton szerkezeteket, acélt, speciális ötvözeteket és összetett biztonsági rendszereket igényel. A szélturbinák tornyai és alapozásai jelentős mennyiségű acélt és betont tartalmaznak, a napelemek előállításához pedig üvegre, alumíniumra, szilíciumra, rézre és kisebb mennyiségben más fémekre van szükség.

Ezeket az anyagokat ki kell termelni, fel kell dolgozni, el kell szállítani, majd évtizedekkel később gondoskodni kell a létesítmények leszereléséről és a hulladékok kezeléséről.

A környezetvédelmi szempontból kedvező energia tehát nem anyagmentes energia.

Az ENSZ Európai Gazdasági Bizottságának (UNECE) életciklus-elemzése is arra hívja fel a figyelmet, hogy a különböző villamosenergia-termelési technológiák környezeti terhei nemcsak nagyságukban, hanem jellegükben is eltérnek.

A valódi kérdés ezért nem egyszerűen az, hogy egy erőmű mennyi szén-dioxidot bocsát ki, hanem az is, hogy mennyi anyagot használunk fel egy kilowattóra előállításához, milyen környezeti károkat okozunk az anyagok kitermelésével, és mi történik a berendezésekkel az élettartamuk végén.

Nem az erőmű mérete, hanem a megtermelt energia számít

Az anyagigény összehasonlításánál könnyű megtévesztő következtetésre jutni.

Egy nagy vízerőmű gátja vagy egy atomerőmű vasbeton szerkezete látványosan sok anyagot tartalmaz. Egyetlen napelem vagy szélturbina ehhez képest kicsinek tűnik.

Csakhogy egy nagy erőmű akár hatvan-nyolcvan évig, megfelelő korszerűsítésekkel esetenként még tovább is működhet, miközben hatalmas mennyiségű energiát termel. Ugyanennyi villamos energia előállításához más technológiából sokkal több különálló berendezésre lehet szükség.

A helyes összehasonlítás ezért nem pusztán az egy erőmű megépítéséhez felhasznált beton vagy acél mennyisége.

Legalább három tényezőt együtt kell vizsgálni: a létesítmény teljes anyagigényét, a várható élettartamát és az ezalatt megtermelt villamos energia mennyiségét.

Egy atomerőmű jelentős kezdeti anyagfelhasználása például nagyon sok évtized alatt, nagy kihasználtság mellett oszlik el. Egy szélerőmű vagy napelempark kevesebb energiát termelhet egy adott beépített megawatt után évente, de más építési technológiával és eltérő anyagösszetétellel készül.

A vízerőművek között is óriási különbségek vannak. Egy hatalmas völgyzáró gát, egy folyami vízlépcső és egy meglévő vízgazdálkodási létesítménybe beépített turbina anyagigénye teljesen más lehet.

Ezért az olyan kijelentések, hogy az atomenergia vagy a vízenergia minden esetben több anyagot igényel, mint a szél- vagy napenergia, nem tekinthetők általánosan igaznak.

Az összehasonlításnak azonos rendszerhatárokon, azonos teljesítménymutatókon és lehetőség szerint teljes életciklus-adatokon kell alapulnia.

Még ez sem ad teljes választ, hiszen egy kilogramm beton, réz vagy ritkaföldfém kitermelése és előállítása egészen eltérő környezeti hatással járhat.

A vízerőművek: hatalmas építmények, hosszú élettartam

A vízerőművek az egyik legrégebbi és legjobban bevált megújuló villamosenergia-termelési technológiát képviselik.

A nagy vízerőművek legfeltűnőbb sajátossága az építésükhöz szükséges anyagmennyiség.

A betonból és acélból épülő gátak, alagutak, erőműépületek és vízelvezető létesítmények hatalmas beruházásokat jelentenek. A beton cementtartalmának előállítása önmagában is jelentős szén-dioxid-kibocsátással jár, a kőzetek kitermelése és szállítása pedig további energiafelhasználást igényel.





31. ábra: A nagy vízerőművek hatalmas beton- és acélszerkezeteket igényelnek. Ezek környezeti terhét azonban a teljes élettartamra és a megtermelt energiára vetítve kell értékelni.

Egy jól megépített vízerőmű ugyanakkor rendkívül hosszú ideig működhet. A turbinák, generátorok és szabályozóberendezések korszerűsíthetők, miközben a fő építmények tovább használhatók.

Az élettartam végén a fémes berendezések jelentős része újrahasznosítható. A betonból készült gát azonban egészen más problémát jelent.

Egy több millió tonnás betonépítményt lebontani és anyagát visszaforgatni rendkívül költséges lehet. A zúzott beton felhasználható például útépítési alaprétegekben vagy bizonyos építőanyagok adalékaként, de ez nem azonos azzal, mintha az eredeti beton teljes értékű újrahasznosítása történne meg.

Ráadásul a vízerőművek környezeti mérlegének egyik legsúlyosabb eleme nem is az építőanyag.

A tározók elárasztathatnak természetes élőhelyeket és mezőgazdasági területeket, átalakíthatják a folyók hordalékszállítását, akadályozhatják a halvándorlást, és megváltoztathatják az alsóbb folyószakaszok vízjárását.

A nagy vízerőművek értékelésénél ezért különösen fontos a helyi ökológiai hatások figyelembevétele. Egy kedvező szén-dioxid-mérleg önmagában nem jelenti azt, hogy az adott beruházás természetvédelmi szempontból is előnyös.

Az atomenergia: sok beton, kevés üzemanyag, különleges hulladék

Az atomerőművek környezetvédelmi megítélését gyakran két, egymással ellentétes szempont határozza meg.

Az egyik az alacsony életciklusra vetített szén-dioxid-kibocsátás. A másik a radioaktív hulladék kezelése és az esetleges súlyos balesetek kockázata.

Az anyagigény azonban ugyanilyen fontos vizsgálati terület.

Egy atomerőmű megépítéséhez nagy mennyiségű beton, acél, réz és speciális szerkezeti anyag szükséges. A reaktorépület, a biztonsági burkolat, a hűtőrendszerek és az egyéb létesítmények szigorú műszaki követelményeknek felelnek meg.





32. ábra: Az atomerőművek építése, működése és leszerelése egyaránt jelentős mérnöki feladat. Nagy kezdeti anyagigényükhöz hosszú működési idő és jelentős villamosenergia-termelés társulhat.

Az atomenergia különleges előnye, hogy az urán energiasűrűsége rendkívül nagy. Viszonylag kis tömegű nukleáris üzemanyaggal hatalmas mennyiségű villamos energia állítható elő.

Ez lényegesen kisebb folyamatos üzemanyag-szállítási igényt jelent, mint a szén- vagy gázerőművek esetében.

Az uránbányászat és az üzemanyag előállítása azonban nem környezetterhelés nélküli folyamat. A bányászati hulladékok, a feldolgozás és az üzemanyagciklus megfelelő kezelést igényelnek.

Az erőmű leszerelésekor a nem szennyezett szerkezeti anyagok egy része visszaforgatható. Más berendezéseknél viszont radioaktív szennyezettséggel kell számolni, ami a feldolgozást és a hulladékkezelést különösen bonyolulttá teszi.

A kiégett nukleáris üzemanyag mennyisége a megtermelt energiához képest viszonylag kicsi, de kezelése szigorú ellenőrzést, megfelelő műszaki megoldásokat és hosszú távú intézményi felelősséget követel.

A nukleáris hulladék problémája tehát nem elsősorban annak hatalmas tömege, hanem egyes összetevőinek veszélyessége és hosszú élettartama.

Az atomenergia környezeti mérlege ezért nem egyszerűsíthető le sem arra, hogy kevés szén-dioxidot bocsát ki, sem arra, hogy radioaktív hulladékot termel.

Mindkét tényt figyelembe kell venni, a jelentős anyagigénnyel, a vízhasználattal és a baleseti kockázatokkal együtt.

A szélerőművek: az acél újrahasznosítható, de mi történik a lapátokkal?

A szélerőművek működés közben nem igényelnek folyamatos tüzelőanyag-ellátást. Anyagfelhasználásuk jelentős része a megépítésükhöz kapcsolódik.

Egy korszerű szélturbina fő szerkezeti anyagai az acél, a beton, a réz és a különféle kompozitok. Egyes generátortípusok állandó mágnesei neodímiumot és más ritkaföldfémeket is tartalmaznak, de nem minden szélerőmű használ ilyen mágneseket.

A tornyok és a gépészeti berendezések fémes alkatrészei viszonylag jól újrahasznosíthatók. Az amerikai Energiaügyi Minisztérium adatai szerint egy szélturbina tömegének hozzávetőleg 85–90 százaléka olyan anyagokból áll, amelyekhez már léteznek kereskedelmi újrahasznosítási eljárások. Ez a becslés nem feltétlenül tartalmazza a teljes alapozást és a kapcsolódó infrastruktúrát.

A legnagyobb kihívást a szélturbinák hatalmas lapátjai jelentik.





33. ábra: A szélturbinák lapátjai üvegszálas vagy szénszálas kompozitokból készülnek. Ezek rendkívül tartósak, de anyagaik szétválasztása jóval nehezebb, mint az acél vagy az alumínium újrahasznosítása.

A lapátokat rendkívül erős, könnyű és időjárásálló szerkezetként tervezik. Ehhez üvegszálas vagy szénszálas erősítésű műanyagokat alkalmaznak, amelyek hosszú időn keresztül ellenállnak a mechanikai terhelésnek.

Éppen ez a tartósság nehezíti az újrahasznosítást.

A lapátok feldarabolhatók, őrölhetők, és az így keletkező anyag bizonyos ipari folyamatokban felhasználható. Fejlesztés alatt állnak olyan vegyi és hőkezelési módszerek is, amelyekkel az erősítőszálak egy része visszanyerhető.

A folyamat azonban gyakran energiaigényes, és nem mindig eredményez az eredetivel azonos minőségű alapanyagot.

A szélerőművek tehát nagyrészt újrahasznosítható szerkezetek, de a lapátok teljes értékű körforgásos feldolgozása továbbra is műszaki és gazdasági kihívás.

A szélerőművek területigényét is érdemes árnyaltan vizsgálni. A turbinák egymástól viszonylag távol helyezkednek el, de a közöttük lévő területek egy része mezőgazdasági célra továbbra is használható.

A teljes szélerőműpark területfoglalása ezért nem azonos a ténylegesen beépített vagy véglegesen más használatból kivont területtel.

A napelemek: újrahasznosíthatók, de milyen mértékben?

A napenergia az egyik leggyorsabban terjedő villamosenergia-termelési technológia.

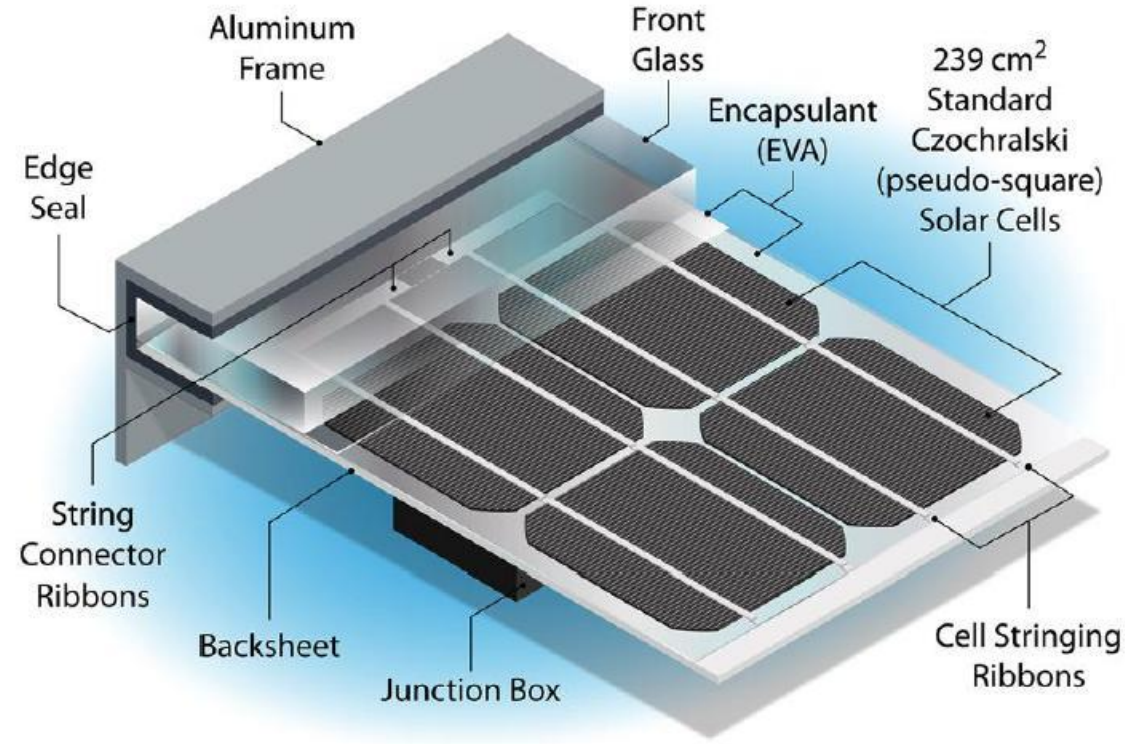
A napelemek környezetvédelmi megítélésénél gyakran az kerül előtérbe, hogy működés közben nem bocsátanak ki szén-dioxidot, és az energiatermeléshez nem igényelnek folyamatos tüzelőanyag-ellátást.

A panelek előállítása azonban összetett ipari tevékenység.

A hagyományos kristályos szilícium alapú napelemmodulok jelentős részét üveg alkotja. Emellett alumíniumkeretet, szilíciumcellákat, rezet, kisebb mennyiségben ezüstöt, valamint különféle műanyag rétegeket tartalmaznak.

Az alapanyagok kitermelése, a szilícium tisztítása, a cellák gyártása és a modulok összeszerelése energiát és ipari infrastruktúrát igényel.

A napelemek környezeti előnye azonban az, hogy a gyártáshoz felhasznált energia az üzemelés során megtermelt villamos energiával idővel megtérülhet, majd a rendszer további évtizedeken keresztül energiát állíthat elő.





34. ábra: A napelemek réteges felépítése és újrahasznosítása. A fő tömegüket alkotó anyagok jelentős része visszanyerhető, de a laminált rétegek szétválasztása és az értékes fémek nagy tisztaságú visszanyerése összetett feladat.

A napelemek újrahasznosítása nem lehetetlen, de fontos különbséget tenni az elméleti lehetőségek és a tényleges ipari gyakorlat között.

Az alumíniumkeret, a csatlakozók és a kábelek viszonylag könnyen eltávolíthatók. Az alumínium és a réz jól beilleszthető a meglévő fémhulladék-feldolgozó rendszerekbe.

Az üveg szintén visszanyerhető, de minősége és tisztasága meghatározza, hogy később milyen célra használható fel.

A szilíciumcellák és az ezüst visszanyerése már nehezebb. A modulok laminált szerkezete miatt a különböző rétegeket mechanikai, hőkezelési vagy vegyi módszerekkel kell szétválasztani.

A Nemzetközi Energiaügynökség fotovoltaikus programjának 2026-os értékelése szerint a jelenlegi ipari gyakorlatban továbbra is meghatározó a mechanikai újrahasznosítás. Ugyanakkor egyre fejlettebb eljárások teszik lehetővé a szilícium, az ezüst és más értékes anyagok nagyobb tisztaságú visszanyerését.

Az újrahasznosítás gazdaságossága azonban nem magától értetődő.

A napelemek tömegének nagy részét viszonylag kis értékű üveg alkotja, míg az értékesebb anyagok kisebb mennyiségben vannak jelen. A feldolgozás költsége ezért egyes esetekben meghaladhatja a visszanyert alapanyagok piaci értékét.

Ez a probléma a jövőben egyre fontosabbá válhat, ahogy a ma üzembe helyezett hatalmas napelemkapacitások fokozatosan elérik élettartamuk végét.

A Nemzetközi Energiaügynökség 2026-os anyagáramlási elemzése szerint a leszerelt napelemekből visszanyerhető fémek, különösen az ezüst, a jövőben jelentős másodlagos nyersanyagforrássá válhatnak.

A napelemeknél ezért a gyártási költség és a hatásfok mellett egyre fontosabb tervezési szempont lehet a későbbi szétszerelhetőség és anyagvisszanyerés.

A legjobb megoldás nem feltétlenül az, ha a modulokat élettartamuk végén egyszerűen összezúzzuk. A jövőben azok a konstrukciók lehetnek előnyösek, amelyek tartósak, javíthatók, és szükség esetén könnyebben szétválaszthatók az alkotóelemeikre.

A szén és a földgáz: a folyamatos anyagfelhasználás problémája

A fosszilis energiahordozók esetében a környezeti mérleg egyik alapvető különbsége, hogy a nyersanyagokat nemcsak az erőmű felépítéséhez használjuk fel.

A tüzelőanyagot az erőmű teljes működése során folyamatosan biztosítani kell.

Egy szénerőmű évtizedeken keresztül szenet fogyaszt. Az ehhez szükséges bányászat, szállítás, tárolás és hulladékkezelés állandó anyagmozgatást jelent.





35. ábra: A szénenergia környezeti terhelése nemcsak az erőmű építéséhez, hanem a folyamatos bányászathoz, tüzelőanyag-szállításhoz és a hamu, illetve pernye kezeléséhez is kapcsolódik.

A szén elégetése után hamu és pernye marad vissza, amelyek mennyisége és összetétele a tüzelőanyag minőségétől függ. Ezek egy része megfelelő követelmények mellett építőanyagokban is felhasználható, de a szennyezett maradékanyagok biztonságos elhelyezése továbbra is feladat.

A szénbányászat közvetlenül is jelentős környezeti hatásokat okozhat, különösen a külszíni bányák esetében. A táj átalakítása, a meddőhányók, a savas bányavizek és a széntelepekből felszabaduló metán mind hozzájárulhatnak a teljes környezeti terheléshez.

A földgázerőművek általában kevesebb szén-dioxidot bocsátanak ki kilowattóránként, mint a széntüzelésű erőművek.

Az erőművek megépítéséhez szükséges beton és acél mellett azonban számolni kell a gázkutakkal, a kompresszorállomásokkal, a vezetékekkel és adott esetben a cseppfolyósított földgáz előállításának és szállításának infrastruktúrájával.

A földgázrendszerek különös problémája a metánszivárgás. A metán erős üvegházhatású gáz, így a kitermelés és szállítás során bekövetkező veszteségek jelentősen ronthatják a földgáz éghajlati mérlegét.

Az erőművek acél- és rézalkatrészei életciklusuk végén itt is visszanyerhetők. A több évtized alatt elégetett tüzelőanyagot azonban már nem lehet újrahasznosítani: annak széntartalma jórészt a légkörbe kerül.

Ez alapvető különbség a tüzelőanyagot folyamatosan fogyasztó és a természetes energiaáramokat hasznosító technológiák között.

Bioenergia: megújuló tüzelőanyag, de nem feltétlenül kis környezeti teher

A bioenergia megítélése talán még a többi energiaforrásénál is jobban függ attól, hogy pontosan milyen alapanyagból és milyen technológiával állítják elő.

A mezőgazdasági maradékanyagok, egyes hulladékok és fenntartható módon előállított biomassza hasznosítása bizonyos körülmények között kedvező megoldás lehet.

Egészen más azonban a helyzet, ha nagy területeken kizárólag energetikai célra termesztenek növényeket.

Ebben az esetben az anyagigény mellett a földhasználat, a vízfelhasználás, a műtrágyaigény és a biológiai sokféleségre gyakorolt hatás is jelentős lehet.

A biomassza elégetése során szén-dioxid keletkezik. A teljes éghajlati mérleg attól függ, hogyan termelték az alapanyagot, milyen időtávon kötődik meg újra a felszabaduló szén, és milyen más földhasználatot váltott fel az energiatermelés.

A bioenergia tehát nem tekinthető automatikusan szén-dioxid-semlegesnek vagy környezetkímélőnek pusztán azért, mert megújuló alapanyagot használ.

Különösen fontos ez akkor, amikor az energianövények termesztése élelmiszer-termeléssel vagy természetes élőhelyek megőrzésével kerül versenybe.

Újrahasznosítható – de valóban újrahasznosítjuk?

Az újrahasznosíthatóság megítélésénél egy alapvető különbséget kell tennünk.

Nem ugyanaz, hogy egy anyag műszakilag visszanyerhető, és hogy a valóságban gazdaságosan, nagy arányban, megfelelő minőségben újra is hasznosítják.

Az acél, az alumínium és a réz újrahasznosítására kiterjedt ipari rendszerek léteznek. A kompozit anyagok, az összetett elektronikai berendezések és egyes speciális ötvözetek esetében a helyzet lényegesen bonyolultabb.

Az újrahasznosításnak ráadásul különböző fokozatai vannak.

A legkedvezőbb esetben a visszanyert anyag az eredetivel azonos vagy hasonló minőségben használható fel. Más esetekben alacsonyabb értékű termékek alapanyagává válik. Ezt gyakran értékcsökkentő újrahasznosításnak nevezik.

A zúzott beton útalapként történő alkalmazása például hasznosíthat egy építési hulladékot, de nem feltétlenül helyettesíti az új cement előállítását.

Hasonlóan, ha egy szélturbina lapátjának darálékát töltőanyagként használják fel, azzal csökkenthető a hulladék mennyisége, de nem jelenti az eredeti kompozit teljes értékű visszanyerését.

Az újrahasznosítás értékelésénél ezért három kérdést kell feltennünk: az anyag mekkora része nyerhető vissza, milyen minőségben, és mennyi energiát, illetve további nyersanyagot igényel maga az újrafeldolgozás.

Az energiaforrások anyagigényének és újrahasznosításának mérlege

A következő összehasonlítás az egyes technológiák jellegzetes anyagfelhasználását és hulladékkezelési problémáit foglalja össze.

Energiaforrás	Fő anyagigény	Újrahasznosítás fő lehetősége és korlátja
Szén	Beton, acél, folyamatos szénkitermelés	Fémek visszanyerhetők; hamu, pernye és bányahulladék kezelendő
Földgáz	Acél, beton, csővezetékek, folyamatos gázellátás	Fémes infrastruktúra visszanyerhető; az elégetett gáz nem
Atomenergia	Jelentős beton, acél, réz, speciális anyagok	Nem szennyezett anyagok újrahasznosíthatók; radioaktív hulladék külön kezelést igényel
Vízenergia	Nagy gátaknál igen sok beton és acél	Gépek és fémek visszanyerhetők; nagy betonépítmények bontása nehéz
Szélenergia	Acél, beton, réz, kompozitok, esetenként ritkaföldfémek	A fémek jól, a kompozit lapátok nehezebben hasznosíthatók újra
Napenergia	Üveg, alumínium, szilícium, réz, kisebb mennyiségű ezüst	A tömeganyagok nagy része visszanyerhető; a cellák és laminált rétegek feldolgozása nehezebb

Bioenergia	Erőművi anyagok és folyamatos biomassza-ellátás	A berendezések részben újrahasznosíthatók; a hamu és más maradékok kezelése technológiafüggő

A táblázat minőségi összehasonlítás. Nem jelöl ki sorrendet a technológiák fajlagos anyagigénye vagy teljes környezeti hatása alapján.

A táblázatból jól látható, hogy az energiatermelési módok közötti különbségek nem vezethetők vissza egyetlen mérőszámra.

Az egyik technológia sok építőanyagot igényel, de rendkívül hosszú ideig működik. A másik kisebb egyedi berendezésekből áll, amelyek tömeges telepítése és időszakos cseréje jelentős nyersanyag-felhasználással járhat.

Egyes energiaforrásokhoz folyamatos tüzelőanyag-kitermelés szükséges, míg másoknál a környezeti terhelés jelentős része az építéshez és a leszereléshez kapcsolódik.

A környezeti mérleg ezért mindig a teljes életciklus és a megtermelt energia együttes vizsgálatát igényli.

Melyik energiatermelési mód a leginkább környezetkímélő?

Erre a kérdésre nincs minden körülmény között érvényes, egyértelmű válasz.

A klímaváltozás szempontjából a nap-, szél-, víz- és atomenergia életciklusra vetített üvegházhatásúgáz-kibocsátása jellemzően lényegesen alacsonyabb, mint a fosszilis tüzelőanyagoké.

De az egyéb környezeti hatások eltérők.

Egy vízerőmű megváltoztathatja egy folyó teljes ökológiai rendszerét. Egy szélerőműpark egyes élőhelyeken kedvezőtlenül befolyásolhatja a madarak és denevérek állományát. Egy napelempark mezőgazdasági vagy természetes területeket foglalhat el. Az atomerőművek pedig különleges biztonsági és hulladékkezelési követelményekkel működnek.

Mindezek mellett nem feledkezhetünk meg az ellátásbiztonságról sem.

A nap- és szélenergia termelése az időjárástól függ. A vízerőművek működését a vízjárás és az aszály is befolyásolhatja. Az atomerőművek hosszú időn keresztül nagy mennyiségű villamos energiát termelhetnek, de beruházásuk költséges és hosszú előkészítést igényel. A gázerőművek rugalmasan szabályozhatók, ugyanakkor fosszilis energiahordozót fogyasztanak.

Ezért egy ország energiarendszerének környezeti mérlegét nem lehet kizárólag az egyes erőműtípusok összehasonlításából meghatározni.

Vizsgálni kell az elektromos hálózatokat, az energiatárolást, a tartalék kapacitásokat, a villamosenergia-importot és az energiahatékonyságot is.

Egy olyan rendszer, amelyben a különböző energiaforrások kiegészítik egymást, gyakran kedvezőbb környezeti és ellátásbiztonsági eredményt érhet el, mint az, amelyik egyetlen technológiára támaszkodik.

Nemcsak tisztább energiára, hanem kevesebb pazarlásra is szükség van

Az energiapolitikai viták gyakran arról szólnak, miből termeljünk több energiát.

Pedig legalább ilyen fontos kérdés, hogy mennyi energiára van valójában szükségünk.

Egy rosszul szigetelt épület korszerűsítése csökkentheti a fűtési és hűtési energiaigényt. A hatékonyabb ipari berendezések, motorok, szivattyúk és elektromos rendszerek ugyanannyi terméket vagy szolgáltatást kevesebb energia felhasználásával biztosíthatnak.

A megtakarított energiát nem kell megtermelni, és az ehhez szükséges újabb erőműveket, hálózatokat és tüzelőanyag-ellátási rendszereket sem kell feltétlenül teljes egészükben kiépíteni.

Ez természetesen nem jelenti azt, hogy az energiahatékonyság javítása anyagmentes folyamat. Az épületszigeteléshez, a korszerű gépekhez és a hálózatok fejlesztéséhez ugyancsak nyersanyagokra van szükség.

De jól megtervezett beruházásokkal az életciklus során elkerült energia- és anyagfelhasználás jelentősen meghaladhatja a korszerűsítéshez szükséges erőforrásokat.

Ez a gondolat összekapcsolja az energiatermelést a körforgásos gazdasággal.

A hosszabb élettartamra tervezett, javítható és újrahasznosítható berendezések csökkenthetik a nyersanyagkitermelés iránti igényt. A meglévő épületek, víztározók, ipari területek és közlekedési létesítmények többcélú hasznosítása pedig mérsékelheti az újabb területek elfoglalását.

A svájci alpesi víztározó gátjára telepített napelemek, a parkolók fölé épített napelemes tetők és a mezőgazdasági területeken alkalmazott agrár-fotovoltaikus rendszerek mind azt mutatják, hogy az energiatermelés fejlesztéséhez nem feltétlenül kell minden esetben újabb területeket kizárólagos használatba venni.

A teljes környezeti ár

Az energiaforrások összehasonlítása jól példázza a környezetvédelem egyik alapvető nehézségét.

Könnyű kijelenteni, hogy egy adott technológia tiszta, mert működés közben nem bocsát ki szén-dioxidot.

Sokkal nehezebb megvizsgálni, milyen bányákból származnak az alapanyagai, mennyi energiát igényel a gyártása, milyen területet használ, mennyi vizet fogyaszt, és mi történik a berendezésekkel évtizedekkel később.

A helyes összehasonlításnak ezért nem szabad egyetlen környezeti mutatóra korlátozódnia.

A szén-dioxid-kibocsátás mellett vizsgálni kell az anyagigényt, az alapanyagok kitermelésének hatásait, a vízfelhasználást, a területfoglalást, a hulladékkezelést és az újrahasznosítás tényleges lehetőségeit.

Azt is figyelembe kell venni, hogy az egyes terhek hol jelentkeznek. A villamos energiát elfogyasztó ország nem feltétlenül ugyanaz, ahol a szükséges rezet, uránt vagy ritkaföldfémeket kitermelik, illetve ahol a berendezéseket előállítják.

A környezetvédelmi mérleg tehát nem ér véget az erőmű kerítésénél, és nem feltétlenül áll meg az országhatároknál sem.

A cél nem az, hogy valamelyik energiaforrást minden körülmények között győztesnek nyilvánítsuk.

Hanem az, hogy a lehető legkisebb teljes környezeti terheléssel biztosítsuk azt az energiát, amelyre a társadalomnak szüksége van.

Ehhez nem elegendő új erőműveket építeni. Tartósabb berendezésekre, jobb újrahasznosítási technológiákra, felelősebb nyersanyag-gazdálkodásra és hatékonyabb energiafelhasználásra is szükség van.

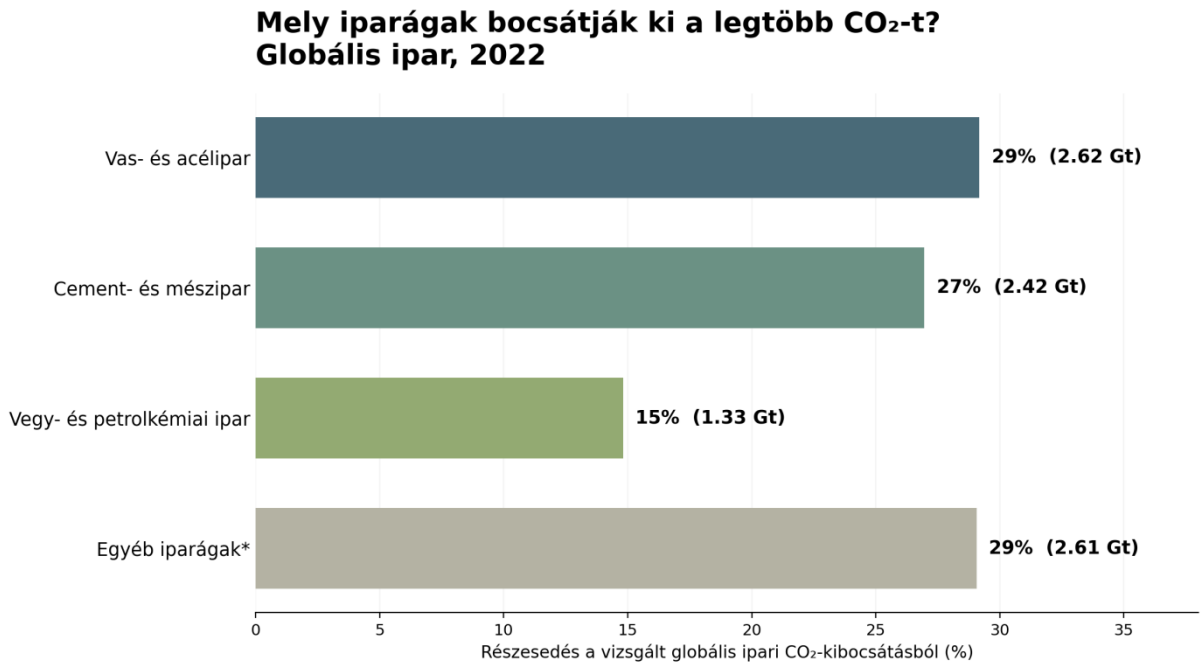
Nincs anyagmentes energia. Minden energiatermelési módnak van környezeti ára. A valódi különbség abban rejlik, hogy ezt az árat milyen mértékben, milyen formában, hol és mennyi időn keresztül fizetjük meg – és hogy mennyit vagyunk képesek belőle elkerülni.

Főbb szakmai források: UNECE: Life Cycle Assessment of Electricity Generation Options (2022); IEA-PVPS: Advances in Photovoltaic Module Recycling (2026); U.S. Department of Energy: Wind Turbine Recycling.

Az ipari szén-dioxid-kibocsátás legnagyobb forrásai

A globális ipari CO_2-kibocsátás 2022-ben mintegy 9 milliárd tonna volt, ha az ipar közvetlen energiafelhasználásához és gyártási folyamataihoz kapcsolódó kibocsátásokat vesszük figyelembe.

Az ENSZ Iparfejlesztési Szervezete (UNIDO) által közölt, Nemzetközi Energiaügynökségtől származó adatok alapján három iparág különösen meghatározó: a vas- és acélgyártás, a cement- és mészipar, valamint a vegyipar. Ezek együttesen az ipari CO_2-kibocsátás mintegy 71 százalékáért feleltek.



Az egyéb kategóriába többek között az alumíniumgyártás, a papíripar, az élelmiszer-feldolgozás és további iparágak kerülnek. Ez nem a teljes környezetszennyezés megoszlása.

Az arányok azért figyelemre méltók, mert a mindennapi életben gyakran nem érzékeljük ezeknek az iparágaknak a jelentőségét. Egy autó kipufogógáza közvetlenül látható, egy épülethez szükséges cement vagy egy híd acélszerkezetének gyártása azonban távol történik a felhasználás helyétől.

Mire a késztermék eljut hozzánk, a környezeti terhelés jelentős része már megtörtént.

A kohászat: a modern világ egyik legnagyobb kibocsátója

A vas- és acélipar az ipari CO_2-kibocsátás egyik legnagyobb forrása.

A hagyományos nagyolvasztós acélgyártás során a vasércből koksz segítségével vonják el az oxigént. A koksz nem csupán tüzelőanyag, hanem kémiai redukálószer is, ezért a szén-dioxid keletkezése magához a technológiához kapcsolódik.

Az acélgyártás környezetterhelése ráadásul nem merül ki a szén-dioxid-kibocsátásban. A kokszolók, olvasztók és egyéb technológiai folyamatok porral, kénvegyületekkel, nitrogén-oxidokkal, valamint különféle veszélyes melléktermékekkel is terhelhetik környezetüket.



36. ábra: Hagyományos nagyolvasztós acélgyártás és elektromos ívkemence. Az újrahasznosított acél elektromos olvasztása jelentősen mérsékelheti a kibocsátást, különösen alacsony szén-dioxid-kibocsátású villamos energiával.

Az egyik lehetséges megoldás a hulladékacél nagyobb arányú visszaforgatása. Az elektromos ívkemencék újraolvaszthatják az acélhulladékot, és megfelelő villamosenergia-ellátás mellett kisebb kibocsátással működhetnek.

A másik fejlesztési irány a vasérc hidrogénnel történő redukciója, amely lehetővé teheti a szén felhasználásának jelentős mérséklését. Ehhez azonban nagy mennyiségű, alacsony kibocsátással előállított hidrogénre és villamos energiára van szükség.

Az acélipar átalakítása tehát nem egyszerűen egy új berendezés megvásárlását jelenti. Az energiaellátás, az alapanyagok és a teljes gyártási folyamat megváltoztatását igényelheti.

A cementipar: a szén-dioxid a nyersanyagból is felszabadul

A cementgyártás környezeti hatása egy fontos szempontból eltér az acélgyártásétól.

A cement legfontosabb alapanyagát, a mészkövet magas hőmérsékleten hevítik. A folyamat során a kalcium-karbonát kalcium-oxiddá alakul, miközben szén-dioxid szabadul fel.

Ez a CO_2 akkor is keletkezik, ha a kemencét nem fosszilis energiahordozóval fűtik.

A cementgyártás kibocsátásának ezért két fő forrása van: a szükséges hő előállítása és maga a kémiai folyamat.

A cementipar közvetlen ipari CO_2-kibocsátásban elfoglalt, mintegy 27 százalékos részesedése jól mutatja, milyen hatalmas környezeti jelentősége van az építőanyagok előállításának.

A kibocsátás csökkentésére több lehetőség kínálkozik: a klinker arányának mérséklése, alternatív kötőanyagok alkalmazása, a hőenergia hatékonyabb felhasználása, valamint a szén-dioxid leválasztása és tárolása.

A cement teljes kiváltása azonban egyelőre nem reális, hiszen a beton a világ egyik legnagyobb mennyiségben felhasznált építőanyaga.

A környezetvédelmi megoldás itt sem feltétlenül az építkezés visszaszorítása, hanem a szükséges építőanyagok hatékonyabb és tisztább előállítása, valamint a meglévő épületek élettartamának meghosszabbítása.

A vegyipar: kisebb CO_2-részesedés, sokféle szennyezés

A vegyipar a globális ipari CO_2-kibocsátás körülbelül 15 százalékáért felelt a vizsgált adatsorban, de környezeti jelentősége ennél sokkal összetettebb.

A vegyipari termelés rendkívül sokféle anyagot és technológiát foglal magában. Ide tartozik a műtrágyagyártás, a műanyagipari alapanyagok előállítása, a szerves vegyipar, valamint számtalan olyan termék gyártása, amelyet a gyógyszeripar, az elektronika vagy a mezőgazdaság használ.

A vegyipar egyes ágazatai jelentős energiafelhasználók. Az ammóniagyártás például nagy mennyiségű hidrogént igényel, amelynek előállítása jelenleg világszerte jelentős részben fosszilis energiahordozókra épül.

Más területeken viszont nem a szén-dioxid jelenti a legnagyobb környezeti kockázatot, hanem a gyártás során felhasznált vagy kibocsátott vegyi anyagok.

A tartósan megmaradó szerves szennyezők, egyes oldószerek, nehézfémvegyületek és a PFAS-anyagcsoport bizonyos tagjai hosszú ideig jelen lehetnek a környezetben, és egy részük már viszonylag alacsony koncentrációban is káros hatású.

Az ENSZ Környezetvédelmi Programjának 2023-as áttekintése több mint 13 ezer, műanyagokhoz kapcsolódó vegyi anyagot azonosított, amelyek közül több mint 3200 potenciálisan veszélyes tulajdonságú.

A vegyipar környezetvédelmében ezért nem elegendő az energiafelhasználás csökkentése. A veszélyes anyagok helyettesítése, a zárt technológiák alkalmazása, a szennyvízkezelés és a termékek teljes életciklusának vizsgálata egyaránt szükséges.

A bányászat: amikor a szennyezés nem a levegőbe kerül

A bányászat környezeti jelentőségét különösen nehéz egyetlen kibocsátási mutatóval jellemezni.

A szén-, vasérc-, réz-, bauxit- és ritkaföldfémbányászat különböző technológiákat alkalmaz, ezért környezeti hatásaik is jelentősen eltérnek.

A külszíni bányászat nagy területeken alakíthatja át a tájat. A kitermelt kőzet feldolgozása hatalmas mennyiségű meddőt és zagyot eredményezhet, amelyet tárolni, kezelni és hosszú távon ellenőrizni kell.





37. ábra: Rézbányászat és bányászati zagytározás. A fémek kitermelésének környezeti terhei jelentős részben a felhasználás helyétől távol jelentkeznek.

A bányászat egyik legsúlyosabb problémája a vízszennyezés. A szulfidos ércek levegővel és vízzel érintkezve savas bányavizeket hozhatnak létre, amelyek különféle fémeket oldhatnak ki a kőzetből.

A zagytározók meghibásodása pedig rövid idő alatt hatalmas környezeti kárt okozhat, ahogyan azt a 2000-es tiszai ciánszennyezés és a 2010-es magyarországi vörösiszap-katasztrófa is megmutatta.

A probléma súlyát jól érzékelteti az aranybányászat egyik sajátossága.

Az ENSZ Környezetvédelmi Programjának becslése szerint a kisüzemi és kézműves aranybányászat a világ emberi eredetű higanykibocsátásának egyik legnagyobb, egyes becslések szerint mintegy 37–40 százalékát adó forrása.

Ez nem az összes környezetszennyezés 40 százalékát jelenti, hanem kifejezetten a higanyét.

Egy másik, kevésbé ismert probléma a szénbányászat metánkibocsátása.

A Nemzetközi Energiaügynökség 2026-os jelentése szerint a működő és felhagyott szénbányák 2025-ben együttesen mintegy 43 millió tonna metánt bocsátottak ki. A metán erős üvegházhatású gáz, így a szénbányászat a szén elégetése előtt is jelentős éghajlati terhelést okozhat.

A bányászat tehát olyan ágazat, amelynek súlya a CO_2-kibocsátási statisztikákból nem ítélhető meg teljesen.

A papíripar: az energia mellett a víz is számít

A papír- és cellulózipar nem tartozik a három legnagyobb ipari CO_2-kibocsátó közé, de energia-, víz- és nyersanyagigénye miatt jelentős környezeti hatásokkal járhat.

A fa feldolgozásához, a rostok előállításához, a mosáshoz és a fehérítéshez összetett technológiák szükségesek.

A szennyvíz jelentős szervesanyag-terhelést, lebegőanyagot és a felhasznált technológiától függően különféle vegyületeket tartalmazhat. Kezeletlenül a vízbe jutva csökkentheti az oldott oxigén mennyiségét, és károsíthatja a vízi élővilágot.





38. ábra: A papírgyártás és a hozzá kapcsolódó vízkezelés. A korszerű üzemekben a víz visszaforgatása és a szennyvíztisztítás jelentősen csökkentheti a környezeti terhelést.

A papíripar ugyanakkor arra is jó példa, hogy az ipari technológia fejlődése valódi környezetvédelmi eredményeket hozhat.

A korszerű rostfeldolgozás, az elemi klórt kiváltó fehérítési eljárások, a víz visszaforgatása és a fejlettebb szennyvíztisztítás csökkenthetik az egységnyi termékre jutó környezeti terhelést.

A papír újrahasznosítása szintén mérsékelheti a friss rostanyag iránti igényt, bár maga az újrafeldolgozás is energiát és vizet használ.

A környezeti mérleg szempontjából a felhasznált fa eredete, az erdőgazdálkodás minősége és az energiaellátás módja egyaránt meghatározó.

A textil- és élelmiszeripar: a kevésbé látványos terhelések

A textilipar környezeti problémái gyakran a gyártás során felhasznált vízhez, festékekhez, segédanyagokhoz és vegyszerekhez kapcsolódnak.

A ruházati termékek előállítása hosszú nemzetközi termelési láncokon keresztül történik. A gyapot termesztése, a fonás, a szövés, a festés és a kikészítés gyakran különböző országokban zajlik.

A kész ruhadarab árán azonban nem feltétlenül látható, milyen vízfelhasználás és szennyezés kapcsolódott az előállításához.

Az UNEP 2025-ös értékelése szerint a textilgyártás különböző szakaszaiban több ezer vegyi anyagot alkalmazhatnak, köztük olyanokat is, amelyek tartós környezeti vagy egészségügyi kockázatot jelenthetnek.

Az élelmiszeripar esetében más természetű problémák jelentkeznek.

A feldolgozóüzemeknek energiára, vízre, hűtésre és csomagolóanyagokra van szükségük. Jelentős mennyiségű szerves anyagot tartalmazó szennyvíz keletkezhet, és a termelési veszteségek, valamint az élelmiszer-hulladék kezelése is környezeti terhet jelent.

A teljes élelmiszer-ellátási rendszer környezeti hatásának jelentős része azonban már a mezőgazdasági alapanyagok előállításánál keletkezik. Ezért fontos különbséget tenni az élelmiszer-feldolgozó ipar és a teljes mezőgazdasági-élelmiszeripari lánc között.

Ki a legnagyobb szennyező? Attól függ, mit mérünk

Az eddigi példák alapján világos, hogy az iparágak környezeti terhelése többféle szempont szerint értékelhető.

Környezeti probléma	Különösen jelentős iparágak
Szén-dioxid-kibocsátás	Acélipar, cementipar, vegyipar
Metánkibocsátás	Szénbányászat, kőolaj- és földgázkitermelés
Nehézfém- és mérgezőanyag-terhelés	Bányászat, kohászat, egyes vegyipari ágazatok
Ipari szennyvízterhelés	Vegyipar, papíripar, textilipar, élelmiszeripar
Nagy mennyiségű bányászati hulladék	Fémércbányászat
Tartós, nehezen lebomló szennyezők	Vegyipar és egyes kapcsolódó feldolgozóipari ágazatok

A táblázat jellemző jelentős forrásokat sorol fel, nem átfogó mennyiségi rangsor. A különböző szennyezőanyagok nem hasonlíthatók össze közvetlenül egyetlen százalékos mutatóval.

A táblázat legfontosabb tanulsága, hogy nincs egyetlen, minden környezeti szempontból érvényes iparági rangsor. Ráadásul a kibocsátott anyag mennyisége önmagában sem elegendő a környezeti veszély megítéléséhez.

Egy nagy tömegben kibocsátott anyag viszonylag kis helyi mérgező hatással járhat, miközben hozzájárul egy globális problémához. Egy kis mennyiségű, különösen mérgező és tartós vegyület viszont súlyos helyi egészségügyi vagy ökológiai károkat okozhat.

A környezetvédelmi döntésekhez ezért nemcsak a kibocsátás tömegét, hanem az anyag veszélyességét, koncentrációját, környezeti sorsát és az érintett lakosság vagy élővilág sérülékenységét is vizsgálni kell.

A szennyezést nem feltétlenül ott mérjük, ahol a hasznot élvezzük

Az ipari környezetszennyezés történetének egyik legfontosabb változása a termelés globalizációja volt. A fejlett országokban az elmúlt évtizedekben számos szennyező iparágat korszerűsítettek, másokat pedig részben külföldre telepítettek.

A lakosság számára ez sok helyen valódi környezeti javulást eredményezett. Tisztább lett a levegő, csökkent az ipari szennyvízterhelés, és egykori iparterületeket alakítottak át.

De ha a korábban helyben gyártott termékeket továbbra is megvásároljuk, csak éppen külföldről, akkor a termelés környezeti terheinek egy része nem tűnik el, hanem áthelyeződik.

A telefonokhoz, számítógépekhez, elektromos autókhoz és megújulóenergia-rendszerekhez felhasznált fémeket ki kell bányászni. Az acélt, alumíniumot, műanyagokat és vegyi anyagokat elő kell állítani.

A késztermékek fogyasztója viszont gyakran több ezer kilométerre él attól a helytől, ahol a környezeti terhelés keletkezik. Ezért egy ország környezeti teljesítményének megítélésekor nem elegendő kizárólag a területén kibocsátott szennyező anyagokat vizsgálni. A fogyasztásához kapcsolódó nemzetközi termelési láncokat is figyelembe kell venni.

A kétféle elszámolás eltérő, de egyaránt fontos kérdésre válaszol.

A területi kibocsátás azt mutatja meg, hol keletkezik a szennyezés. A fogyasztási alapú elszámolás pedig azt, hogy mely országok végső felhasználása áll a kibocsátás mögött.

Hogyan csökkenthető az ipar környezeti terhelése?

Az ipari környezetvédelem története azt bizonyítja, hogy a műszaki fejlődés és a szabályozás együttesen jelentős eredményeket hozhat.

A füstgázok tisztítása, a szennyvízkezelés, az energiahatékonyság javítása és a hulladékok újrahasznosítása már sok esetben bevált megoldás.

A következő nagy lépést azonban nem feltétlenül az egyes szennyezések utólagos eltávolítása jelentheti, hanem a gyártási folyamatok alapvető átalakítása.

Az acéliparban a hulladékacél újrahasznosítása és az új redukciós technológiák, a cementiparban az alternatív kötőanyagok és a szén-dioxid-leválasztás, a vegyiparban pedig a tisztább alapanyagok és zártabb gyártási rendszerek kínálnak lehetőségeket.

A körforgásos gazdaság szemlélete szintén fontos szerepet kaphat. Ha a termékeket hosszabb élettartamra tervezzük, könnyebben javíthatóvá tesszük, és az alapanyagokat nagyobb arányban visszaforgatjuk, csökkenhet az újonnan kitermelendő nyersanyagok mennyisége.

Ez különösen jelentős a fémek esetében, amelyek egy része sokszor újrahasznosítható anélkül, hogy alapvető tulajdonságait elveszítené.

Ugyanakkor az újrahasznosítás sem veszteségmentes. Energiát igényel, és a különböző anyagok szétválasztása gyakran műszakilag nehéz.

A környezetvédelmi követelményeknek ezért a termékek teljes életútjára ki kell terjedniük, a nyersanyag-kitermeléstől a gyártáson és felhasználáson át egészen a hulladékkezelésig.

A legnagyobb szennyező nem mindig a legrosszabb technológiával dolgozik

A globális rangsorok értelmezésekor egy további szempontot is figyelembe kell venni.

Egy nagy iparág összesített kibocsátása akkor is jelentős lehet, ha az egy tonna termékre jutó környezeti terhelését sikerült csökkentenie.

Fordítva is igaz: egy viszonylag kis üzem rendkívül súlyos helyi szennyezést okozhat, ha elavult technológiát használ vagy nem tartja be a környezetvédelmi követelményeket.

Ezért a környezetvédelemben legalább két különböző kérdést kell feltennünk.

Mely ágazatok felelősek a legnagyobb összesített környezeti terhelésért? És mely technológiák, üzemek vagy termékek okozzák a legnagyobb terhelést az előállított mennyiséghez, illetve a nyújtott szolgáltatáshoz viszonyítva?

Az első kérdés segít kijelölni a globális beavatkozások legfontosabb célpontjait. A második megmutatja, hol lehet a termelést hatékonyabban és tisztábban megszervezni.

A környezetvédelem sikerét nem az fogja meghatározni, hogy sikerül-e megneveznünk a legnagyobb szennyezőket, hanem az, hogy képesek vagyunk-e megváltoztatni azokat a technológiákat és gazdasági ösztönzőket, amelyek a szennyezést létrehozzák.

Az ipar termékeire továbbra is szükségünk lesz. A kérdés az, hogy előállításuk valódi környezeti költségét hajlandók vagyunk-e figyelembe venni – vagy továbbra is másokra, illetve a következő nemzedékekre hárítjuk azt.

II. Amikor észrevettük a következményeket

5. A füstös városoktól a tisztább levegőig

Amikor a füst még a fejlődés jelképe volt

A 19. században az ipari városok látványát egyre inkább a magas gyárkéményekből felszálló füst határozta meg. A korabeli metszeteken és festményeken a füstölgő kémények sokszor a gazdasági fejlődés, a technikai haladás és a jólét jelképei voltak.

Ahol füst szállt fel, ott gyárak működtek, gépek dolgoztak, termékek készültek, és emberek ezrei találtak munkát.

Az ipari forradalom előtt a városok levegője természetesen nem volt mindig tiszta. A lakóházakban fával vagy szénnel fűtöttek, a műhelyek és kézműves üzemek különféle égéstermékeket bocsátottak ki, az utcák porát pedig a közlekedés kavarta fel.

Az iparosodás azonban új nagyságrendet jelentett.

A gyárakban, kohókban, erőművekben és lakóházakban hatalmas mennyiségű szenet égettek el. Az égés során keletkező korom, kén-dioxid és más szennyező anyagok egyre nagyobb mennyiségben kerültek a levegőbe.

A városok növekedésével a szennyező források egyre közelebb kerültek egymáshoz. Az ipari üzemek körül munkásnegyedek épültek, amelyek lakói nap mint nap belélegezték a gyárak és saját fűtőberendezéseik égéstermékeit.

A korabeli London, Manchester vagy Birmingham levegője sokszor olyan sűrűn füstös volt, hogy a napfény alig jutott át rajta. A házak homlokzatát korom borította, a növényzet levelein szennyeződés rakódott le, az emberek ruházata és a lakások berendezése is gyorsan koszolódott.

Mindezt azonban sokáig a modern élet szükségszerű velejárójának tekintették.

A füst kellemetlen volt, de a gazdasági fejlődés árának számított.

A helyzet csak akkor kezdett megváltozni, amikor egyre nyilvánvalóbbá vált, hogy a szennyezett levegő nem csupán esztétikai vagy kényelmi probléma, hanem az emberi egészséget veszélyeztető környezeti tényező.

London, 1952 decembere: öt nap, amely megváltoztatta a szemléletet

1952. december 5-én Londonban hideg, párás idő uralkodott.

A lakosság a szokásosnál intenzívebben fűtött. A háztartások jelentős része szénnel biztosította a meleget, miközben a város ipari létesítményei és erőművei is nagy mennyiségű égésterméket bocsátottak ki.

A levegőbe kerülő szennyező anyagok normális körülmények között fokozatosan elkeveredtek volna a légkörben.

Ekkor azonban különleges meteorológiai helyzet alakult ki.

A város fölött anticiklonális időjárási rendszer uralkodott, amely gyenge légmozgással és hőmérsékleti inverzióval járt.

Normális körülmények között a levegő hőmérséklete a felszíntől felfelé haladva általában csökken. Inverzió esetén azonban egy magasabban elhelyezkedő melegebb légréteg akadályozhatja az alatta lévő hidegebb levegő függőleges keveredését.

A London fölött kialakult helyzetben a szennyezett levegő mintegy csapdába került.

A kéményekből felszálló füst és a köd összekeveredett. A légkörben olyan kémiai folyamatok is végbementek, amelyek során a kén-dioxid egy részéből savas összetevők és finom részecskék képződtek.

A köd fokozatosan sűrűvé, sárgásbarnává és rendkívül mérgezővé vált.

A jelenséget később Great Smog, vagyis nagy szmog néven ismerték meg.



39. ábra: Londoni autóbusz az 1952 decemberében kialakult nagy szmog idején. A széntüzelésből származó légszennyezés és a kedvezőtlen időjárás együttesen súlyos egészségügyi katasztrófát idézett elő.

Forrás: GEO – London's Great Smog.

A helyzet december 6-án és 7-én tovább romlott.

A látótávolság egyes helyeken néhány méterre, sőt ennél is kisebbre csökkent. A járművek csak rendkívül lassan tudtak közlekedni, a buszjáratok egy részét leállították, és a gyalogosok is nehezen találták meg útjukat.

A sűrű szmog épületek belsejébe is bejutott. Színházi és mozielőadásokat kellett megszakítani, mert a nézők már a termeken belül sem láttak megfelelően.

A legnagyobb veszélyt azonban nem a rossz látási viszonyok jelentették.

Az emberek napokon keresztül rendkívül magas koncentrációban lélegeztek be mérgező gázokat és apró részecskéket.

A szennyezés különösen az idősekre, a gyermekekre, valamint a szív- és légzőszervi betegségekben szenvedőkre volt veszélyes.

A kórházakban megszaporodtak a légzési nehézségekkel jelentkező betegek. Sokan otthonukban haltak meg, és a halálozások száma már a szmog napjaiban jelentősen megemelkedett.

December 9-én az időjárás megváltozott, a szél megerősödött, és a mérgező köd fokozatosan felszakadozott.

London levegője ismét kitisztult.

A katasztrófa következményei azonban még hetekig érezhetők voltak.

Hány ember halt meg a londoni szmog miatt?

A tragédia halálos áldozatainak száma körül hosszú ideig bizonytalanság volt.

A korabeli hivatalos értékelések körülbelül négyezer többlethalálesettel számoltak. Későbbi epidemiológiai vizsgálatok azonban arra jutottak, hogy a szennyezéssel összefüggő, a következő hetekben bekövetkező halálozásokat is figyelembe véve a szám lényegesen magasabb lehetett.

A legtöbbször idézett későbbi becslés körülbelül 12 ezer halálesetet említ.

A két szám közötti különbség nem egyszerű statisztikai tévedés. Eltérő időtartamot és számítási módszert tükröznek, és azt mutatják, mennyire nehéz meghatározni egy környezeti katasztrófa teljes egészségügyi következményeit.

A szmog ugyanis nem feltétlenül úgy okoz halált, ahogyan egy épületomlás vagy közlekedési baleset.

A légszennyezés súlyosbíthat meglévő betegségeket, szív- és érrendszeri eseményeket válthat ki, és olyan egészségromláshoz vezethet, amelynek végső következménye csak napokkal vagy hetekkel később jelentkezik.

Ráadásul az egyes haláleseteknél sokszor nem állapítható meg teljes bizonyossággal, hogy a szennyezés nélkül az illető mikor halt volna meg.

A járványtani kutatások ezért általában a tényleges halálozást vetik össze azzal, ami a korábbi évek és az adott időszak viszonyai alapján várható lett volna.

Az így becsült többlethalálozás fontosabb mutató lehet, mint az egyes halotti bizonyítványokon feltüntetett közvetlen halálok.

A londoni katasztrófa tehát nem csupán a légszennyezés veszélyére figyelmeztetett, hanem arra is, hogy a környezeti ártalmak emberi következményei gyakran sokkal nagyobbak, mint amit közvetlenül észlelünk.

A tragédiából jogszabály lett

Az 1952-es szmog nem az első súlyos légszennyezési esemény volt London történetében.

A város lakói már korábban is megtapasztalták a szénfüsttel keveredő köd kellemetlen és egészségkárosító hatásait.

A probléma tehát ismert volt.

A katasztrófa mégis alapvető változást idézett elő, mert a korábban megszokottként kezelt jelenség egyszerre elfogadhatatlanná vált.

A közvélemény nyomása, az egészségügyi bizonyítékok és a további tragédiáktól való félelem arra késztette a brit államot, hogy szigorúbb intézkedéseket vezessen be.

1956-ban elfogadták a Clean Air Act nevű törvényt.

A jogszabály lehetőséget teremtett füstmentes övezetek kialakítására, korlátozta a fekete füst kibocsátását, és ösztönözte a tisztább tüzelőanyagok, valamint korszerűbb fűtési megoldások használatát.

A változás nem történt meg egyik napról a másikra.

A háztartások fűtőberendezéseit át kellett alakítani, az ipari üzemekben új technológiákat kellett alkalmazni, és jelentős beruházásokra volt szükség.

A széntüzelés visszaszorulásával, a földgáz és a villamos energia növekvő használatával, valamint az ipari szerkezet változásával azonban London levegője fokozatosan javult.

Az 1956-os törvényt később további szabályozások követték, köztük az 1968-as Clean Air Act.

A nagy szmog nem tűnt el azonnal, és 1962-ben Londonban ismét súlyos, halálos áldozatokkal járó szmoghelyzet alakult ki. A hosszú távú intézkedések mégis eredményesnek bizonyultak. A széntüzelés okozta, 1952-höz hasonló katasztrófa többé nem ismétlődött meg.

A londoni történet a modern környezetvédelmi jogalkotás egyik fontos példájává vált.

Bebizonyította, hogy a légszennyezés nem elkerülhetetlen velejárója a városi életnek. Megfelelő műszaki megoldásokkal, szabályozással és társadalmi együttműködéssel jelentősen csökkenthető.

A savas eső: amikor a szennyezés messzebbre jutott

A 20. század második felében egy másik, egyre nyugtalanítóbb környezeti probléma került a kutatók figyelmének középpontjába.

Európa és Észak-Amerika egyes vidékein tavak savasodtak el, erdők károsodtak, és a talaj kémiai összetétele kedvezőtlenül változott meg.

A jelenség különösen aggasztó volt azért, mert a károk sok esetben olyan térségekben jelentkeztek, ahol nem működtek nagy ipari szennyezőforrások.

Skandinávia egyes tavaiban például csökkent a halállomány, miközben a környező tájak látszólag alig változtak.

A kutatások fokozatosan feltárták az összefüggést.

A széntüzelésű erőművek, ipari üzemek és más források kén-dioxidot, illetve nitrogén-oxidokat bocsátottak ki. Ezek a gázok a légkörben különféle kémiai reakciók során savas vegyületekké alakulhattak.

A keletkező kénsav és salétromsav egy része a csapadékkal jutott a felszínre, más része száraz ülepedéssel rakódott le.

A folyamatot összefoglalóan savas ülepedésnek nevezzük, bár a köznyelvben a savas eső kifejezés terjedt el.

Fontos tudni, hogy a természetes esővíz sem teljesen semleges kémhatású. A légköri szén-dioxid oldódása miatt általában enyhén savas. Az ipari eredetű savas ülepedés azonban ennél lényegesen erősebb savterhelést is okozhat.

A szennyező anyagokat a légáramlások több száz vagy akár több ezer kilométerre is elszállíthatják.

Egy ország erőműveinek kibocsátása ezért más országok erdeiben, tavaiban és talajaiban okozhat károkat.

A környezeti probléma túllépett az országhatárokon.

A halott erdők

A savas ülepedés különösen látványos károkat okozott Európa egyes hegyvidékein.

A német–cseh határ térségében található Érchegység, valamint Közép-Európa más ipari régióinak erdőiben az 1970-es és 1980-as években tömeges fakárosodások jelentkeztek.

A magas kén-dioxid-koncentráció, a savas ülepedés és más környezeti stresszhatások együttesen különösen a tűlevelű erdőkben okoztak súlyos pusztulást.

Egyes hegyoldalakon hatalmas területeken álltak elszáradt, lombjukat vesztett fák.



40. ábra. Erdőpusztulás az Érchegységben, 1982. A keletnémet–csehszlovák határvidéken az ipari eredetű légszennyezés és a savas ülepedés súlyos erdőkárosodáshoz járult hozzá.

Forrás: German History in Documents and Images.

A károsodás mechanizmusa összetett volt.

A savas ülepedés módosíthatta a talaj kémhatását, elősegíthette egyes tápanyagok kimosódását, és növelhette bizonyos, a növények számára káros alumíniumformák oldhatóságát.

A kén-dioxid és más légszennyezők közvetlenül is károsíthatták a növények leveleit és tűleveleit.

A legyengült fák érzékenyebbé válhattak a szárazságra, a fagyra és a kártevőkre.

Az erdőpusztulást ugyanakkor nem lehetett mindenütt kizárólag a savas esőre visszavezetni. Szerepet játszott az erdők fafajösszetétele, a gazdálkodás módja, az éghajlati stressz és a különféle betegségek jelenléte is.

A savas ülepedés mégis meghatározó tényezőnek bizonyult számos súlyosan érintett térségben.

A látvány sokkoló volt.

Az emberek évszázadok óta tudták, hogy a fakitermelés az erdők eltűnéséhez vezethet. Most azonban azt tapasztalták, hogy a fákat nem is feltétlenül kell kivágni ahhoz, hogy egy erdő elpusztuljon.

Elég lehet a távolból érkező légszennyezés is.

Az eső, amely országhatárok nélkül hullott

A savas esők problémája új felismerést hozott a nemzetközi környezetvédelemben.

A korábbi légszennyezési intézkedések jelentős része a városok és ipari üzemek közvetlen környezetének védelmét szolgálta.

A szennyezőforrások és a károsult területek azonban egyre távolabb kerülhettek egymástól.

A magasabb kémények például mérsékelhették a szennyező anyagok helyi koncentrációját, mert a kibocsátás nagyobb légtérben oszlott el. Ez azonban nem szüntette meg a szennyezést.

A távolabb elsodródó anyagok más térségekben ülepedhettek ki.

A helyi levegő minőségének javulása ezért nem feltétlenül jelentette a teljes környezeti terhelés csökkenését.

A skandináv országok különösen határozottan hívták fel a figyelmet erre a problémára. Norvégiában és Svédországban olyan tavak és erdők károsodtak, amelyek szennyezésében távoli ipari országok kibocsátásai is szerepet játszottak.

A probléma megoldásához nem volt elegendő egyetlen ország saját területén intézkedni.

Nemzetközi együttműködésre volt szükség.

1979-ben Genfben elfogadták a nagy távolságra jutó, országhatárokon átterjedő levegőszennyezésről szóló egyezményt, amely 1983-ban lépett hatályba.

Ez az ENSZ Európai Gazdasági Bizottságának keretében létrejött megállapodás a nemzetközi környezetvédelmi együttműködés egyik mérföldköve lett.

A részt vevő államok fokozatosan közös kibocsátáscsökkentési célokat, mérési rendszereket és ellenőrzési eljárásokat alakítottak ki.

Az 1985-ös kénjegyzőkönyv például legalább 30 százalékos kénkibocsátás-csökkentést irányzott elő a vállalást elfogadó országok számára, meghatározott bázisévhez viszonyítva.

A savas eső ezzel a nemzetközi környezetpolitika egyik első nagy sikertörténetévé vált.

Kiderült, hogy az országhatárokon átterjedő szennyezés nem feltétlenül megoldhatatlan probléma, ha a részt vevő államok elfogadják a közös tudományos bizonyítékokat, és hajlandók ellenőrizhető kötelezettségeket vállalni.

A technológia, amely megtisztította a füstöt

A levegőtisztasági szabályozás sikere nem kizárólag a kibocsátási tilalmaknak volt köszönhető.

A műszaki fejlődés kulcsszerepet játszott abban, hogy az ipari termelés és az energiatermelés egy része lényegesen kisebb helyi légszennyezéssel működhessen.

A széntüzelésű erőművekben és nagy ipari berendezésekben többféle füstgáztisztítási technológia terjedt el.

A porleválasztó berendezések, különösen az elektrosztatikus leválasztók és a különböző szűrőrendszerek jelentősen csökkenthetik a szilárd részecskék kibocsátását.

A füstgáz-kéntelenítő berendezések a kén-dioxid jelentős részét távolítják el. Az egyik elterjedt eljárásban mészkőből előállított szuszpenzióval kötik meg a kén-dioxidot, és megfelelő körülmények között gipsz keletkezik.

A nitrogén-oxidok kibocsátásának mérséklésére égéstechnikai megoldásokat és katalitikus tisztítási eljárásokat alkalmaznak.

A tisztítás természetesen nem ingyenes. Berendezéseket, energiát, vegyszereket, karbantartást és a keletkező melléktermékek kezelését igényli.

Az üzemeltetők számára ezért a környezetvédelmi előírások kezdetben gyakran többletköltséget jelentettek.

A társadalom egészének szempontjából azonban a mérleg más lehet.

A szennyezett levegő egészségügyi ellátási költségeket, kieső munkaidőt, korai halálozást, mezőgazdasági károkat és épületromlást okoz. Ezek a költségek többnyire nem jelennek meg közvetlenül a szennyező vállalat termelési elszámolásában.

A közgazdaságtan az ilyen hatásokat negatív externáliáknak nevezi.

A vállalat által előállított termék ára nem feltétlenül tartalmazza mindazokat a költségeket, amelyeket a környezet és a társadalom visel.

A környezetvédelmi szabályozás egyik fontos feladata éppen az, hogy ezeket a költségeket legalább részben visszavezesse a gazdasági döntésekbe.

A megfelelő kibocsátási határértékek, a szennyezési díjak és más szabályozási eszközök ezért nem pusztán korlátozzák a termelést, hanem ösztönözhetik a tisztább technológiák fejlesztését is.

Az amerikai savaseső-program: amikor a gazdasági ösztönző is működött

Az Egyesült Államokban az 1990-es Clean Air Act-módosítások új megközelítést vezettek be a savas esőért felelős kibocsátások csökkentésére.

Az Acid Rain Program a szén- és más fosszilis tüzelőanyagokat használó erőművek kén-dioxid-kibocsátását korlátozta.

A program egyik sajátossága az volt, hogy a teljes engedélyezett kibocsátásra felső határt állapítottak meg, és a részt vevő létesítmények kibocsátási egységekkel kereskedhettek.

Egy vállalat dönthetett úgy, hogy hatékonyabb tisztítóberendezést alkalmaz, kisebb kéntartalmú tüzelőanyagra tér át, vagy más módon csökkenti kibocsátását.

Ha kevesebbet bocsátott ki az engedélyezettnél, a fel nem használt egységeket meghatározott szabályok szerint értékesíthette.

A megközelítés lényege az volt, hogy a környezeti célt a jogszabály határozza meg, de a teljesítés módjának megválasztásában bizonyos rugalmasságot biztosít a vállalatoknak.

A programot 1995-től fokozatosan vezették be.

Az eredmények jelentősek voltak. Az amerikai Környezetvédelmi Ügynökség értékelése szerint a program és a későbbi szabályozások, valamint az energiaágazat átalakulása együttesen több mint 95 százalékkal csökkentették az amerikai villamosenergia-termelő szektor éves kén-dioxid-kibocsátását az 1990-es szinthez képest.

A csökkenés nem kizárólag egyetlen szabályozás eredménye volt. Szerepet játszottak benne a műszaki fejlesztések, az erőműpark megváltozása és a tüzelőanyagok közötti átrendeződés is.

A tapasztalat mégis megmutatta, hogy megfelelően kialakított kibocsátási korlátok mellett a gazdasági ösztönzők is hozzájárulhatnak a környezetterhelés mérsékléséhez.

Ez azért fontos, mert a környezetvédelemről folyó vitákban gyakran úgy jelenik meg a kérdés, mintha a gazdasági hatékonyság és a környezetvédelem szükségszerűen egymás ellenfelei lennének.

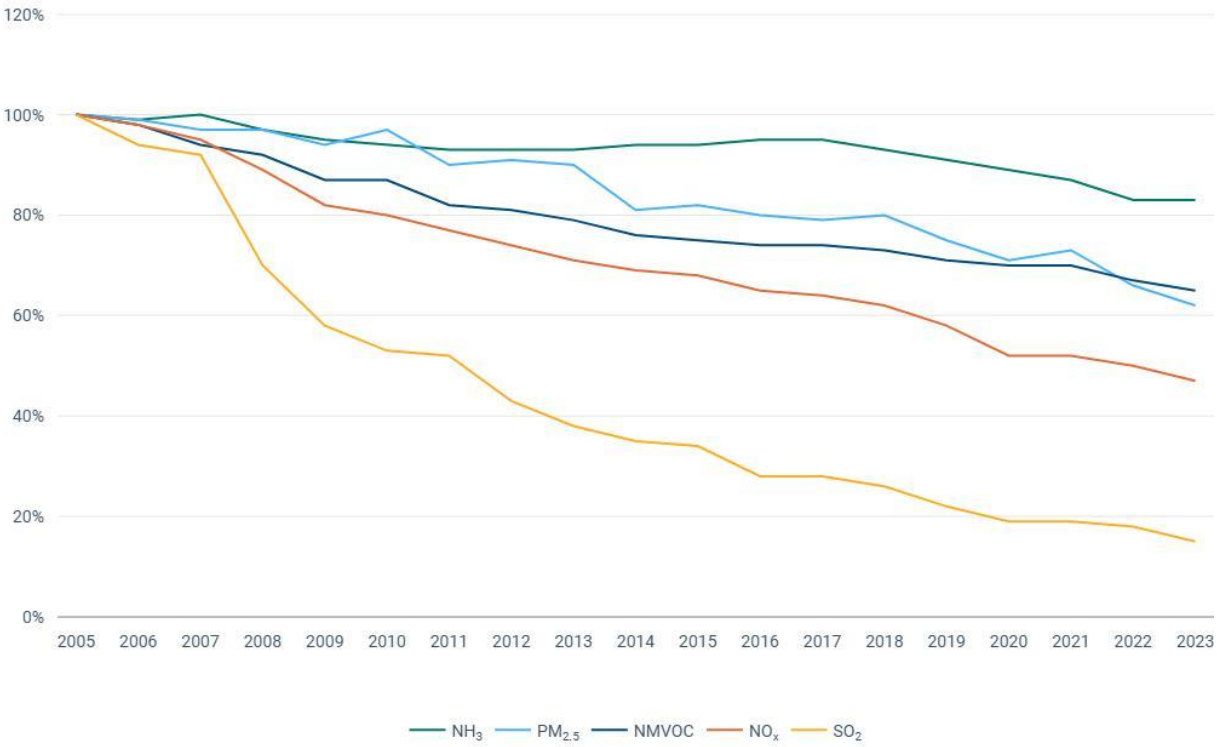
A valóság ennél összetettebb.

A környezeti célok elérésének költsége jelentősen függ attól, hogy milyen szabályozási és technológiai megoldásokat alkalmaznak.

Európa tisztább lett

A savas esők elleni intézkedések eredményei Európában is látványosak.

Az Európai Környezetvédelmi Ügynökség adatai szerint az Európai Unióban a kén-oxidok kibocsátása 2005 és 2023 között mintegy 84 százalékkal csökkent. Ugyanezen időszakban a nitrogén-oxidok kibocsátása körülbelül 53 százalékkal, az elsődleges $PM_{2,5}$ finomrészecske-kibocsátás pedig 38 százalékkal mérséklődött.



41. ábra: A főbb légszennyező anyagok kibocsátásának változása az Európai Unióban 2005 és 2023 között, a 2005-ös értékek százalékában. A legnagyobb javulás a savas esők kialakulásában meghatározó szerepet játszó kén-oxidok kibocsátásában következett be.

Az Európai Környezetvédelmi Ügynökség adatai szerint a változások:

- Kén-oxidok (SO_x): −84%
- Nitrogén-oxidok (NO_x): −53%
- Finom részecskék ($PM_{2,5}$): −38%
- Nem metán illékony szerves vegyületek: −35%
- Ammónia (NH_3): −17%

Forrás: Országos Légszennyezettségi Mérőhálózat, az Európai Környezetvédelmi Ügynökség adatai alapján.

Ez valódi környezetvédelmi eredmény.

A csökkenéshez hozzájárult a széntüzelés mérséklése, a tisztább energiahordozók használata, a füstgáztisztító technológiák elterjedése, az ipari szerkezet átalakulása és a jogszabályi előírások szigorítása.

A folyamatot azonban nem szabad úgy értelmezni, hogy Európa légszennyezési problémái megszűntek.

A szálló por, a nitrogén-dioxid és a talajközeli ózon ma is egészségügyi kockázatot jelent. A mezőgazdaságból származó ammónia kibocsátásának mérséklésében például jóval kisebb előrelépés történt, mint a kén-dioxid esetében.

A legfontosabb tanulság mégis az, hogy a légszennyezés nem elkerülhetetlen ára a fejlett ipari társadalomnak.

A megfelelő technológiák, az ellenőrzés és a szabályozás képesek jelentősen mérsékelni a környezeti terhelést akkor is, ha a gazdasági tevékenység tovább folyik.

Magyarország: a füstös iparvidékektől a mai légszennyezésig

Magyarországon a 20. század második felében különösen az ipari térségekben és a nagyvárosokban jelentett komoly problémát a légszennyezés.

Miskolc, Ózd, Tatabánya, Dorog, Dunaújváros és más ipari központok környezetében a kohászat, a szénbányászat, az erőművek és a különféle gyárak jelentős mennyiségű port és gáznemű szennyező anyagot bocsátottak ki.

A lakossági széntüzelés tovább növelte a terhelést.

Az 1980-as években a fűtési idényben számos településen kialakulhattak kedvezőtlen légszennyezettségi helyzetek, különösen szélcsendes, inverziós időben.

A történeti adatok szerint a kén-dioxid-szennyezettség már az 1970-es évektől csökkenő tendenciát mutatott, de a későbbi években is jelentős területi különbségek maradtak. Az 1987 és 1992 közötti mérésekben Tatabánya, Dorog és Miskolc különösen magas kén-dioxid-terhelésű települések között szerepeltek.

A rendszerváltás után az iparszerkezet átalakulása sok nagy kibocsátású létesítmény bezárásával vagy korszerűsítésével járt.

A földgáz használatának növekedése, a távfűtés korszerűsítése és a környezetvédelmi berendezések elterjedése további javulást hozott.

E változások környezeti előnyei jelentősek voltak, gazdasági és társadalmi következményeik azonban nem mindenütt voltak kedvezőek. A gyárbezárások munkahelyek megszűnésével, egyes ipari térségek hanyatlásával és súlyos foglalkoztatási problémákkal jártak.

A levegőminőség javulása ezért nem írható le kizárólag környezetvédelmi sikerként. Bizonyos térségekben gazdasági visszaesés is közrejátszott benne.

A mai Magyarország légszennyezési problémái részben eltérnek a korábbiaktól.

A nagy ipari kibocsátókon túl jelentős szerepet játszik a közúti közlekedés, a lakossági szilárdtüzelés, a mezőgazdasági kibocsátás és a kedvezőtlen meteorológiai körülmények hatása.

Télen a rosszul szigetelt épületek, az elavult kályhák és kazánok, valamint a nem megfelelő minőségű tüzelőanyagok használata egyes településeken magas részecskekoncentrációt okozhat.

Egy korszerű erőműben az égéstermékek tisztítása nagy hatásfokkal megoldható. Egy régi családi ház elavult kályhájában azonban a tüzelés jóval kevésbé szabályozott körülmények között történhet.

A lakossági fűtés korszerűsítése ezért nem csupán energetikai vagy klímavédelmi, hanem közvetlen egészségvédelmi feladat is.



42. Ábra: Szmogos téli nap Budapesten, 2017. január 22-én. A kedvezőtlen légköri viszonyok miatt feldúsultak a levegőben a közlekedésből, a fűtésből és más forrásokból származó szennyező anyagok. A fővárosban a szálló por magas koncentrációja miatt szmogriadót rendeltek el.

    Fotó: MTI / Marjai János. Forrás: Origo – Tartós maradhat a fővárosi szmogriadó.

Miért kell gyakran katasztrófa ahhoz, hogy cselekedjünk?

Az 1952-es londoni szmog története különös kérdést vet fel.

Miért volt szükség több ezer ember halálára ahhoz, hogy a társadalom komolyan foglalkozzon egy olyan problémával, amelyről már korábban is tudott?

A válasz nem egyszerűen a tudatlanságban keresendő.

A légszennyezés ártalmai már a 19. században is ismertek voltak. Orvosok és természettudósok figyelmeztettek a füst egészségkárosító hatására, a lakosság pedig mindennap tapasztalta a rossz levegőt.

Mégsem történt elegendő változás.

Ennek egyik oka az volt, hogy a szennyezés hosszú idő alatt vált a mindennapi élet részévé.

Az emberek hozzászoktak a füstös levegőhöz, a gyárkéményekhez és a téli ködhöz. A jelenség megszokottá vált, ezért a benne rejlő veszélyt gyakran alábecsülték.

A másik ok a gazdasági érdekekben keresendő.

A gyárak működéséhez energiára volt szükség, a lakások fűtését biztosítani kellett, a tisztább technológiák bevezetése pedig pénzbe került volna.

A költségek közvetlenül jelentkeztek volna a vállalatoknál, az önkormányzatoknál vagy a háztartásoknál.

A légszennyezés egészségügyi költségei ezzel szemben sokkal kevésbé voltak láthatók. A betegek külön-külön kerültek kórházba, a halálesetek különböző időpontokban következtek be, és a károk nem mindig voltak egyetlen szennyezőforráshoz köthetők.

A társadalom ezért hajlamos volt a közvetlen költségeket túlértékelni, a hosszú távú egészségügyi veszteségeket pedig alábecsülni.

A harmadik tényező a bizonytalanság volt.

A környezeti rendszerek összetettek, és egy-egy egészségügyi vagy ökológiai károsodásnak több oka is lehet.

A tudományos vizsgálatok időt igényelnek. Amíg pedig nincs teljes bizonyosság, az érintett gazdasági szereplők és a döntéshozók könnyebben halaszthatják a beavatkozásokat.

Az 1952-es londoni katasztrófa mindezt megváltoztatta.

A korábban lassan felhalmozódó, statisztikákban megjelenő egészségügyi ártalom hirtelen látványos, időben jól körülhatárolható tragédiává vált.

Az emberek nem csupán hallottak a légszennyezés veszélyeiről, hanem közvetlenül megtapasztalták annak következményeit.

A katasztrófa egyértelmű politikai és társadalmi követelést teremtett: változtatni kell.

A megelőzés láthatatlan sikere

A környezetvédelem egyik legnagyobb nehézsége, hogy a sikeres megelőzés eredménye gyakran láthatatlan.

Ha egy gyár megfelelő füstgáztisztítót szerel fel, a környező lakosság esetleg észreveszi a javuló levegőminőséget. Azt azonban már nehéz közvetlenül érzékelni, hány légzőszervi megbetegedés vagy korai haláleset nem következett be.

Ha egy tó savasodását sikerül megakadályozni, a halállomány fennmarad, a vízi élővilág működik tovább, és semmi rendkívüli nem történik.

Éppen ez a siker.

A megelőzés azonban politikailag és társadalmilag gyakran nehezebben bemutatható, mint egy már bekövetkezett katasztrófa utáni helyreállítás.

A megelőzés költsége azonnal megjelenik. Az elkerült kár csak becslésekkel mutatható ki.

Ez sajátos döntési csapdát teremt.

Ha a megelőző intézkedés eredményes, a veszély nem következik be, és később akár az a benyomás is kialakulhat, hogy az intézkedés felesleges volt.

Ha viszont nem történik megelőzés, és a katasztrófa bekövetkezik, a társadalom utólag gyakran azt kérdezi, miért nem cselekedtek korábban.

A modern környezetvédelemnek ezért nemcsak a szennyezések mérését és csökkentését kell megoldania, hanem a kockázatok társadalmi megértetését is.

Az embereknek olyan veszélyekről kell dönteniük, amelyek következményei sokszor nem azonnal, nem ugyanott és nem egyformán jelentkeznek.

A tisztább levegő története még nem ért véget

A londoni szmog és a savas esők története azt bizonyítja, hogy az ember képes felismerni és jelentősen mérsékelni az általa okozott környezeti károkat.

A városi széntüzelés visszaszorítása, a füstgáztisztító berendezések elterjedése, az ipari szabályozás és a nemzetközi együttműködés sok térségben jelentős eredményeket hozott.

A korábban súlyosan szennyezett városok egy részében ma sokkal jobb a levegő, és a savas ülepedés terhelése is lényegesen csökkent.

Az eredmények azonban nem jelentik azt, hogy a probléma végleg megszűnt.

Az ipari légszennyezés egy részét sikerült mérsékelni, miközben más források – a közlekedés, a lakossági fűtés, a mezőgazdaság és egyes ipari folyamatok – továbbra is jelentős környezetterhelést okoznak.

Ráadásul a fosszilis tüzelőanyagok elégetésének van egy olyan következménye, amelyet a hagyományos füstgáztisztítás önmagában nem old meg: a szén-dioxid légköri felhalmozódása.

A látható füst eltűnése tehát nem feltétlenül jelenti az energiatermelés valamennyi környezeti hatásának megszűnését.

A történelem ugyanakkor reményre is okot ad.

A savas esők csökkentése megmutatta, hogy a tudományos bizonyítékok, a nemzetközi együttműködés, a technológiai fejlesztés és a megfelelő jogszabályok együttesen működőképes megoldásokat teremthetnek.

A legfontosabb tanulság azonban talán nem is technológiai természetű.

Az emberiségnek meg kell tanulnia olyan környezeti veszélyekkel szemben is időben cselekedni, amelyek következményei még nem váltak látványos katasztrófává.

A londoni szmog tragédiája után már tudtuk, hogy a légszennyezés emberek ezreinek életébe kerülhet.

A savas esők felismerése után pedig azt is megértettük, hogy a környezeti károk messze túlterjedhetnek a szennyezőforrás közvetlen környezetén.

A modern környezetvédelem egyik legnagyobb kihívása azóta is változatlan: hogyan lehet a rendelkezésre álló tudás alapján időben cselekedni, még mielőtt a veszélyből katasztrófa lesz?

Források a fejezethez

- Brit Meteorológiai Szolgálat – The Great Smog of 1952. A katasztrófa időjárási háttere és következményei.
- UNECE – Egyezmény a nagy távolságra jutó levegőszennyezésről. Az országhatárokon átterjedő szennyezés elleni nemzetközi együttműködés.
- US EPA – Acid Rain Program Results. Az amerikai kibocsátáscsökkentés eredményei.
- Európai Környezetvédelmi Ügynökség – A fő légszennyező anyagok kibocsátásának változása. Az európai eredmények.
- Országos Légszennyezettségi Mérőhálózat. Magyarországi levegőminőségi adatok.

6. A folyók, tengerek és óceánok szennyezése

A víz, amely mindent elnyel – de nem tüntet el

A víz különleges helyet foglal el az ember és a természet kapcsolatában. Az élet egyik alapfeltétele, ugyanakkor évezredeken keresztül az emberi hulladék eltávolításának egyik legfontosabb eszköze is volt.

A folyók vizet biztosítottak az iváshoz, a mezőgazdasághoz és az ipari tevékenységekhez. Ugyanakkor elszállították a települések szennyvizét, a műhelyek és később a gyárak hulladékait, valamint mindazt, amit az ember már nem akart maga körül látni.

A folyó lefelé vitte a szennyezést, a tenger pedig olyan hatalmasnak tűnt, hogy sokáig elképzelhetetlennek tartották: az emberi tevékenység érdemben megváltoztathatja az állapotát.

A víz azonban nem semmisíti meg mindazt, ami belekerül.

Bizonyos szerves anyagokat a mikroorganizmusok lebontanak, egyes szennyezők kémiai átalakulásokon mennek keresztül, mások az üledékbe kerülnek vagy élőlényekben halmozódnak fel. Vannak anyagok, amelyek évtizedekig, sőt sokkal tovább is megmaradhatnak a környezetben.

A folyók és tengerek természetes öntisztuló képessége jelentős, de nem korlátlan.

Ha a szennyezőanyag-terhelés meghaladja azt a mennyiséget, amelyet az adott vízi ökoszisztéma károsodás nélkül képes feldolgozni, a rendszer állapota fokozatosan romlani kezd.

A probléma sokáig rejtve maradhat. A víz felszíne ugyanis nem feltétlenül árulja el, mi történik alatta.

Egy folyó kristálytisztának tűnhet, miközben oldott vegyi anyagokat tartalmaz. Egy tengerpart vonzó lehet a turisták számára akkor is, ha a közeli tengerfeneken oxigénhiányos területek alakultak ki.

A vízi környezet pusztulása ezért sokszor kevésbé látványos, mint egy kivágott erdő vagy a füstbe burkolózó város.

A városok szennyvize: a látható szennyezés kezdete

A szennyvíz problémája nem az ipari forradalommal kezdődött.

Az ókori városokban már léteztek csatornák és vízelvezető rendszerek. A rómaiak például jelentős mérnöki tudással építettek vízvezetékeket és csatornákat.

Ezek azonban elsősorban a víz elvezetését szolgálták, nem pedig a modern értelemben vett szennyvíztisztítást.

A városok növekedésével egyre nagyobb mennyiségű emberi ürülék, konyhai hulladék és szennyezett víz került a folyókba.

A 19. századi London Temzéje különösen súlyos példává vált.

A rohamosan növekvő város lakossága hatalmas mennyiségű szennyvizet termelt, amelynek jelentős része közvetlenül a folyóba jutott.

A helyzet 1858 nyarán vált elviselhetetlenné, amikor a rendkívül meleg időjárás miatt a Temze bűze olyan erőssé vált, hogy a folyó közelében működő parlament munkáját is zavarta.

Az eseményt a történelem Great Stink, vagyis nagy bűz néven őrizte meg.

A probléma nem pusztán kellemetlen szag volt. A szennyezett ivóvíz súlyos járványok kialakulásához is hozzájárult. A kolera terjedésének vízzel való kapcsolatára John Snow már az 1854-es londoni járvány vizsgálatával fontos bizonyítékokat szolgáltatott, noha a kórokozók szerepének megértése ekkor még nem volt általánosan elfogadott.

A londoni szennyvízválság végül nagyszabású csatornaépítési programhoz vezetett, amelyben Joseph Bazalgette mérnöknek kiemelkedő szerepe volt.

Az új gyűjtőcsatornák a szennyvizet a belvárostól távolabb vezették, ami javította a városi közegészségügyi viszonyokat. A szennyvíz tényleges megtisztítása azonban csak későbbi technológiai fejlődéssel vált általánossá.

A történet tanulsága hasonlít az előző fejezetben bemutatott londoni szmogéhoz.

Az emberek hosszú ideig együtt éltek a problémával, és csak akkor hajtottak végre jelentős változtatásokat, amikor a következmények már közvetlenül veszélyeztették a mindennapi életet.

A szennyvíz, amely ma is a folyókba kerül

A korszerű szennyvíztisztítás az elmúlt évszázad egyik jelentős közegészségügyi és környezetvédelmi eredménye.

A modern tisztítótelepeken a szennyvízből először eltávolítják a nagyobb szilárd szennyeződéseket, majd fizikai és biológiai eljárásokkal csökkentik a szervesanyag-terhelést.

A baktériumok és más mikroorganizmusok a megfelelően kialakított rendszerekben lebontják a vízbe került szerves anyagok jelentős részét. Korszerűbb telepeken a nitrogén- és foszforvegyületek eltávolítására is külön technológiákat alkalmaznak.

Ezekre azért van szükség, mert a szennyvíz nemcsak kórokozókat és bomló szerves anyagokat tartalmazhat, hanem olyan tápanyagokat is, amelyek túlzott mennyiségben megzavarják a természetes vizek működését.

A világ jelentős részén azonban a megfelelő szennyvízkezelés ma sem megoldott.

Az ENSZ 2025-ben közölt adatai szerint 2024-ben a világon keletkező háztartási szennyvíz mindössze körülbelül 56 százalékát kezelték biztonságosan. Ez azt jelenti, hogy a háztartási szennyvíz mintegy 44 százaléka nem részesült megfelelő kezelésben.

A helyzet a különböző országok között rendkívül egyenlőtlen.

A gazdagabb térségekben a szennyvízcsatornák és tisztítótelepek általában az alapvető infrastruktúra részét alkotják, míg számos fejlődő országban a gyors városiasodás ütemét nem tudja követni a megfelelő hálózatok kiépítése.

A szennyvíz elvezetése és tisztítása ráadásul nem ugyanaz. Egy város rendelkezhet kiterjedt csatornahálózattal úgy is, hogy az összegyűjtött szennyvíz egy része megfelelő kezelés nélkül kerül a természetbe.

A tisztítótelepek működtetése folyamatos energiaellátást, karbantartást és képzett szakembereket igényel. Ha ezek hiányoznak, a létesítmény nem feltétlenül teljesíti eredeti feladatát.

A probléma megoldása tehát nem csupán új építményeket jelent, hanem hosszú távon működtethető közszolgáltatási rendszereket is.

Amikor a tápanyagból méreg lesz

A folyók és tavak szennyezésének egyik különösen érdekes formája olyan anyagokhoz kapcsolódik, amelyek önmagukban nélkülözhetetlenek az élethez.

A nitrogén és a foszfor a növények növekedéséhez szükséges tápanyagok.

A mezőgazdaságban azért alkalmazunk műtrágyákat, hogy a termesztett növények számára elegendő tápanyagot biztosítsunk. A szennyvíz szintén tartalmaz nitrogén- és foszforvegyületeket.

Ha azonban ezekből túl sok jut egy tóba, folyóba vagy tengeröbölbe, a következmény súlyos ökológiai zavar lehet.

A megnövekedett tápanyagmennyiség elősegítheti az algák és egyes cianobaktériumok tömeges elszaporodását. A víz zöldessé vagy barnássá válhat, csökkenhet az átlátszósága, és megváltozhat a vízi életközösség összetétele.

Amikor a nagy mennyiségű algatömeg elpusztul, a lebontásában részt vevő mikroorganizmusok oxigént fogyasztanak.

Ha az oxigén felhasználása meghaladja az utánpótlást, a víz egyes rétegeiben súlyos oxigénhiány alakulhat ki.

Ezt a folyamatot eutrofizációnak nevezzük.

Az eutrofizáció természetes módon is végbemehet, de a mezőgazdasági és kommunális eredetű többlettápanyag jelentősen felgyorsíthatja.

Súlyos esetekben a halak és más vízi állatok elpusztulnak vagy elhagyják az érintett területet. A tengerfenéken élő, helyhez kötött szervezetek számára azonban gyakran nincs menekülési lehetőség.

Így alakulhatnak ki az úgynevezett halott zónák.

Az elnevezés kissé leegyszerűsítő, mert az oxigénszegény területeken sem feltétlenül szűnik meg minden élet. A legtöbb, oxigént igénylő magasabb rendű szervezet számára azonban a körülmények kedvezőtlenné vagy elviselhetetlenné válhatnak.

A Balti-tenger figyelmeztetése

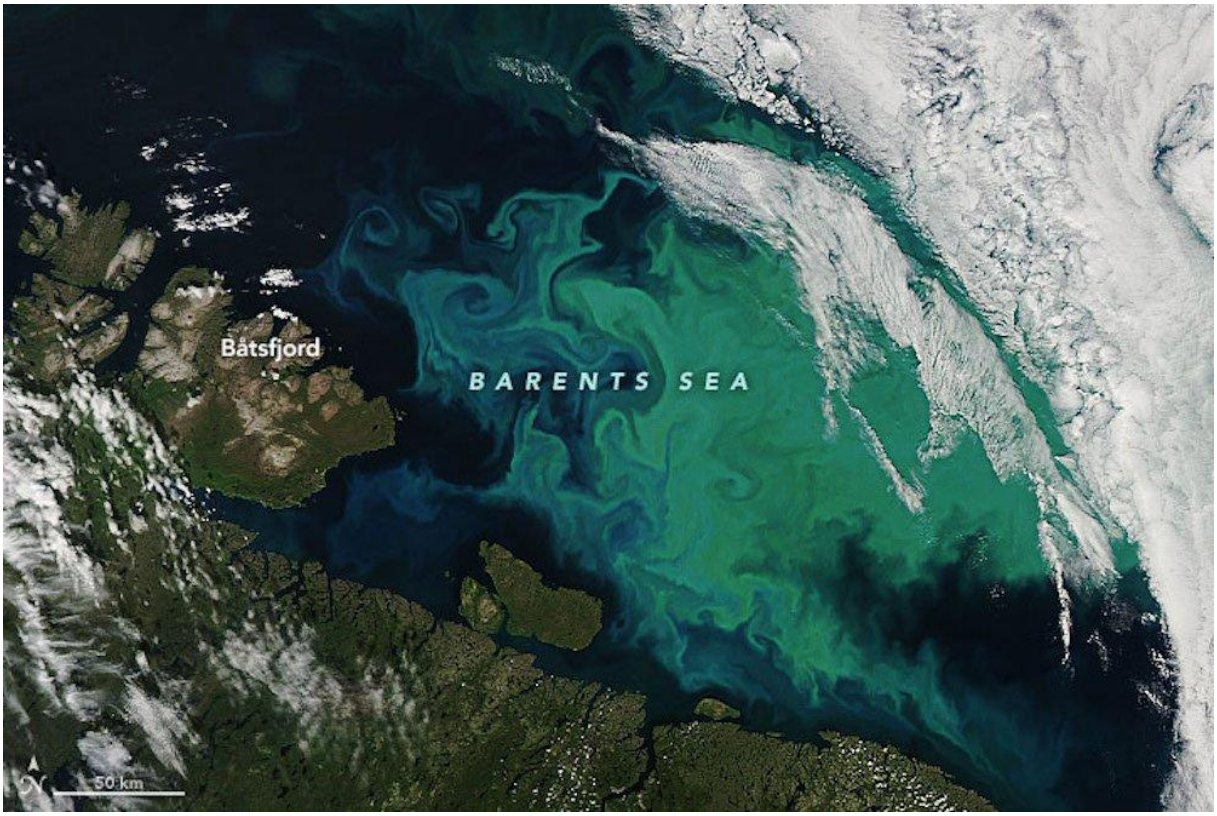
A Balti-tenger az eutrofizáció egyik legismertebb európai példája.

A tengert számos folyó táplálja, vízgyűjtő területén pedig jelentős mezőgazdasági és ipari tevékenység folyik. A folyók nitrogén- és foszfortartalmú anyagokat szállítanak a tengerbe.

A Balti-tenger sajátos földrajzi adottságai tovább nehezítik a helyzetet.

A világtengerrel való vízcseréje viszonylag korlátozott, és a különböző sótartalmú vízrétegek elkülönülése időnként akadályozhatja a mélyebb vízrétegek oxigénellátását.

A tápanyagterhelés és a kedvezőtlen vízcsere együttesen nagy kiterjedésű oxigénhiányos területek kialakulásához járult hozzá.



43. ábra. Algavirágzás a Balti-tengerben, 2018. július 18-án. A NASA Landsat–8 műholdjának felvételén jól láthatók a tenger felszínén kialakult örvénylő, zöldes fitoplanktonmezők. A felvétel a vízfelszíni jelenséget mutatja, nem közvetlenül a mélyvízi oxigénhiányt. Forrás: NASA Earth Observatory.

A Balti-tenger állapotának javítása érdekében az érintett országok évtizedek óta együttműködnek a tápanyagkibocsátások mérséklésében.

A szennyvíztisztítás fejlesztése és a mezőgazdasági tápanyagveszteségek csökkentése fontos eredményeket hozott. A mélyebb vízrétegek oxigénhiánya azonban sok helyen továbbra is jelentős probléma.

A helyreállást nehezíti, hogy a korábban felhalmozódott foszfor bizonyos körülmények között az üledékből ismét a vízbe juthat.

Ez azt jelenti, hogy a szennyezés megszüntetése után sem feltétlenül áll helyre gyorsan az eredeti állapot.

A vízi ökoszisztéma hosszú ideig őrizheti a korábbi terhelés következményeit.

A vegyi anyagok láthatatlan útja

Az ipari forradalom óta az ember egyre több új vegyi anyagot állít elő és használ fel.

A vegyipar fejlődése rendkívüli előnyöket teremtett. Gyógyszerek, növényvédő szerek, műanyagok, festékek, oldószerek, tisztítószerek és számos más termék tette könnyebbé vagy biztonságosabbá az életet. Ezek az anyagok azonban a gyártás, felhasználás vagy hulladékkezelés során a környezetbe is kerülhetnek.

Az ipari szennyvíz nehézfémeket, szerves vegyületeket és más potenciálisan veszélyes anyagokat tartalmazhat. A mezőgazdasági területekről növényvédő szer maradványai juthatnak a felszíni vizekbe.

A háztartási szennyvízben gyógyszermaradványok, kozmetikai és tisztítószer-összetevők is jelen lehetnek.

Nem minden vegyi anyag veszélyes azonos mértékben. A környezeti kockázat függ az adott anyag mérgező tulajdonságaitól, koncentrációjától, tartósságától és attól is, hogy milyen módon kerül kapcsolatba az élő szervezetekkel. Egyes anyagok gyorsan lebomlanak, mások hosszú ideig megmaradhatnak. Különös figyelmet érdemelnek azok, amelyek tartósan fennmaradnak, felhalmozódhatnak az élőlényekben, és a táplálékhálózaton keresztül egyre magasabb szerveződési szintekre juthatnak.

A higany bizonyos formái például a vízi táplálékhálózatban feldúsulhatnak. A nagytestű, hosszú életű ragadozó halakban ezért magasabb metil-higany-koncentráció is kialakulhat.

A víz szennyezése így nem feltétlenül marad a vízben.

A táplálékkal az emberi szervezetbe is bekerülhet.

A modern vízvédelem egyik legfontosabb kérdése ezért nemcsak az, hogy mennyire tiszta a víz szemmel láthatóan, hanem az is, milyen anyagokat tartalmaz, és azok hogyan mozognak a teljes ökoszisztémában.

A tengeri olajkutak – Amikor a kitermelés a tengert veszélyezteti



44. ábra: A tengeri olajkitermelés mindennapos ipari tevékenység, amely azonban súlyos balesetek lehetőségét is magában hordozza. A Deepwater Horizon 2010-es katasztrófája a kockázatok egyik legismertebb példája.

A kőolaj és a földgáz kitermelése egyre távolabbi és nehezebben hozzáférhető területekre terjedt ki. A szárazföldi lelőhelyek mellett ma már sekély tengerekben és több ezer méteres vízmélységben is folytatnak fúrásokat.

A tengeri olajkutak különleges mérnöki létesítmények. A fúrásokat hullámzásnak, viharoknak, korróziónak és jelentős nyomáskülönbségeknek ellenálló berendezésekkel végzik. A mélytengeri kitermelés során a kútfej akár több mint ezer méterrel a vízfelszín alatt helyezkedhet el, a fúrás pedig további kilométerekre hatolhat a tengerfenék alá.

A technológia fejlődése lehetővé tette olyan szénhidrogénkészletek kitermelését, amelyek korábban elérhetetlenek voltak. Ugyanakkor az egyre bonyolultabb berendezések meghibásodása rendkívül súlyos következményekkel járhat.

Ennek legismertebb példája a 2010. április 20-án bekövetkezett Deepwater Horizon-katasztrófa.

A Mexikói-öbölben működő fúróplatformon robbanás történt, amelyben tizenegy munkás életét vesztette. A platform elsüllyedt, a tengerfenéken található kútból pedig ellenőrizetlenül kezdett kiáramlani a kőolaj.

A szivárgást csak 87 nap elteltével sikerült megállítani. Az amerikai Nemzeti Óceán- és Légkörkutatási Hivatal (NOAA) becslése szerint mintegy 3,19 millió hordó, azaz körülbelül 507 millió liter olaj került a tengerbe. Ez volt az Egyesült Államok történetének legnagyobb tengeri olajkatasztrófája.

Az olaj jelentős része a felszínen terült szét, más része a vízoszlopban maradt, vagy a mélyebb tengeri üledékekbe jutott. A szennyezés halakat, tengeri madarakat, teknősöket, delfineket és a tengerfenéken élő szervezeteket egyaránt érintette.

A katasztrófa következményei nem korlátozódtak a természetre. A halászat, az idegenforgalom és a part menti közösségek megélhetése is súlyos károkat szenvedett.

A környezeti helyreállítás évtizedekig tartó feladattá vált.

Nemcsak a nagy balesetek okoznak szennyezést

A tengeri olajkitermelés környezeti terhelése azonban nem kizárólag a látványos katasztrófákhoz kapcsolódik.

A mindennapi üzemelés során is keletkeznek különféle hulladékok és szennyező anyagok. A fúrási iszapok, az olajjal szennyezett víz, valamint a kitermelt szénhidrogénekkel együtt felszínre kerülő rétegvíz különleges kezelést igényelhet.

A kitermelt rétegvíz olajmaradványokat, sókat, különféle szerves vegyületeket és természetes eredetű radioaktív anyagokat is tartalmazhat. Kezelésének és esetleges tengerbe bocsátásának szabályai ezért fontos környezetvédelmi kérdések.

A tengeri vezetékek, a platformok és az egyéb infrastruktúra emellett megváltoztathatják a tengerfenék élőhelyeit, a fúrásokhoz és a szeizmikus kutatásokhoz kapcsolódó zaj pedig hatással lehet bizonyos tengeri állatokra. Az ENSZ legújabb óceánállapot-értékelése külön foglalkozik ezekkel a rendszeres környezeti terhelésekkel.

Külön problémát jelentenek az elöregedett vagy felhagyott kutak és platformok. Egy olajmező gazdasági élettartamának végén nem elegendő leállítani a termelést. A kutakat tartósan le kell zárni, az infrastruktúráról pedig gondoskodni kell, hogy később se váljon ellenőrizetlen szennyezőforrássá.

A tenger alatti olajkitermelés egyik legnagyobb kockázata így nemcsak maga a baleset, hanem az is, hogy a környezeti károk helyreállítása rendkívül nehéz.

A mélytengeri élőhelyek egy részét ma is csak korlátozottan ismerjük. Egy nagyobb olajszennyezés következményei hosszú idő után is kimutathatók lehetnek.

A Deepwater Horizon esete arra figyelmeztetett, hogy a technológiai biztonságot nem lehet kizárólag a balesetek előfordulási gyakoriságával mérni.

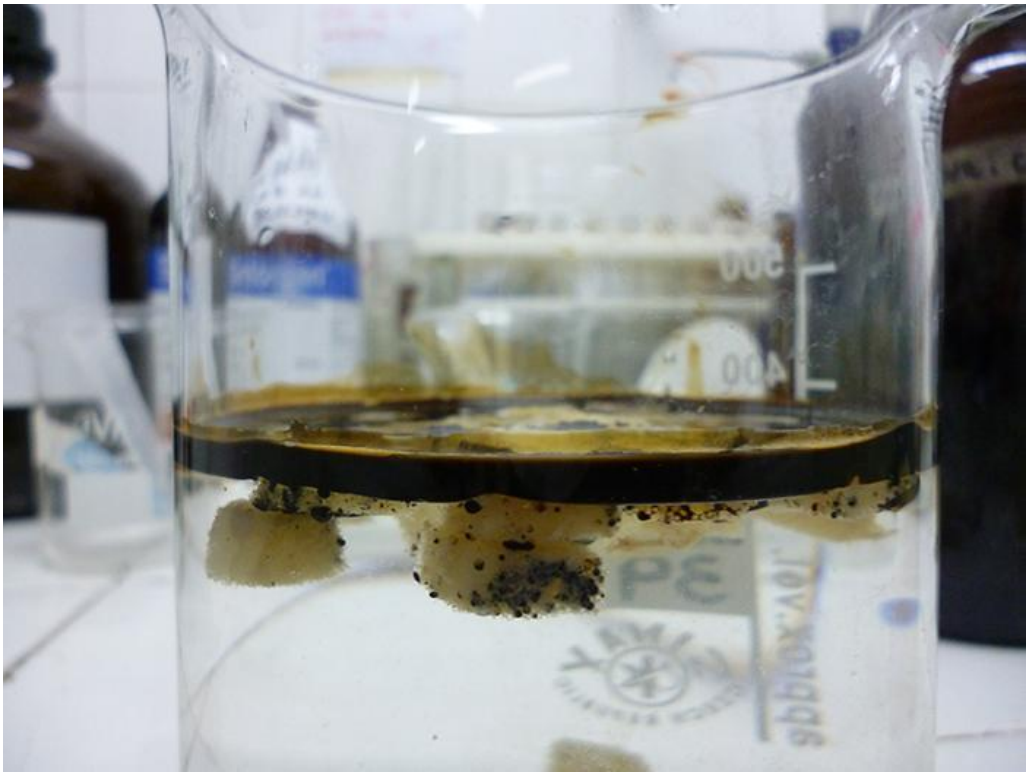
Egy ritka esemény kockázata is rendkívül jelentős lehet, ha a következményei hatalmas területet érintenek, és a károk csak évtizedek alatt mérsékelhetők.

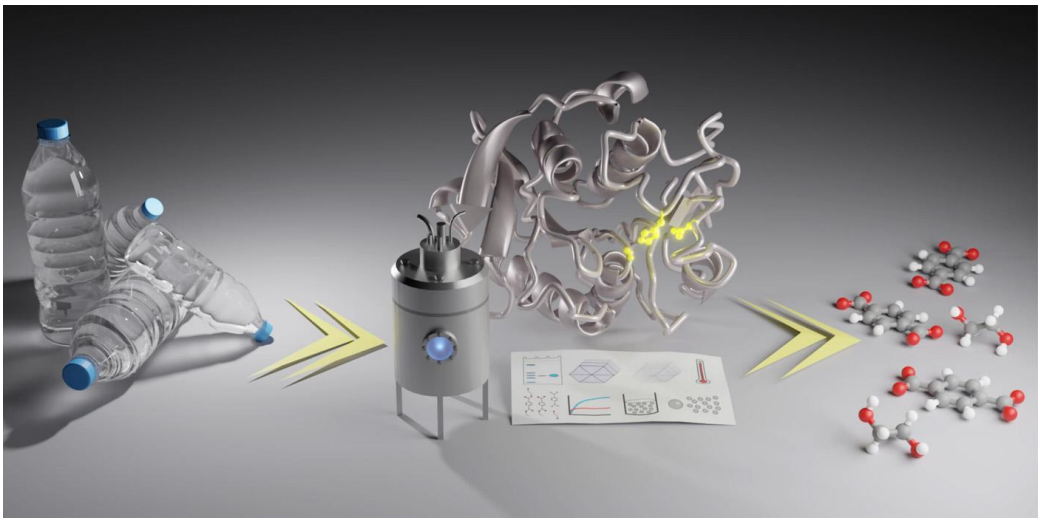
Ez pedig ismét felveti a könyv alapvető kérdését: ki viseli a környezeti kockázatot, és ki fizeti meg a károk felszámolásának árát?

Mindkét téma fontos kiegészítés, és érdekes kapcsolat van közöttük: az egyik azt mutatja meg, milyen súlyos szennyezést okozhat az emberi technológia meghibásodása, a másik pedig azt, hogyan próbáljuk a természet biológiai folyamatait felhasználni a károk mérséklésére.

Két külön, könyvbe illeszthető szövegrészt javaslok, képekkel. Az olajkutakat a tengeri környezetszennyezéshez, a biológiai lebontást pedig a hulladékkezelés új technológiáihoz kapcsolnám.

Amikor a természet segít eltakarítani a szennyezést – Olajbontó baktériumok és műanyagbontó enzimek





45. ábra: A biológiai szennyezésmentesítés kutatásának két fontos területe: a kőolaj összetevőit lebontó mikroorganizmusok és a bizonyos műanyagokat kisebb molekulákra bontó enzimek.

A környezetszennyezés elleni küzdelem egyik legérdekesebb kutatási iránya abból a felismerésből indult ki, hogy a természet maga is rendelkezik bizonyos szennyezőanyagok lebontására alkalmas mechanizmusokkal.

A baktériumok és gombák rendkívül változatos anyagokat képesek felhasználni energia- és szénforrásként. Egyes mikroorganizmusok számára olyan vegyületek is hasznosíthatók, amelyeket az ember veszélyes szennyezőanyagként tart számon.

A kutatók ezért régóta vizsgálják, hogy ezek a természetes biológiai folyamatok felgyorsíthatók-e, és felhasználhatók-e a szennyezett talajok, vizek vagy hulladékok kezelésére.

Ezt a megközelítést bioremediációnak, vagyis biológiai szennyezésmentesítésnek nevezik.

Baktériumok, amelyek kőolajjal táplálkoznak

A tengerekbe természetes úton is jut kőolaj. A tengerfenék alatt található szénhidrogén-lelőhelyekből bizonyos helyeken olaj és gáz szivárog a környezetbe.

Ennek következtében az óceánokban már az ipari olajkitermelés megjelenése előtt is éltek olyan mikroorganizmusok, amelyek képesek voltak a kőolaj egyes összetevőinek lebontására.

A legismertebbek közé tartozik az Alcanivorax baktériumnemzetség, amelynek egyes fajai szénhidrogéneket hasznosítanak. Más baktériumok és gombák szintén képesek bizonyos olajalkotók lebontására.

A Deepwater Horizon-katasztrófa után a kutatók azt is vizsgálták, hogyan reagálnak a tengeri mikroorganizmus-közösségek a hatalmas mennyiségű kőolaj megjelenésére.

A szennyezett víz egyes részein olyan baktériumok szaporodtak el, amelyek az olaj könnyebben lebomló összetevőit használták fel. Ez hozzájárult bizonyos szénhidrogének mennyiségének csökkenéséhez.

A folyamat azonban nem volt sem gyors, sem teljes.

A kőolaj sokféle vegyület keveréke. Egyes összetevői viszonylag könnyen lebomlanak, mások sokkal ellenállóbbak. A lebontás sebességét ráadásul a víz hőmérséklete, az oxigénellátás, valamint a mikroorganizmusok számára elérhető nitrogén és foszfor mennyisége is befolyásolja.

A természetes biológiai lebontás ezért bizonyos körülmények között jelentős segítséget jelenthet, de önmagában nem képes minden olajszennyezést gyorsan és maradéktalanul megszüntetni.

A biológiai szennyezésmentesítés egyik módszere, hogy a már jelen lévő mikroorganizmusok működéséhez szükséges feltételeket javítják. Más esetekben megfelelő mikroorganizmus-kultúrák alkalmazását vizsgálják.

A módszer lehetőségei ugyanakkor korlátozottak. Egy olajfolt gyors terjedésének megakadályozására továbbra is nélkülözhetetlenek lehetnek a mechanikai összegyűjtési és más kárelhárítási eljárások.

A biológiai kezelés inkább ezek kiegészítője lehet.

Műanyagevő baktériumok – Tudományos áttörés vagy túlzott várakozás?

Még nagyobb figyelmet váltottak ki azok a kutatások, amelyek bizonyos műanyagok biológiai lebontását vizsgálják.

A hagyományos műanyagok jelentős része rendkívül tartós. Ez a tulajdonság használat közben előny, hulladékká válásuk után azonban problémát jelenthet.

A kutatók ezért olyan mikroorganizmusokat és enzimeket keresnek, amelyek képesek egyes műanyagok hosszú molekulaláncainak feldarabolására.

Az egyik legfontosabb eredmény 2016-ban született, amikor japán kutatók egy olyan baktériumot írtak le, amely képes a PET, vagyis a polietilén-tereftalát lebontására.

Ez az anyag sok italospalack és poliészter textília alapanyaga.

A baktérium által termelt enzimek a PET molekulaláncait kisebb molekulákra bontják. Ezekből megfelelő feldolgozással ismét előállíthatók a műanyag gyártásához szükséges alapanyagok.

A felfedezés különösen fontos volt, mert új lehetőséget kínált az anyagában történő újrahasznosításra.

Az elmúlt években a kutatók továbbfejlesztették a PET-bontó enzimeket. A módosított enzimek egy része gyorsabban működik, mások magasabb hőmérsékleten is megőrzik aktivitásukat.

A FAST-PETase és más fejlesztett enzimek azt mutatják, hogy megfelelően előkészített műanyaghulladék bizonyos körülmények között viszonylag gyorsan lebontható. Egy 2025-ös tudományos áttekintés ugyanakkor hangsúlyozza, hogy az eljárások ipari méretű, gazdaságos alkalmazását még számos technológiai akadály korlátozza.

Miért nem oldják meg a baktériumok a műanyagszennyezést?

A tudományos eredményekről beszámoló hírekben időnként úgy jelennek meg a műanyagbontó baktériumok, mintha hamarosan képesek lennének eltüntetni a világ műanyaghulladékát.

Ez azonban túlzott várakozás.

A PET csupán egyetlen műanyagfajta. A csomagolóanyagok jelentős része polietilénből vagy polipropilénből készül, amelyek szerkezete sokkal ellenállóbb a jelenleg ismert biológiai lebontási eljárásokkal szemben.

Ráadásul a laboratóriumban alkalmazott körülmények lényegesen eltérhetnek a természetben uralkodó viszonyoktól.

Egy ellenőrzött bioreaktorban szabályozható a hőmérséklet, a folyadék összetétele és az enzim koncentrációja. A műanyagot előzetesen aprítani, tisztítani vagy más módon kezelni is lehet.

Az óceánban sodródó műanyagok esetében ezek a feltételek nem biztosíthatók.

Az sem közömbös, hogy a műanyag molekulaláncainak feldarabolása nem minden esetben jelent teljes biológiai lebomlást. Ha a folyamat során kisebb műanyagdarabok vagy továbbra is fennmaradó szerves vegyületek keletkeznek, a környezeti probléma nem feltétlenül szűnik meg.

A biológiai lebontás és a műanyag mikroszkopikus részekre történő szétesése tehát nem ugyanaz.

Egy 2024-es, a Nature Communications folyóiratban megjelent elemzés szerint az enzimes PET-újrahasznosítás már túljutott a pusztán laboratóriumi kísérletek szakaszán, de a szükséges előkezelés, az energiaigény és az eljárások költsége továbbra is korlátozza a széles körű alkalmazást.

A biológiai hulladékkezelés jövője

A kutatások egyik legígéretesebb iránya nem feltétlenül az, hogy műanyagbontó mikroorganizmusokat engedjünk szabadon a természetben.

Sokkal inkább az, hogy ellenőrzött ipari körülmények között alkalmazzuk a megfelelő enzimeket.

A hulladékot először összegyűjtik és szétválogatják, majd a célzott biológiai eljárással az adott műanyag kisebb molekulákra bontható. A visszanyert anyagokból megfelelő tisztítás után új termékek készülhetnek.

Ez a módszer bizonyos műanyagoknál kedvező kiegészítője lehet a hagyományos mechanikai újrahasznosításnak, különösen ott, ahol a feldolgozott anyag minősége több ciklus után romlik.

A biotechnológia más szennyezőanyagok kezelésében is szerepet kaphat. Kutatások folynak egyes ipari oldószerek, növényvédőszer-maradványok és más szerves vegyületek mikrobiológiai lebontásáról is.

A lehetőségek azonban minden esetben az adott anyag kémiai szerkezetétől és a környezeti feltételektől függenek. Nem létezik olyan baktérium vagy enzim, amely minden veszélyes hulladékot ártalmatlanul eltüntetne.

Különösen fontos ez a nehézfémek esetében. A mikroorganizmusok egyes fémeket képesek megkötni vagy más kémiai formába alakítani, de magukat az elemeket nem tudják lebontani.

A biológiai hulladékkezelés tehát nem csodaszer.

Mégis figyelemre méltó irány, mert azt mutatja, hogy a környezetvédelem nem kizárólag szűrőberendezésekre, hulladékégetőkre és lerakókra épülhet.

A jövő egyes technológiái éppen azoknak a biológiai folyamatoknak a tudatos felhasználásából születhetnek meg, amelyek a természetben évmilliók óta részt vesznek az anyagok körforgásában.

De a legjobb műanyagbontó enzim sem teszi feleslegessé a hulladék keletkezésének megelőzését.

Szerkesztési elhelyezés: A tengeri olajkutak veszélyeit a bányászat és a környezetszennyezés következményei közé tenném, a Deepwater Horizon-katasztrófával mint központi példával. A biológiai lebontás kutatását pedig az új hulladékgazdálkodási fejezetben, az újrahasznosítás bemutatása után helyezném el. Így a fejezet nemcsak a jelenlegi három hulladékkezelési módszert tárgyalná, hanem a lehetséges jövőbeli technológiákat is.

Amikor a szennyezés szinte örökre velünk marad

Tartós vegyi szennyezések és a PFAS-anyagok története

A környezetszennyezésről sokaknak még mindig elsősorban a füstölgő kémények, az olajfoltok vagy a nehézfémek jutnak eszébe. Pedig a modern ipari társadalom egyik legnehezebben kezelhető öröksége sokszor láthatatlan. Nem színezi el feltűnően a folyót, nem borítja feketére az eget, és nem feltétlenül okoz azonnali, látványos katasztrófát. Éppen ez benne az egyik legnagyobb veszély.

Vannak olyan vegyi anyagok, amelyeket éppen kivételes tartósságuk miatt fejlesztettek ki, majd csak jóval később derült ki, hogy ugyanez a tartósság környezeti és egészségügyi problémává válhat. A PFAS-anyagok története jól példázza, hogyan fordulhat át egy hasznos technológiai megoldás hosszú távú társadalmi teherré.

A PFAS a **per- és polifluorozott alkilanyagok** nagy csoportját jelenti. Ezek mesterségesen előállított vegyületek, amelyeket az 1940-es évektől kezdve fejlesztettek és használtak széles körben. Közös jellemzőjük, hogy szerkezetükben rendkívül stabil szén–fluor kötések találhatók. Ez adja különleges ipari tulajdonságaikat: jól ellenállnak a hőnek, a víznek, a zsírnak, a foltoknak és sok esetben a kémiai behatásoknak is. Ugyanez a stabilitás azonban azt is jelenti, hogy sok PFAS a környezetben nagyon lassan bomlik le, vagy gyakorlatilag alig bomlik. Emiatt kapták a „forever chemicals”, vagyis „örök vegyi anyagok” nevet. Az UNEP szerint a PFAS-ek ezrei vannak jelen a piacon és a környezetben, sokuk élettartama akár több ezer év is lehet; az EPA pedig kiemeli, hogy ezek az anyagok széles körben használtak, hosszan megmaradnak, és világszerte kimutathatók vízben, levegőben, talajban, élelmiszerben, valamint emberek és állatok vérében is.

Mire használták a PFAS-anyagokat?

A PFAS-ek sikerét éppen az magyarázza, hogy számos gyakorlati problémára kínáltak kényelmes megoldást. Használták őket tapadásmentes edények bevonatában, víz- és

folttaszító ruházatokban, szőnyegekben, zsírálló élelmiszer-csomagolásokban, kozmetikumokban, fémbevonási folyamatokban, félvezetőipari gyártásban, valamint tűzoltó habokban is. Az UNEP felsorolása szerint a PFAS-ek megtalálhatók többek között textíliákban, tűzoltó habokban, papíripari termékekben, nyomdafestékekben, tömítőanyagokban, tapadásmentes konyhai bevonatokban és zsírálló élelmiszer-csomagolásokban is. Az EPA hasonlóan hangsúlyozza, hogy a PFAS-ek sokféle fogyasztási, kereskedelmi és ipari termékben fordulnak elő, ami megnehezíti a kockázataik áttekintését és szabályozását.

A PFAS-ek tehát nem valamilyen szűk ipari különlegességet jelentettek, hanem a modern anyagtechnológia egyik „csendes" alaprendszerét. Sok területen azért terjedtek el, mert egyszerre javították a termékek teljesítményét és kényelmét. Ha egy kabát jobban taszította a vizet, egy csomagolás kevésbé engedte át a zsírt, egy hab gyorsabban oltotta a tüzet, az rövid távon előnynek tűnt.

Éppen ezért a PFAS-probléma nem egyszerűen egyetlen rossz döntés története. Sokkal inkább annak példája, hogyan épülhet be a mindennapi gazdasági működésbe egy egész vegyianyag-csoport, még mielőtt a hosszú távú következményeit teljesen megértenénk.

Miért váltak problémává?

A PFAS-ekkel kapcsolatban a legnagyobb gond a perzisztencia, vagyis a rendkívüli tartósság. Az UNEP szerint ezek az anyagok a levegőben, a vízben és a talajban is nagy távolságokra eljuthatnak, és hosszú ideig a környezetben maradnak. Az EPA hozzáteszi, hogy a PFAS-ek lassan bomlanak le, és világszerte kimutathatók a környezetben, ami a széles körű használattal együtt ahhoz vezetett, hogy sok ember folyamatos, alacsony szintű kitettségben élhet.【

Ez a kitettség többféle úton történhet. A PFAS bekerülhet az ivóvízbe, az élelmiszerekbe, a talajba, a halakba, a háziporba vagy akár a levegőbe is. Az UNEP felsorolása szerint expozíció történhet szennyezett ivóvízzel és élelmiszerrel, por lenyelésével, belélegzéssel, munkahelyi érintkezéssel vagy PFAS-t tartalmazó termékek használatával. Az EPA külön kiemeli a tűzoltó habokat, a gyártóüzemeket, a hulladéklerakókat, az élelmiszer-csomagolásokat és a háztartási termékeket mint fontos expozíciós forrásokat.

A következmények felismerése azért is tartott sokáig, mert itt nem egy heveny mérgezésről van szó, amely azonnal tömeges megbetegedéseket okoz. A gond inkább az, hogy bizonyos PFAS-ek – különösen a legismertebbek, mint a PFOA és a PFOS – hosszabb távú felhalmozódásuk révén növelhetik egyes betegségek kockázatát. Az UNEP szerint a PFAS-eket összefüggésbe hozták rákkal, szaporodási károsodásokkal, az immunrendszer gyengítésével és más súlyos egészségügyi problémákkal. Az EPA pedig kiemeli, hogy a PFOA és a PFOS huzamos expozíciója jelentős egészségügyi kockázatot jelenthet, beleértve a daganatos megbetegedéseket, az immunrendszer, a szív-érrendszer, a máj és a fejlődő magzat érintettségét is.

Fontos azonban a józan különbségtétel. Nem minden PFAS azonos mértékben vizsgált, és nem minden vegyületre azonos erejű a bizonyíték. Maga az EPA is hangsúlyozza, hogy több ezer PFAS létezik, és éppen ezért nehéz minden egyes anyag emberi egészségügyi és környezeti kockázatát pontosan felmérni. A PFAS-probléma tehát egyszerre tudományos és szabályozási kihívás: nem egyetlen anyagról beszélünk, hanem egy egész vegyianyag-családról, amelyen belül a kockázatok eltérők lehetnek.

Amikor a hasznos tulajdonság válik környezeti teherré

A PFAS-ek története azért különösen tanulságos, mert világosan megmutatja: a modern ipar számára kívánatos tulajdonságok nem mindig esnek egybe a környezet szempontjaival. Az, ami a termék oldaláról erénynek számított – a hőállóság, a víztaszítás, a zsírlepergetés, a stabilitás –, a környezet oldaláról éppen a lebomlás hiányát, a terjedést és a felhalmozódást jelenthette.

Ez a kettősség a könyv több más témájához is kapcsolódik. Ugyanúgy, ahogy a műanyagoknál, a növényvédő szereknél vagy bizonyos nehézfémeknél, itt sem arról van szó, hogy a technológia eleve „rossz" lett volna. A probléma az, hogy a hasznosság rövid távú szempontjai hosszú ideig fontosabbnak bizonyultak, mint a teljes életciklus és a tartós környezeti sors végiggondolása.

A PFAS-anyagok különösen kellemetlen öröksége, hogy a kibocsátás és a következmények között nagy időbeli eltérés lehet. Egy anyag évekig vagy évtizedekig hasznosnak tűnhet, miközben a talajban, a vízbázisban vagy az emberi szervezetben lassan felhalmozódik. Mire a társadalom felismeri a problémát, a szennyezés már nemcsak gyárkapun belüli kérdés, hanem közegészségügyi és pénzügyi teher is.

Miért nehéz kiváltani a PFAS-eket?

A helyettesítés nehézsége abból fakad, hogy a PFAS-eket nagyon sokféle célra használták, és nem minden felhasználás pótolható egyszerűen egyetlen új anyaggal. Ezt az UNEP és az EPA által felsorolt sokrétű alkalmazások is mutatják: a háztartási cikkektől a tűzoltó habokon át a félvezetőiparig terjed a körük.

Innen nézve a kiváltás nem pusztán kémiai kérdés, hanem technológiai, gazdasági és szabályozási feladat is. Más alternatíva kellhet egy esőkabáthoz, más a mikroelektronikához, más a speciális ipari felhasználásokhoz vagy bizonyos biztonsági rendszerekhez. Sok esetben nemcsak azt kell vizsgálni, hogy működik-e egy helyettesítő anyag, hanem azt is, hogy valóban kevésbé veszélyes-e, mennyire drága, mennyire megbízható, és nem hoz-e létre újabb, később felismerhető problémákat.

A PFAS-kérdés ezért egy újabb általános tanulságot kínál: **a környezetvédelem egyik legnehezebb feladata nem a káros anyagok utólagos betiltása, hanem az, hogy a helyettesítés ne csak gyors, hanem valóban átgondolt legyen**. A rosszul végrehajtott helyettesítés könnyen oda vezethet, hogy egy problémás anyagcsoportot egy másikkal váltunk fel, amelynek kockázatai később válnak nyilvánvalóvá.

Miért ennyire drága és nehéz a tisztítás?

A PFAS-ek esetében a szennyezés felszámolása technikailag sokkal nehezebb, mint sok hagyományos szennyezőanyagnál. Az EPA szerint a fő kihívások közé tartozik az ivóvízből való eltávolítás, valamint a PFAS-tartalmú hulladékok kezelése és megsemmisítése. A 2026-os EPA-iránymutatás szerint a PFAS-tartalmú anyagok megsemmisítésére vagy a kibocsátásuk ellenőrzésére nagy léptékben három fő megközelítés jöhet szóba: a termikus megsemmisítés, a hulladéklerakás és a mélyinjektálás, de mindegyiknél vannak tudományos és gyakorlati bizonytalanságok is.

Ez azért fontos, mert a „szennyezést majd megtisztítjuk” logika itt különösen gyenge. A PFAS-problémánál a megelőzés sokszor lényegesen ésszerűbb, mint az utólagos helyreállítás. Ha ugyanis egy ivóvízbázis, talaj vagy ipari terület jelentősen szennyeződik, a tisztítás költségei rendkívül magasak lehetnek.

Az Egyesült Államokban az EPA 2024-es országos ivóvízszabályozása alapján a közüzemi vízrendszerek PFAS-kezelésének és kapcsolódó intézkedéseinek becsült költsége évi 1,548 milliárd dollár, ebből 1,506 milliárd dollár a vízkezelésre és a kapcsolódó hulladékkezelésre jut. A dokumentum szerint 66 ezer vízrendszernek kell monitoroznia, és közülük 4100–6700 rendszernek lehet szüksége tényleges beavatkozásra. Ugyanez a szabályozás ugyanakkor becslésük szerint 83–105 millió ember ivóvizét javíthatja, és évente több ezer haláleset, valamint sok ezer súlyos megbetegedés elkerüléséhez járulhat hozzá.

Ezek az adatok nem a teljes társadalmi költséget mutatják, csak egy fontos szeletét: az ivóvíz-szabályozás becsült költségeit és hasznait. Nincs benne minden talajszennyezési eset, minden egészségügyi teher, minden pereskedés, minden elveszett ingatlanérték vagy minden technológiai átállási költség. De már ez is jól mutatja, hogy az ilyen tartós szennyezések ára végül könnyen milliárdos nagyságrendű lehet.

Ki viseli a felelősséget?

A PFAS-anyagok különösen élesen vetik fel a felelősség kérdését. Ha egy vegyianyag-csoportot évtizedeken át széles körben használnak, majd kiderül, hogy a kibocsátott anyagok tartós környezeti kockázatot és jelentős tisztítási költséget okoznak, ki fizesse meg ezt az árat?

Az EPA 2024-ben a PFOA-t és a PFOS-t veszélyes anyaggá minősítette a CERCLA, vagyis a szuperfund rendszer keretében. A hivatal szerint erre azért volt szükség, hogy gyorsabban lehessen fellépni a szennyezett területeken, és hogy a takarítás költségeit ne az adófizetők, hanem lehetőség szerint a szennyezésért felelős szereplők viseljék. Az EPA külön hangsúlyozza a „Polluter Pays”, vagyis „a szennyező fizet” elvet, és azt, hogy a végrehajtás elsősorban azokra a szereplőkre összpontosít, amelyek jelentősen hozzájárultak a kibocsátáshoz.

Ez a megközelítés elvileg világos, a gyakorlatban azonban sokszor bonyolult. A szennyezés forrásai időben és térben szétterülhetnek, több szereplő is közreműködhetett, egyes kibocsátások pedig évtizedekkel korábban történtek. Ráadásul a költségek nem feltétlenül ott jelennek meg, ahol a nyereség keletkezett. A profitot egy iparág vagy gyártó arathatta le, miközben a vízkezelési költségek egy önkormányzatra, egy vízműre vagy végső soron a fogyasztókra hárulnak.

A PFAS-ek története ezért nemcsak toxikológiai vagy műszaki kérdés, hanem igazságossági kérdés is. A társadalomnak ilyenkor valójában arról kell döntenie, mennyire érvényesíti komolyan a környezetpolitika egyik alapelvét: **ne az fizessen a szennyezésért, aki elszenvedi, hanem aki előidézte.**

Későn felismert következmények, hosszú árnyék

A PFAS-kérdés a környezetvédelem egyik jellegzetes modern példája. Nem látványos katasztrófával kezdődött, hanem kényelmes technológiai megoldásokkal. Nem egyszeri

eseményként jelentkezik, hanem lassan felhalmozódó problémaként. És nem oldható meg pusztán egyetlen tiltással, mert a szennyezés már szétszóródott a környezetben, a használat sok területre beépült, a helyettesítés pedig időigényes.

Ezért különösen jól illeszkedik a könyv szemléletéhez. Megmutatja, hogy a környezetszennyezés nem csupán füst, korom vagy látványos baleset lehet. Sokszor éppen a legmodernebb, leghasznosabbnak hitt anyagok hordozzák a legnehezebben kezelhető örökséget.

A PFAS-ek története azt is jelzi, hogy a környezetvédelem egyik legfontosabb feladata nem pusztán a már ismert károk kezelése, hanem az elővigyázatosság. Ha egy anyag rendkívül stabil, nagy mennyiségben használják, sokféle úton kijuthat a környezetbe, és a hatásairól még hiányos a tudásunk, akkor a késlekedés ára később igen magas lehet.

A PFAS-anyagok ezért nem egyszerűen egy újabb vegyipari fejezetet jelentenek, hanem figyelmeztetést is: a modern gazdaság kényelme gyakran olyan költségeket termel, amelyek csak sokkal később, és többnyire másoknál jelentkeznek.

Források és további olvasmányok

1. UNEP: Per- and Polyfluoroalkyl Substances (PFASs) – A PFAS-anyagok felhasználása, környezeti tartóssága, egészségügyi kockázatai és nemzetközi szabályozása.

2. US EPA: PFAS Explained – A PFAS-vegyületek tulajdonságai, előfordulása és az egészségügyi, környezeti kockázatok áttekintése.

3. US EPA: Questions and Answers about Designation of PFOA and PFOS as Hazardous Substances under CERCLA – A veszélyes anyaggá minősítés, a szennyezők felelőssége és a helyreállítási költségek viselése.

4. US EPA: Interim Guidance on the Destruction and Disposal of PFAS – A PFAS-tartalmú hulladékok kezelése, megsemmisítési technológiák és azok korlátai.

5. US EPA: Final PFAS National Primary Drinking Water Regulation (PDF) – Az amerikai ivóvízszabályozás, a tisztítás becsült költségei és várható egészségügyi előnyei.

A műanyag, amely sohasem marad ott, ahová dobtuk

A 20. század második felének egyik legnagyobb anyagtechnológiai változása a műanyagok tömeges elterjedése volt.

A műanyagok könnyűek, olcsók, tartósak, és tulajdonságaik széles határok között alakíthatók.

Az élelmiszer-csomagolástól az orvosi eszközökön át a közlekedésig és az elektronikáig szinte minden területen nélkülözhetetlenné váltak.

Éppen a tartósságuk okozza azonban az egyik legsúlyosabb környezeti problémát.

A természetbe került műanyagok jelentős része rendkívül lassan bomlik le. A napsugárzás, a mechanikai igénybevétel és más környezeti hatások következtében sokszor inkább egyre kisebb darabokra töredeznek.

A folyókba jutó műanyaghulladékot a víz tovább szállíthatja, és végül a tengerekbe kerülhet.



46. ábra: Műanyaghulladék az indonéziai Citarum folyón. A folyó felszínén hatalmas mennyiségű műanyaghulladék halmozódott fel. A felvétel megmutatja, hogyan válhat a nem megfelelő hulladékkezelésből közvetlen vízszennyezési probléma. A kép dokumentumfotó, nem általános állapotfelmérés a folyó teljes hosszáról.

Az óceánokba jutott műanyagok egy része a felszínen lebeg, más részük a vízoszlopban sodródik vagy a tengerfenékre süllyed.

A műanyagok jelentős része szabad szemmel alig észrevehető darabokból áll.

Az öt milliméternél kisebb műanyagrészecskéket mikroműanyagoknak nevezzük.

Ezek származhatnak nagyobb műanyag tárgyak feldarabolódásából, de közvetlenül is keletkezhetnek például a szintetikus textíliák mosásakor vagy a gumiabroncsok kopásakor.

A kutatások mikroműanyagokat mutattak ki a tengervízben, az üledékekben, a tengeri élőlényekben és számos szárazföldi környezetben is.

Az élő szervezetekre gyakorolt hatásuk azonban összetett, és számos részlete még kutatás tárgya. Nem minden műanyagrészecske azonos veszélyességű, és a laboratóriumi kísérletek eredményeit körültekintően kell a természetes környezetre alkalmazni.

A probléma jelentőségét nem az adja, hogy minden mikroműanyag bizonyítottan súlyos mérgezést okoz, hanem az, hogy hatalmas mennyiségű, tartós mesterséges részecskét juttatunk olyan ökoszisztémákba, amelyek működésére gyakorolt hosszú távú hatásukat még csak részben ismerjük.

A halászat elveszett hálói

A tengerek műanyagszennyezésének egyik különösen veszélyes formáját az elveszett vagy elhagyott halászfelszerelések jelentik.

A modern halászhálók jelentős része tartós szintetikus anyagokból készül. Ez gazdasági és műszaki szempontból előnyös, mert a hálók erősek, könnyűek és ellenállnak a víz hatásainak.

Ha azonban egy háló elszakad, elveszik vagy a tengerbe kerül, hosszú ideig megőrizheti az állatok számára veszélyes tulajdonságait.

A sodródó hálókba halak, teknősök, tengeri madarak és emlősök gabalyodhatnak.

Az ilyen felszereléseket szellemhálóknak nevezik, mert emberi felügyelet nélkül is tovább foghatnak állatokat.



47. ábra: Tengeri teknős elveszett halászhálóba gabalyodva. Az úgynevezett szellemhálók hosszú ideig veszélyeztethetik a tengeri állatokat, még akkor is, amikor már nem használják őket halászatra. Forrás: World Animal Protection.

A probléma itt sem egyszerűen a műanyag létezéséből fakad.

A halászhálók nélkül a modern halászat sokkal nehezebben működne. A környezeti kockázat jelentős részét a felszerelések elvesztése, elhagyása és nem megfelelő kezelése okozza.

Ezért a megelőzésben fontos szerepe lehet a hálók nyomon követésének, visszagyűjtésének, javításának és újrahasznosításának.

A megoldás nem feltétlenül az adott technológia teljes megszüntetése, hanem a teljes használati életciklus felelősebb kezelése.

A szemét útja a Tiszától az óceánokig

Amikor a hulladék átlépi az országhatárokat, és senki sem érzi igazán a sajátjának a problémát.

A környezetszennyezés egyik legkülönösebb tulajdonsága, hogy a következményei gyakran egészen máshol jelentkeznek, mint ahol a szennyezés keletkezett. Egy folyóparton eldobott műanyag palack több száz kilométert utazhat, országhatárokat léphet át, majd végül a tengerben köthet ki. A folyók nem ismerik az államhatárokat, az óceáni áramlatok pedig még kevésbé.

A világ tengerein ma már hatalmas területeken halmozódik fel az emberi civilizáció hulladéka. A legismertebb ilyen térség a Csendes-óceán északi részén található, de a probléma sokkal közelebb is megfigyelhető. Magyarországon a Tisza időről időre látványosan emlékeztet bennünket arra, hogy a környezetszennyezés nemzetközi probléma, amelyet egyetlen ország sem képes önmagában megoldani.

Amikor a Tisza szemetet hoz



48. ábra: Tiszai szennyeződés 2021-ben

A Tisza vízgyűjtő területe öt országra terjed ki. A folyó és mellékfolyói Ukrajna, Románia, Szlovákia, Magyarország és Szerbia területéről gyűjtik össze a vizet. Ezzel együtt sajnos a hulladék egy részét is.

Különösen a folyó felső szakaszán jelent problémát az illegálisan lerakott kommunális hulladék. A folyópartokon, ártereken és kisebb vízfolyások mentén felhalmozódott szemét száraz időszakban sokszor észrevétlen marad. Amikor azonban megérkezik az árhullám, a víz megemelkedik, elönti a hullámtereket, és magával sodorja a könnyű műanyagokat, palackokat, csomagolóanyagokat, valamint a nagyobb méretű tárgyakat is.

A hulladék egy része természetes uszadékkal, fatörzsekkel és ágakkal keveredik. Más része a folyópartokon akad fenn, vagy a víz alá süllyed. A felszínen úszó palackok azonban nagy távolságokat tehetnek meg.

2021 februárjában különösen látványos hulladékáradat érkezett a Felső-Tiszára. A vízügyi szakemberek a folyó sodrásából közel 2000 köbméter uszadékot tereltek ki az egyik kármentesítési helyszínen. Ebben becslések szerint mintegy 330 ezer PET-palack is volt. Az akkori vízügyi összesítések szerint a védekezés során 42 tonna műanyag- és egyéb kommunális hulladékot távolítottak el a folyóból.

A számok önmagukban is megdöbbentőek, de a jelenség ennél többet mond el. Az áradás nem termelte a hulladékot, csupán láthatóvá tette azt, ami korábban már felhalmozódott a vízgyűjtő területen.

A Tisza szennyezése nem kizárólag külföldi eredetű, de a felső szakaszon érkező hulladék jelentős része Ukrajna és Románia felől jut Magyarországra. A szennyezés forrásainak pontos megoszlása árhullámonként eltérhet.

Ez felvet egy nehezen megválaszolható kérdést: kinek kell fizetnie a hulladék eltávolítását? Annak az országnak, ahol a szemét keletkezett, vagy annak, amelynek területén végül felhalmozódott?

A magyar válasz: a PET Kupa





49. ábra: Hulladékgyűjtés a Tiszán PET Kupa keretében

A tiszai hulladékszennyezés elleni küzdelem egyik legismertebb magyar kezdeményezése a PET Kupa, amely 2013-ban indult útjára.

Az ötlet egyszerű, ugyanakkor szokatlan volt: a résztvevők részben hulladékból készített hajókkal indulnak útnak, és verseny közben műanyagot, valamint más szemetet gyűjtenek a folyóból és annak partjairól.

A kezdeményezés azonban idővel jóval túlnőtt egy különleges folyami verseny keretein. A PET Kupa mára hulladékmentesítési akciókat, szemléletformáló programokat és nemzetközi együttműködéseket is szervez.

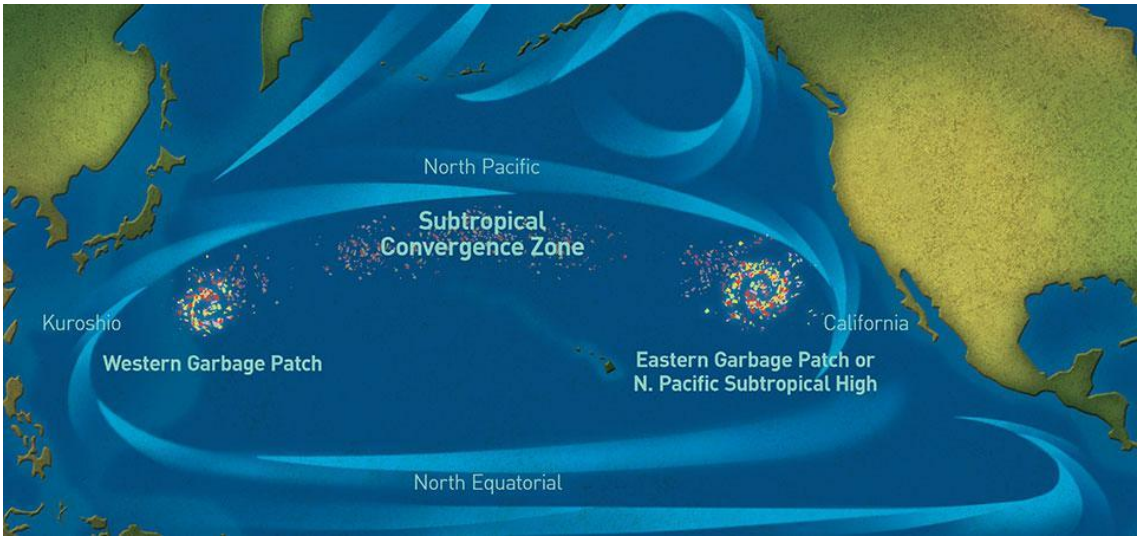
Az önkéntesek által összegyűjtött hulladékot lehetőség szerint szétválogatják, és az újrahasznosítható anyagokat visszajuttatják a feldolgozási rendszerbe. A szennyezett vagy nem hasznosítható maradék megfelelő hulladékkezelést igényel.

A PET Kupa különösen fontos tanulsága, hogy a környezetvédelem nem kizárólag állami intézmények feladata. Civil szervezetek, vállalkozások, önkéntesek és helyi közösségek együttműködésével is jelentős eredményeket lehet elérni.

Ugyanakkor az önkéntes munka nem helyettesítheti a hulladékgazdálkodási infrastruktúrát. Ha a folyó felső szakaszán továbbra is ellenőrizetlen lerakók működnek, minden újabb árhullám újabb szemetet hozhat.

A valódi megoldás ezért nemcsak a hulladék összegyűjtése, hanem annak megakadályozása, hogy egyáltalán a folyóba kerüljön.

Ahol a folyók szemete összegyűlik





50. ábra: hulladék szigetek az óceánban

A folyók által szállított hulladék egy része végül eléri a tengereket. Ott azonban nem feltétlenül sodródik szét egyenletesen.

Az óceánok felszíni áramlásai, a Föld forgása és az uralkodó szélrendszerek hatalmas, örvénylő áramlási rendszereket hoznak létre. Ezeket óceáni köráramlatoknak, angolul gyre-öknek nevezik.

A köráramlatok bizonyos térségekben hosszú időn keresztül összegyűjthetik a vízfelszínen lebegő hulladékot. Így alakulnak ki azok a műanyaghulladékban gazdag övezetek, amelyeket a köznyelv gyakran szemétszigeteknek nevez.

A legismertebb a Csendes-óceán északi részén, Hawaii és Kalifornia között található Great Pacific Garbage Patch.

Egy 2018-ban publikált kutatás mintegy 1,6 millió négyzetkilométerre becsülte a vizsgált hulladékfelhalmozódási övezet kiterjedését. Ez Magyarország területének több mint tizenhétszerese. A kutatók körülbelül 80 ezer tonna műanyaghulladékot és 1,8 billió műanyagdarabot becsültek a térségben.

A szemétsziget elnevezés azonban félrevezető.

Nem egy összefüggő, szilárd hulladéktömegről van szó, amelyen akár sétálni is lehetne. A műanyagdarabok nagy területen, változó sűrűségben oszlanak el. Egyes helyeken nagyobb halászhálók, bóják és műanyagtárgyak úsznak, máshol csupán apró műanyagszemcsék találhatók.

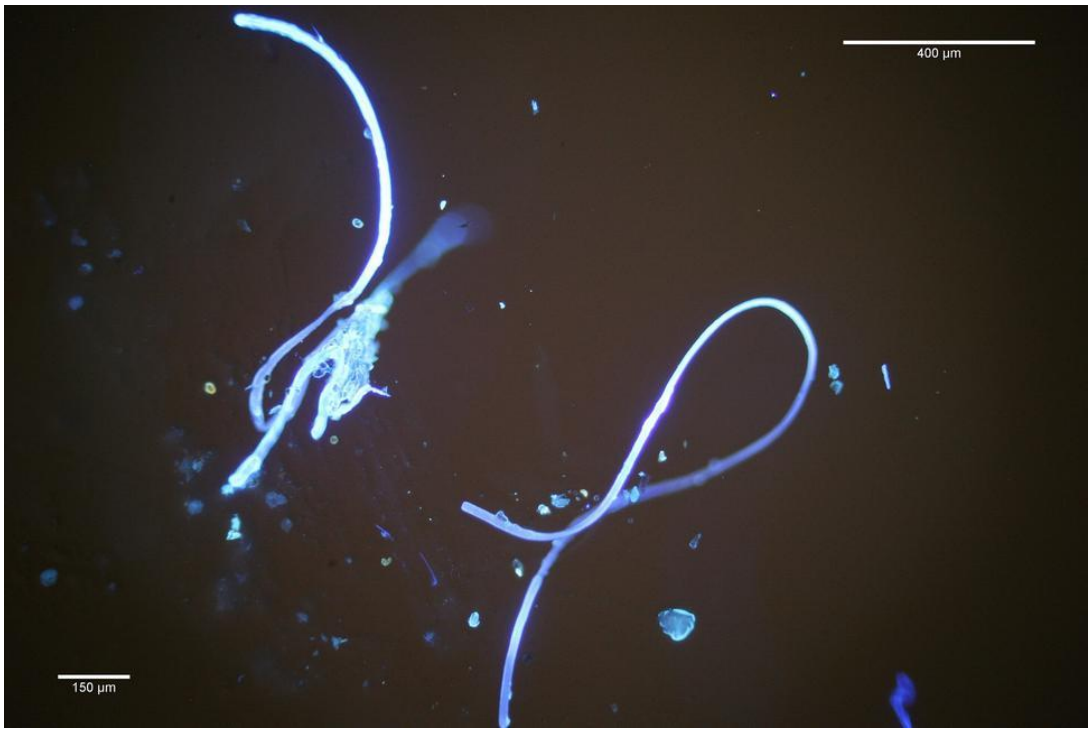
A hulladék, jelentős része a vízfelszín alatt lebeg, ezért a szennyezés sokszor még a hajókról sem feltűnő.

A Csendes-óceán északi hulladékfelhalmozódása nem egyedülálló. Hasonló, bár eltérő nagyságú és összetételű övezetek találhatók az Atlanti- és az Indiai-óceán köráramlási rendszereiben is.

Fontos különbség, hogy míg a folyók a tengerbe jutó műanyagok egyik jelentős forrását jelentik, a nyílt óceáni hulladékfelhalmozódásokban a halászatból és más tengeri tevékenységekből származó hulladék is nagy szerepet játszik. A csendes-óceáni övezetben például a nagyobb műanyagok tömegének jelentős hányadát elhagyott vagy elveszett halászeszközök alkotják.

A láthatatlan veszély: a mikroműanyagok





51. ábra: mikróműanyag szennyezések

A nagyobb műanyagtárgyak eltávolítása technikailag lehetséges, de az apró részecskék már egészen más problémát jelentenek.

A napsugárzás, a hullámzás és a mechanikai kopás hatására a műanyagok fokozatosan kisebb darabokra töredeznek. Az öt milliméternél kisebb részecskéket mikroműanyagoknak nevezzük. Ezek egy része tovább aprózódhat, akár nanométeres mérettartományba is kerülhet.

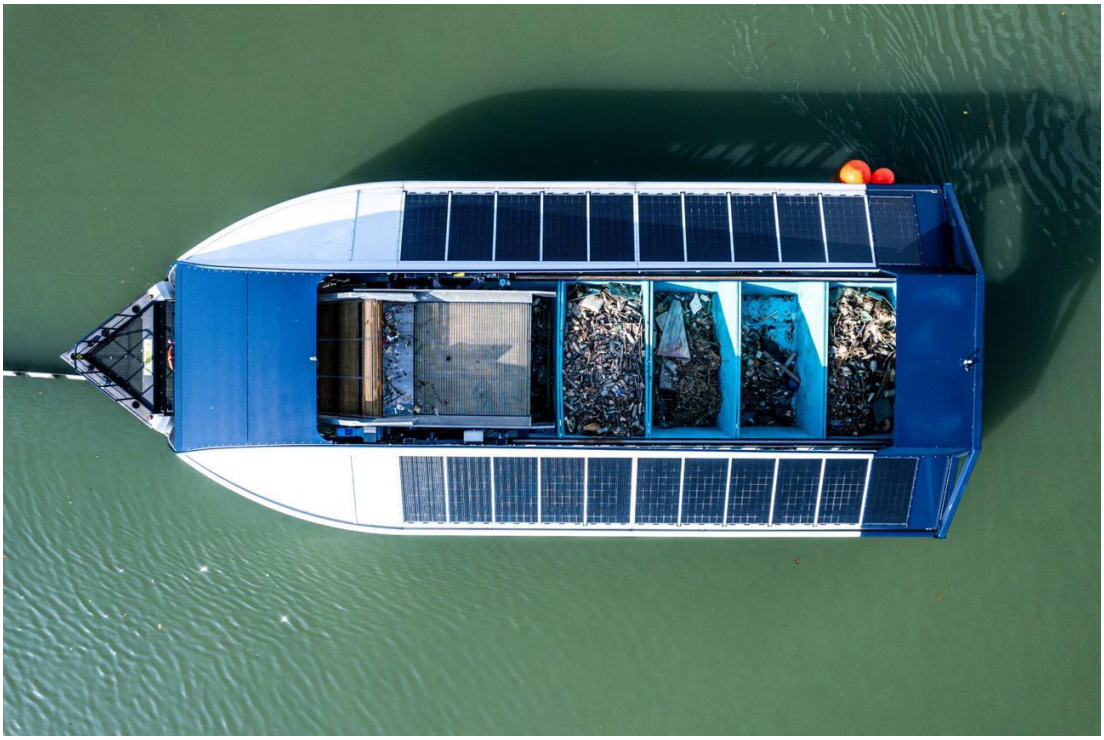
A mikroműanyagok ma már megtalálhatók a tengervízben, az üledékekben, a folyókban, a talajban és számos élőlény szervezetében. Kimutatták őket emberi szövetekben is, bár a különböző részecskék hosszú távú egészségügyi hatásairól még sok a bizonytalanság.

A tengeri élőlények táplálékként téveszthetik össze a műanyagszemcséket, vagy véletlenül lenyelhetik azokat. A nagyobb műanyaghulladékok pedig belegabalyodást, sérüléseket és pusztulást okozhatnak.

A mikroműanyagok eltávolítása a nyílt óceánból jelenleg gyakorlatilag megoldhatatlan globális léptékben. Az apró részecskék kiszűrése ugyanis együtt járhatna a plankton és más élőlények eltávolításával is, miközben óriási vízmennyiséget kellene feldolgozni.

Ezért különösen fontos a nagyobb műanyagok összegyűjtése még azelőtt, hogy apró darabokra töredeznének.

Meg lehet tisztítani az óceánokat?





52. ábra: szennyezés eltávolítása az óceánból

Sokáig úgy tűnt, hogy az óceáni hulladékfelhalmozódások eltávolítása szinte lehetetlen feladat. A szennyezés hatalmas területen oszlik el, a hulladék folyamatosan mozog, és a begyűjtés jelentős költségekkel jár.

Az elmúlt évtizedben azonban több műszaki megoldás is megjelent.

A legismertebb a holland Boyan Slat által 2013-ban alapított The Ocean Cleanup kezdeményezés. A szervezet célja, hogy nagy méretű, úszó gyűjtőrendszerekkel távolítsa el a műanyaghulladékot az óceánokból.

A kezdeti elképzelés szerint a berendezések a tengeri áramlatok energiáját használták volna a hulladék összegyűjtésére. A gyakorlati próbák azonban számos nehézséget tártak fel. A berendezések sérülékenynek bizonyultak, és nem mindig tudták megfelelően megtartani az összegyűjtött műanyagokat.

A fejlesztők ezért módosították a technológiát. A 2023-ban üzembe állított System 03 már két hajó által vontatott, nagy méretű gyűjtőrendszer, amely lassan haladva tereli össze a vízfelszínen lebegő hulladékot.

A szervezet 2026 februárjában közölt összesítése szerint folyami és óceáni rendszereivel együttesen már mintegy 47 ezer tonna hulladékot gyűjtött össze. Ennek túlnyomó része azonban nem a nyílt óceánból, hanem a folyami és part menti programokból származik.

A The Ocean Cleanup célkitűzése, hogy 2040-ig a lebegő óceáni műanyagszennyezés 90 százalékát eltávolítsa. A szervezet maga is elismeri, hogy minden műanyagdarab eltávolítása nem lehetséges, és a tisztítás csak a hulladék keletkezésének csökkentésével együtt hozhat tartós eredményt.

A technológia fejlődésével egyre nagyobb szerepet kapnak a kamerák, a műholdas és légi megfigyelések, valamint a mesterséges intelligenciával támogatott elemzések. Ezek segíthetnek meghatározni, hol koncentrálódik a legtöbb hulladék, így a gyűjtőhajóknak nem kell szükségtelenül hatalmas területeket bejárniuk.

A nyílt óceáni hulladékgyűjtésnek azonban környezeti ára is van. A hajók üzemanyagot fogyasztanak, a berendezések előállítása nyersanyagokat igényel, és a gyűjtés során tengeri élőlények is veszélybe kerülhetnek.

A tisztítás eredményességét ezért nem elegendő a begyűjtött műanyag tonnáiban mérni. A teljes környezeti mérleget kell figyelembe venni.

Megelőzni olcsóbb, mint eltakarítani





53. folyami szennyeződés megállítása speciális gáttal

Az óceáni tisztítás tapasztalatai egy fontos felismeréshez vezettek: a hulladékot sokkal könnyebb összegyűjteni a folyókban, mint a nyílt tengeren.

A folyókban a szennyezés viszonylag keskeny mederben halad, ezért megfelelően elhelyezett gyűjtőberendezésekkel a műanyag jelentős része még a tengerbe jutás előtt eltávolítható.

A The Ocean Cleanup ezért folyami hulladékgyűjtő rendszereket is fejlesztett. Az Interceptor berendezések a folyó sodrását kihasználva terelik a hulladékot egy gyűjtőegységbe. Egyes változatok napelemekkel működnek, mások úszó akadályokkal irányítják a hulladékot a begyűjtés helyére.

Más fejlesztések légbuborékokból álló függönyt alkalmaznak, amely a vízben lebegő hulladékot a part felé tereli. Kikötőkben kisebb, automatikus hulladékgyűjtő berendezések működnek, és már önállóan közlekedő, kamerákkal felszerelt tisztítórobotokkal is kísérleteznek.

Ezek a megoldások különböző körülmények között alkalmazhatók, de közös bennük, hogy a szennyezést lehetőleg még koncentrált állapotában próbálják eltávolítani.

Magyarországon a Felső-Tiszán kiépített hulladékmentesítési rendszer ugyanezt az elvet követi. A vízügyi igazgatóságok által megvalósított, mintegy 1,3 milliárd forintos fejlesztés célja az volt, hogy a külföldről érkező úszó hulladékot ellenőrzött körülmények között lehessen eltávolítani. A 2021–2027-es Országos Hulladékgazdálkodási Terv szerint a Felső-Tiszán korábban egyes szennyezési események során percenként 300–500 palack is áthaladhatott.

A folyami hulladékgyűjtés azonban csak a probléma egyik részét kezeli. Ha a vízgyűjtő területeken továbbra is hiányos a hulladékszállítás, illegális lerakók működnek, és a lakosság nem rendelkezik megfelelő hulladékkezelési lehetőségekkel, a szennyezés újratermelődik.

Ezért a leghatékonyabb megoldások közé tartozik a szervezett hulladékgyűjtés kiterjesztése, az illegális lerakók felszámolása, a visszaváltási rendszerek fejlesztése és a műanyag csomagolások mennyiségének csökkentése.

Ki fizeti meg a tisztítás árát?

Az óceáni szemétszigetek és a Tisza hulladékszennyezése ugyanannak a gazdasági problémának két különböző léptékű megjelenése.

A műanyagtermékeket előállító vállalatok bevételhez jutnak. A termékeket megvásárló fogyasztók élvezik azok előnyeit. A hulladék kezelésének költsége azonban gyakran nem jelenik meg teljes egészében a termék árában.

Ha a hulladék megfelelő kezelés nélkül a környezetbe kerül, a költségek másokra hárulnak. A folyók mentén élő közösségekre, a vízügyi szervezetekre, a halászokra, a turizmusra vagy végső soron az adófizetőkre.

A Tiszánál ez különösen szemléletes. A szennyezés egy része más országokban keletkezik, miközben az eltávolítás jelentős költsége Magyarországon merül fel.

A nemzetközi vizeken a helyzet még bonyolultabb. A hulladék eredetét sokszor lehetetlen pontosan meghatározni. Egy több évtizede a tengerben sodródó műanyagdarabról rendszerint nem állapítható meg, melyik országban használták, és ki dobta el.

A felelősség ezért nem rendezhető pusztán azzal az elvvel, hogy a szennyező fizet. A gyakorlatban szükség lehet nemzetközi megállapodásokra, közös finanszírozásra és a gyártók kiterjesztett felelősségére is.

A műanyaggyártás gazdasági haszna viszonylag jól mérhető. Az óceáni élővilág károsodásának, az ökoszisztémák romlásának vagy a mikroműanyagok hosszú távú hatásainak pénzbeli értékelése viszont sokkal nehezebb.

Ez a különbség a környezetvédelem egyik alapvető problémája. Ami a vállalat mérlegében nem jelenik meg költségként, attól még a társadalomnak és a természetnek nagyon is lehet ára.

A tisztítás nem helyettesíti a megelőzést

Az óceáni hulladékgyűjtő rendszerek és a tiszai hulladékmentesítési programok azt bizonyítják, hogy a technológia és az emberi együttműködés képes enyhíteni a környezetszennyezés következményeit.

A megoldások azonban egyelőre csak a már kialakult problémát kezelik.

Ha a világ továbbra is egyre több egyszer használatos műanyagot állít elő, miközben a hulladékkezelési rendszerek nem fejlődnek megfelelő ütemben, a tengerek tisztítása állandó versenyfutássá válhat az újonnan érkező szennyezéssel.

A Tisza példája ugyanakkor biztató. Megmutatja, hogy a helyi közösségek, a civil szervezetek, a vízügyi szakemberek és az állami intézmények együttműködése kézzelfogható eredményeket hozhat.

Az óceánok esetében ugyanez a feladat nemzetközi léptékben jelentkezik.

A kérdés végső soron nem az, hogy képesek vagyunk-e összegyűjteni a saját hulladékunkat. Egyre több bizonyíték van arra, hogy legalább egy részét igen.

Az igazi kérdés az, hogy képesek vagyunk-e olyan gazdasági rendszert kialakítani, amelyben nem éri meg a környezetbe juttatni azt, amit később sokszoros költséggel kell eltávolítani.

Mert amit az egyik országban eldobnak, azt egy másikban kell összegyűjteni. Amit ma a folyóba engedünk, az holnap a tengerben jelenhet meg. És amit most nem takarítunk el, az évtizedekig, esetenként évszázadokig velünk maradhat.

A hulladék eltűnhet a szemünk elől, de a természetből nem.

Felhasznált források

- Lebreton és munkatársai (2018): A nagy csendes-óceáni hulladékfelhalmozódás vizsgálata – Scientific Reports
- The Ocean Cleanup – eredmények és hulladékgyűjtési adatok
- The Ocean Cleanup – a technológia működése és korlátai
- Országos Hulladékgazdálkodási Terv 2021–2027 – a Tisza hulladékszennyezése és a magyar intézkedések
- PET Kupa – magyarországi folyótisztítási kezdeményezés

Amikor túl sok halat fogunk ki

A tengerek élővilágát nemcsak a szennyezés, hanem az erőforrások túlzott felhasználása is veszélyezteti.

Az ember évezredek óta halászik. A halak, kagylók és más vízi szervezetek számos tengerparti társadalom alapvető élelmiszerforrásai voltak.

A modern ipari halászat azonban egészen más lehetőségekkel rendelkezik, mint a hagyományos halászati módszerek.

A nagy teljesítményű hajómotorok, a műholdas navigáció, a radarok és halradarok, a korszerű hálók, valamint a fedélzeti hűtő- és feldolgozórendszerek lehetővé tették, hogy a hajók rendkívül nagy területeket járjanak be, és korábban elképzelhetetlen mennyiségű halat fogjanak ki.

A technológia fejlődése a termelékenység rendkívüli növekedését hozta.

A halállományok természetes szaporodóképessége azonban nem növekedett ezzel azonos ütemben.

Ha egy halállományból tartósan több egyedet fognak ki, mint amennyit a természetes szaporodás és növekedés képes pótolni, az állomány csökkenni kezdhet.

Ezt nevezzük túlhalászatnak.

A folyamat különösen veszélyes lehet a lassan növekvő, későn ivaréretté váló és viszonylag kevés utódot létrehozó fajoknál.

A nagytestű ragadozó halak és bizonyos cápafajok például különösen érzékenyek lehetnek az intenzív halászati nyomásra.

A halállományok csökkenése ráadásul nem kizárólag a kifogott fajokat érinti.

A táplálékhálózatban a ragadozók és zsákmányállatok kapcsolata miatt egyetlen faj jelentős visszaszorulása más fajok állományára is hatással lehet.

A fenékvonóhálós halászat bizonyos formái pedig közvetlenül is károsíthatják a tengerfenék élőhelyeit.

A túlhalászat nem jelenti azt, hogy minden halállomány ugyanolyan veszélyben lenne.

A FAO 2025-ben közzétett globális értékelése szerint a 2021-es állapotot tekintve a vizsgált tengeri halállományok 35,5 százalékát biológiailag nem fenntartható mértékben halászták, míg 64,5 százalékuk fenntartható szinten volt.

A halállományok szám szerinti megoszlása, nem a kifogott hal mennyisége. Forrás: FAO, 2025; referenciaév: 2021.

Világszerte a vizsgált tengeri halállományok több mint egyharmadát túlhalásszák. Ugyanakkor azokban a térségekben, ahol tudományos alapú halászati korlátozások és hatékony ellenőrzés működnek, jelentős javulás is elérhető.

A halállományok csökkenése tehát nem elkerülhetetlen következménye a halászatnak.

A fogási kvóták, az ívási időszakok védelme, a bizonyos területeken alkalmazott halászati tilalmak és a szelektívebb eszközök hozzájárulhatnak az állományok fennmaradásához vagy regenerációjához.

Az intézkedések azonban gazdasági és társadalmi konfliktusokat is kiválthatnak.

A halászok megélhetése, a tengerparti települések gazdasága és a fogyasztók élelmiszerellátása egyaránt érintett.

A tengerek védelme ezért nem pusztán biológiai, hanem gazdasági és társadalmi feladat is.

Az óceánok: a Föld hatalmas szén-dioxid-elnyelő rendszere

A tengerek és óceánok szerepe messze túlmutat azon, hogy élőhelyet és élelmiszerforrást biztosítanak.

A Föld éghajlatának szabályozásában is meghatározó jelentőségük van.

Az óceánok a bolygó felszínének körülbelül 71 százalékát borítják. Hatalmas tömegük és nagy hőkapacitásuk miatt rendkívül fontos szerepet játszanak a hő tárolásában és elosztásában.

A tengeri áramlatok a melegebb és hidegebb térségek között jelentős mennyiségű energiát szállítanak, így alakítják a kontinensek éghajlatát is.

Az óceánok azonban nemcsak hőt, hanem szén-dioxidot is felvesznek a légkörből.

A légköri szén-dioxid egy része feloldódik a tengervízben. A vízben különböző kémiai egyensúlyi folyamatok során oldott szén-dioxid, hidrogén-karbonát- és karbonátionok formájában van jelen.

A tengeri élővilág szintén részt vesz a szén körforgásában.

A fotoszintetizáló mikroszkopikus szervezetek szén-dioxidot használnak fel szerves anyagok előállításához. Az elpusztult szervezetek és más szerves részecskék egy része a mélyebb vízrétegekbe süllyed, ahol a szén hosszabb ideig elkülönülhet a légkörtől.

A jelenséget biológiai szénpumpának nevezzük.

A fizikai és biológiai folyamatok együtt olyan rendszert alkotnak, amely jelentősen mérsékli az emberi szén-dioxid-kibocsátás légköri felhalmozódását.

A Global Carbon Budget 2025 újraértékelt adatai szerint az óceánok a 2015–2024 közötti évtizedben az emberi eredetű szén-dioxid-kibocsátás mintegy 29 százalékát nyelték el nettó módon.

Ez rendkívül jelentős mennyiség.

Ha az óceánok nem vennének fel szén-dioxidot, az emberi kibocsátások jóval nagyobb része maradna a légkörben, és a felmelegedés is erőteljesebb lenne.

A szén-dioxid elnyelésének azonban ára van.

Amikor a tenger kémhatása megváltozik

A légköri szén-dioxid vízben való oldódása megváltoztatja a tengervíz kémiai egyensúlyát.

Az oldott szén-dioxid egy része szénsav képződéséhez vezető reakciókban vesz részt, amelyek növelik a hidrogénionok koncentrációját.

Ennek hatására az óceánok átlagos pH-értéke csökken.

A folyamatot óceánsavasodásnak nevezzük.

A kifejezés nem azt jelenti, hogy az óceánok vize savassá vált. A tengervíz továbbra is enyhén lúgos, de a kémhatása az iparosodás kezdete óta mérhetően eltolódott.

A pH-skála logaritmikus. Ezért egy viszonylag kis pH-változás is jelentős kémiai átalakulást jelezhet.

Az iparosodás előtti, nagyjából 8,2-es átlagos felszíni óceáni pH-érték napjainkra körülbelül 8,1-re csökkent. Ez hozzávetőleg 25–30 százalékos növekedést jelent a hidrogénion-koncentrációban.

A változás különösen fontos lehet azoknak az élőlényeknek, amelyek kalcium-karbonátból építenek vázat vagy héjat.

Ilyenek például a korallok, egyes kagylók, csigák és mikroszkopikus planktonszervezetek.

A tengervíz kémiai összetételének változása megnehezítheti egyes szervezetek mészvázának kialakítását vagy fenntartását.

A hatás nem minden fajra és minden környezetben azonos. Egyes élőlények jobban képesek alkalmazkodni, mások különösen érzékenyek.

Az óceánsavasodás azonban újabb példája annak, hogy az emberi tevékenység következményei nem feltétlenül ott jelentkeznek, ahol a szennyezés keletkezik.

Egy szárazföldi erőmű szén-dioxid-kibocsátása hosszú távon a tengeri élővilág működésére is hatással lehet.

Az óceánok oxigéntermelése: egy gyakran félreértett állítás

A tengerekről gyakran hallhatjuk, hogy a Föld oxigénjének körülbelül felét termelik.

Ez az állítás lényegében helyes, de fontos pontosítani, mit jelent.

A tengervíz felső, napfény által átjárt rétegeiben hatalmas mennyiségű mikroszkopikus fotoszintetizáló élőlény található.

Ezeket összefoglalóan fitoplanktonnak nevezzük.

A fitoplankton közé különféle egysejtű algák és fotoszintetizáló baktériumok tartoznak, például a cianobaktériumok.

A fotoszintézis során napenergia segítségével szerves anyagokat állítanak elő szén-dioxidból és vízből, miközben oxigént bocsátanak ki.

A NOAA becslése szerint a Földön zajló fotoszintetikus oxigéntermelés körülbelül fele az óceánokhoz kapcsolódik.

Ebből azonban nem következik, hogy az általunk belélegzett légköri oxigén fele minden évben közvetlenül az óceánokból származna.

A tengeri élőlények légzése és az elhalt szerves anyagok lebontása ugyanis szintén oxigént fogyaszt.

Az óceánok által termelt oxigén jelentős része ezért a tengeri ökoszisztémákon belül felhasználódik.

A légkör mai, körülbelül 21 százalékos oxigéntartalma rendkívül hosszú földtörténeti folyamatok eredményeként alakult ki.

Az atmoszférában hatalmas oxigénkészlet található, amely nem ürülne ki gyorsan még akkor sem, ha a tengeri fotoszintézis jelentősen csökkenne.

A fitoplankton pusztulása tehát nem elsősorban azért jelent közvetlen veszélyt, mert néhány évtized alatt elfogyna a belélegezhető oxigén.

A sokkal közvetlenebb veszély az, hogy a fitoplankton a tengeri táplálékhálózat alapját képezi, és kulcsszerepet játszik az óceánok anyagforgalmában.

Ha a mennyisége, összetétele vagy elterjedése jelentősen megváltozik, annak következményei a tengeri élővilág egészére kiterjedhetnek.

Az oxigéntermelés mellett ezért legalább ilyen fontos a fitoplankton szerepe az élelmiszerhálózatok és a globális szénkörforgás fenntartásában.

A felmelegedő óceánok és a korallzátonyok pusztulása

Az óceánok nemcsak szén-dioxidot, hanem az emberi eredetű felmelegedés következtében felhalmozódó többlethő túlnyomó részét is elnyelik.

Ez mérsékli a légkör közvetlen felmelegedését, de közben magát a tengeri környezetet is átalakítja.

A melegebb víz általában kevesebb oxigént képes oldott állapotban tartani. A vízrétegek közötti keveredés változása tovább csökkentheti az oxigén utánpótlását bizonyos mélységekben.

A felmelegedés így hozzájárulhat a tengeri oxigénhiány növekedéséhez.

A korallzátonyok különösen érzékenyek a tartósan magas vízhőmérsékletre.

A zátonyépítő korallok szöveteiben mikroszkopikus, fotoszintetizáló algák élnek, amelyek fontos szerepet játszanak a korallok energiaellátásában.

Ha a víz hőmérséklete tartósan meghaladja a korallok számára elviselhető tartományt, az együttélés felborulhat. A korallok elveszíthetik színt adó szimbiontáikat, és kifehérednek.

Ezt a jelenséget korallfehéredésnek nevezzük.

A korallzátonyok az óceánok területének rendkívül kis részét foglalják el, mégis számos tengeri élőlény számára biztosítanak táplálkozó-, szaporodó- és menedékhelyet.

A zátonyok pusztulása ezért nemcsak egy látványos természeti képződmény elvesztését jelenti.

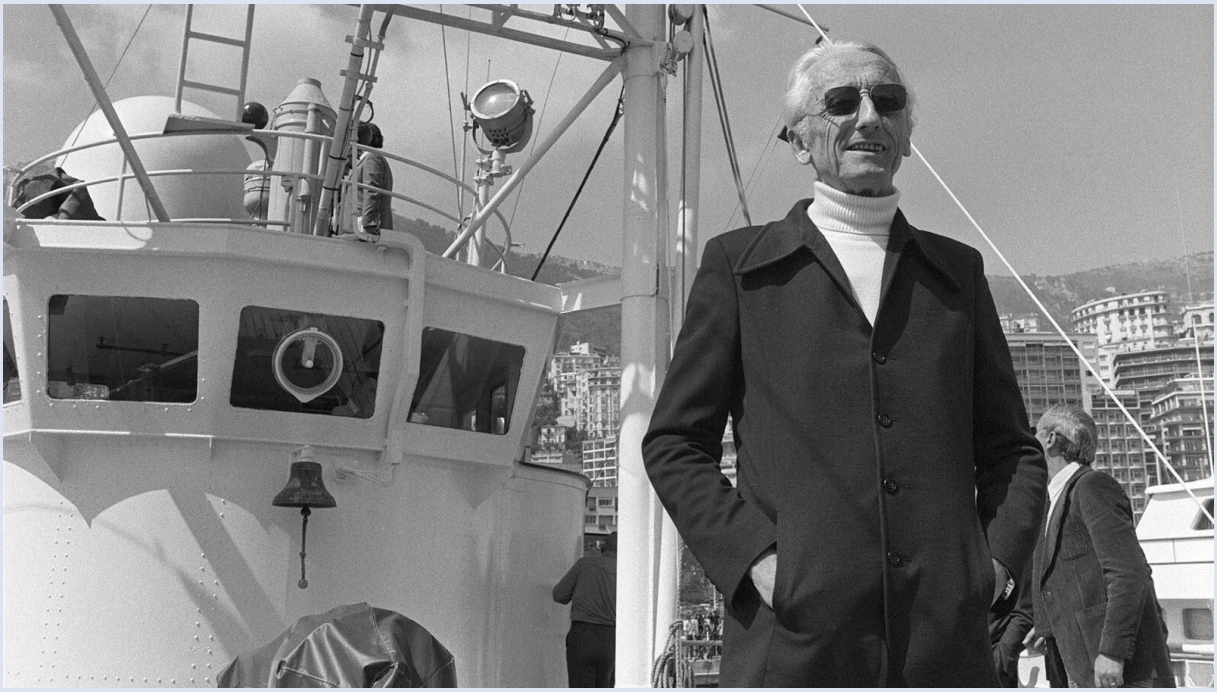
Hatással lehet a halállományokra, a tengerparti közösségek megélhetésére és a partok természetes védelmére is.

A korallzátonyok története ismét megmutatja, hogy a környezetkárosodás különböző formái összekapcsolódnak.

A tengervíz felmelegedése, a savasodás, a helyi szennyezések és a túlhalászat együttesen is gyengíthetik az ökoszisztémák ellenálló képességét.

Jacques-Yves Cousteau – A kapitány, aki már fél évszázada figyelmeztetett

A francia tengerkutató, Jacques-Yves Cousteau (1910–1997) neve több generáció számára összeforrt a tengerek felfedezésével. A *Calypso* kutatóhajó fedélzetén készített filmjei és televíziós sorozatai először tették a nagyközönség számára széles körben láthatóvá azt a világot, amely korábban szinte teljesen rejtve maradt az ember előtt.



Cousteau azonban nemcsak a tengerek szépségét mutatta meg, hanem pusztulásukat is.

Az 1960-as és 1970-es évekre egyre aggasztóbb változásokat tapasztalt a tengeri élővilágban. A szennyezés, a túlhalászat és a partvidékek iparosítása olyan mértékben alakította át az élőhelyeket, amelyet már nem lehetett egyszerűen helyi problémának tekinteni.

1970 szeptemberében, többéves expedíciójáról visszatérve nyilvánosan figyelmeztetett az óceánok állapotának romlására. Megfigyeléseit 1971-ben tudományos folyóiratban is közreadta.

Különös figyelmet fordított a Földközi-tengerre.

1977-ben a *Calypso* kutatóhajóval 13 országot érintő vizsgálatot végzett a térség tengeri szennyezésének feltárására.

1979 márciusában Madridban ismertetett eredményei szerint a Földközi-tenger állapota már akkor riasztó volt. A kutatócsoport mintegy 128 vizsgálati helyszínről közel ezer mintát elemzett.

Cousteau arra figyelmeztetett, hogy amennyiben a szennyezés tovább folytatódik, a következő ötven évben a Földközi-tenger élővilága alapvetően átalakulhat.

A figyelmeztetés mögött a parti ipar szennyezése, a folyókon keresztül érkező vegyi anyagok, a szennyvíz és a túlzott halászat álltak.

Cousteau egyes korabeli becslései rendkívül súlyos, akár 40 százalékos tengeri életveszteségről szóltak. Ezek nem tekinthetők a mai módszerekkel igazolt, pontos globális vagy földközi-tengeri biológiai sokféleség-méréseknek. A figyelmeztetés alapvető iránya azonban helytálló volt: a tengeri környezet jelentős emberi terhelés alatt állt.

Cousteau 1973-ban megalapította a Cousteau Society nevű szervezetet, amely a tengerek kutatását és védelmét tűzte ki célul.

Munkásságának egyik legfontosabb eredménye az volt, hogy a tengeri környezetvédelem ügyét kivitte a tudományos intézetek falai közül, és a televízió segítségével emberek millióihoz juttatta el.

A történet különösen tanulságos, mert megmutatja: a környezeti veszélyek felismerése és a társadalmi cselekvés között akár évtizedek is eltelhetnek.

Cousteau már akkor figyelmeztetett, amikor a tengerek szennyezése még kevésbé foglalkoztatta a közvéleményt. A Földközi-tenger védelme azóta jelentős nemzetközi együttműködés tárgya lett, de a műanyagok, a túlhalászat, a felmelegedés és a partvidékek terhelése továbbra is komoly problémát jelentenek.

Forrás: El País, 1979. március 9. – Cousteau Földközi-tengerrel kapcsolatos figyelmeztetésének korabeli tudósítása.

Cousteau öröksége nem pusztán az, hogy megmutatta, milyen csodálatos a víz alatti világ, hanem az is, hogy figyelmeztetett: amit az ember nem lát, azt is képes elpusztítani.

Miért látjuk kevésbé a vízi környezet pusztulását?

Egy kivágott erdő helyén tuskók maradnak. Egy füstös városban a szennyezés gyakran szabad szemmel is látható.

A vízi környezet károsodása sokszor egészen másként jelentkezik.

A tenger felszíne nyugodt és tiszta lehet, miközben a mélyebb vízrétegekben csökken az oxigén mennyisége.

Egy folyó átlátszó vize is tartalmazhat olyan vegyi anyagokat, amelyek hosszú távon károsítják az élőlényeket.

Egy túlhalászott tengeri területen a turista továbbra is ugyanazt a kék víztükröt látja, amelyet évtizedekkel korábban. A halállományok változása csak rendszeres mérésekből és hosszú távú megfigyelésekből derülhet ki.

A vízi ökoszisztémák jelentős része ráadásul fizikailag is nehezen hozzáférhető.

Az óceánok átlagos mélysége közel 3700 méter. A mélytengeri élőhelyek vizsgálata különleges műszereket, kutatóhajókat és gyakran távirányított vagy autonóm merülőeszközöket igényel.

A környezeti változások ezért sokszor már jóval azelőtt megkezdődnek, hogy az emberek közvetlenül észlelnék őket.

A láthatatlanságnak azonban társadalmi oka is van.

A szennyezés következményei gyakran térben és időben elkülönülnek az eredeti tevékenységtől.

A szárazföld belsejében alkalmazott műtrágya egy része folyókon keresztül távoli tengeröblökbe juthat. Egy elhagyott műanyag tárgy sok évvel később az óceán másik részén kerülhet elő.

A légkörbe kibocsátott szén-dioxid pedig globális változásokat idézhet elő a tengervíz kémiai összetételében.

A kibocsátás és a következmény között nem mindig könnyű felismerni az összefüggést.

Ráadásul az emberi társadalom elsősorban a közvetlenül érzékelhető változásokra reagál.

Egy olajkatasztrófa, amelynek következtében olaj borítja a tengerpartot és madarak ezrei pusztulnak el, azonnal a világ figyelmének középpontjába kerülhet.

A tengerfenék lassú oxigénvesztése vagy a planktonközösségek fokozatos átalakulása ezzel szemben ritkán kerül a hírek élére.

Pedig hosszú távú ökológiai jelentőségük legalább ilyen nagy lehet.

A vízi környezet védelmének egyik legnagyobb nehézsége ezért az, hogy olyan változásokat kell felismernünk és megakadályoznunk, amelyeket közvetlenül nem látunk.

Magyarország: a folyók és a Balaton példája

Magyarország különösen érdekes helyzetben van a vízvédelem szempontjából.

Az ország felszíni vizeinek jelentős része külföldről érkezik. A Duna, a Tisza és számos mellékfolyó vízminőségét ezért nemcsak a magyarországi tevékenységek, hanem a vízgyűjtő terület más országaiban történő események is befolyásolják.

Ez különösen jól megmutatkozott a 2000. évi tiszai cianidszennyezés során.

A romániai Nagybánya közelében történt ipari baleset következtében cianidtartalmú szennyezés jutott a vízrendszerbe, amely a Szamoson keresztül a Tiszába került.

A szennyezés súlyos halpusztulást okozott, és hosszú időre a magyar környezetvédelmi közbeszéd egyik meghatározó eseményévé vált.

A katasztrófa világossá tette, hogy egy folyó szennyezése nem áll meg az országhatárnál.

A vízi környezet nemzetközi együttműködés nélkül sok esetben nem védhető megfelelően.

A Balaton története egy másik fontos tanulságot kínál.



54. ábra: Balaton látképe

A tó vizének minősége a 20. század második felében jelentősen romlott a növekvő tápanyagterhelés következtében. A települési szennyvizek és a mezőgazdasági eredetű

tápanyagok hozzájárultak az algák, köztük egyes cianobaktériumok tömeges elszaporodásához.

A szennyvízkezelés fejlesztése és a foszforterhelés csökkentése később jelentős javulást eredményezett.

A Balaton példája tehát azt mutatja, hogy egy súlyosan terhelt vízi ökoszisztéma állapota megfelelő intézkedésekkel javítható.

A helyreállítás ugyanakkor folyamatos figyelmet igényel.

A hőmérséklet emelkedése, a vízszint ingadozása, a tápanyagok belső körforgása és az élővilág változásai továbbra is befolyásolják a tó működését.

A vízvédelem ezért nem egyszeri beruházás, hanem hosszú távú, folyamatos feladat.

A tengerek védelme: a láthatatlan világ megőrzése

A folyók, tavak, tengerek és óceánok története sok tekintetben hasonlít az erdők és a levegőszennyezés korábban bemutatott történetéhez.

Az ember először elsősorban erőforrásként tekintett rájuk.

A folyók ivóvizet, energiát és közlekedési lehetőséget biztosítottak. A tengerek élelmiszert, nyersanyagokat és kereskedelmi útvonalakat kínáltak. A víz hatalmas mennyisége pedig azt a benyomást keltette, hogy szinte korlátlanul képes befogadni a hulladékainkat.

A technológiai fejlődés azonban egyre nagyobb mértékben változtatta meg a vízi környezetet.

A városok és ipari létesítmények szennyvizet bocsátottak ki, a mezőgazdaság tápanyagokat juttatott a folyókba, a vegyipar új anyagokat vezetett be a környezetbe, a műanyagok elterjedése pedig olyan hulladékáramot hozott létre, amelynek hatásai az egész bolygóra kiterjednek.

A modern halászat képessé vált hatalmas tengeri területek élővilágának intenzív hasznosítására.

Mindeközben a fosszilis energiahordozók elégetése a tengerek hőmérsékletét és kémiai egyensúlyát is megváltoztatja.

Ezek a problémák nem azonos természetűek, és nem is ugyanazokkal az eszközökkel oldhatók meg.

A szennyvíz megfelelő tisztítással kezelhető. A műanyaghulladék jelentős része jobb terméktervezéssel, gyűjtéssel és hulladékgazdálkodással megelőzhető. A túlhalászat hatékony szabályozással mérsékelhető. Az óceánok felmelegedése és savasodása viszont a globális üvegházhatásúgáz-kibocsátás csökkentését is szükségessé teszi.

A vízi környezet védelme ezért egyszerre helyi, regionális és globális feladat.

A legfontosabb tanulság azonban túlmutat az egyes szennyezéseken.

A természetben az, amit nem látunk, nem feltétlenül kevésbé fontos annál, amit közvetlenül érzékelünk.

Az óceánok mélyén zajló folyamatok hatással vannak a bolygó éghajlatára. A mikroszkopikus planktonszervezetek a tengeri táplálékhálózat alapját alkotják, és jelentős szerepet játszanak az oxigéntermelésben, valamint a szén körforgásában.

A vízi ökoszisztémák működése tehát nem távoli, csak a tengerparti országokat érintő kérdés.

Az egész emberiség fennmaradásának egyik alapfeltétele.

A környezetvédelem fejlődése során meg kellett tanulnunk, hogy a szennyezés nem tűnik el attól, hogy a folyó elszállítja, a tenger elnyeli vagy a mélység elrejti a szemünk elől.

A következmények előbb-utóbb megjelennek.

A feladatunk az, hogy lehetőleg még azelőtt felismerjük őket, mielőtt visszafordíthatatlan károkat okoznának.

Tudományos források és képjegyzék

A fejezet főbb tudományos adatainak forrásai:

- UN-Water – Domestic Wastewater Treatment, 2025. A háztartási szennyvíz kezelésének globális helyzete.
- FAO – Global Marine Fish Stock Assessment, 2025. A tengeri halállományok fenntarthatóságának értékelése.
- Global Carbon Budget 2025. Az óceánok szén-dioxid-elnyelésének legújabb becslései.
- NOAA – How much oxygen comes from the ocean?. Az óceáni oxigéntermelés értelmezése.
- NASA Earth Observatory – Algavirágzások a Balti-tengerben. Műholdas megfigyelések.

7. Klimatikus fordulópontok – amikor a Föld rendszerei átbillennek

Klímaváltozás és a Föld természeti rendszerei

A klímaváltozásról szóló hírekben rendszerint hőmérsékleti rekordokról, olvadó gleccserekről, aszályokról és egyre hevesebb viharokról olvashatunk. Ezek a jelenségek többnyire fokozatos változásnak tűnnek: évről évre egy kicsit magasabb az átlaghőmérséklet, valamivel kevesebb a jég, gyakoribbak a szélsőséges időjárási események. Könnyen kialakulhat az a benyomás, hogy a változások nagyjából egyenletes ütemben követik a felmelegedést.

Csakhogy a természet nem mindig így működik.

Vannak olyan rendszerek, amelyek hosszú ideig képesek alkalmazkodni a változó körülményekhez, majd egy bizonyos határ átlépése után gyökeresen átalakulnak. Ezt a határt nevezzük fordulópontnak, angolul tipping pointnak.

Képzeljünk el egy golyót, amely egy sekély mélyedésben nyugszik. Ha kissé meglökjük, elmozdul, de visszagurul eredeti helyére. Ha azonban egyre erősebben toljuk, egyszer csak átjut a mélyedés peremén, és legurul a következő völgybe. Ettől kezdve már nem elegendő megszüntetni az eredeti lökést ahhoz, hogy visszatérjen korábbi helyzetébe.

A fordulópont elvi szemléltetése. A rendszer egy kritikus határ átlépése után másik stabil állapotba kerülhet, és a visszatérés nehézzé válhat.

A Föld éghajlati rendszerében is találunk ilyen folyamatokat. Az óceánok áramlása, a hatalmas jégtakarók, az esőerdők és bizonyos tengeri ökoszisztémák nem csupán elszenvedik a klímaváltozás hatásait. Maguk is alakítják az éghajlatot. Ha működésük alapvetően megváltozik, az további felmelegedést vagy jelentős regionális éghajlati átrendeződést idézhet elő.

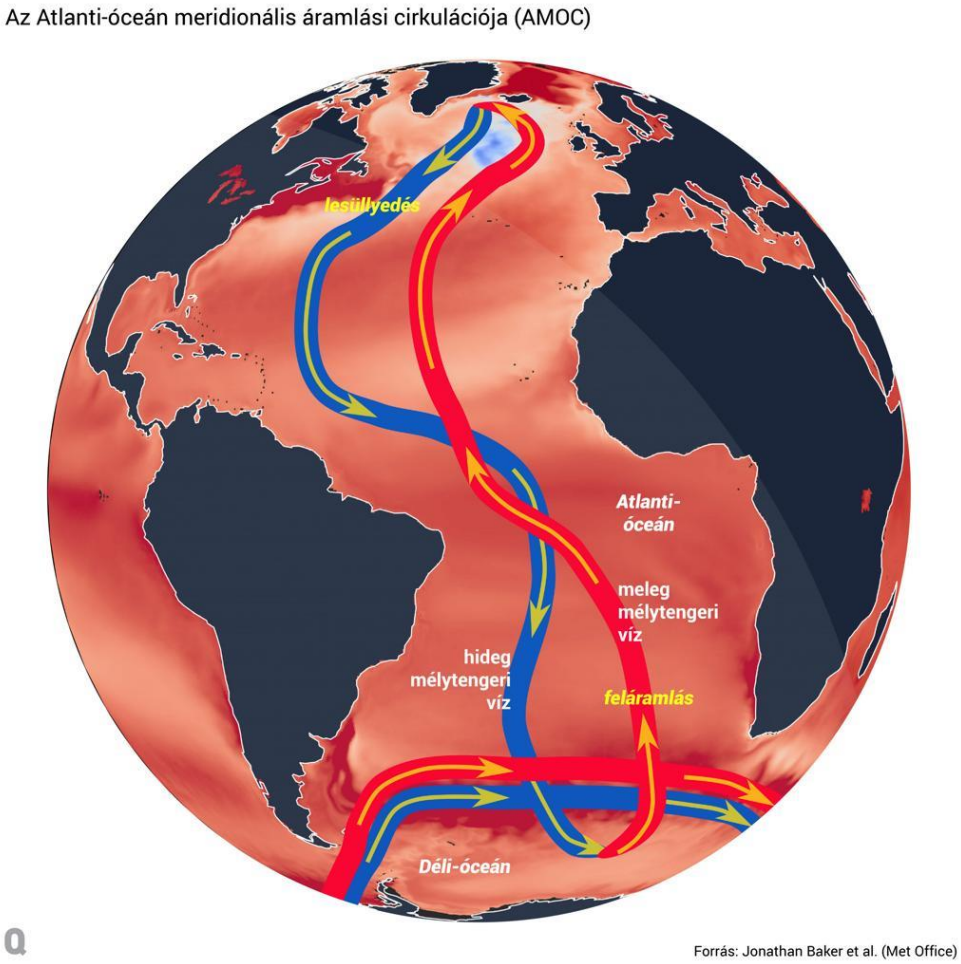
A fordulópont tehát nem feltétlenül látványos, egyik napról a másikra bekövetkező katasztrófát jelent. Azt a pillanatot is jelölheti, amikor egy lassú folyamat már olyan irányt vesz, amelynek megfordítása rendkívül nehéz, vagy emberi időléptékben lehetetlenné válik.

Az Atlanti-óceán láthatatlan szállítószalagja

Európa éghajlatát nem csupán földrajzi szélessége határozza meg. Fontos szerepet játszik benne az Atlanti-óceán hatalmas áramlási rendszere is.

Ennek egyik legfontosabb eleme az atlanti meridionális átforduló cirkuláció, röviden AMOC. A rendszer meleg, sós felszíni vizet szállít az Atlanti-óceán délebbi területeiről észak felé. A víz útközben hőt ad át a légkörnek, lehűl, és bizonyos északi térségekben nagyobb sűrűsége miatt lesüllyed. A mélyebb vízrétegekben ezután dél felé áramlik vissza.

Ez az óceáni hőszállítás is hozzájárul ahhoz, hogy Nyugat- és Észak-Európa éghajlata viszonylag enyhe.



55. ábra: Az atlanti áramlási rendszer a trópusok és a magasabb földrajzi szélességek közötti hőszállítás egyik fontos eleme.

A globális felmelegedés azonban megváltoztatja a rendszer működési feltételeit. A grönlandi jégtakaró olvadásából származó édesvíz csökkenti az észak-atlanti tengervíz sótartalmát és sűrűségét. A felszíni víz felmelegedése szintén nehezítheti a lesüllyedést. Mindez gyengítheti a cirkulációt.

A gyengülés egyik lehetséges következménye, hogy kevesebb hő jut az Atlanti-óceán északi térségeibe. Ez módosíthatja az európai hőmérsékleti és csapadékviszonyokat, befolyásolhatja a trópusi esőöveket, és megváltoztathatja egyes tengerparti területek vízszintjét.

Felmerül a kérdés: lehetséges-e, hogy a rendszer olyan mértékben meggyengül, hogy alapvetően más működési állapotba kerül?

A válasz az, hogy ez tudományosan megalapozott kockázat, de a bekövetkezés valószínűsége és időpontja bizonytalan.

Az Éghajlatváltozási Kormányközi Testület, az IPCC hatodik értékelő jelentése szerint az AMOC a 21. század folyamán nagy valószínűséggel gyengülni fog. Ugyanakkor a jelentés közepes bizonyossággal úgy értékelte, hogy 2100 előtt nem következik be hirtelen összeomlás. Más kutatások a rendszer nagyobb sérülékenységére hívják fel a figyelmet.

Fontos tisztázni egy gyakori félreértést. Az AMOC súlyos gyengülése nem azt jelentené, hogy az óceán összes áramlása, köztük a Golf-áramlat, egyszerűen megszűnik. A szél és a Föld forgása továbbra is mozgatná a tengervizet. Az óceáni hőszállítás eloszlása változhatna meg jelentősen.

Európa szempontjából a következmények összetettek lennének. A globális felmelegedés továbbra is hatna, de az észak-atlanti térségben a gyengülő óceáni hőszállítás ezt részben ellensúlyozhatná, szélsőséges esetben egyes régiókban jelentős lehűlést okozhatna. A csapadékrendszerek átrendeződése ugyanakkor a kontinens más részein fokozhatná az aszályokat vagy a szélsőséges időjárási jelenségeket.

A legnagyobb veszély tehát nem pusztán a hidegebb vagy melegebb időjárás, hanem egy olyan éghajlati rendszer átalakulása, amelyhez az európai mezőgazdaság, városok és infrastruktúrák évszázadok alatt alkalmazkodtak.

A jégtakarók: a lassú változás csapdája

Grönlandon és az Antarktiszon több kilométer vastagságú jégtakarók borítják a szárazföldet. Ezek a hatalmas jégtömegek nemcsak a sarkvidékek tájképét határozzák meg, hanem a Föld éghajlatának működésében is fontos szerepet töltenek be.

A hóval és jéggel borított felszínek a napsugárzás jelentős részét visszaverik a világűrbe. A sötétebb óceánfelszín és a jégmentes szárazföld ezzel szemben több energiát nyel el. Amikor a jég visszahúzódik, a felszín több hőt vesz fel, ami tovább segítheti az olvadást.

Ez az úgynevezett jég–albedó visszacsatolás.



56. ábra: Grönlandi olvadékvíz és antarktiszi jégtömegek. A szárazföldi jég tartós vesztesége a tengerszint emelkedésének egyik fő forrása.

A szárazföldi jégtakarók esetében azonban ennél összetettebb folyamatok is működnek.

Grönlandon a jég felszíne az olvadás miatt fokozatosan alacsonyabbra kerülhet. Az alacsonyabb térszíneken rendszerint melegebb a levegő, ezért az olvadás felgyorsulhat. A folyamat egy bizonyos határon túl önmagát erősítheti.

A Nyugat-Antarktiszon különösen nagy veszélyt jelenthet a tengervíz felmelegedése. Bizonyos gleccserek olyan tengerfenéken helyezkednek el, amely a szárazföld belseje felé mélyül. Ha a jég visszahúzódik, egyre vastagabb jég kerülhet kapcsolatba az óceánnal, és a visszahúzódás önfenntartóvá válhat.

Egy jégtakaró fordulópontjának elérése azonban nem jelenti azt, hogy a jég néhány éven belül eltűnik. A teljes átalakulás évszázadokig vagy évezredekig tarthat.

Éppen ebben rejlik a különös veszélye. Lehetséges, hogy egy ma bekövetkező éghajlati változás olyan hosszú távú jégveszteséget indít el, amelynek legnagyobb következményeit csak sokkal későbbi nemzedékek tapasztalják meg.

Grönland teljes jégtakarójának elolvadása önmagában mintegy hét méterrel emelné meg a világóceán átlagos vízszintjét. Ez nem egyetlen évszázadra vonatkozó előrejelzés, hanem annak érzékeltetése, milyen hatalmas vízmennyiséget tárol a szárazföldi jég.

A jégtakarók esetében tehát a döntő kérdés nem csupán az, hogy mennyi jég olvad el ebben az évszázadban, hanem az is, milyen jövőbeli változásokat indítunk el már most.

A Thwaites-gleccser: amikor már a lehűlés sem elegendő

A Nyugat-Antarktiszon található Thwaites-gleccser különösen szemléletes példája annak, hogy a természetben egy változás következményei akkor is fennmaradhatnak, amikor az eredeti kiváltó hatás megszűnik.



57. ábra: A nyugat-antarktiszi Thwaites-gleccser térsége, ahol az óceán és a szárazföldi jégtakaró kölcsönhatása meghatározza a jégveszteség alakulását.

Forrás: commons.wikimedia.org

A mintegy 120 kilométer széles jégfolyam jelentős része a tengerszint alatt fekvő alapkőzeten nyugszik. A tengervíz alulról olvasztja a tenger fölé kinyúló, úszó jégtömeget, miközben a gleccser szárazföldi része fokozatosan vékonyodik és visszahúzódik.

A folyamatot a tengerfenék domborzata is befolyásolja. Ahol a meder a szárazföld belseje felé mélyül, a visszahúzódó jég egyre vastagabb része kerülhet az óceán hatása alá. Bizonyos körülmények között ez önmagát erősítő jégveszteséget indíthat el.

Egy 2026-ban közzétett kutatásban a British Antarctic Survey munkatársai három számítógépes modell segítségével megvizsgálták, mi történne, ha az óceán teljesen megszüntetné a gleccser úszó jégtömegének alulról történő olvasztását.

Az eredmény meglepő volt. Miközben a szomszédos Pine Island-gleccser ismét növekedésnek indult, a Thwaites még ilyen szélsőségesen kedvező körülmények között is tovább veszített jégtömegéből a 150 éves szimuláció során.

A kutatás szerint a Thwaites jelenlegi jégvesztesége részben korábbi éghajlati változások késleltetett következménye lehet. A gleccser már olyan állapotba került, amelyből a korábbi hőmérsékleti viszonyok helyreállítása önmagában nem feltétlenül vezet vissza az eredeti állapothoz.

Ez nem jelenti azt, hogy a gleccser teljes pusztulása elkerülhetetlen, vagy hogy minden további visszahúzódása visszafordíthatatlan. Arra azonban figyelmeztet, hogy egyes természeti rendszerek működését nem lehet egyszerűen visszaállítani a környezeti feltételek korábbi szintre csökkentésével.

A Thwaites-gleccser önmagában mintegy 65 centiméternyi globális tengerszint-emelkedésnek megfelelő jeget tárol, és visszahúzódása a környező jégtakarók stabilitását is befolyásolhatja.

A tanulság messze túlmutat az Antarktiszon: a természetben nem mindig elegendő megszüntetni egy káros folyamat okát ahhoz, hogy annak következményeit is megszüntessük.

Forrás: Williams és munkatársai (2026): Mass Loss From Thwaites Glacier Continues Even Without Ocean Melting. Geophysical Research Letters. *Eredeti tudományos tanulmány*.

Az Amazonas: amikor az esőerdő elveszítheti saját esőjét

Az Amazonas-medence esőerdeje nem egyszerűen a térség csapadékának kedvezményezettje. Maga is aktívan részt vesz annak kialakításában.

A fák gyökereiken keresztül vizet vesznek fel a talajból, majd leveleiken át vízgőzt juttatnak a légkörbe. Ez a párologtatás hozzájárul a felhők és a csapadék kialakulásához. Az erdő így részben maga is fenntartja azt a nedves éghajlatot, amelyre szüksége van.



58. ábra: Az összefüggő amazóniai esőerdő és az erdőirtás következtében feldarabolódott táj.

Mi történik azonban, ha az erdő jelentős részét kivágják, miközben az éghajlat egyre melegebbé és szárazabbá válik?

Kevesebb fa kevesebb vizet párologtat. Emiatt egyes területeken csökkenhet a csapadék, hosszabbá válhat a száraz évszak, és gyakoribbá válhatnak az erdőtüzek. Az elpusztuló fák tovább csökkentik a víz körforgását, ami újabb erdőterületeket veszélyeztet.

A folyamat önmagát erősítheti.

A kutatók attól tartanak, hogy az Amazonas egyes részei olyan állapotba kerülhetnek, amelyben a jelenlegi sűrű, nedves esőerdő már nem képes fennmaradni. Helyét szárazabb, ritkásabb, más fajösszetételű növényzet foglalhatja el.

Ez nem jelenti azt, hogy az Amazonas teljes területe egyszerre szavannává alakulna. A térség rendkívül változatos, és az egyes erdőterületek ellenálló képessége különböző. A pontos fordulópont meghatározása továbbra is bizonytalan.

A folyamat globális jelentőségű lenne. Az Amazonas hatalmas mennyiségű szenet tárol növényzetében és talajában. Az erdők pusztulása nemcsak csökkentené a további szén-dioxid-megkötés lehetőségét, hanem az elpusztuló biomasszából további szén-dioxid kerülhetne a légkörbe.

Az Amazonas példája különösen jól mutatja, hogy a klímaváltozás és a közvetlen emberi környezetpusztítás hogyan erősíthetik egymást. Az erdőirtás önmagában is veszélyezteti az esőerdőt, a felmelegedés pedig tovább csökkenti ellenálló képességét.

A korallzátonyok: egy fordulópont, amelyet már közelről látunk

A trópusi korallzátonyok a Föld leggazdagabb élőhelyei közé tartoznak. A korallok apró állatok, amelyek mészvázat építenek, és sok fajuk szöveteiben mikroszkopikus algák élnek. Az algák a fotoszintézis révén energiával látják el a korallokat, cserébe védett élőhelyet és tápanyagokat kapnak.

Ez az együttélés azonban érzékeny a víz hőmérsékletére.

Ha a tengervíz tartósan túl meleggé válik, a korallok elveszíthetik szimbionta algáikat. Ekkor kifehérednek. A kifehéredés önmagában még nem feltétlenül jelenti a korall pusztulását: ha a hőmérséklet időben visszatér a megfelelő tartományba, a korall regenerálódhat.

Ha azonban a hőhullámok túl hosszúak vagy túl gyakoriak, a regenerálódásra már nincs elegendő idő.



59. ábra: Egészséges korallzátony.



60. ábra: Hőstressz miatt kifehéredett korallok.

A 2025-ben közzétett Global Tipping Points Report több mint 160 kutató munkájára támaszkodva arra a következtetésre jutott, hogy a meleg vízi korallzátonyok már elérik vagy átlépik a fennmaradásukat veszélyeztető hőmérsékleti határt. A jelentés a kritikus tartományt körülbelül 1–1,5 Celsius-fokos globális felmelegedés közé helyezte, 1,2 fokos központi becsléssel.

Ezek az értékek nem egyetlen korall vagy zátony pontos tűréshatárát jelentik. A helyi körülmények, a vízminőség, a savasodás, a korallfajok és az alkalmazkodóképesség mind befolyásolják a következményeket.

A korallzátonyok pusztulása nem csupán a tengeri élővilágot veszélyezteti. Sok százmillió ember megélhetése, halászata és turizmusa kapcsolódik hozzájuk. A zátonyok ráadásul természetes hullámtörőként védik a partokat a viharok és az erózió ellen.

Ebben az esetben a fordulópont következményei már nem távoli elméleti lehetőségek. A tömeges korallfehéredések és az ismétlődő tengeri hőhullámok ma is megfigyelhető jelenségek.

A fagyott talaj felengedése: rejtett szénkészletek

A sarkvidéki területeken hatalmas kiterjedésű, tartósan fagyott talaj található. Ezt nevezzük permafrosztnak.

A fagyott talajban évezredek alatt elhalt növények és más szerves anyagok halmozódtak fel. A hideg környezetben ezek lebomlása rendkívül lassú volt, így jelentős szénkészletek maradtak meg a talajban.

A felmelegedés hatására azonban a permafroszt egyre nagyobb területeken enged fel. A mikroorganizmusok lebontják a korábban fagyott szerves anyagokat, és ennek során szén-dioxid, oxigénszegény környezetben pedig metán is felszabadulhat.

Mindkét gáz hozzájárul a felmelegedéshez, ami újabb talajterületek felengedését gyorsíthatja.



61. ábra: A permafroszt felengedése megváltoztatja a tájat, károsíthatja az épületeket és az infrastruktúrát, miközben üvegházhatású gázok felszabadulásával járhat.

Itt különösen fontos a tudományos pontosság. A permafroszt felengedése bizonyítottan erősítheti a klímaváltozást, de nem igazolt, hogy a teljes sarkvidéki fagyott talaj egyetlen közös, hirtelen átléphető fordulóponttal rendelkezne. Sok helyi változás fokozatosan vagy egymástól eltérő sebességgel történhet.

A természetes visszacsatolás ettől még komoly probléma. A felszabaduló üvegházhatású gázok miatt az emberiségnek még nagyobb mértékben kellene csökkentenie saját kibocsátását ugyanannak a hőmérsékleti célnak az eléréséhez.

Amikor a változások egymást erősítik

A klímaváltozás egyik legnehezebben előre jelezhető sajátossága, hogy a Föld természeti rendszerei kapcsolatban állnak egymással.

A grönlandi jégtakaró olvadása például édesvizet juttat az Atlanti-óceánba, ami hozzájárulhat az óceáni cirkuláció gyengüléséhez. Az áramlások megváltozása átrendezheti a légköri hő- és nedvességszállítást, ami más kontinensek csapadékviszonyaira is hatással lehet. Az esőerdők pusztulása közben csökkentheti a szénmegkötést, így tovább növelheti a légkör szén-dioxid-tartalmát.

Ezeket a kapcsolatokat nevezhetjük a fordulópontok közötti kölcsönhatásoknak. Szélsőséges esetben egymást követő, úgynevezett kaszkádszerű átalakulások is elképzelhetők.

A visszacsatolások egy része tovább növelheti a felmelegedést, mások elsősorban regionális átrendeződéseket okozhatnak.



62. ábra: Elvi kapcsolatrendszer: a nyilak lehetséges hatásokat jelölnek, nem bizonyított, elkerülhetetlen eseménysort.

Nem szabad azonban ebből arra következtetni, hogy egyetlen fordulópont átlépése szükségszerűen az egész földi éghajlati rendszer összeomlásához vezetne. A kölcsönhatások erőssége, időbeli lefutása és egymásra gyakorolt hatása jelentős tudományos bizonytalanságokat tartalmaz.

A veszély inkább abban áll, hogy több, külön-külön is súlyos változás egyszerre jelentkezhet, és így megnehezítheti az emberi társadalmak alkalmazkodását.

Egy olyan világban, ahol a mezőgazdaság, a vízellátás, az energiatermelés, a nemzetközi kereskedelem és az infrastruktúra globális kapcsolatban áll, a természeti változások következményei is könnyen túlléphetik az országhatárokat.

Mit tudunk biztosan, és mit nem?

A klimatikus fordulópontok kutatása különösen jól mutatja a tudományos előrejelzések lehetőségeit és korlátait.

Biztosan tudjuk, hogy a Föld melegszik, és a felmelegedés számos természeti rendszer működését megváltoztatja. Azt is tudjuk, hogy léteznek önmagukat erősítő visszacsatolások, és bizonyos rendszerekben lehetségesek hirtelen vagy nehezen visszafordítható állapotváltozások.

Sokkal kevésbé tudjuk pontosan meghatározni, hogy ezek a fordulópontok milyen globális átlaghőmérséklet mellett, milyen időpontban következhetnek be.

Ennek több oka van.

Egyrészt a Föld éghajlati rendszere rendkívül összetett. Az óceánok, a légkör, a jégtakarók és az élővilág egymásra hatását számítógépes modellekkel vizsgáljuk, de minden modell szükségszerűen egyszerűsíti a valóságot.

Másrészt a megfigyeléseink időtartama korlátozott. Egyes óceáni folyamatokról csupán néhány évtizednyi közvetlen, részletes mérési adatsorral rendelkezünk, miközben a vizsgált változások akár évszázadokon át zajlanak.

Harmadrészt a fordulópont elérése és a következmények teljes kibontakozása között igen hosszú idő is eltelhet.

A tudományos bizonytalanság ezért nem egyenlő a tudatlansággal. Azt jelenti, hogy ismerjük a lehetséges veszélyeket és azok fizikai hátterét, de nem tudjuk minden esetben pontosan megmondani, mikor és milyen gyorsan következnek be.

A 2026 októberében nyilvánosságot kapott újabb kutatások jól szemléltetik ezt a helyzetet. Miközben egyes kutatók az Atlanti-óceán áramlási rendszerének kritikus gyengülésére figyelmeztetnek, más modellezési eredmények szerint a rendszer bizonyos körülmények között még súlyos gyengülés után is regenerálódhat. A regenerálódás azonban évszázadokig tarthatna, és feltételezné a globális hőmérséklet jelentős csökkenését.

A két álláspont nem feltétlenül zárja ki egymást. Egy rendszer lehet rendkívül sérülékeny úgy is, hogy elméletileg létezik lehetőség a hosszú távú helyreállására.

A helyes következtetés nem az, hogy az összeomlás biztosan bekövetkezik, de az sem, hogy a bizonytalanság miatt nincs okunk cselekedni.

Vannak kedvező fordulópontok is

A fordulópont fogalma nem kizárólag a természeti rendszerek romlására alkalmazható. A társadalomban és a technológiai fejlődésben is léteznek olyan változások, amelyek egy kritikus határ elérése után önmagukat erősíthetik.

A napenergia például hosszú ideig drágább volt a hagyományos energiatermelés számos formájánál. A technológiai fejlődés, a tömeggyártás és a növekvő kereslet azonban jelentősen csökkentette a költségeket.

Ahogy egyre több napelemet gyártanak, nő a gyártási tapasztalat, javulnak az eljárások, és tovább csökkenhetnek az árak. Az olcsóbb napelemek újabb beruházásokat ösztönöznek.

Hasonló folyamat figyelhető meg az akkumulátoroknál, az elektromos közlekedés egyes területein és más alacsony kibocsátású technológiáknál is.





63. ábra: A megújuló energiatermelés terjedése olyan gazdasági és technológiai folyamatokat indíthat el, amelyek felgyorsítják az energetikai átmenetet.

Ezt nevezik a kutatók pozitív fordulópontnak.

A változás akkor válhat önfenntartóvá, amikor az új technológia már nem kizárólag támogatásoknak vagy jogszabályi kötelezettségeknek köszönhetően terjed, hanem gazdasági és gyakorlati előnyei miatt is.

Természetesen ezeknek a folyamatoknak is vannak korlátai. Az elektromos hálózatok fejlesztése, az energiatárolás, a nyersanyagellátás és a beruházások finanszírozása továbbra is jelentős feladat.

A pozitív fordulópontok lehetősége mégis fontos: azt mutatja, hogy a változás felgyorsulása nemcsak veszélyt, hanem a megoldás részét is jelentheti.

Miért fontos minden tized fok?

A klimatikus fordulópontok ismeretében másként kell tekintenünk az 1,5 vagy 2 Celsius-fokos globális felmelegedésről szóló nemzetközi célokra.

Ezek az értékek nem olyan éles határvonalak, amelyek alatt minden biztonságos, fölöttük pedig elkerülhetetlen a katasztrófa.

A különböző természeti rendszerek eltérő hőmérsékleti tartományokban válhatnak sérülékennyé. Egyes károsodások már a jelenlegi felmelegedés mellett is megfigyelhetők, más súlyos átalakulások kockázata a további melegedéssel növekszik.

Ezért minden további tized fok számít.

Ha nem sikerül 1,5 foknál megállítani a felmelegedést, attól még nagyon is fontos, hogy 1,7 vagy 2 foknál sikerül-e. Ha a 2 fokos cél sem teljesül, továbbra sem mindegy, hogy a felmelegedés 2,3 vagy 3 fokot ér el.

A veszélyek nem egyetlen kapcsoló átbillenésével jelennek meg. Sokféle kockázat növekszik párhuzamosan, különböző sebességgel.

Ez egyúttal azt is jelenti, hogy a kibocsátások csökkentése akkor is értelmes és szükséges, ha bizonyos természeti károsodásokat már nem lehet teljesen elkerülni. A további romlás mértéke, a változás sebessége és az alkalmazkodásra rendelkezésre álló idő továbbra is befolyásolható.

A bolygó nem egyik napról a másikra válik lakhatatlanná

A klimatikus fordulópontok könnyen alkalmat adnak a túlzó, katasztrófát jósló kijelentésekre. Pedig a tudományos megértést éppen az szolgálja, ha pontosan megkülönböztetjük a lehetséges veszélyeket a bizonyított folyamatoktól.

A Föld a története során már számos jelentős éghajlati átalakuláson ment keresztül. Az élet ezek után is fennmaradt, de az élővilág összetétele, a fajok elterjedése és a környezeti feltételek gyakran gyökeresen megváltoztak.

Az emberiség számára ezért nem elsősorban az a kérdés, hogy a Föld túléli-e a klímaváltozást. A bolygó természetesen fennmarad.

A valódi kérdés az, hogy milyen körülmények között élhetnek rajta a következő nemzedékek.

Az emberi civilizáció viszonylag stabil éghajlati körülmények között alakult ki. A mezőgazdaság, az állandó települések, a városok és az összetett társadalmak létrejöttének

egyik fontos feltétele volt, hogy az éghajlat az elmúlt évezredekben a korábbi nagy jégkorszaki ingadozásokhoz képest viszonylag kiegyensúlyozott maradt.

A klimatikus fordulópontok jelentősége éppen az, hogy ezeket a megszokott feltételeket változtathatják meg.

Nem feltétlenül gyorsan, nem mindenhol egyformán, és nem minden esetben visszafordíthatatlanul. De olyan mértékben, amelyhez alkalmazkodni hatalmas gazdasági, társadalmi és technológiai erőfeszítéseket igényelhet.

A klímaváltozás legnagyobb kockázata tehát nem egyszerűen az, hogy melegebb lesz a Föld. Hanem az, hogy közben megváltozhatnak azok a rendszerek, amelyek eddig viszonylag kiszámítható környezetet biztosítottak számunkra.

És van még egy fontos tanulság: a természetes rendszerek helyreállítása gyakran sokkal nehezebb, mint működésük megóvása.

Ezért a klimatikus fordulópontokkal kapcsolatos kutatások nem a reménytelenségre adnak okot. Arra figyelmeztetnek, hogy a megelőzés lehetősége értékesebb, mint amilyennek első pillantásra látszik.

A fejezet főbb tudományos forrásai

Az IPCC hatodik értékelő jelentésének fizikai tudományos kötete; a University of Exeter és nemzetközi kutatópartnerei által készített Global Tipping Points Report 2025; az ENSZ Tudományos Tanácsadó Testületének 2026-os fordulópont-összefoglalója; valamint a 2026. október 14-i és 20-i Reuters-beszámolók.

8. Hogyan fedeztük fel a klímaváltozást?

Egy felfedezés, amely jóval megelőzte a környezetvédelmet

A klímaváltozást gyakran napjaink egyik legfontosabb tudományos és politikai kérdéseként emlegetjük. Könnyen kialakulhat ezért az a benyomás, hogy az ember csak az utóbbi néhány évtizedben ismerte fel saját tevékenységének az éghajlatra gyakorolt hatását.

A valóság azonban egészen más.

Az üvegházhatás tudományos alapjait már a 19. században elkezdték feltárni, jóval azelőtt, hogy a környezetvédelem önálló társadalmi mozgalommá vált volna. A kutatók akkor még nem műholdas mérésekre vagy szuperszámítógépek klímamodelljeire támaszkodtak. Egyszerű fizikai megfontolásokból, laboratóriumi kísérletekből és matematikai számításokból jutottak arra a következtetésre, hogy a légkör összetétele meghatározza a Föld felszínének hőmérsékletét.

A felismerés kezdetben tudományos érdekességnek számított.

Senki sem gondolta, hogy a következő évszázadokban az emberiség olyan mennyiségű fosszilis energiahordozót fog elégetni, amely már a bolygó egészének éghajlatát befolyásolhatja.

A történet egyik különlegessége éppen ez: az ember előbb ismerte fel a veszélyt lehetővé tevő fizikai folyamatot, mint ahogyan a veszély ténylegesen globális méretűvé vált.

Fourier kérdése: miért nincs hidegebb a Földön?



A történet egyik kiindulópontja a francia matematikus és fizikus, Joseph Fourier munkássága.

Fourier az 1820-as években a Föld hőmérsékletét meghatározó folyamatokat vizsgálta. Arra a kérdésre keresett választ, hogyan alakul ki bolygónk hőmérséklete a Napból érkező energia és a világűr felé távozó hősugárzás egyensúlyának eredményeként.

Felismerte, hogy a Föld felszínének hőmérséklete nem magyarázható kizárólag a napsugárzás egyszerű elnyelésével és visszasugárzásával.

A légkörnek is jelentős szerepet kell játszania.

Fourier még nem ismerte pontosan azokat a molekuláris folyamatokat, amelyeket ma üvegházhatásként írunk le. A hősugárzás természetére vonatkozó ismeretek akkor még hiányosak voltak.

Azt azonban helyesen felismerte, hogy a légkör befolyásolja a Föld felszínének hőmérsékletét.

Ez alapvető jelentőségű gondolat volt.

A Föld nem egyszerűen egy napsugárzásnak kitett kőgolyó. A légkör, a felszín és a világűr közötti energiaáramlás összetett rendszert alkot.

Az üvegházhatás nélkül a Föld átlagos felszíni hőmérséklete a jelenleginél mintegy 33 Celsius-fokkal alacsonyabb lenne, ha az egyéb tényezőket változatlannak tekintjük.

A mai, körülbelül 15 Celsius-fokos globális átlag helyett így nagyjából mínusz 18 Celsius-fok adódna.

Ez az összehasonlítás leegyszerűsített számítás, mert egy valóban üvegházhatás nélküli Földön a jégtakarók, a felhőzet és más tényezők is megváltoznának. Mégis jól érzékelteti a légkör jelentőségét.

Az üvegházhatás tehát nem valamilyen káros, mesterséges jelenség.

Éppen ellenkezőleg: a földi élet jelenlegi formáinak egyik alapfeltétele.

A probléma nem az üvegházhatás létezésével, hanem annak emberi tevékenység miatti erősödésével kapcsolatos.

Egy elfelejtett kutatónő és a szén-dioxid

1856-ban az amerikai Eunice Newton Foote különböző gázok felmelegedését vizsgálta napfény hatására.



Kísérleteiben üveghengereket használt, amelyekben eltérő összetételű és nyomású gázokat helyezett el. Azt tapasztalta, hogy a szén-dioxidot tartalmazó henger bizonyos körülmények között erősebben felmelegedett, és lassabban hűlt le, mint a közönséges levegőt tartalmazó.

Foote arra a következtetésre jutott, hogy a légkör szén-dioxid-tartalmának változása befolyásolhatja a Föld hőmérsékletét.

Ez figyelemre méltó felismerés volt egy olyan korszakban, amikor a nők tudományos munkássága gyakran nem kapott megfelelő figyelmet.

Kísérlete azonban nem azonos a mai értelemben vett üvegházhatás közvetlen kimutatásával. A hengerek felmelegedését a napsugárzás elnyelése, a hővezetés, a hőáramlás és más tényezők együttesen befolyásolhatták.

A szén-dioxid infravörös sugárzást elnyelő tulajdonságának pontosabb kísérleti vizsgálata néhány évvel később következett.

John Tyndall ír származású fizikus 1859-től részletes méréseket végzett különböző gázok hősugárzással szembeni viselkedéséről.

Kimutatta, hogy egyes légköri gázok, például a vízgőz, a szén-dioxid és a metán képesek jelentős mennyiségű infravörös sugárzást elnyelni, miközben a légkör fő alkotói, a nitrogén és az oxigén e tekintetben jóval kisebb szerepet játszanak.

A jelenség fizikai magyarázata ma már molekuláris szinten is jól ismert.

A különböző molekulák meghatározott hullámhosszúságú elektromágneses sugárzást képesek elnyelni. A molekulák rezgési és forgási állapotai határozzák meg, mely hullámhosszakon történik jelentős energiaelnyelés.

Tyndall kísérletei igazolták, hogy a légkör összetételének változása megváltoztathatja a hősugárzás terjedését.

Ezzel az üvegházhatás már nem pusztán elméleti feltevés volt, hanem laboratóriumban vizsgálható fizikai jelenség.

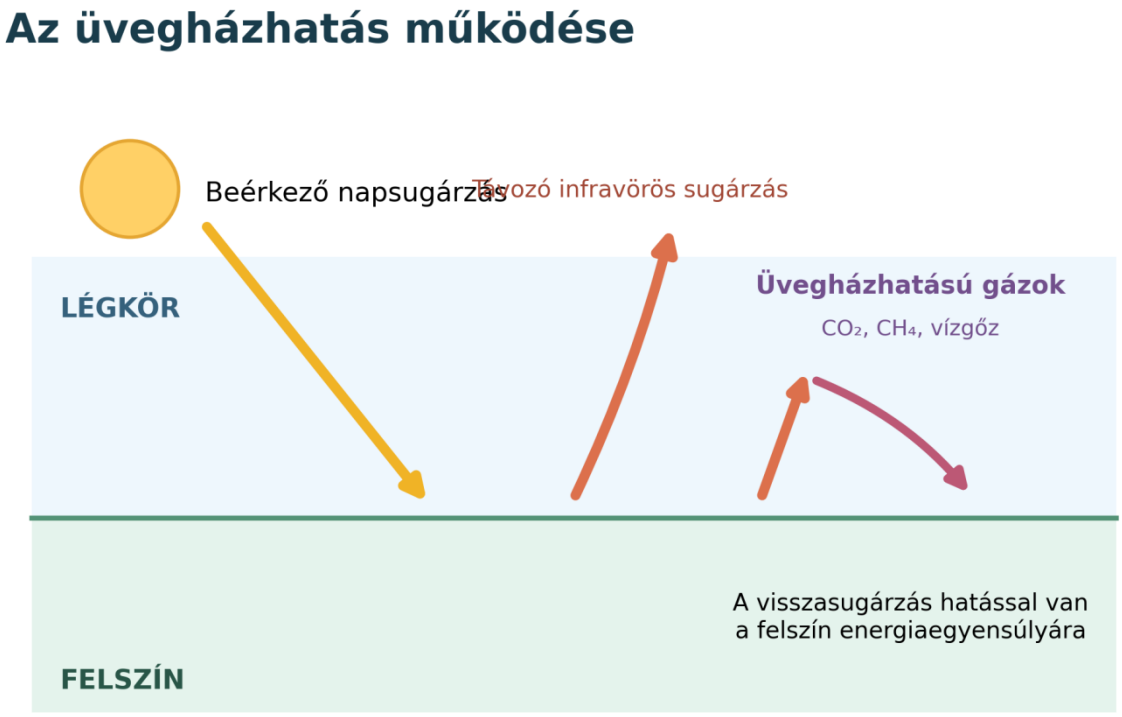
Hogyan működik valójában az üvegházhatás?

A köznyelvben gyakran úgy magyarázzák az üvegházhatást, mintha a légkör egy üvegház üvegtetejéhez hasonlóan egyszerűen bent tartaná a meleget.

Ez szemléletes hasonlat, de fizikailag nem teljesen pontos.

Egy valódi üvegházban a felmelegedéshez jelentősen hozzájárul, hogy az üveg vagy más burkolat akadályozza a meleg levegő szabad eltávozását.

A Föld légkörében az üvegházhatás elsősorban a sugárzási energiaáramlás megváltozásából ered.



Elvi, nem méretarányos ábra. Az üvegházhatású gázok elnyelik és minden irányba kisugározzák az infravörös energiát.

64. ábra: A napsugárzás felmelegíti a Föld felszínét, amely infravörös sugárzást bocsát ki. Az üvegházhatású gázok a sugárzás egy részét elnyelik, majd különböző irányokba újra kisugározzák, ezzel befolyásolva a Föld energiaegyensúlyát.

A Nap energiájának jelentős része rövid hullámhosszúságú sugárzás formájában éri el a Földet. Ennek egy része visszaverődik a világűrbe, más részét a felszín és a légkör elnyeli.

A felmelegedett felszín infravörös sugárzást bocsát ki.

Az üvegházhatású gázok ennek a kisugárzásnak egy részét elnyelik, majd maguk is sugároznak különböző irányokba. Emiatt az energia világűrbe távozása másként alakul, mint üvegházhatású gázok nélkül.

Ha növekszik az üvegházhatású gázok koncentrációja, a Föld adott felszíni hőmérséklet mellett kevesebb energiát képes a világűrbe kisugározni, mint korábban.

Az energiaegyensúly helyreállásához a felszínnek és a légkör alsóbb rétegeinek általában fel kell melegedniük.

Az üvegházhatás tehát az energiaegyensúly megváltozásának következménye.

A fizikai folyamatot laboratóriumi mérések, műholdas megfigyelések és légköri sugárzásmérések egyaránt alátámasztják.

Arrhenius: az első számítások

A 19. század végén a svéd Svante Arrhenius újabb fontos lépést tett.

1896-ban matematikai számításokkal vizsgálta, hogyan változhatna a Föld hőmérséklete, ha a légkör szén-dioxid-tartalma jelentősen megnövekedne vagy lecsökkenne.

Számításai mai szemmel kezdetlegesek voltak. Az óceánok, a felhők és a légkör összetett kölcsönhatásait még nem lehetett megfelelően figyelembe venni.

Arrhenius azonban felismerte, hogy a szén-dioxid mennyiségének változása bolygóméretű éghajlati következményekkel járhat.

Érdekes módon a felmelegedést nem feltétlenül tekintette kizárólag kedvezőtlen folyamatnak. Az északi országok hideg éghajlatán élve egy melegebb világ bizonyos előnyeit is elképzelhetőnek tartotta.

A 19. század végén a fosszilis energiahordozók felhasználása még töredéke volt a mai mennyiségnek, és a globális felmelegedés nem jelent meg közvetlen társadalmi veszélyként.

A tudományos felismerés tehát jóval megelőzte a probléma politikai jelentőségét.

A későbbi évtizedekben Guy Stewart Callendar brit mérnök és kutató újabb összefüggéseket keresett a légköri szén-dioxid növekedése és a mért hőmérséklet-emelkedés között.

1938-ban közzétett munkájában amellett érvelt, hogy a fosszilis tüzelőanyagok elégetése már mérhetően növelte a légköri szén-dioxid koncentrációját, és ez hozzájárulhat a globális felmelegedéshez.

A tudományos közösség azonban akkor még nem rendelkezett elegendő, megbízható és földrajzilag megfelelően kiterjedt adatsorral ahhoz, hogy a kérdést egyértelműen eldöntse.

A légköri szén-dioxid rendszeres, nagy pontosságú mérései csak később kezdődtek meg.

A görbe, amely megmutatta a változást

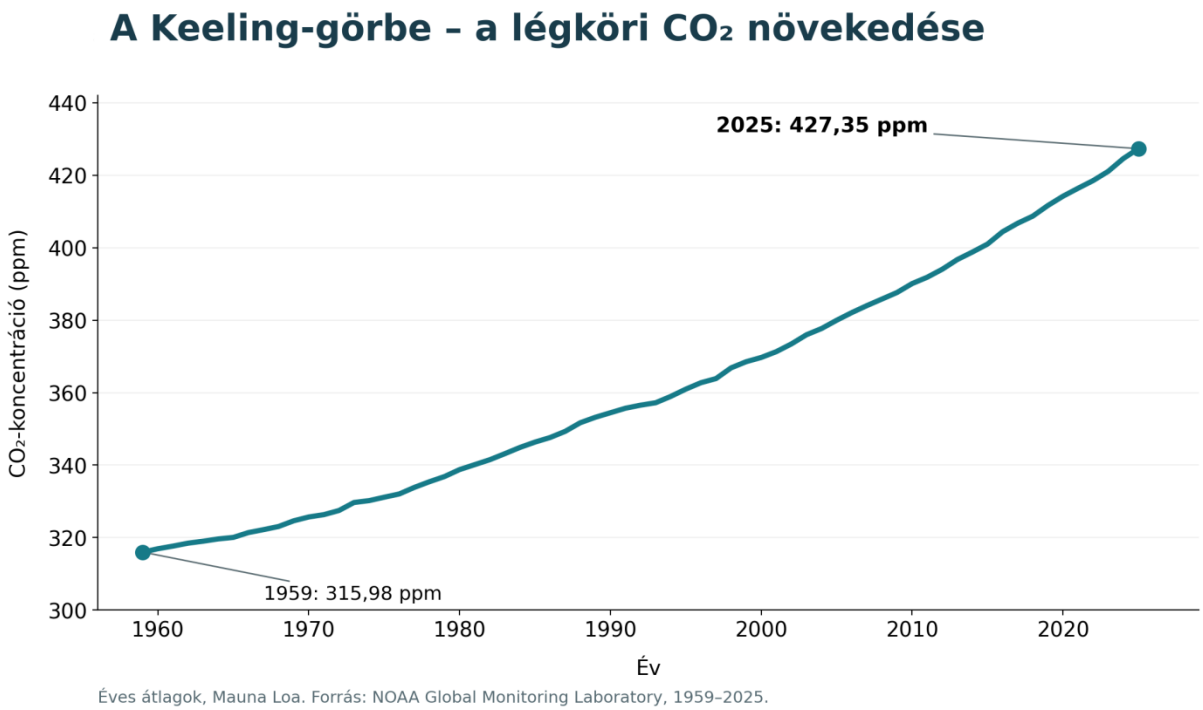
1958-ban Charles David Keeling amerikai kutató megkezdte a légköri szén-dioxid-koncentráció rendszeres mérését a hawaii Mauna Loa Obszervatóriumban.

A helyszín kiválasztása tudatos volt. A magas hegyen működő mérőállomás sok esetben olyan légtömegekből tud mintát venni, amelyek viszonylag jól reprezentálják a nagyobb földrajzi térségek légköri állapotát.

A mérések során természetesen figyelembe kellett venni a helyi vulkáni gázkibocsátások és más zavaró tényezők hatását is.

Keeling és munkatársai nagy pontosságú mérési rendszert alakítottak ki.

Az eredményekből hamarosan különleges görbe rajzolódott ki.



65. ábra: A légköri szén-dioxid éves átlagos koncentrációjának növekedése a hawaii Mauna Loa Obszervatórium mérései alapján, 1959 és 2025 között. A koncentráció 315,98 ppm-ről 427,35 ppm-re emelkedett. Az ábra éves átlagokat mutat, ezért az évszakos ingadozás nem látható.

Forrás: NOAA Global Monitoring Laboratory.

A szén-dioxid-koncentráció éven belül rendszeresen emelkedett és csökkent. Ennek egyik fő oka az északi félteke növényzetének évszakos működése volt.

Tavasszal és nyáron a fotoszintézis nagy mennyiségű szén-dioxidot von ki a légkörből, ősszel és télen pedig a lebomlás, valamint más folyamatok következtében a koncentráció ismét emelkedik.

Az évszakos ingadozások mögött azonban egy másik, sokkal fontosabb folyamat is megfigyelhetővé vált.

A szén-dioxid-koncentráció évről évre növekedett.

1958-ban a Mauna Loa mérőállomáson körülbelül 315 ppm szén-dioxid-koncentrációt mértek. A ppm azt jelenti, hogy egymillió levegőmolekulára hány szén-dioxid-molekula jut.

Az iparosodás előtt a légköri szén-dioxid koncentrációja körülbelül 280 ppm volt.

A Keeling-görbe azóta a klímakutatás egyik legismertebb bizonyítékává vált.

A mérések nem egyszerűen azt mutatták meg, hogy a légkör szén-dioxid-tartalma változik. Hanem azt is, hogy a növekedés tartós, és hosszú időn keresztül folytatódik.

A Mauna Loa-i adatsort azóta számos más mérőállomás megfigyelései egészítették ki.

A világ különböző térségeiben működő rendszerek egymással összhangban mutatják a légköri szén-dioxid mennyiségének növekedését.

Honnan tudjuk, hogy a többlet-szén-dioxid emberi eredetű?

Az egyik gyakran felmerülő kérdés az, hogy a légköri szén-dioxid mennyiségének növekedése valóban az emberi tevékenységből származik-e.

A természetben ugyanis hatalmas szénáramlások zajlanak.

A növények szén-dioxidot vesznek fel, az élőlények légzése és a szerves anyagok lebomlása pedig szén-dioxidot juttat vissza a légkörbe.

Az óceánok szintén folyamatosan vesznek fel és adnak le szén-dioxidot.

A természetes szénkörforgás tehát önmagában is sokkal nagyobb mennyiségű szén mozgatását jelenti évente, mint amennyit az ember közvetlenül kibocsát.

Ez azonban nem jelenti azt, hogy az emberi kibocsátás jelentéktelen lenne.

A természetes rendszerekben a nagy szénáramlások hosszabb időtávon megközelítőleg kiegyenlíthetik egymást. Az emberi tevékenység viszont további szenet juttat a körforgásba, elsősorban a fosszilis energiahordozók elégetésével.

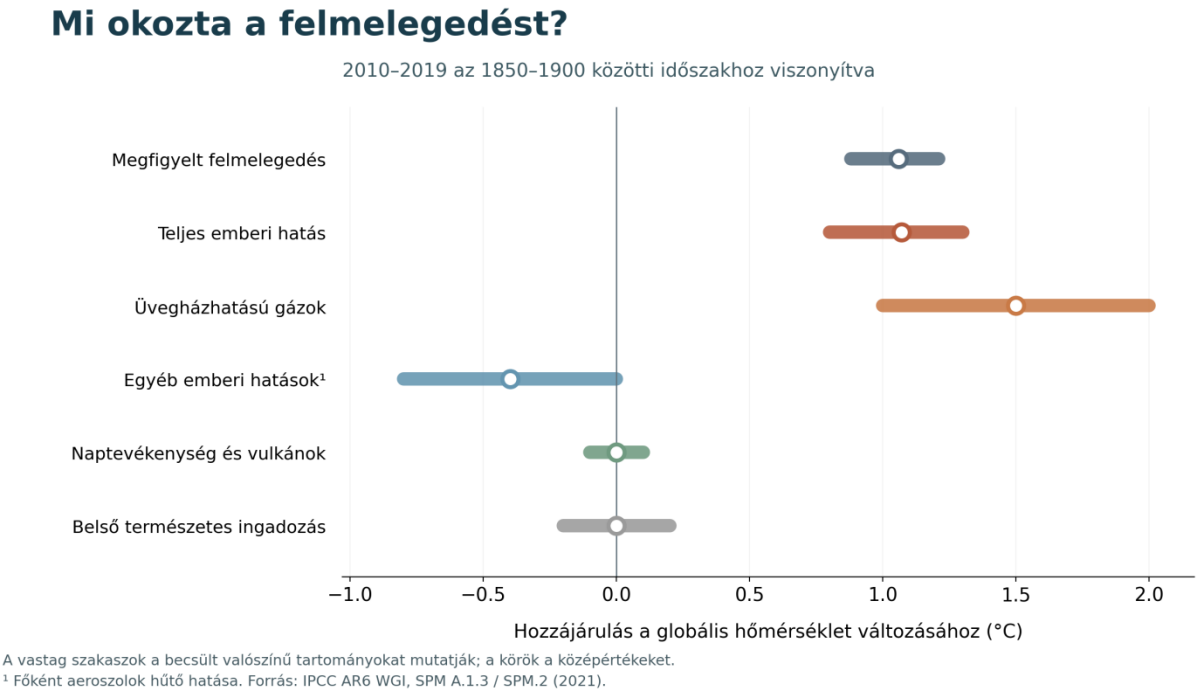
Az emberi eredetű többlet egy részét az óceánok és a szárazföldi ökoszisztémák elnyelik, de a fennmaradó rész felhalmozódik a légkörben.

A szén eredete ráadásul a kémiai és izotópos összetétele alapján is vizsgálható.

A szénnek több természetes izotópja létezik. A különböző izotópok aránya eltérő lehet a növényekben, a fosszilis energiahordozókban és a légköri szén-dioxidban.

A fosszilis tüzelőanyagokban viszonylag kevesebb a nehezebb, 13-as tömegszámú szénizotóp. Égésük ezért megváltoztatja a légköri szén izotóparányát.

A mérések pontosan ezt a változást mutatják.



66. ábra: A 2010–2019 közötti globális felmelegedés összetevői az 1850–1900 közötti átlaghoz viszonyítva. Az üvegházhatású gázok melegítő hatását részben ellensúlyozta más emberi tevékenységek, elsősorban az aeroszolok hűtő hatása. A természetes hatások becsült nettó hozzájárulása ehhez képest csekély volt.

Forrás: IPCC, Hatodik Értékelő Jelentés, I. munkacsoport, SPM.2. ábra.

Emellett az atmoszférikus oxigén mennyisége is nagyon kis mértékben csökken, ami összhangban van a széntartalmú tüzelőanyagok elégetésével.

A fosszilis eredetű szén-dioxid növekedését tehát nem egyetlen mérési eredmény támasztja alá.

A kibocsátási statisztikák, a légköri koncentrációk, az izotóparányok, az oxigénmérések és a szénkörforgás anyagmérlege egymást erősítő bizonyítékokat szolgáltatnak.

Ez fontos különbség egy egyszerű feltételezés és egy többféle módszerrel ellenőrzött tudományos következtetés között.

Hogyan mérhető a Föld átlaghőmérséklete?

A légköri szén-dioxid mennyiségének növekedése önmagában még nem mutatná meg, mennyivel melegedett a Föld.

Ehhez hőmérsékleti adatokra van szükség.

A rendszeres műszeres hőmérsékletmérések több évszázados múltra tekintenek vissza, de a globálisan összehasonlítható adatsorok főként a 19. század második felétől állnak rendelkezésre.

A szárazföldi meteorológiai állomások mellett fontos szerepet játszanak az óceánokon végzett mérések is.

A korai időszakban a tengervíz hőmérsékletét gyakran hajókról mérték. A mérési módszerek időközben jelentősen változtak, ezért a kutatóknak figyelembe kell venniük a különböző műszerek és eljárások közötti eltéréseket.

A városi hőszigethatás szintén fontos kérdés.

A nagyvárosokban az épületek, utak és burkolt felszínek miatt a hőmérséklet magasabb lehet, mint a környező vidéken.

Ezért a klímakutatók a hosszú idősorok feldolgozásakor vizsgálják az állomások környezetének változásait, a mérőhelyek áthelyezését és az alkalmazott műszereket.

A globális felmelegedés azonban nem pusztán a városokban figyelhető meg.

A vidéki mérőállomások, az óceáni megfigyelések és a műholdas rendszerek is egyértelműen mutatják a hosszú távú melegedési tendenciát.

A különböző kutatóintézetek eltérő módszerekkel összeállított globális hőmérsékleti adatsorai kisebb részletekben különböznek, de a fő következtetésük megegyezik.

A Föld globális átlaghőmérséklete az iparosodás kezdete óta jelentősen emelkedett.

A felmelegedés nem egyenletes. Az egyes évek és évtizedek között vannak ingadozások, és a szárazföldek, óceánok, valamint különböző földrajzi térségek eltérő ütemben melegszenek.

A hosszú távú tendencia azonban egyértelmű.

A Nap szerepe: természetes változás vagy fő magyarázat?

A klímaváltozás egyik leggyakrabban felmerülő természetes magyarázata a Nap tevékenységének változása.

Ez jogosan vizsgálandó tényező.

A Nap a Föld éghajlati rendszerének alapvető energiaforrása. Ha a bolygónkra érkező napsugárzás tartósan jelentősen növekedne, az felmelegedést okozna, csökkenése pedig lehűléshez vezethetne.

A Nap sugárzása azonban nem teljesen állandó.

A naptevékenység körülbelül 11 éves ciklusokat mutat, amelyek során változik a napfoltok száma, a mágneses aktivitás és a teljes napsugárzás mennyisége is.

A hosszabb időtávú naptevékenységi változások szerepet játszhattak bizonyos múltbeli éghajlati ingadozásokban.

A jelenlegi felmelegedés magyarázatához azonban nem elegendő azt megállapítani, hogy a Nap aktivitása változik.

Azt kell megvizsgálni, hogy a napsugárzás változása megfelelő nagyságú és időbeli lefutású volt-e ahhoz, hogy megmagyarázza a mért felmelegedést.

A műholdas mérések az 1970-es évek végétől viszonylag pontosan követik a Napból érkező sugárzás változásait.

Ezekben az adatokban nem figyelhető meg olyan tartós növekedés, amely megmagyarázhatná az elmúlt évtizedek gyors globális felmelegedését.

A légkör függőleges hőmérsékleti változásai további bizonyítékot szolgáltatnak.

Ha a felmelegedést elsősorban a Nap megnövekedett energia-kibocsátása okozná, akkor más légköri hőmérsékleti mintázatra számítanánk.

A megfigyelések ezzel szemben azt mutatják, hogy a légkör alsó rétege, a troposzféra melegszik, miközben a sztratoszféra jelentős része hosszabb távon hűl.

Ez a mintázat összhangban áll az üvegházhatású gázok koncentrációjának növekedésével, bár a sztratoszféra hőmérsékletére az ózonréteg változása is hatással volt.

A Nap tehát kétségtelenül befolyásolja a Föld éghajlatát.

A jelenlegi, több évtizedes globális felmelegedés meghatározó okaként azonban a megfigyelések alapján nem azonosítható.

A vulkánok: egyszerre melegítenek és hűtenek?

A vulkáni tevékenység szintén fontos része a Föld természetes éghajlati rendszerének.

A vulkánok különféle gázokat, köztük szén-dioxidot és vízgőzt bocsátanak ki. A robbanásos kitörések során azonban jelentős mennyiségű kén-dioxid is a légkörbe kerülhet.

Ha a kén-dioxid eléri a sztratoszférát, ott kénsavtartalmú aeroszolrészecskék képződhetnek.

Ezek visszaverik és szórják a napsugárzás egy részét, ami átmenetileg csökkentheti a Föld felszínére jutó energiát.

A nagy vulkánkitörések ezért rövid távon akár globális lehűlést is okozhatnak.

Jó példa erre a Fülöp-szigeteken található Pinatubo vulkán 1991-es kitörése.

A hatalmas mennyiségű sztratoszférikus aeroszol következtében a Föld globális átlaghőmérséklete a következő időszakban körülbelül fél Celsius-fokkal alacsonyabb volt annál, mint ami a kitörés nélkül várható lett volna.

A hatás azonban csak néhány évig tartott, mert az aeroszolok fokozatosan eltávolítódtak a légkörből.

A vulkánok szén-dioxid-kibocsátása hosszú földtörténeti időskálán jelentős szerepet játszhat az éghajlat alakításában.

Napjainkban azonban az emberi tevékenységből származó szén-dioxid-kibocsátás nagyságrendekkel meghaladja az összes vulkán éves kibocsátását.

Ezért a jelenlegi légköri szén-dioxid-növekedés nem magyarázható a vulkáni tevékenységgel.

A vulkánok példája jól mutatja, miért fontos különbséget tenni a rövid és a hosszú távú éghajlati hatások között.

Egy rendkívül nagy kitörés néhány évre mérsékelheti a globális felmelegedést, de nem szünteti meg az üvegházhatású gázok tartós felhalmozódásának következményeit.

Az óceánok: az éghajlat lassú, hatalmas rendszerei

A Föld éghajlatát nemcsak a légkör, hanem az óceánok is alapvetően befolyásolják.

A tengervíz hatalmas hőkapacitással rendelkezik. Az óceánok sokkal több hőt képesek tárolni, mint a légkör, és a tengeri áramlatok jelentős mennyiségű energiát szállítanak a különböző földrajzi térségek között.

Az óceáni folyamatok időskálája azonban nagyon eltérő lehet.

A felszíni vízrétegek viszonylag gyorsan reagálnak az időjárás változásaira. A mélyebb óceáni rendszerek alkalmazkodása viszont évtizedeket, évszázadokat vagy akár hosszabb időt is igénybe vehet.

A legismertebb óceáni éghajlati jelenségek közé tartozik az El Niño és a La Niña.

Ezek a Csendes-óceán trópusi térségének légköri és óceáni folyamataival kapcsolatosak.

El Niño idején a trópusi Csendes-óceán középső és keleti részének felszíni vize a szokásosnál melegebbé válik, és megváltoznak a légköri cirkuláció bizonyos jellemzői.

La Niña esetén ezzel ellentétes hőmérsékleti eltérések jelentkeznek.

A jelenségek globális hatásai jelentősek lehetnek. Befolyásolhatják a csapadék eloszlását, egyes térségek aszálykockázatát, a trópusi viharok kialakulását és a globális átlaghőmérséklet éves ingadozásait is.

Az El Niño időszakai gyakran hozzájárulnak a globális átlaghőmérséklet átmeneti emelkedéséhez, míg a La Niña bizonyos mértékig mérsékelheti azt.

Ezek a természetes ingadozások azonban önmagukban nem magyarázzák a több évtizede tartó felmelegedést.

Elsősorban a Föld éghajlati rendszerén belül osztják újra a hőt.

A globális felmelegedés ezzel szemben azt jelenti, hogy a Föld teljes éghajlati rendszerében növekszik a felhalmozott energia mennyisége.

Ezt az óceánok hőtartalmának mérései is alátámasztják.

Az elmúlt évtizedekben az óceánok hatalmas mennyiségű többlethőt nyeltek el, ami az üvegházhatású gázok által létrehozott energiaegyensúly-változás egyik legfontosabb bizonyítéka.

Hogyan különítik el a természetes és az emberi hatásokat?

A modern klímakutatás egyik legfontosabb feladata annak meghatározása, hogy a megfigyelt éghajlatváltozásból mennyi tulajdonítható természetes folyamatoknak, és mennyi az emberi tevékenységnek.

Ezt a kutatási területet észlelési és attribúciós vizsgálatoknak nevezik.

A módszer lényege, hogy a kutatók összehasonlítják a megfigyelt éghajlatváltozást a különböző hatások alapján várható változásokkal.

Vizsgálják például a napsugárzás és a vulkáni tevékenység változásait, az óceánok belső ingadozásait, az üvegházhatású gázok koncentrációját, valamint az emberi eredetű aeroszolok és földhasználati változások hatását.

A számítógépes klímamodellek segítségével különböző kísérleteket lehet végezni.

Az egyik modellfuttatásban csak a természetes hatásokat veszik figyelembe.

Egy másikban az emberi eredetű változásokat is hozzáadják.

Az eredményeket ezután összehasonlítják a tényleges megfigyelésekkel.

A természetes hatásokkal számoló modellek nem képesek reprodukálni a 20. század második felétől megfigyelhető tartós globális felmelegedést.

Amikor azonban az emberi eredetű üvegházhatásúgáz-kibocsátást és a többi emberi hatást is figyelembe veszik, a szimulációk sokkal jobban visszaadják a megfigyelt hosszú távú változásokat.

A következtetés nem kizárólag a modellekből származik.

A légköri gázok mérései, az óceánok hőtartalmának növekedése, a jégtakarók visszahúzódása, a sugárzási energiaáramlás megfigyelése és a szénizotópos adatok ugyanezt a képet erősítik meg.

Az Éghajlatváltozási Kormányközi Testület, az IPCC hatodik értékelő jelentése szerint az emberi tevékenység egyértelműen globális felmelegedést okozott.

A 2010–2019 közötti időszakra az 1850–1900-as átlaghoz képest a teljes emberi eredetű felmelegedés legjobb becslése 1,07 Celsius-fok volt.

A természetes, naptevékenységi és vulkáni hatások becsült nettó hozzájárulása ugyanebben az összehasonlításban mínusz 0,1 és plusz 0,1 Celsius-fok közé esett.

Ez azt jelenti, hogy a vizsgált hosszú távú felmelegedés meghatározó része emberi eredetű volt.

A megfigyelt változásokhoz a természetes tényezők is hozzájárulnak, de nem képesek megmagyarázni a teljes folyamatot.

Miért nem cáfolja a felmelegedést egy hideg tél?

A klímaváltozással kapcsolatos vitákban gyakran előfordul, hogy valaki egy rendkívül hideg télre vagy szokatlan hóesésre hivatkozva kérdőjelezi meg a globális felmelegedést.

A probléma az időjárás és az éghajlat közötti különbségből ered.

Az időjárás a légkör adott helyen és adott időpontban megfigyelhető állapotát jelenti.

Az éghajlat ezzel szemben a hosszabb időszakra jellemző viszonyokat és azok statisztikai eloszlását írja le.

Egy adott országban előfordulhat rendkívül hideg tél akkor is, ha a Föld globális átlaghőmérséklete hosszú távon növekszik.

Hasonlóképpen, egy szokatlanul meleg nyár önmagában nem bizonyítaná az emberi eredetű klímaváltozást.

A kérdés az, hogyan változik a hőmérséklet és más éghajlati jellemzők hosszú távú eloszlása.

A globális felmelegedés nem szünteti meg a hideg időjárást.

Megváltoztatja azonban annak valószínűségét, hogy különböző hőmérsékleti szélsőségek milyen gyakran és milyen intenzitással fordulnak elő.

A tudományos értékelés ezért nem egyetlen időjárási eseményből, hanem sok évtized mérési adataiból és fizikai összefüggéseiből indul ki.

Mit tudunk bizonyosan?

A klímaváltozással kapcsolatos vitákban gyakran összekeveredik a tudományos bizonyosság és a jövőre vonatkozó előrejelzések bizonytalansága.

Pedig a kettő nem ugyanaz.

Ma már nagyon nagy biztonsággal tudjuk, hogy a szén-dioxid, a metán és más üvegházhatású gázok befolyásolják a Föld sugárzási energiaegyensúlyát.

Ezt laboratóriumi kísérletek, spektroszkópiai mérések és a légkörben végzett megfigyelések támasztják alá.

Azt is tudjuk, hogy a légköri szén-dioxid koncentrációja az ipari forradalom óta jelentősen emelkedett.

A növekedés döntően emberi tevékenységhez köthető, amit a kibocsátási adatok, a szénizotópos mérések és a szénkörforgás vizsgálatai egyaránt igazolnak.

A globális átlaghőmérséklet emelkedése szintén egyértelműen kimutatható.

Az óceánok hőtartalma növekedett, a gleccserek jelentős része visszahúzódott, a grönlandi és antarktiszi jégtakarók összességükben tömeget veszítenek, és a globális átlagos tengerszint emelkedik.

A rendelkezésre álló bizonyítékok alapján az is megállapítható, hogy a jelenlegi tartós globális felmelegedés meghatározó oka az emberi tevékenység.

Ezek nem pusztán számítógépes modellekből származó feltételezések, hanem sokféle, egymástól részben független mérési és kutatási módszerrel alátámasztott tudományos következtetések.

És mit nem tudunk pontosan?

A klímakutatás ugyanakkor nem rendelkezik minden kérdésre teljesen pontos válasszal.

Az egyik fontos bizonytalanság az éghajlati érzékenységgel kapcsolatos.

Ez azt fejezi ki, hogy a Föld hosszabb távon mennyivel melegedne fel, ha a légköri szén-dioxid-koncentráció megkétszereződne, és az éghajlati rendszer bizonyos gyorsabb visszacsatolásai egyensúlyhoz közelednének.

Az IPCC hatodik értékelő jelentése szerint az egyensúlyi éghajlati érzékenység legjobb becslése körülbelül 3 Celsius-fok, de a valószínű tartomány 2,5 és 4 Celsius-fok között van.

A különbség hosszú távon jelentős.

A felhők működése, az óceáni hőfelvétel, a jégtakarók viselkedése és más visszacsatolások részletes modellezése továbbra is aktív kutatási terület.

Különösen nehéz bizonyos regionális változások pontos előrejelzése.

A globális átlaghőmérséklet emelkedése viszonylag jól becsülhető a kibocsátások függvényében, de az már jóval összetettebb kérdés, hogy egy adott országban vagy vízgyűjtő területen néhány évtized múlva pontosan hogyan alakul a csapadék évszakos eloszlása.

A szélsőséges időjárási események gyakoriságának változása sem minden eseménytípusnál azonos bizonyossággal jelezhető előre.

A hőhullámokkal és az intenzív csapadékkal kapcsolatos megfigyelések és fizikai összefüggések sok esetben erős következtetéseket tesznek lehetővé.

Más jelenségeknél, például bizonyos viharok regionális gyakoriságánál, nagyobb a bizonytalanság.

A jégtakarók hosszú távú viselkedése és a tengerszint több évszázados emelkedése szintén olyan terület, ahol a lehetséges kimenetelek között jelentős különbségek lehetnek.

Nem ismerjük pontosan a jövő emberi döntéseit sem.

A következő évtizedek felmelegedése nemcsak fizikai kérdés, hanem attól is függ, mennyi üvegházhatású gázt bocsátunk ki, milyen energiarendszereket építünk, hogyan változik a földhasználat, és milyen technológiák terjednek el.

Ezért a klímamodellek többféle kibocsátási forgatókönyvvel dolgoznak.

Ezek nem egyetlen előre megírt jövőt mutatnak be, hanem különböző emberi döntések és fizikai feltételek lehetséges következményeit.

A tudományos bizonytalanság tehát nem azt jelenti, hogy a probléma létezése bizonytalan.

Azt jelenti, hogy a következmények részleteit és pontos nagyságát nem minden esetben tudjuk azonos pontossággal előre jelezni.

A tudományos vita nem ugyanaz, mint a tudományos bizonytalanság

A klímaváltozás körüli közéleti vitákban gyakran úgy jelenik meg a tudomány, mintha két egymással szemben álló tábor küzdelme lenne.

Az egyik szerint az ember okozza a felmelegedést, a másik szerint természetes folyamatokról van szó.

A tudományos kutatás azonban nem ilyen egyszerű szembenállás alapján működik.

A kutatók különböző módszerekkel vizsgálják a kérdéseket, ellenőrzik egymás eredményeit, és új adatok alapján módosítják korábbi következtetéseiket.

A véleménykülönbségek a tudomány természetes részei.

Fontos azonban megkülönböztetni azokat a kérdéseket, amelyekben a bizonyítékok már rendkívül erősek, azoktól, amelyekben valóban jelentős bizonytalanság áll fenn.

Az üvegházhatás létezése nem nyitott tudományos kérdés.

A légköri szén-dioxid emberi eredetű növekedése sem az.

A jelenlegi tartós globális felmelegedés meghatározó emberi eredete szintén olyan következtetés, amelyet a rendelkezésre álló bizonyítékok nagy biztonsággal alátámasztanak.

Arról viszont továbbra is folyik kutatás, hogy az egyes visszacsatolások milyen erősek, a regionális éghajlat pontosan hogyan változhat, és bizonyos szélsőséges események kockázata milyen mértékben növekszik.

A tudományos bizonytalanságot ezért nem szabad sem eltitkolni, sem túlhangsúlyozni.

Ha elhallgatjuk a bizonytalanságokat, a kutatások későbbi pontosításai könnyen a tudomány hitelessége elleni érvvé válhatnak.

Ha viszont úgy beszélünk a bizonytalanságokról, mintha semmit sem tudnánk biztosan, akkor figyelmen kívül hagyjuk a több mint kétszáz év alatt felhalmozott tudományos bizonyítékokat.

A tudomány hitelessége nem a tévedhetetlenségéből, hanem az ellenőrizhetőségéből és önkorrekciós képességéből fakad.

Miért tartott ilyen sokáig a felismeréstől a cselekvésig?

A klímaváltozás tudománytörténete különösen tanulságos, mert megmutatja, milyen lassan válhat egy tudományos felismerés társadalmi cselekvéssé.

Fourier már a 19. század első felében felismerte a légkör hőmérséklet-szabályozó szerepét.

Tyndall kimutatta egyes gázok infravörös sugárzást elnyelő tulajdonságait.

Arrhenius matematikai számításokat végzett a szén-dioxid éghajlati hatásáról.

Callendar kapcsolatot keresett a fosszilis tüzelőanyagok felhasználása és a mért felmelegedés között.

Keeling pedig 1958-tól közvetlen mérési adatokkal dokumentálta a szén-dioxid-koncentráció folyamatos növekedését.

A 20. század második felében egyre több bizonyíték gyűlt össze.

1979-ben az amerikai Nemzeti Tudományos Akadémia számára készített, Jule Charney vezetésével összeállított jelentés már körülbelül 3 Celsius-fokos felmelegedést tartott a legjobb becslésnek a szén-dioxid-koncentráció megkétszereződése esetén.

1988-ban létrehozták az Éghajlatváltozási Kormányközi Testületet, az IPCC-t, amelynek feladata a klímaváltozással kapcsolatos tudományos ismeretek rendszeres értékelése.

A tudományos bizonyítékok tehát fokozatosan egyre erősebbé váltak.

A gazdasági és politikai rendszerek azonban sokkal lassabban reagáltak.

Ennek több oka volt.

A fosszilis energiahordozók a modern civilizáció alapját képezték. A villamosenergia-termelés, az ipar, a közlekedés és a fűtés jelentős része ezekre épült.

A meglévő infrastruktúra átalakítása hatalmas beruházásokat igényelt.

A klímaváltozás következményei ráadásul hosszú idő alatt, földrajzilag eltérő módon jelentkeztek.

A kibocsátások költségei és a károk viselői gyakran nem ugyanazok voltak.

Egy ország gazdasági előnyökhöz juthatott a fosszilis energiahordozók felhasználásából, miközben a kibocsátások éghajlati következményei az egész bolygóra kiterjedtek.

A probléma tehát nem pusztán tudományos volt.

A társadalomnak olyan döntéseket kellett volna meghoznia, amelyek közvetlen gazdasági költségekkel jártak, miközben a megelőzött károk nagy része csak évtizedekkel később vált volna láthatóvá.

Ez a helyzet alapvetően különbözött az 1952-es londoni szmogtól.

A szmog néhány nap alatt több ezer ember halálát okozta, és egyértelművé tette a beavatkozás szükségességét.

A klímaváltozás ezzel szemben hosszú időn keresztül fokozatosan bontakozott ki, ezért sokkal könnyebb volt halogatni a döntéseket.

A felfedezés legfontosabb tanulsága

A klímaváltozás története nem egyetlen nagy felfedezés története.

Sok kutató, sokféle módszer és több mint kétszáz év tudományos fejlődése vezetett a mai ismereteinkhez.

A fizikai törvények megértése, a laboratóriumi kísérletek, a légköri mérések, a földtörténeti bizonyítékok, a műholdas megfigyelések és a számítógépes modellek egymást kiegészítve rajzolták ki a Föld változó éghajlatának képét.

A tudomány nem állítja, hogy a jövő minden részletét pontosan ismeri.

Azt azonban nagy biztonsággal meg tudja állapítani, hogy az emberi tevékenység megváltoztatta a légkör összetételét, és ezzel a Föld energiaegyensúlyát is.

A klímaváltozás természetes folyamatként mindig is létezett.

A jelenlegi gyors globális felmelegedés azonban döntően emberi eredetű.

Ez a két állítás nem mond ellent egymásnak.

A Föld éghajlata sohasem volt változatlan, de ebből nem következik, hogy minden változás ugyanabból az okból következik be.

A legfontosabb tanulság talán mégis társadalmi természetű.

Az emberiség már jóval azelőtt megértheti egy tevékenysége hosszú távú következményeit, hogy hajlandó lenne megváltoztatni magát a tevékenységet.

A klímaváltozás felfedezésének története ezért nemcsak a tudomány fejlődéséről szól.

Arról is, hogy mit kezdünk azzal a tudással, amely kényelmetlen kérdéseket tesz fel a gazdaságunkról, az energiafelhasználásunkról és a jövőnkről.

A következő fejezetekben azt vizsgáljuk meg, hogyan vált ez a tudományos felismerés fokozatosan globális környezetvédelmi, gazdasági és politikai kérdéssé.

A fejezet tudományos forrásai

- NASA – Evidence for Climate Change. Az üvegházhatás felfedezésének története és a mai klímaváltozás bizonyítékai.
- IPCC, 2021 – The Physical Science Basis. A természetes és emberi eredetű éghajlati hatások elkülönítése.
- IPCC, 2023 – Synthesis Report. A klímaváltozás okairól és következményeiről rendelkezésre álló tudományos ismeretek összegzése.
- IPCC – A felmelegedés természetes és emberi összetevői. Különösen hasznos az okok összehasonlításához.

9. Adatok, modellek és a tudomány hitelessége

Hihetünk-e a számoknak?

Az előző fejezetben végigkövettük, hogyan fedezték fel a kutatók az üvegházhatást, és miként jutottak el a légkör működésének megértésétől az emberi eredetű klímaváltozás felismeréséig.

A történet azonban egy újabb kérdést vet fel: honnan tudhatjuk, hogy a kutatók következtetései megbízhatók?

A globális felmelegedés ugyanis nem olyan jelenség, amelyet egyetlen hőmérővel megmérhetnénk. A Föld felszínének hőmérséklete állandóan változik. Különbségek vannak a nappali és éjszakai, a nyári és téli, a szárazföldi és óceáni hőmérsékletek között. Egy adott időpontban a bolygó egyik részén rendkívüli hőség, máshol szokatlan hideg uralkodhat.

Hogyan lehet ebből a változatos adathalmazból megbízható globális átlagot számítani?

A probléma nemcsak műszaki természetű. A mérések eredményei gazdasági, társadalmi és politikai döntések alapjául szolgálnak. Egy néhány tized fokos eltérésnek is jelentősége lehet, amikor az országok hosszú távú energia- vagy környezetvédelmi stratégiájukat alakítják ki.

A klímakutatás ezért különösen érzékeny terület. A tudományos eredmények körül nemcsak szakmai viták alakulnak ki, hanem sokszor politikai és gazdasági érdekek is megjelennek.

Ez önmagában nem teszi megbízhatatlanná a kutatást. Azt azonban indokolttá teszi, hogy különösen nagy figyelmet fordítsunk az adatok eredetére, a feldolgozás módszereire, a bizonytalanságokra és a független ellenőrzés lehetőségére.

A klímatudomány hitelessége nem azon múlik, hogy a kutatók sohasem tévednek.

Azon múlik, hogy tévedéseik felismerhetők és javíthatók-e.

Hogyan mérjük egy egész bolygó hőmérsékletét?

A meteorológiai hőmérsékletmérések több évszázados múltra tekintenek vissza, de a világméretű megfigyelőhálózat fokozatosan alakult ki.

A 19. században már számos európai és észak-amerikai városban működtek meteorológiai állomások. A világ más részein azonban jóval ritkábbak voltak a rendszeres mérések.

Az óceánok különösen nagy problémát jelentettek.

A szárazföldek területén viszonylag könnyen elhelyezhetők hőmérők, de a tengerek felszínének hőmérsékletét sokáig elsősorban hajókról tudták mérni.

A korai méréseknél gyakran vödrökben felhúzott tengervíz hőmérsékletét határozták meg. A mérés eredményét azonban befolyásolhatta a vödör anyaga, a külső levegő hőmérséklete és az is, mennyi idő telt el a víz kiemelése és a mérés között.

Később elterjedtek a hajók géptermeihez kapcsolódó vízbeömlő rendszerekben végzett mérések, majd az automata mérőbóják.

Ezek a módszerek nem feltétlenül pontosan ugyanazt az eredményt adják.

A szárazföldön hasonló problémák jelentkeztek.

Egy meteorológiai állomást áthelyezhettek néhány száz méterrel távolabb. Kicserélhették a hőmérőt, megváltoztathatták a mérés időpontját, vagy új épület emelkedhetett a mérőhely közelében.

A hőmérő továbbra is pontosan működhetett, de az adatsor már nem feltétlenül volt közvetlenül összehasonlítható a korábbival.

A hosszú távú éghajlatkutatás egyik legfontosabb feladata ezért nem egyszerűen az adatok összegyűjtése, hanem azok összehasonlíthatóságának biztosítása.

Miért kell korrigálni a régi hőmérsékleti adatokat?

A tudományos közbeszédben gyakran gyanakvást kelt, amikor kiderül, hogy a kutatók módosították valamelyik történeti hőmérsékleti adatsort.

A kérdés érthető.

Ha egy mérés eredménye már rendelkezésre áll, miért kell később megváltoztatni?

A válaszhoz különbséget kell tennünk az eredeti mérés és a belőle előállított, összehasonlításra alkalmas adatsor között.

Tegyük fel, hogy egy meteorológiai állomáson harminc éven keresztül ugyanabban az időpontban olvasták le a napi maximum- és minimumhőmérsékletet.

Ezután megváltozik a mérési rend.

A napi szélsőértékek meghatározásában a leolvasás időpontja befolyásolhatja, hogy bizonyos hőmérsékleti szélsőségek melyik naphoz kerülnek. Emiatt az adatsorban olyan eltolódás jelenhet meg, amelynek nincs köze a tényleges éghajlatváltozáshoz.

Hasonló probléma jelentkezhet egy mérőállomás áthelyezésekor is.

Ha a hőmérőt egy völgyből egy magasabban fekvő pontra telepítik, a mért hőmérséklet megváltozhat akkor is, ha a térség éghajlata egyébként nem változott.

Az ilyen eltéréseket a kutatók igyekeznek azonosítani és korrigálni.

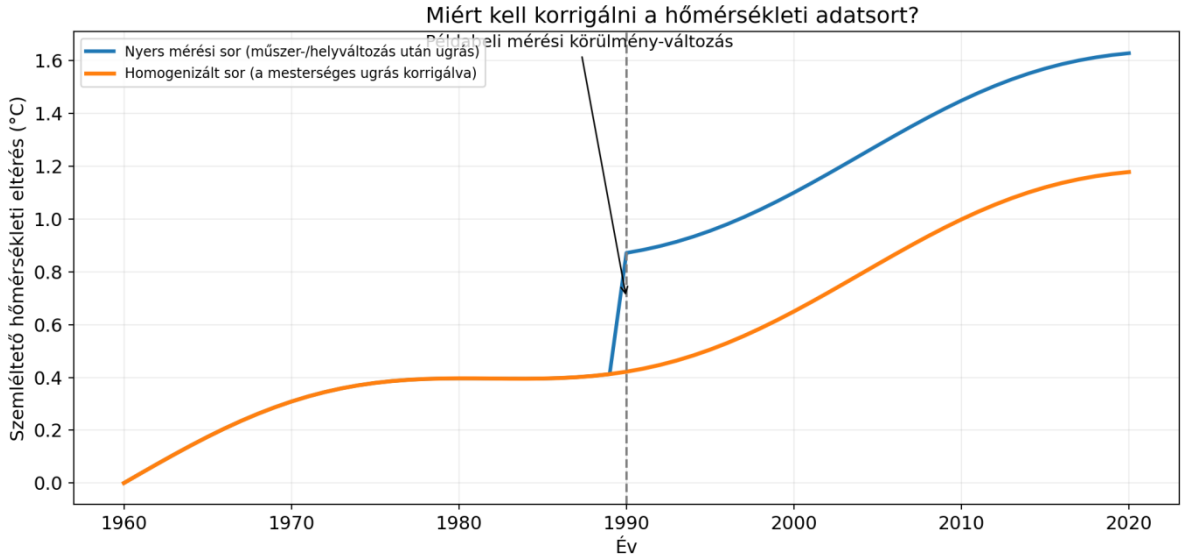
A műveletet homogenizálásnak nevezik.

A homogenizálás során többek között összehasonlíthatják a kérdéses állomás adatait a környező mérőhelyek adatsoraival. Ha egyetlen állomáson hirtelen ugrás jelentkezik,

miközben a többi közeli állomás nem mutat hasonló változást, az mérési körülmény-változásra utalhat.

A korrekció célja tehát nem a kívánt éghajlati trend előállítása, hanem a mérésekből származó mesterséges eltérések csökkentése.

A NOAA történeti meteorológiai adatbázisában például automatizált összehasonlító eljárásokat alkalmaznak az ilyen eltérések felismerésére.



67. ábra – Miért kell korrigálni egy hőmérsékleti adatsort?

Az ábra mesterséges példán szemlélteti, miként okozhat látszólagos hőmérséklet-ugrást egy mérési körülmény megváltozása. A homogenizálás ennek hatását igyekszik kiküszöbölni. Az adatok kizárólag szemléltető jellegűek, nem valódi meteorológiai mérések.

A korrekció azonban maga is tudományos döntéseket igényel.

Nem mindig könnyű megállapítani, hogy egy mérési eltérés valódi helyi éghajlati változásból vagy a mérési körülmények módosulásából származik.

Ezért különösen fontos, hogy a feldolgozás módszerei dokumentáltak legyenek, az eredeti adatok lehetőség szerint megmaradjanak, és más kutatók is ellenőrizhessék az eredményt.

Az adatok korrigálása önmagában nem manipuláció. A korrekció indokolatlansága, eltitkolása vagy a kívánt eredményhez igazítása viszont már súlyos tudományos probléma lenne.

Egy átlag, amely mögött sokféle mérés áll

A globális átlaghőmérséklet kiszámításának másik nehézsége a mérések földrajzi eloszlása.

Ha egy országban száz meteorológiai állomás működik, egy másik, azonos területű országban pedig csak tíz, akkor az összes mérés egyszerű számtani átlaga túlzott súlyt adna a sűrűbben megfigyelt térségnek.

A kutatók ezért különféle térbeli súlyozási módszereket alkalmaznak.

A Föld felszínét képzeletbeli földrajzi területekre oszthatják, és az egyes térségek hőmérsékleti változását területüknek megfelelő súllyal vehetik figyelembe.

Gyakran nem a tényleges hőmérsékleteket, hanem a hosszabb referencia-időszak átlagától való eltéréseket vizsgálják.

Ha például egy térség sokéves júliusi átlaghőmérséklete 22 Celsius-fok, az adott júliusban pedig 23,5 fokot mérnek, akkor a hőmérsékleti anomália plusz 1,5 fok.

Ez megkönnyíti a különböző éghajlatú területek összehasonlítását.

Egy sarkvidéki állomás és egy trópusi mérőhely abszolút hőmérséklete természetesen nagyon különböző. A saját korábbi átlagukhoz viszonyított változás azonban már összehasonlítható.

A globális hőmérsékleti adatsorok elkészítése tehát összetett statisztikai munka.

De ettől még nem önkényes.

A módszerek fizikai és matematikai elvekre épülnek, eredményeik pedig ellenőrizhetők más adatokkal és független feldolgozásokkal.

Nem egyetlen kutatóintézet eredményéről van szó

A klímaváltozás tudományos bizonyítékainak egyik fontos sajátossága, hogy több, egymástól független kutatócsoport is előállít globális hőmérsékleti adatsorokat.

A NASA, az amerikai NOAA, a brit meteorológiai kutatóintézetek, a Berkeley Earth kutatócsoport és más szervezetek eltérő feldolgozási módszerekkel vizsgálják a rendelkezésre álló méréseket.

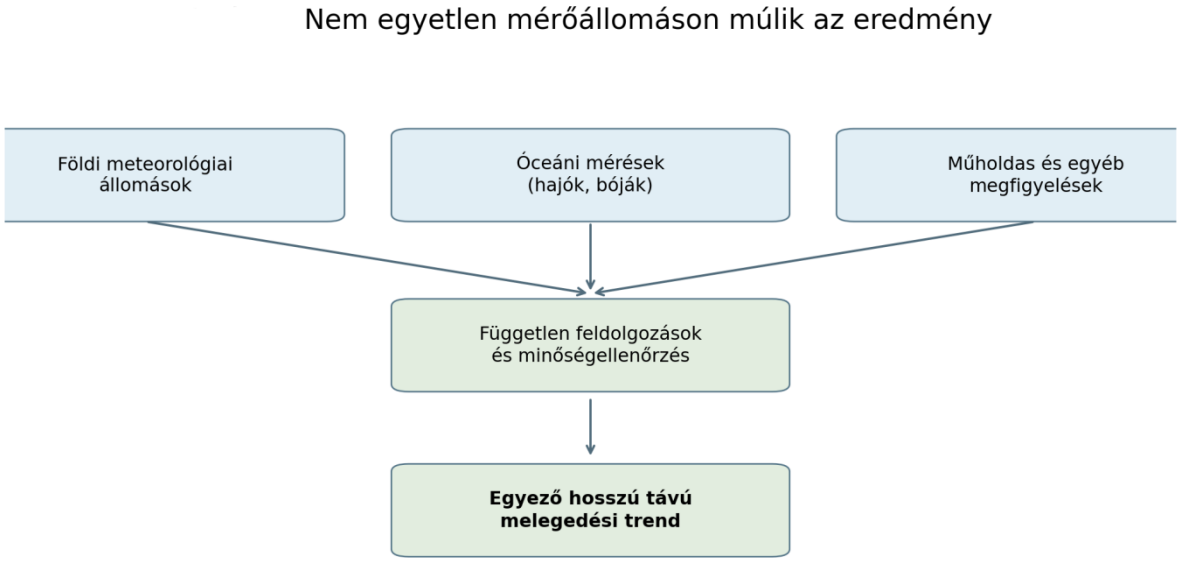
Az eredmények között vannak különbségek.

Eltérhet a becsült globális átlag néhány század vagy tized fokkal, bizonyos évek sorrendje, illetve a ritkán megfigyelt térségek kezelésének módja is.

A hosszú távú felmelegedés fő tendenciájában azonban az adatsorok összhangban vannak.

A NASA 2026 januárjában közzétett, 2025-re vonatkozó értékelésében például több mint 25 ezer meteorológiai állomás, valamint hajós, bójás és antarktiszi megfigyelések adatait használta fel. A feldolgozás során figyelembe vették az állomáshálózat változását és a városi hőhatásokat is.

Egyetlen kutatócsoport hibája vagy módszertani torzítása tehát nem lenne elegendő ahhoz, hogy a globális felmelegedés tendenciáját minden független megfigyelési rendszerben azonos módon jelenítse meg.



68. ábra – A független ellenőrzés jelentősége

A szárazföldi, óceáni és más megfigyelési rendszerek egymást kiegészítő bizonyítékokat szolgáltatnak. A különböző kutatócsoportok azonos hosszú távú felmelegedési tendenciát mutatnak ki, még ha módszereik és részletes eredményeik nem is teljesen azonosak.

A független ellenőrzésnek különös jelentősége van egy olyan tudományágban, amelynek eredményei komoly politikai és gazdasági következményekkel járhatnak.

A hitelesség nem egy intézmény tekintélyén alapul.

Azon, hogy az eredmény más módszerekkel is reprodukálható.

Mi a klímamodell, és mit lehet elvárni tőle?

A klímamodellekről gyakran úgy beszélünk, mintha azok a jövőt megjósoló számítógépes programok lennének.

Ez félrevezető kép.

A klímamodell valójában a Föld éghajlati rendszerének matematikai leírása. A légkör és az óceánok mozgását, az energiaáramlást, a sugárzást, a felhőképződést és sok más folyamatot fizikai törvények alapján számítja ki.

A kutatók a Földet háromdimenziós számítási cellákra osztják. A modell az egyes cellákban különféle fizikai mennyiségeket – például hőmérsékletet, légnyomást, páratartalmat és áramlási sebességet – tart nyilván.

A számítások során meghatározza, hogyan változnak ezek az értékek az idő múlásával, és milyen kölcsönhatások jönnek létre a különböző térségek között.

A modern modellek a légkör mellett az óceánokat, a tengeri jeget, a szárazföldi felszínt, a növényzetet és a szénkörforgás bizonyos folyamatait is figyelembe vehetik.

Természetesen nem lehet minden folyamatot a legapróbb részletekig kiszámítani.

Egy néhány kilométeres vagy néhány tíz kilométeres számítási cellán belül is kialakulhatnak olyan felhők, légörvények és egyéb jelenségek, amelyek mérete lényegesen kisebb a modell felbontásánál.

Ezek hatását közelítő módszerekkel írják le. Ezt parametrizációnak nevezik.

A klímamodellek tehát nem tökéletes másolatai a valóságnak.

Egyszerűsítésekre épülő, de a természet alapvető törvényeit követő számítási rendszerek.

A modellek megbízhatóságának megítéléséhez ezért nem azt kell kérdeznünk, hogy minden egyes részletet pontosan reprodukálnak-e.

Azt kell vizsgálnunk, hogy a kitűzött feladat szempontjából fontos folyamatokat és összefüggéseket milyen pontossággal írják le.

Időjárás-előrejelzés és éghajlati előrejelzés

A klímamodellekkel kapcsolatos egyik leggyakoribb félreértés abból ered, hogy összekeverjük az időjárás-előrejelzést az éghajlati előrejelzéssel.

Az időjárás-előrejelzés arra keresi a választ, hogy például két hét múlva milyen idő lesz Budapesten.

Ehhez a légkör aktuális állapotát kell rendkívül pontosan ismerni.

A légkör azonban kaotikus rendszer. A kiinduló állapot apró eltérései idővel jelentősen megnövekedhetnek, ezért a részletes időjárás-előrejelzések pontossága viszonylag rövid időtávra korlátozódik.

Az éghajlati előrejelzés más kérdésre válaszol.

Nem azt akarja megmondani, hogy 2050. július 18-án esni fog-e az eső Budapesten, hanem azt, hogy egy melegebb éghajlatban hogyan változhat a nyári hőmérsékletek eloszlása, a hőhullámok gyakorisága vagy a csapadék évszakos jellege.

A két feladat közötti különbség hasonlít a pénzügyi kockázatelemzés egyes problémáihoz.

Egy biztosító nem tudja pontosan megmondani, hogy egy meghatározott ügyfelének melyik napon lesz balesete. Megfelelő adatok alapján azonban becsülheti, hogy egy nagy létszámú ügyfélállományban évente várhatóan hány káresemény következik be.

Az éghajlatkutatás sem az egyes napok időjárását próbálja sok évtizedre előre megjósolni.

A hosszú távú statisztikai viszonyokat és azok változását vizsgálja.

Ezért egy időjárás-előrejelzés két hét utáni bizonytalansága nem bizonyítja, hogy az éghajlat több évtizedes változása ne lenne vizsgálható.

Mennyire váltak be a korábbi klímamodellek?

A tudományos előrejelzések hitelességének egyik legjobb vizsgálata az utólagos ellenőrzés.

Ha egy kutatócsoport 1980-ban előrejelzést készített a következő évtizedek globális felmelegedéséről, akkor ma már összehasonlíthatjuk annak eredményét a ténylegesen bekövetkezett változással.

A korai klímamodellek természetesen sokkal egyszerűbbek voltak a maiaknál. Kisebb számítási kapacitás állt rendelkezésre, és a légköri, valamint óceáni folyamatok részletes leírása is kevésbé volt fejlett.

Mégis fontos eredményeket értek el.

Zeke Hausfather és munkatársai 2020-ban megjelent tanulmányukban az 1970 és 2007 között közzétett klímamodellek előrejelzéseit vizsgálták meg.

Az elemzés szerint a modellek többsége jól becsülte a később megfigyelt globális felmelegedést, különösen akkor, ha figyelembe vették a tényleges és a feltételezett jövőbeli kibocsátások közötti eltéréseket.

A kutatók nem találtak bizonyítékot arra, hogy a vizsgált modellek összességükben rendszeresen túlbecsülték vagy alulbecsülték volna a felmelegedést.

Ez fontos megállapítás, de nem jelenti azt, hogy minden korábbi előrejelzés pontos volt.

Egyes modellek túl gyors, mások túl lassú felmelegedést jeleztek.

A különbségek egyik oka az volt, hogy a modellezők nem tudhatták előre, hogyan változik a világ szén-dioxid-kibocsátása, milyen új technológiák terjednek el, vagy milyen környezetvédelmi intézkedéseket hoznak az államok.

Egy modell fizikai működése helyes lehet akkor is, ha a jövőbeli emberi tevékenységre vonatkozó feltételezése nem teljesül.

Éppen ezért célszerű különbséget tenni a modell fizikai teljesítménye és a benne alkalmazott jövőbeli forgatókönyv helyessége között.

Az előrejelzés nem ígéret, hanem feltételes állítás

A klímamodellek gyakran különböző jövőbeli kibocsátási forgatókönyvekkel dolgoznak.

Az egyik számítás feltételezheti, hogy a fosszilis energiahordozók felhasználása gyorsan csökken.

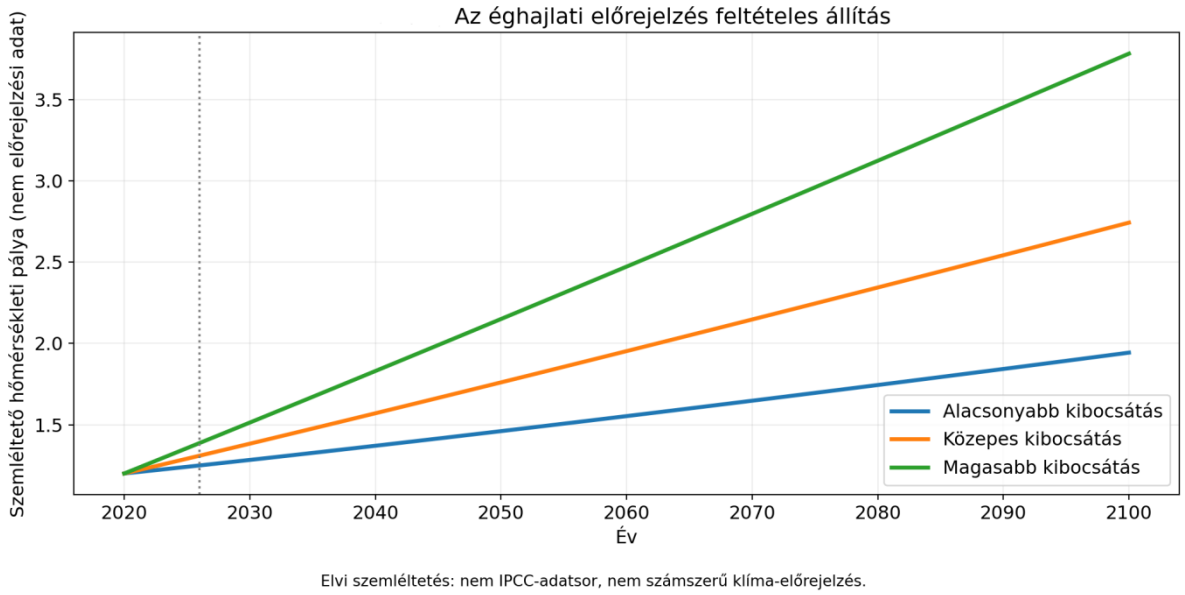
Egy másik szerint a csökkenés lassúbb lesz.

Egy harmadik olyan jövőt vizsgálhat, amelyben a kibocsátások még hosszú ideig magasak maradnak.

A modellek ezekhez a feltételekhez számítják ki a várható éghajlati következményeket.

A forgatókönyvek nem egyforma valószínűségű jóslatok, és nem is feltétlenül fedik le a jövő minden lehetőségét.

Feladatuk elsősorban annak bemutatása, hogyan függhetnek a következmények az emberiség további döntéseitől.



69. ábra – Miért térhetnek el egymástól a klíma-előrejelzések?

Az elvi ábra három eltérő kibocsátási pálya lehetséges hőmérsékleti következményét szemlélteti. Nem tényleges IPCC-előrejelzés, hanem a feltételes modellezés működését magyarázó rajz.

A forgatókönyvek különbsége miatt helytelen lenne egy régi előrejelzést pusztán a későbbi tényleges hőmérséklettel összevetni anélkül, hogy megvizsgálnánk az eredeti feltételezéseket.

Ha például egy modell a fosszilis energiahordozók gyorsan növekvő felhasználásával számolt, de a tényleges kibocsátások lassabban emelkedtek, akkor a modell magasabb hőmérsékleti előrejelzése önmagában nem bizonyítja a fizikai számítás hibáját.

Ez nem jelenti azt, hogy a klímamodelleket ne lehetne tévesnek minősíteni.

Éppen ellenkezőleg.

A jó tudományos modellnek ellenőrizhető állításokat kell tennie. A modellek teljesítményét a megfigyelések alapján vizsgálni kell, és a hibák feltárása a kutatás természetes része.

Climategate: amikor a tudományos levelezés világpolitikai üggyé vált

2009 novemberében, röviddel a koppenhágai ENSZ-klímakonferencia előtt, nagy mennyiségű belső elektronikus levelezés és más dokumentum került nyilvánosságra a brit Kelet-angliai Egyetem Éghajlatkutató Egységétől, a Climatic Research Unit nevű intézettől.

A leveleket jogosulatlanul szerezték meg és tették közzé. Az ügyet a sajtó hamarosan Climategate néven kezdte emlegetni.

A nyilvánosságra került üzenetek között tudományos módszerekről, adatsorokról, szakmai vitákról és a kutatók egymás közötti konfliktusairól szóló levelek is voltak.

Bizonyos megfogalmazások különösen nagy figyelmet kaptak.

Az egyik legismertebb vitát Phil Jones kutató egy olyan levele váltotta ki, amelyben egy grafikon összeállításával kapcsolatban a „trick” és a „hide the decline” kifejezéseket használta.

A hétköznapi angol nyelvben ezek a szavak megtévesztésre utalhatnak.

A tudományos szövegkörnyezetben azonban a „trick” olykor egyszerűen ügyes módszert vagy megoldást jelent.

A levélben szereplő „decline” pedig nem a modern műszeres globális hőmérsékleti adatsor csökkenésére vonatkozott, hanem egyes fagyűrű alapú hőmérsékleti rekonstrukciók problémájára.

Bizonyos magas szélességi körökön élő fák évgyűrűinek változásai ugyanis a 20. század második felében már nem követték megbízhatóan a műszerekkel mért felmelegedést.

Ezt a jelenséget divergencia problémának nevezik.

Az adott grafikonban egyes rekonstrukciós adatsorokat a modern időszakban nem folytattak, és a műszeres hőmérsékleti értékeket használták helyettük.

Ez a megoldás tudományos szempontból indokolható lehet, ha az eltérő adatok használatát egyértelműen jelzik.

Ha azonban a grafikon nem mutatja világosan, hogy két különböző adatforrást kapcsoltak össze, az félrevezetővé válhat.

A Climategate egyik tanulsága éppen ez volt: egy módszertanilag indokolható eljárás is bizalmi válságot okozhat, ha a bemutatása nem eléggé átlátható.

Mit állapítottak meg a vizsgálatok?

A kiszivárgott levelezés nyomán több vizsgálat indult.

Az ügyet brit parlamenti bizottság, egyetemi felkérésre létrehozott szakmai testületek és más vizsgálatok is értékelték.

A legismertebb vizsgálatok közé tartozott a Sir Muir Russell által vezetett, 2010 júliusában közzétett jelentés.

A vizsgálat nem talált bizonyítékot arra, hogy az érintett kutatók tudatos adatmanipulációval meghamisították volna a globális felmelegedés eredményeit, vagy hogy tevékenységük aláásta volna az IPCC tudományos következtetéseit.

A jelentés ugyanakkor komoly kritikákat is megfogalmazott.

Megállapította, hogy az intézet és egyes kutatói nem tanúsítottak megfelelő nyitottságot az adatokhoz való hozzáférés és a tudományos információk megosztása terén.

Bizonyos adatigénylésekre védekező vagy elutasító módon reagáltak, és a kutatói kommunikáció nem minden esetben felelt meg a szükséges átláthatósági követelményeknek.

A brit parlament tudományos és technológiai bizottsága is foglalkozott a vizsgálatok módszertanával és következtetéseivel. Többek között kritikusan értékelte, hogy az egyik vizsgálat mennyire volt nyilvános és kellően átfogó.

A Climategate tehát nem bizonyította, hogy a klímaváltozás tudományos eredményei csalásra épülnek.

De nem is jelenti azt, hogy minden érintett kutatói gyakorlat megfelelő lett volna.

A vizsgálatok két külön kérdést különítettek el.

Az egyik az adatok tudományos megbízhatósága volt.

A másik a kutatók és intézmények átláthatósága, kommunikációja és az információszabadsággal kapcsolatos kötelezettségek kezelése.

Az első területen a súlyos csalási vádak nem nyertek bizonyítást. A második területen viszont valódi hiányosságok mutatkoztak.

Miért lett ekkora ügy a Climategate?

A Climategate rendkívüli figyelmet kapott, mert a klímaváltozás körüli vita ekkor már jóval túllépett a tudományos kutatás keretein.

Az energiaellátás, a fosszilis energiahordozók használata, az ipari versenyképesség és a nemzetközi környezetvédelmi megállapodások súlyos gazdasági érdekeket érintettek.

A klímaváltozás tudományos elfogadása politikai és gazdasági intézkedéseket tehetett szükségessé.

Azok számára, akik ezeket az intézkedéseket ellenezték, a tudományos eredmények hitelességének megkérdőjelezése erős érvnek tűnhetett.

Másrészt a kutatók egy része is egyre inkább úgy érezhette, hogy munkája folyamatos politikai támadások tárgya.

Ez védekező magatartáshoz vezethetett, amely viszont tovább növelte a külső bizalmatlanságot.

A folyamat így önmagát erősíthette.

A nyilvánosságra került, sokszor informális hangvételű levelek különösen alkalmasak voltak arra, hogy a szövegkörnyezetükből kiemelve más jelentést kapjanak.

De ebből nem következik, hogy a kutatók minden kijelentése vagy eljárása elfogadható lett volna.

A tudományos munka minőségének és az eredmények hitelességének megőrzéséhez a kutatóknak akkor is törekedniük kell az átláthatóságra, ha munkájuk ellenséges politikai környezetben zajlik.

A Climategate egyik fontos tanulsága ezért az, hogy a tudományos intézményeknek nem elég helyes eredményeket előállítaniuk.

Azt is lehetővé kell tenniük, hogy az eredmények ellenőrizhetők legyenek, és a közvélemény számára világosan elkülönüljenek a mérési adatok, a feldolgozási döntések és az értelmezések.

Tudományos vita, tévedés és manipuláció

A tudomány fejlődésének természetes része a vita.

Két kutató eltérő eredményre juthat azért, mert más adatsorokat használ, különböző statisztikai módszereket alkalmaz, vagy eltérően értelmezi a rendelkezésre álló bizonyítékokat.

Ezek a különbségek önmagukban nem jelentik azt, hogy valamelyikük tisztességtelenül járt el.

A tudományos tévedés szintén elkerülhetetlen.

Előfordulhat hibás mérés, téves programkód, rosszul megválasztott statisztikai módszer vagy olyan következtetés, amelyet a később rendelkezésre álló adatok megcáfolnak.

A tévedés felismerése és kijavítása nem a tudomány gyengesége, hanem működésének egyik legfontosabb eleme.

Az adatok tudatos meghamisítása azonban egészen más kategória.

Ha egy kutató szándékosan megváltoztatja a mérési eredményeket, eltitkolja a számára kedvezőtlen adatokat, vagy olyan grafikont készít, amely tudatosan félrevezeti az olvasót, az már sérti a tudományos tisztesség alapelveit.

A határ azonban nem minden esetben állapítható meg könnyen.

Egy adatsor módosítása lehet szükséges hibajavítás. Egyes adatok kihagyása lehet statisztikailag indokolt. Egy grafikon tengelyének megválasztása pedig jelentősen befolyásolhatja a vizuális benyomást anélkül, hogy a megjelenített számok hamisak lennének.

Ezért a tudományos eredmények értékelésekor nem elegendő önmagában azt vizsgálni, hogy történt-e adatfeldolgozás vagy korrekció.

Azt is meg kell érteni, miért történt, milyen szabályok alapján, és ellenőrizhető-e a művelet.

Ugyanilyen fontos a manipuláció vádjának megítélése.

Egy súlyos vád nem válik bizonyított ténnyé pusztán attól, hogy széles körben elterjedt a médiában vagy a közösségi oldalakon.

A bizonyítás követelménye a vádlót is terheli.

A tudományos hitelességet egyaránt veszélyeztetheti a tényleges adathamisítás és a megalapozatlan, de hatékonyan terjesztett csalási vád.

A grafikon is képes félrevezetni

A közvélemény a klímakutatás eredményeivel gyakran grafikonok formájában találkozik.

Egy grafikon azonban nem maga a valóság, hanem annak kiválasztott szempontok szerint elkészített ábrázolása.

A függőleges tengely skálája például jelentősen befolyásolhatja a vizuális hatást.

Ha egy hőmérsékleti grafikont rendkívül széles skálán ábrázolunk, a változás alig észrevehetőnek tűnhet.

Ha a tengelyt nagyon szűk tartományra állítjuk, ugyanaz a változás drámainak látszhat.

Mindkét grafikon tartalmazhat matematikailag helyes adatokat, mégis eltérő benyomást kelthet.

Az időtáv megválasztása szintén fontos.

Egy néhány éves időszakban a természetes ingadozások miatt akár hőmérséklet-csökkenést is láthatunk, miközben a több évtizedes tendencia egyértelműen emelkedő.

Fordítva is igaz: egy különösen meleg év kiválasztásával a rövid távú változás jelentőségét is túl lehet hangsúlyozni.

A grafikonokat ezért a megfelelő időtáv, a skála, a mértékegységek és a bizonytalanságok figyelembevételével kell értelmezni.

A jó tudományos ábra nem pusztán látványos.

Segít megérteni, hogy pontosan mit mértek, mit számítottak, és mekkora bizonytalansággal rendelkezik az eredmény.

Miért fontosak a nyílt adatok?

A tudományos kutatásban az elmúlt évtizedekben egyre nagyobb jelentőséget kapott a nyílt adatok és a reprodukálható számítások elve.

Ennek lényege, hogy a kutatók lehetőség szerint hozzáférhetővé teszik a felhasznált adatokat, a feldolgozási módszereket és a számítógépes programokat.

Így más kutatócsoportok is ellenőrizhetik az eredményeket.

A nyíltság természetesen nem minden esetben valósítható meg korlátozások nélkül.

Egyes adatok személyes vagy üzleti titkokat tartalmazhatnak, más esetekben jogi vagy szerződéses korlátozások akadályozhatják a teljes nyilvánosságot.

A klímakutatásban azonban az alapvető meteorológiai és éghajlati adatok jelentős része nyilvánosan hozzáférhető.

A NASA, a NOAA, az európai Copernicus program és más intézmények adatsorai lehetővé teszik, hogy különböző szakemberek saját feldolgozásokat készítsenek.

Ez nemcsak az esetleges hibák felismerését segíti, hanem a módszerek továbbfejlesztését is.

Egy nyilvános adatbázis használatával más kutatók új statisztikai módszereket próbálhatnak ki, összehasonlíthatják az eltérő feldolgozási eljárásokat, és feltárhatják azok bizonytalanságait.

A nyílt tudomány tehát nem egyszerűen kommunikációs kérdés.

A tudományos minőségbiztosítás egyik legfontosabb eszköze.

A Climategate utáni időszakban az átláthatóság és a reprodukálhatóság különösen nagy hangsúlyt kapott a klímakutatásban.

A tudományos bizalom egyik legjobb alapja ugyanis nem az, ha a kutató azt mondja, hogy higgyünk neki.

Hanem az, ha megmutatja, hogyan jutott az eredményre.

A tudományos konszenzus nem szavazás

A klímaváltozással kapcsolatos vitákban gyakran hivatkoznak a tudományos konszenzusra.

Ezt azonban nem szabad úgy értelmezni, mintha egy tudományos állítás attól válna igazzá, hogy a kutatók többsége megszavazza.

A természet törvényei nem függnek a többségi véleménytől.

A tudományos konszenzus azt jelenti, hogy a rendelkezésre álló bizonyítékok alapján a szakértők jelentős többsége hasonló következtetésre jut.

Ez fontos információ lehet, különösen olyan összetett kérdésekben, amelyek részletes megértéséhez sokéves szakmai tapasztalat szükséges.

A konszenzus azonban nem helyettesíti a bizonyítékokat.

Ha egy új kutatás megbízható adatokkal és megfelelő módszerekkel megcáfol egy korábban elfogadott állítást, a tudományos közösségnek idővel módosítania kell az álláspontját.

Ez a tudomány történetében számtalanszor megtörtént.

A klímakutatás esetében ugyanakkor az emberi eredetű felmelegedés megállapítása nem pusztán szakértői vélemények összesítésén alapul.

Laboratóriumi fizikai ismeretek, légköri mérések, történeti hőmérsékleti adatsorok, óceáni megfigyelések és különféle független vizsgálatok támasztják alá.

A tudományos konszenzus ezeknek a bizonyítékoknak az értékelése során alakult ki.

Éppen ezért egy kisebbségi álláspont létezése önmagában nem bizonyítja, hogy a kérdés tudományosan eldöntetlen.

Ugyanakkor a kisebbségi véleményeket sem szabad kizárólag azért elutasítani, mert eltérnek az általánosan elfogadott állásponttól.

A döntő kérdés minden esetben a bizonyítékok minősége.

Amikor a tudomány politikai viták szereplőjévé válik

A klímaváltozás kutatása különösen nehéz helyzetbe került azzal, hogy eredményei közvetlenül befolyásolhatják az energiapolitikát, az ipart, a közlekedést és a mezőgazdaságot.

Az éghajlati rendszer működése természettudományos kérdés.

Az azonban, hogy a társadalom milyen intézkedésekkel, milyen ütemben és milyen költségek mellett reagáljon, már gazdasági és politikai döntés is.

A két területet célszerű világosan elkülöníteni.

A tudomány képes becslést adni arra, hogy bizonyos kibocsátási pályák milyen felmelegedéssel és környezeti kockázatokkal járhatnak.

Arra azonban önmagában nem adhat végleges választ, hogy az erőforrásokat milyen arányban fordítsuk kibocsátás csökkentésre, alkalmazkodásra, energiahálózat-fejlesztésre vagy más társadalmi célokra.

Ezekben a döntésekben értékítéletek, gazdasági lehetőségek és társadalmi érdekek is szerepet játszanak.

A tudományos eredményekkel szembeni bizalmatlanság egyik forrása éppen az lehet, amikor a kutatási következtetéseket és a belőlük levezetett politikai javaslatokat nem választják el megfelelően.

Valaki elfogadhatja a globális felmelegedés emberi eredetét, miközben vitathatja egy konkrét energiaadó, ipari tilalom vagy támogatási rendszer célszerűségét.

Ez nem feltétlenül tudományellenes magatartás.

Ugyanakkor egy politikai intézkedéssel kapcsolatos nézeteltérés sem cáfolja a mögötte álló természettudományos megállapításokat.

A tudomány hitelességét az szolgálja, ha saját kompetenciájának határait is világosan bemutatja.

Hogyan őrizhető meg a tudomány hitelessége?

A modern társadalmak egyre nagyobb mértékben támaszkodnak olyan tudományos eredményekre, amelyek részleteit az emberek többsége nem tudja önállóan ellenőrizni.

Ez nem kizárólag a klímakutatás sajátossága.

A gyógyszerek biztonságosságát, az atomerőművek működését, a repülőgépek műszaki rendszereit vagy a modern informatikai infrastruktúrát sem képes minden állampolgár saját szakértelme alapján értékelni.

A társadalomnak ezért intézményes ellenőrzési rendszerekre van szüksége.

A kutatási eredmények szakmai bírálata, a független vizsgálatok, a mérési adatok dokumentálása, a hibák nyilvános javítása és az összeférhetetlenségi szabályok mind ezt a célt szolgálják.

Egyetlen módszer sem tökéletes.

A szakmai bírálók is tévedhetnek. A kutatóintézetekben is kialakulhatnak érdekellentétek. A tudományos folyóiratok is közölhetnek hibás eredményeket.

A megbízhatóság ezért nem egyetlen ellenőrzési ponton múlik.

A független ellenőrzések, az adatok nyilvánossága, a reprodukálhatóság és a kritikus szakmai vita együttese képes csökkenteni a hibák és visszaélések kockázatát.

A Climategate története arra figyelmeztet, hogy még a tudományosan megalapozott eredményeket is veszélyeztetheti az átláthatatlan kommunikáció és az intézményi védekezés.

Ugyanakkor arra is példa, hogy a független vizsgálatok képesek különválasztani a megalapozott kritikákat a bizonyítatlan vádaktól.

A bizalom alapja az ellenőrizhetőség

A klímakutatás ma olyan hatalmas adatmennyiséggel dolgozik, amelynek feldolgozása néhány évtizeddel ezelőtt elképzelhetetlen lett volna.

Meteorológiai állomások ezrei, óceáni bóják, kutatóhajók, műholdak és különféle automatikus mérőrendszerek szolgáltatnak adatokat.

A számítógépes modellek egyre részletesebben képesek leírni a légkör, az óceánok és a szárazföldi rendszerek kölcsönhatásait.

A nagyobb adatmennyiség és a fejlettebb számítási kapacitás azonban önmagában nem biztosíték a tévedések ellen.

A hibás adatból a legfejlettebb számítógép is hibás következtetésre juthat. Egy rosszul megválasztott modell pedig rendkívül pontos számításokat végezhet egy téves feltételezés alapján.

Ezért a tudományos fejlődés nemcsak új műszereket és erősebb számítógépeket igényel, hanem jobb ellenőrzési módszereket is.

A tudomány nem attól megbízható, hogy minden eredménye végleges.

Éppen attól, hogy az eredményei felülvizsgálhatók.

A klímaváltozás tudományos bizonyítékait ma már számos egymástól független módszer támasztja alá. Ezért a globális felmelegedés ténye és meghatározó emberi eredete nem függ egyetlen kutatócsoporttól, intézettől vagy számítógépes modelltől.

A jövő részletei azonban továbbra is bizonytalanok.

Ezeket a bizonytalanságokat a tudománynak nem eltitkolnia, hanem számszerűsítenie és közérthetően bemutatnia kell.

A tudomány hitelességének legfontosabb feltétele nem a tévedhetetlenség látszata, hanem az adatokhoz, módszerekhez és következtetésekhez való kritikus hozzáférés.

A Climategate legfontosabb tanulsága ezért túlmutat magán a klímakutatáson.

A tudományos tekintély hosszú távon nem védhető meg azzal, hogy a kutatók elvárják eredményeik feltétlen elfogadását.

A bizalmat az teremti meg, ha az eredmények ellenőrizhetők, a hibák kijavíthatók, és a vitákban a bizonyítékok fontosabbak maradnak, mint a résztvevők politikai vagy személyes meggyőződése.

Tudományos források

- NOAA – Global Historical Climatology Network. A hőmérsékleti adatok korrekciójának és homogenizálásának módszerei.
- NASA – Global Temperature Data, 2026. A globális hőmérsékleti adatok összegyűjtése és feldolgozása.
- Hausfather és munkatársai (2020) – Evaluating the Performance of Past Climate Model Projections. A történeti klíma-előrejelzések utólagos ellenőrzése.
- Brit parlament – A Climategate-vizsgálatok értékelése, 2010–2011. Az ügyben folytatott vizsgálatok megállapításai és korlátai.
- IPCC – Hatodik Értékelő Jelentés, I. munkacsoport. A klímamodellek, megfigyelések és bizonytalanságok átfogó tudományos értékelése.

III. A szennyezés nem ismer országhatárokat

10. A gazdag világ környezeti öröksége

A tisztább Európa és az ipari termelés áthelyezése

Az európai környezetvédelem elmúlt évtizedeiben jelentős sikerek születtek.

A levegőszennyező anyagok kibocsátása sok országban számottevően csökkent. A szennyvíztisztítás fejlődött, az ipari hulladékok kezelésére szigorúbb szabályok születtek, és az energiahatékonyság is javult.

A változások egy része azonban együtt járt az ipari termelés földrajzi átrendeződésével.

A fejlett országok gazdaságában egyre nagyobb szerepet kaptak a szolgáltatások, a pénzügyi tevékenységek, az informatika és a kutatás-fejlesztés. Eközben számos energia- és munkaigényes iparág termelése más országokba került.

A textilipar, az elektronikai összeszerelés, a vegyipar és a fémfeldolgozás egyes ágazatai jelentős részben olyan térségekben bővültek, ahol alacsonyabbak voltak a munkaerőköltségek, és esetenként a környezetvédelmi követelmények is kevésbé voltak szigorúak.

A termelés áthelyezésének azonban több oka volt. A munkaerőköltség mellett számítottak a nyersanyagokhoz való hozzáférés, az infrastruktúra, a helyi piacok, az iparpolitikai támogatások és a beszállítói hálózatok is.

Nem állíthatjuk tehát, hogy az ipari termelés áthelyezését kizárólag a szigorúbb európai környezetvédelmi szabályok idézték elő.

A folyamat környezeti következményeit azonban ettől függetlenül vizsgálni kell.

Ha egy európai országban bezárnak egy erősen szennyező üzemet, majd ugyanazt a terméket egy másik országban, rosszabb hatásfokú és nagyobb kibocsátású technológiával állítják elő, akkor a globális környezeti terhelés akár növekedhet is.

A fogadó ország gazdasági fejlődése természetesen valódi előnyökkel járhat. Munkahelyek jönnek létre, növekedhetnek a jövedelmek, fejlődhet az infrastruktúra, és új technológiai ismeretek honosodhatnak meg.

A probléma nem önmagában az ipari termelés nemzetközivé válása.

Hanem az, ha a termelés gazdasági előnyei és környezeti költségei tartósan különböző szereplőknél jelentkeznek.

A ritkaföldfémek és a láthatatlan környezeti költségek

A modern technológiák környezetterhelése különösen jól megfigyelhető a fémek és más ipari nyersanyagok előállításánál.

Az elektromos autók, szélturbinák, elektronikai berendezések, akkumulátorok és adatközpontok jelentős mennyiségű fémet, valamint különleges tulajdonságú anyagokat igényelnek.

A ritkaföldfémek közé tartozó elemeket például számos nagy teljesítményű állandó mágnes előállításához használják.

A ritkaföldfémek elnevezése kissé félrevezető, mert nem mindegyikük különösen ritka a földkéregben. A gazdaságosan kitermelhető lelőhelyek, valamint a bonyolult és költséges szétválasztási technológiák azonban jelentősen korlátozzák a kínálatot.

Kína az elmúlt évtizedekben meghatározó szerepet szerzett a ritkaföldfémek bányászatában, feldolgozásában és egyes kapcsolódó termékek gyártásában.

E folyamatok környezeti terhei jelentősek lehetnek.

A kitermelés és feldolgozás nagy mennyiségű vizet, energiát és vegyi anyagot igényelhet. A keletkező meddőanyagok és szennyvizek megfelelő kezelés nélkül károsíthatják a környezetet. Egyes ércek természetes radioaktív anyagokat is tartalmaznak, amelyek kezelése különleges figyelmet igényel.

A fejlett országok fogyasztói eközben gyakran már csak a végtermékkel találkoznak.

Egy korszerű elektromos autó helyi használat közben nem bocsát ki kipufogógázt. Egy szélturbina működése során közvetlen fosszilis tüzelőanyag-felhasználás nélkül termel villamos energiát.

Ezek valós környezeti előnyök.

Az előállításukhoz szükséges anyagok kitermelése és feldolgozása azonban ettől még jelentős terheléssel járhat.

A helyes összehasonlítás ezért a teljes életciklus vizsgálatát igényli, beleértve a nyersanyag-kitermelést, a gyártást, a használatot, a karbantartást és az élettartam végén történő kezelést.

Az életciklus-elemzések általában azt mutatják, hogy például az elektromos autók teljes élettartamra vetített üvegházhatásúgáz-kibocsátása sok körülmény között jelentősen kisebb lehet a hagyományos belső égésű motoros járművekénél. Az előny nagysága azonban függ a gyártás körülményeitől, az akkumulátortól és a felhasznált villamos energia összetételétől is.

A környezetvédelmi technológia nem attól válik kedvezővé, hogy a környezeti terhelését nem látjuk, hanem attól, hogy a teljes életciklusát tekintve valóban kisebb terhet jelent.

A környezeti terhelés nemcsak szén-dioxidból áll

A klímaváltozásról folyó vitákban a környezeti hatásokat gyakran egyetlen mérőszámmal, a szén-dioxid-kibocsátással jellemezzük.

Ez fontos mutató, de nem írja le a környezetterhelés egészét.

Egy ország fosszilis szén-dioxid-kibocsátása csökkenhet, miközben a fogyasztásához kapcsolódó más környezeti hatások magasak maradnak.

Ilyen lehet a nyersanyag-felhasználás, a vízfogyasztás, a talajpusztulás, az erdőirtás, a vegyi szennyezés vagy a biológiai sokféleség csökkenése.

Különösen összetett kérdés az élelmiszer-termelés.

Egy európai fogyasztó által vásárolt élelmiszer előállításához más kontinensen termőföldet, öntözővizet, műtrágyát és energiát használhattak fel.

Ha a termék előállításához erdőket irtottak ki, az a vásárlás országának területi erdőstatisztikájában nem fog megjelenni.

A környezetterhelésnek ezért többféle mérlege van.

A szén-dioxid-kibocsátás, az ökológiai lábnyom, a vízlábnyom és az anyagfelhasználás különböző szempontokból mutatják meg a gazdasági tevékenység természeti következményeit.

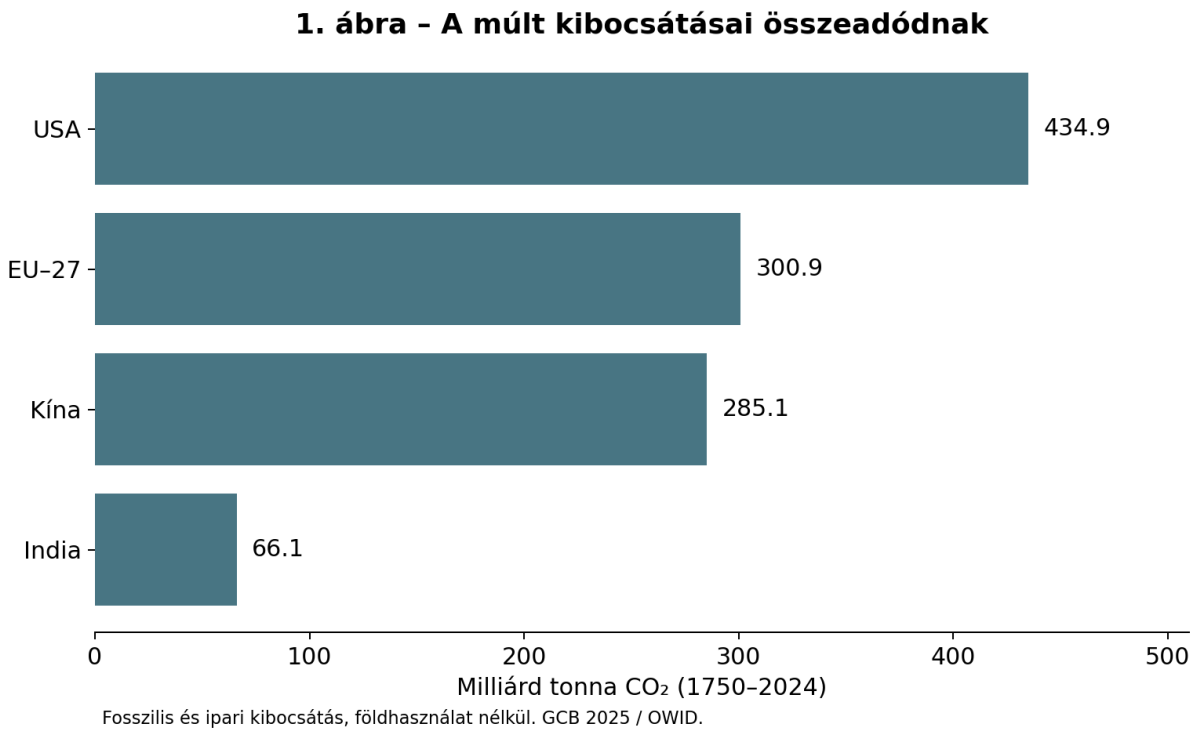
Ezek nem egymást helyettesítő mutatók.

Egy termék lehet alacsony szén-dioxid-kibocsátású, miközben jelentős vízigénnyel jár, vagy értékes élőhelyek átalakítását követeli meg.

A környezetvédelem egyik fontos feladata ezért annak megakadályozása, hogy egyetlen környezeti cél teljesítése más területen aránytalan károkat okozzon.

Kinek kell fizetnie a környezet védelméért?

A történelmi kibocsátások és a jelenlegi környezetterhelés különbsége a nemzetközi klímapolitika egyik legnehezebb kérdéséhez vezet.



70. ábra

Ki viselje a kibocsátás csökkentés és az alkalmazkodás költségeit?

A fejlett országok azzal érvelhetnek, hogy a globális kibocsátások jelenlegi alakulását ma már jelentős részben az ázsiai ipari gazdaságok határozzák meg. Ezért a jövőbeli felmelegedés mérsékléséhez ezeknek az országoknak is jelentős intézkedéseket kell tenniük.

A fejlődő országok viszont joggal hívják fel a figyelmet arra, hogy a gazdag országok korábban hosszú időn keresztül nagy mennyiségű fosszilis energiát használtak fel gazdaságuk felépítéséhez.

Sok fejlődő országban eközben ma is emberek százmillióinak alapvető feladata a megfelelő lakhatás, élelmiszerellátás, egészségügy, közlekedés és megbízható villamosenergia-ellátás biztosítása.

A két helyzet nem azonos.

A klímaváltozás fizikai hatásai ugyanakkor nem tesznek különbséget aszerint, hogy a kibocsátás milyen gazdasági fejlettségű országban keletkezett.

A légkörbe jutó szén-dioxid ugyanúgy hozzájárul a felmelegedéshez, függetlenül attól, hogy egy gazdag vagy egy szegény országban bocsátották ki.

Ezért a történelmi felelősség és a jelenlegi kibocsátások kérdése nem helyettesíti egymást.

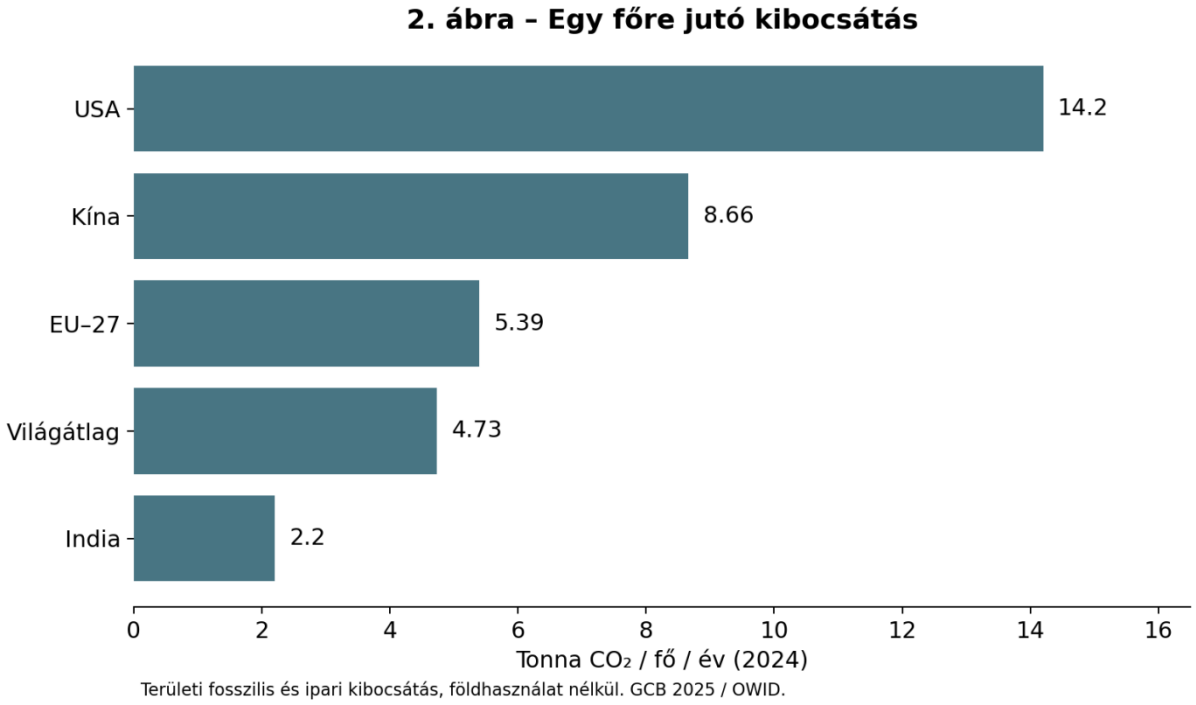
Mindkettővel foglalkozni kell.

A nemzetközi klímaegyezményekben ezért jelent meg a közös, de megkülönböztetett felelősség és az eltérő képességek elve.

Ennek lényege, hogy a klímaváltozás kezelése közös feladat, de az országok történelmi hozzájárulása, gazdasági lehetőségei és fejlettsége különböző.

Az elv alkalmazása azonban számos vitát vet fel.

Hogyan mérjük a történelmi felelősséget? Melyik évtől számoljuk a kibocsátásokat? Hogyan vegyük figyelembe a népesség változását? Mennyit számítson az egy főre jutó kibocsátás? És hogyan kezeljük azokat az országokat, amelyek történelmileg keveset bocsátottak ki, de napjainkra hatalmas ipari gazdaságokká váltak?



71. ábra

Ezekre a kérdésekre nincs egyetlen, minden szempontból vitathatatlan igazságossági képlet.

A tudomány segíthet a kibocsátások és a következmények számszerűsítésében. A költségek elosztása azonban politikai, gazdasági és erkölcsi döntéseket is igényel.

A környezetvédelem és a gazdasági fejlődés nem feltétlenül ellentétes

A fejlődő országok helyzetének értékelésekor fontos elkerülni egy másik leegyszerűsítést is.

A modern ipari civilizáció fejlődését nem lehet pusztán környezetpusztításként leírni.

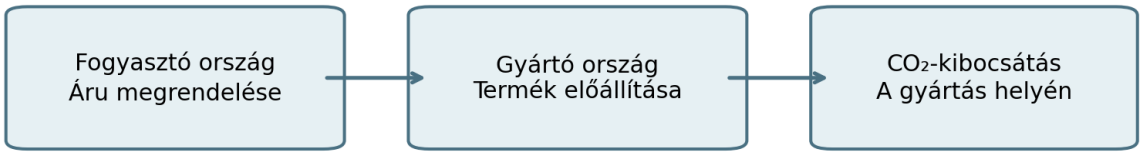
A gazdasági növekedés emberek százmillióit emelte ki a mélyszegénységből. Javult az egészségügyi ellátás, növekedett az élelmiszer-termelés, fejlődött az oktatás, és egyre több

ember jutott hozzá olyan szolgáltatásokhoz, amelyek korábban csak a leggazdagabb országokban voltak elérhetők.

A cél ezért nem lehet egyszerűen a fejlődés megállítása.

Sokkal inkább az, hogy a fejlődő országoknak ne kelljen feltétlenül megismételniük az iparosodott országok korábbi, rendkívül nagy környezetterheléssel járó fejlődési útját.

3. ábra – A fogyasztás és a kibocsátás külön helyen lehet



Területi mérleg: ott számolják el, ahol kibocsátják

Fogyasztási mérleg: az importált áruk kibocsátását is figyelembe veszi

72. ábra

Ma már számos olyan technológia áll rendelkezésre, amely a 19. és 20. században még nem létezett.

A megújuló energiatermelés, a korszerű villamos hálózatok, a hatékonyabb ipari eljárások, a víztisztítás és az energiatakarékos épületek lehetővé tehetik, hogy a gazdasági fejlődés kisebb környezeti terheléssel járjon.

A technológiák azonban beruházást, megfelelő intézményeket és szaktudást igényelnek.

A fejlődő országok számára ezért a finanszírozás és a technológiai hozzáférés kérdése legalább olyan fontos lehet, mint maga a környezetvédelmi célkitűzés.

A fejlett országoknak itt különleges szerepük lehet.

Nemcsak történelmi kibocsátásaik miatt, hanem azért is, mert jelentős pénzügyi, technológiai és kutatási kapacitásokkal rendelkeznek.

A nemzetközi együttműködés egyik lehetséges eredménye éppen az lehet, hogy a fejlődő országok korszerűbb technológiákat alkalmazhatnak, anélkül hogy előbb minden korábbi, nagy kibocsátású fejlődési szakaszon végig kellene haladniuk.

Ez azonban csak akkor működhet, ha a környezetvédelmi követelmények mellett a gazdasági fejlődés valós feltételeit is figyelembe veszik.

A gazdag világ környezeti öröksége

A fejlett országok környezeti öröksége összetett.

Egyfelől a modern ipari civilizáció megteremtésével jelentősen hozzájárultak a légköri üvegházhatású gázok történelmi felhalmozódásához.

Az iparosodás során hatalmas mennyiségű fosszilis energiát használtak fel, és sok esetben súlyos helyi környezeti károkat is okoztak.

Másfelől ugyanezekben az országokban születtek meg a modern környezetvédelmi tudomány, a levegő- és víztisztasági szabályozás, a természetvédelmi intézmények és számos környezetkímélő technológia fontos elemei.

Az ipari fejlődés tehát egyszerre teremtette meg a modern környezeti problémák jelentős részét és azok kezelésének számos eszközét.

A fejlett világ egyes környezeti mutatóinak javulása valós eredmény.

Ugyanakkor a globalizált gazdaságban nem elegendő kizárólag a saját ország területén jelentkező szennyezések alapján megítélni a környezeti teljesítményt.

Egy tisztább város nem feltétlenül jelent kisebb globális környezetterhelést, ha a lakosság fogyasztásához szükséges szennyező termelés csupán egy másik kontinensre került.

A történelmi kibocsátásokat, a jelenlegi területi szennyezést és a fogyasztás által okozott terhelést ezért egymás mellett kell vizsgálni.

A három mérleg különböző kérdésekre válaszol.

A történelmi kibocsátás azt mutatja meg, hogyan járultak hozzá az országok a máig felhalmozódott környezeti terheléshez.

A jelenlegi kibocsátás azt jelzi, hol keletkezik ma a szennyezés, és hol van közvetlen lehetőség annak csökkentésére.

A fogyasztási mérleg pedig arra világít rá, hogy a nemzetközi kereskedelem révén kinek az igényeihez kapcsolódnak a kibocsátások.

Egyik sem helyettesíti a másikat.

A környezeti felelősség nem állapítható meg kizárólag abból, hogy egy ország területén mennyi szennyező anyag keletkezik. Figyelembe kell vennünk azt is, hogy ki használja fel a termékeket, ki részesül a termelés előnyeiből, és milyen történelmi folyamatok vezettek a jelenlegi állapothoz.

A gazdag országok környezeti öröksége ezért nem egyszerűen a múltban elkövetett károk összessége.

Felelősséget is jelent abban, hogyan használják fel jelenlegi gazdasági és technológiai lehetőségeiket.

A fejlődő országok számára pedig a legfontosabb kérdés az, hogy miként érhetnek el magasabb életszínvonalat úgy, hogy közben elkerüljék a korábbi iparosodás legsúlyosabb környezeti következményeit.

A világ környezeti problémáit nem lehet tartósan megoldani úgy, hogy a szennyezést egyszerűen más országokba helyezzük át.

A légkör, az óceánok, a nyersanyagok és a kereskedelmi kapcsolatok közös rendszert alkotnak.

A következő fejezetekben azt vizsgáljuk meg, hogyan vált a környezeti terhelés áthelyezése a modern világgazdaság egyik meghatározó kérdésévé, és milyen következményekkel jár, amikor a fogyasztás előnyei és a termelés környezeti költségei eltérő országokban jelentkeznek.

Tudományos források

- Our World in Data – Történelmi CO_2-kibocsátások. Az ipari forradalom óta felhalmozott kibocsátások.
- Our World in Data – Egy főre jutó CO_2-kibocsátás. Nemzetközi összehasonlítások, 2024.
- Our World in Data – Fogyasztási alapú kibocsátás. A nemzetközi kereskedelembe beépült szén-dioxid elszámolása.
- IPCC – Hatodik Értékelő Jelentés, III. munkacsoport. Történelmi kibocsátások, regionális különbségek és kibocsátáscsökkentési lehetőségek.
- Global Carbon Budget. A globális szén-dioxid-kibocsátás és a szénkörforgás tudományos mérlege.

11. Amerika, Kína és a feltörekvő világ

Amikor az ipari világ súlypontja keletre tolódott

A 19. században az ipari forradalom központja Európa volt. Nagy-Britannia szénbányái, vaskohói, textilgyárai és vasútjai megteremtették a modern ipari termelés alapjait. Később Németország, Franciaország és más európai országok is jelentős ipari hatalmakká váltak.

A 20. században az Egyesült Államok lépett a világ gazdasági és technológiai fejlődésének élvonalába. Hatalmas acélművek, autógyárak, olajfinomítók, vegyipari üzemek és erőművek épültek. Az amerikai ipar egyre nagyobb mennyiségű energiát és nyersanyagot használt fel.

A gazdasági fejlődéssel párhuzamosan növekedett a környezetterhelés is.

Az iparosodott országok a fosszilis energiahordozók elégetésével, a bányászattal, az ipari termeléssel és a mezőgazdaság átalakításával egyre nagyobb hatást gyakoroltak a természetre.

A 20. század végén azonban a világgazdaság súlypontja fokozatosan átrendeződött.

Egyre több ipari tevékenység került Ázsiába, mindenekelőtt Kínába. Az ország néhány évtized alatt a világ egyik legfontosabb ipari központjává vált. Gyárak, erőművek, kikötők, autópályák és nagysebességű vasutak ezrei épültek ki.

A termelés növekedése rendkívüli gazdasági fejlődést eredményezett, ugyanakkor hatalmas energia- és nyersanyagigénnyel járt.

Az ezredforduló után Kína szén-dioxid-kibocsátása olyan gyorsan emelkedett, hogy megelőzte az Egyesült Államokét. Napjainkra messze a világ legnagyobb éves fosszilis szén-dioxid-kibocsátójává vált.

Ez azonban csak az egyik oldala a történetnek.

Kína gyáraiban ugyanis nem kizárólag a kínai lakosság számára készülnek termékek. A világ számos országának fogyasztói használnak Kínában előállított elektronikai eszközöket, ruházati cikkeket, gépeket és más ipari termékeket.

A termelés Kínában zajlik, a fogyasztás jelentős része azonban más kontinenseken történik.

A környezetterhelés földrajzi helye és a gazdasági haszon eloszlása így eltérhet egymástól.

Kik a világ legnagyobb kibocsátói?

Az országok környezetterhelésének összehasonlításakor először pontosan meg kell határozni, mit mérünk.

A fosszilis tüzelőanyagok elégetéséből és az ipari folyamatokból származó szén-dioxid-kibocsátás az egyik legfontosabb mutató, de nem azonos az összes üvegházhatású gáz kibocsátásával.

A mezőgazdaság például jelentős mennyiségű metánt és dinitrogén-oxidot bocsát ki. Az erdőirtás és más földhasználati változások szintén hozzájárulhatnak a klímaváltozáshoz.

Ezért az országok sorrendje és részesedése eltérhet attól függően, hogy csak a fosszilis szén-dioxidot, vagy az összes üvegházhatású gázt vizsgáljuk.

A Global Carbon Budget 2025 adatai szerint 2024-ben a világ fosszilis és ipari szén-dioxid-kibocsátásának csaknem egyharmada Kínához kapcsolódott. Az Egyesült Államok részesedése körülbelül 13 százalék, Indiáé 8 százalék, az Európai Unióé pedig valamivel több mint 6 százalék volt.



73. ábra: A világ legnagyobb éves szén-dioxid-kibocsátói

A fosszilis energiahordozók és az ipari folyamatok szén-dioxid-kibocsátásának területi megoszlása, 2024. A földhasználati változások kibocsátása nem szerepel az ábrán.

Forrás: Global Carbon Budget 2025, Our World in Data.

A számokból kitűnik, hogy Kína, az Egyesült Államok, India és az Európai Unió együttesen a globális fosszilis szén-dioxid-kibocsátás közel háromötödéért felel.

A világ többi részének részesedése azonban szintén jelentős.

Ráadásul a különböző országok egészen eltérő gazdasági és társadalmi helyzetben vannak.

Az Egyesült Államok magas jövedelmű, fejlett ipari és szolgáltató gazdaság. Kína hatalmas ipari termeléssel és nagy népességgel rendelkezik. India pedig olyan ország, ahol a gyors gazdasági fejlődés ellenére az egy főre jutó jövedelem és energiafelhasználás még jóval alacsonyabb.

Ezért önmagában az országok teljes kibocsátásának összehasonlítása nem ad teljes képet a környezeti felelősségről.

Amerika: a modern fogyasztói társadalom kialakulása

Az Egyesült Államok környezeti szerepét nem lehet kizárólag a jelenlegi éves kibocsátás alapján megítélni.

Az ország több mint egy évszázadon keresztül a világ egyik legnagyobb ipari termelője és energiafogyasztója volt.

A 20. században az amerikai gazdaság fejlődése szorosan összekapcsolódott az olcsó fosszilis energiával.

Az autózás tömegessé vált, kiépült az országos autópálya-hálózat, hatalmas elővárosi lakóterületek jöttek létre, és elterjedtek az energiaigényes háztartási berendezések.

Az amerikai életforma számos eleme más országokban is mintává vált.

Az autó, a családi ház, a légkondicionálás, a nagy bevásárlóközpont és a tömegfogyasztás a gazdasági fejlődés és a jólét jelképe lett.

Ez a fejlődés kétségtelenül növelte az életszínvonalat.

Ugyanakkor jelentős energia- és anyagfelhasználással járt.

Az Egyesült Államok egy főre jutó szén-dioxid-kibocsátása ma is lényegesen meghaladja a világátlagot.

A történelmi kibocsátások szempontjából pedig különösen fontos, hogy a korábbi évtizedek szén-dioxid-kibocsátásának egy része ma is hozzájárul a légkör megnövekedett szén-dioxid-koncentrációjához.

Az amerikai környezeti terhelés azonban nem maradt változatlan.

A gazdaság szerkezete átalakult, javult számos technológia energiahatékonysága, és a villamosenergia-termelésben a földgáz, valamint a megújuló energiaforrások részben visszaszorították a szenet.

Az Egyesült Államok területi szén-dioxid-kibocsátása a 2000-es évek közepén elért csúcs után összességében csökkent, bár az éves adatokban ingadozások is előfordulnak.

Ez fontos eredmény.

Ugyanakkor az amerikai fogyasztói társadalom hatalmas mennyiségű olyan terméket is felhasznál, amelyeket más országokban állítanak elő.

Ezek környezeti terhelésének egy része nem az amerikai területi kibocsátásban jelenik meg.

Kína: a világ gyára

Kína gazdasági felemelkedése a modern világgazdaság egyik legjelentősebb átalakulása volt.

Az 1970-es évek végétől bevezetett gazdasági reformok, a külföldi beruházások, a technológiai fejlesztések és a nemzetközi kereskedelem bővülése rendkívül gyors iparosodást eredményezett.

A folyamat különösen a 2001-es WTO-csatlakozást követően gyorsult fel.

Kína fokozatosan a világ egyik legfontosabb gyártó- és exportközpontjává vált.

A kezdeti időszakban nagy szerepet kaptak a munkaigényes iparágak, például a textil- és ruházati termelés, a játékgyártás és az egyszerűbb elektronikai összeszerelés.

Később a kínai ipar egyre összetettebb és magasabb technológiai színvonalú termékek gyártására tért át.

Napjainkban az ország meghatározó szerepet játszik az acélgyártásban, a vegyiparban, az elektronikai iparban, az akkumulátorok, a napelemek és az elektromos járművek előállításában is.

A fejlődés hatalmas energiaigénnyel járt.

Az ipari üzemeknek villamos energiára, a kohászatnak szénre és kokszra, a cementgyártásnak magas hőmérsékletű technológiai folyamatokra, az építőiparnak pedig hatalmas mennyiségű acélra és cementre volt szüksége.

Kína ezért jelentős szénalapú energetikai rendszert épített ki.

A széntüzelésű erőművek nem csupán a lakosság villamosenergia-igényét szolgálták, hanem a hatalmas ipari termelés működését is biztosították.

A kínai kibocsátások gyors növekedése tehát szorosan összekapcsolódott a világgazdaság ipari szerkezetének átalakulásával.

A kínai gyár és a nyugati vásárló

Képzeljünk el egy Európában vásárolt elektronikai eszközt.

A termék márkaneve lehet amerikai vagy európai, tervezése történhet egy nyugati kutató-fejlesztő központban, egyes alkatrészei érkezhetnek Japánból, Dél-Koreából vagy Tajvanról, míg az összeszerelést kínai üzemben végzik.

A késztermékét konténerhajó szállítja Európába, ahol egy kereskedelmi vállalat értékesíti.

A gyártáshoz felhasznált villamos energia és a kínai beszállítók ipari kibocsátása Kína területi környezeti statisztikáiban jelenik meg.

A késztermékét azonban európai fogyasztó vásárolja meg.

A termelésből keletkező jövedelem szintén több szereplő között oszlik meg: részesedik belőle az alapanyaggyártó, az összeszerelő, a szállító, a termék tervezője, a márkatulajdonos és a kereskedő.

A kibocsátás földrajzi helye tehát nem feltétlenül azonos a fogyasztás vagy a gazdasági haszon helyével.



74. ábra – A globális termelési lánc környezeti mérlege

Az egyszerűsített ábra szemlélteti, hogyan válhat el egy termék végső fogyasztásának helye az előállítása során keletkező kibocsátások helyétől. A valós termelési láncok rendszerint több országból és számos beszállítóból állnak.

A probléma elemzésére szolgál a fogyasztási alapú szén-dioxid-elszámolás.

A hagyományos, területi elszámolás a kibocsátást ahhoz az országhoz rendeli, ahol ténylegesen keletkezik.

A fogyasztási elszámolás ezzel szemben a kivitelhez kapcsolódó kibocsátásokat levonja, a behozatalhoz kapcsolódókat pedig hozzáadja az ország mérlegéhez.

Ezzel jobban megközelíthető, hogy a végső fogyasztás mekkora kibocsátással jár, függetlenül attól, hogy a termékeket hol állították elő.

Ki exportálja és ki importálja a kibocsátást?

A nemzetközi kereskedelem szén-dioxid-mérlege érdekes képet mutat.

Kína területi kibocsátása meghaladja a fogyasztási alapú kibocsátását. Ez azt jelenti, hogy az ország nettó módon több szén-dioxidot testesít meg exportált termékeiben, mint amennyi az importált termékeiben érkezik.

Az Egyesült Államok és az Európai Unió esetében ezzel ellentétes a helyzet.

A fogyasztási kibocsátás nagyobb a területinél, mivel több kibocsátás kapcsolódik az importált termékekhez, mint az exportáltakhoz.

Az Our World in Data Global Carbon Budget 2025-ből származó, 2023-as kereskedelmi adatai szerint Kína nettó exportegyenlege a területi kibocsátásának mintegy 10,8 százalékával volt egyenértékű. Az Egyesült Államok nettó importegyenlege 10,4 százalékot, az Európai Unióé pedig 32,9 százalékot tett ki.



75. ábra – A kereskedelembe beépült szén-dioxid

Az importált és exportált termékekbe beépült szén-dioxid nettó egyenlege, a területi kibocsátás arányában, 2023. A negatív érték nettó kibocsátásexportot, a pozitív nettó kibocsátásimportot jelez.
Forrás: Global Carbon Budget 2025 / Our World in Data.

A különbség jelentős.

De nem jelenti azt, hogy Kína teljes kibocsátását a nyugati fogyasztók okoznák.

Kína belső piaca is hatalmas. A lakásépítés, az infrastruktúra-fejlesztés, a közlekedés, a hazai fogyasztás és a belső ipari termelés jelentős kibocsátásokkal jár.

Ráadásul Kína exportjának egyre nagyobb része nem kizárólag az Egyesült Államokba vagy Európába irányul, hanem Ázsia, Afrika, Latin-Amerika és a világ más térségeibe is.

A nyugati fogyasztás és a kínai kibocsátás közötti kapcsolat tehát valós, de nem magyarázza meg önmagában Kína teljes környezetterhelését.

A fogyasztási elszámolás másik fontos tanulsága, hogy a nyugati országok kibocsátáscsökkentését sem lehet kizárólag a területi statisztikák alapján értékelni.

Ha egy országban csökken az ipari termelés, miközben a fogyasztás változatlan marad, akkor a környezeti terhelés egy része egyszerűen más országba kerülhet.

A globális környezet szempontjából azonban nincs jelentősége annak, hogy ugyanaz a szén-dioxid melyik országhatár belső oldalán kerül a légkörbe.

Kína: a környezetkárosítástól a tisztább technológiákig

Kína iparosodásának első évtizedeiben a gyors gazdasági növekedés gyakran súlyos környezeti károkkal járt.

A széntüzelésű erőművek, az acélművek, a vegyipari üzemek és a közlekedés nagy mennyiségű légszennyező anyagot bocsátottak ki.

A nagyvárosok közül Peking és több észak-kínai ipari központ különösen súlyos légszennyezési problémákkal küzdött.

A folyók és tavak szennyezése, valamint egyes bányászati térségek környezeti terhelése szintén jelentős volt.

A kínai vezetés az elmúlt másfél évtizedben azonban egyre nagyobb erőforrásokat fordított a légszennyezés csökkentésére és az energiarendszer átalakítására.

A széntüzelésű létesítményekben elterjedtek a korszerűbb füstgáztisztító rendszerek, a nagyvárosokban korlátoztak bizonyos szennyező tevékenységeket, és jelentős beruházások kezdődtek a villamos közlekedés, a napenergia és a szélenergia területén.

Kína napjainkra nemcsak a világ legnagyobb szén-dioxid-kibocsátója, hanem a megújulóenergia-technológiák egyik legjelentősebb gyártója és telepítője is.

Ez a kettősség gyakran nehezen érthető a közvélemény számára.

Pedig nincs benne ellentmondás.

Egy ország egyszerre rendelkezhet hatalmas, szénre épülő ipari rendszerrel és gyorsan fejlődő megújulóenergia-ágazattal.

Az új technológiák terjedése ugyanis nem jelenti a régi infrastruktúra azonnali megszűnését.

Kína energiaellátásának és iparának átalakulása ezért hosszú folyamat. A megújuló villamosenergia-termelés gyors növekedése mellett továbbra is jelentős a szén szerepe, különösen az iparban és a villamosenergia-rendszerben.

Ráadásul a szén nem minden felhasználása helyettesíthető egyszerűen megújuló villamos energiával. Az acélgyártásban például a koksznak nemcsak energetikai, hanem kémiai szerepe is van.

A kínai gazdaság átalakulása ezért nem pusztán több napelem és szélturbina építését jelenti.

A teljes ipari rendszer technológiai megújulását igényli.

India: több mint egymilliárd ember felzárkózása

India helyzete alapvetően eltér az Egyesült Államokétól és Kínáétól.

Az ország népessége már meghaladja Kínáét, gazdasága gyorsan fejlődik, de az egy főre jutó jövedelem és energiafelhasználás még jóval alacsonyabb a fejlett ipari országokénál.

India számára az egyik legfontosabb feladat a gazdasági fejlődés feltételeinek megteremtése.

Új lakásokra, utakra, vasutakra, kórházakra, iskolákra, vízellátási rendszerekre és ipari létesítményekre van szükség.

A növekvő középosztály több villamos energiát, közlekedési lehetőséget és fogyasztási terméket igényel.

Mindez jelentős energia- és anyagfelhasználással jár.

India ma már a világ harmadik legnagyobb éves fosszilis szén-dioxid-kibocsátója, kibocsátása azonban az egy főre jutó értéket tekintve továbbra is jóval alacsonyabb, mint az Egyesült Államoké vagy Kínáé.

A Global Carbon Budget 2025 becslése szerint India fosszilis kibocsátása 2024-ben mintegy 4 százalékkal nőtt, miközben az ország egy főre jutó kibocsátása továbbra is viszonylag alacsony maradt.

A teljes kibocsátás és az egy főre jutó érték közötti különbség itt különösen fontos.

Egy több mint 1,4 milliárd lakosú ország akkor is nagy globális kibocsátó lehet, ha lakosainak átlagos energiafelhasználása viszonylag szerény.

Az indiai gazdaság számára a szén egyelőre fontos villamosenergia-forrás. A hazai szénkészletek felhasználása az energiaellátás biztonságát és az importfüggőség mérséklését is szolgálja.

Ugyanakkor India jelentős napenergia-fejlesztéseket hajt végre, és a megújuló villamosenergia-termelés bővítését stratégiai célnak tekinti.

Az ország előtt álló kihívás nem egyszerűen az, hogy kevesebb energiát használjon.

A gazdasági felzárkózáshoz sok területen több energiára lesz szükség.

A kérdés az, hogyan lehet ezt az igényt olyan technológiákkal kielégíteni, amelyek kisebb környezeti terheléssel járnak, mint a korábbi iparosodási modellek.

Vajon Indiának is végig kell járnia a szénre épülő fejlődés útját?

Európa és Amerika iparosodása hosszú időn keresztül a szénre, majd a kőolajra és a földgázra épült.

India azonban ma már olyan technológiákhoz férhet hozzá, amelyek az ipari forradalom idején nem léteztek.

A napenergia, a korszerű villamosenergia-hálózatok, az energiatárolás, az elektromos közlekedés és a hatékonyabb ipari folyamatok lehetőséget teremtenek arra, hogy az ország gazdasági növekedése kisebb kibocsátással járjon.

Ez azonban nem automatikus.

A megújuló energiaforrások fejlesztéséhez jelentős beruházások, megfelelő hálózatok, energiatárolási megoldások és megbízható szabályozási környezet szükséges.

A villamosenergia-termelés átalakítása ráadásul nem oldja meg önmagában az acél-, cement- és vegyipar környezeti problémáit.

Az energia átmenetnek ezért a teljes gazdasági szerkezetet érintenie kell.

India példája különösen jól mutatja a klímavédelem és a társadalmi fejlődés közötti kapcsolatot.

Egy alacsony jövedelmű család számára a villamos energia nem luxus. A világítás, a hűtés, az egészségügyi ellátás, a kommunikáció és az oktatás alapfeltétele lehet.

A környezetvédelmi intézkedéseknek ezért az emberek életminőségét is figyelembe kell venniük.

Nem várható el, hogy a fejlődő országok lemondjanak az alapvető infrastruktúra és életszínvonal megteremtéséről.

Az viszont közös érdek, hogy lehetőleg a korszerűbb, tisztább technológiák segítségével érjék el ezeket a célokat.

Indonézia, Vietnam és a következő ipari központok

A világgazdaság átalakulása nem állt meg Kínánál.

Az elmúlt években egyre nagyobb szerepet kaptak Délkelet-Ázsia országai is.

Vietnam jelentős elektronikai, textilipari és egyéb exporttermelő központtá vált. Indonézia nagy népessége és gazdag ásványkincsei révén egyre fontosabb szerepet játszik az ipari termelésben.

A Fülöp-szigetek, Thaiföld, Malajzia és más országok szintén részt vesznek a nemzetközi beszállítói hálózatokban.

A fejlődés gazdasági lehetőségeket teremt, de új környezeti terhelésekkel is jár.

Indonézia például jelentős szénkészletekkel rendelkezik, és a szén felhasználása továbbra is fontos szerepet játszik az energiaellátásában.

Ugyanakkor az ország a világ egyik legfontosabb nikkeltermelője is.

A nikkel számos ipari felhasználás mellett egyes akkumulátortípusok fontos alapanyaga. A bányászat és az ércfeldolgozás azonban jelentős környezeti terheléssel járhat.

A nikkelbányászat területigényes, egyes lelőhelyek kitermelése erdőirtással és talajpusztulással jár, a feldolgozáshoz pedig nagy mennyiségű energia szükséges.

Ha az akkumulátorgyártáshoz felhasznált fémet szénalapú energiával dolgozzák fel, az növeli a végtermék előállításának szén-dioxid-kibocsátását.

Itt ismét megjelenik a korábbi fejezetek egyik alapkérdése.

Egy környezetkímélőbb technológia előállítása is okozhat környezeti károkat.

Ez nem jelenti azt, hogy az elektromos járművek vagy az akkumulátorok összességében környezeti szempontból kedvezőtlenebbek lennének a korábbi technológiáknál.

Azt jelenti, hogy a teljes életciklust kell vizsgálni, és az előállítás környezeti terheit is csökkenteni kell.

A gazdasági fejlődés és a környezetvédelem közötti kapcsolat tehát egyre összetettebbé válik.

Afrika: a még előttünk álló iparosodás

Afrika különleges helyet foglal el a globális környezeti mérlegben.

A kontinens népessége gyorsan növekszik, ugyanakkor az egy főre jutó energiafelhasználás és fosszilis szén-dioxid-kibocsátás számos országban rendkívül alacsony.

A Global Carbon Budget 2025 adatai szerint Afrika a világ fosszilis és ipari szén-dioxid-kibocsátásának 2024-ben kevesebb mint 4 százalékáért volt felelős.

Ez azonban nem jelenti azt, hogy a kontinensnek ne lenne jelentős szerepe a jövő globális energia- és környezetpolitikájában.

Afrika országainak gazdasági helyzete nagyon különböző. Vannak jelentős ipari és energiaexportáló államok, gyorsan fejlődő városok, valamint olyan vidéki térségek, ahol az alapvető infrastruktúra kiépítése is komoly kihívást jelent.

A következő évtizedekben a népesség növekedése, az urbanizáció és a gazdasági felzárkózás jelentős többletenergia-igényt teremthet.

A fejlesztések iránya ezért hosszú távon globális jelentőségű.

Ha az új energiaellátási rendszerek döntően fosszilis tüzelőanyagokra épülnek, az növelheti a világ kibocsátásait.

Ha viszont korszerűbb, kisebb kibocsátású technológiák terjednek el, a kontinens egyes térségei elkerülhetik a korábbi iparosodás bizonyos környezeti következményeit.

Ehhez azonban nem elegendő pusztán környezetvédelmi célokat megfogalmazni.

Beruházásokra, oktatásra, megbízható intézményekre, helyi szakértelemre és működőképes gazdasági rendszerekre is szükség van.

Az afrikai fejlődés környezeti szempontból ezért nem kizárólag kibocsátáscsökkentési kérdés.

Annak a lehetősége is, hogy egy kontinens jelentős része új technológiai feltételek között alakíthassa ki modern infrastruktúráját.

A feltörekvő gazdaságok nem azonosak

A fejlődő országok kifejezést gyakran úgy használjuk, mintha egységes gazdasági és környezeti helyzetű ország csoportról lenne szó.

A valóságban hatalmas különbségek vannak közöttük.

Kína már globális technológiai és ipari nagyhatalom. India hatalmas népességű, gyorsan fejlődő gazdaság. Indonézia jelentős nyersanyagtermelő és ipari központ, míg számos afrikai országban az alapvető infrastruktúra kiépítése is kiemelt feladat.

Ezeket az országokat nem lehet azonos kibocsátás csökkentési vagy iparpolitikai feltételekkel kezelni.

Különbséget kell tenni a teljes kibocsátás, az egy főre jutó kibocsátás, a történelmi felelősség és a gazdasági lehetőségek között.

A környezetpolitikai eszközök megválasztásánál az energiaellátás biztonsága, a szegénység csökkentése és a gazdasági fejlődés feltételei is fontos szempontok.

Ez azonban nem jelenti azt, hogy a környezetvédelmi követelményeket korlátlanul háttérbe lehetne szorítani a fejlődés érdekében.

A környezeti károk ugyanis gyakran éppen a szegényebb lakosságot érintik legsúlyosabban.

A rossz levegő, a szennyezett ivóvíz, a talajpusztulás és a természeti katasztrófák következményeit azok viselik nehezebben, akiknek kevesebb lehetőségük van alkalmazkodni vagy védekezni.

A környezetvédelem ezért nem feltétlenül a gazdasági fejlődés ellenfele.

Megfelelően kialakítva annak hosszú távú feltételeit is javíthatja.

Kié a felelősség?

A világ kibocsátásainak földrajzi átrendeződése új helyzetet teremtett a nemzetközi környezetpolitikában.

A fejlett ipari országok történelmileg jelentős mennyiségű szén-dioxidot bocsátottak ki. Gazdasági fejlődésük hosszú időn keresztül a fosszilis energiahordozók felhasználására épült.

A jelenlegi éves kibocsátásokban azonban már Kína a meghatározó szereplő, és India, valamint más feltörekvő gazdaságok jelentősége is növekedett.

A gazdag országok fogyasztása ugyanakkor továbbra is jelentős környezeti terhelést idéz elő a világ más részein.

Ezért a felelősség kérdésére nem adható kielégítő válasz egyetlen mérőszám alapján.

A történelmi kibocsátás azt mutatja meg, kik járultak hozzá a múltban legnagyobb mértékben a fosszilis szén-dioxid felhalmozódásához.

A jelenlegi területi kibocsátás azt jelzi, hol keletkezik ma a szennyezés.

Az egy főre jutó kibocsátás segít összehasonlítani a különböző népességű országok átlagos terhelését.

A fogyasztási alapú elszámolás pedig megmutatja, hogyan kapcsolódnak a nemzetközi kereskedelemben előállított termékek a végső fogyasztáshoz.

Mindegyik megközelítés fontos, de egyik sem helyettesíti a többit.

Ráadásul a nemzetközi gazdasági kapcsolatokban a felelősség sem kizárólag egyetlen szereplőé. Egy termék előállításának környezeti hatásait befolyásolja a gyártó technológiája, az energiaellátás összetétele, a megrendelő követelményei, az állami szabályozás és a fogyasztói kereslet is.

A megoldáshoz ezért nem elegendő, ha a fejlett országok egyszerűen másokra hárítják a kibocsátások csökkentését.

Ugyanakkor az sem lenne megfelelő megközelítés, ha a feltörekvő gazdaságok a fejlett országok történelmi kibocsátásaira hivatkozva korlátlanul növelnék saját környezeti terhelésüket.

A kérdés nem az, hogy kizárólag ki a hibás.

Sokkal inkább az, hogyan lehet a globális termelést és fogyasztást úgy átalakítani, hogy közben a gazdasági fejlődés lehetősége is megmaradjon.

A következő ipari forradalom környezeti mérlege

A világgazdaság története során az ipari termelés súlypontja többször áthelyeződött.

A 19. században Európa, a 20. században az Egyesült Államok, a 21. század elején pedig egyre inkább Ázsia vált a globális ipari fejlődés meghatározó központjává.

Az átalakulás azonban nem egyszerűen azt jelenti, hogy a gyárak egyik kontinensről a másikra költöztek.

A modern termelés ma már kontinenseken átívelő hálózatokban működik. Egyetlen termék alkatrészei több országban készülhetnek, miközben a tervezés, a gyártás, az értékesítés és a végső fogyasztás teljesen eltérő térségekben történik.

A környezetterhelés ezért egyre nehezebben rendelhető kizárólag egyetlen országhoz.

A gazdasági fejlődés előnyei és a termelés környezeti költségei gyakran földrajzilag elkülönülnek. Ugyanakkor a fejlődés új lehetőségeket is kínál.

A megújuló energia, a korszerű ipari folyamatok, az energiatakarékosság, az anyagok újrahasznosítása és a digitális technológiák csökkenthetik a termelés környezeti terhelését.

De ezeknek a megoldásoknak is vannak nyersanyag-, energia- és infrastruktúraigényeik, amelyeket ugyanúgy figyelembe kell venni.

A környezetvédelem ezért nem állhat meg az egyes országok határainál vagy a gyárak kapuinál. A teljes termelési és fogyasztási láncot vizsgálnia kell.

A világ környezeti problémáit nem lehet megoldani azzal, hogy a szennyező gyárakat egyszerűen más országokba helyezzük át. A valódi eredmény nem az, ha a környezeti terhelés eltűnik a szemünk elől, hanem az, ha ténylegesen csökken.

A modern világgazdaság egyik legfontosabb környezeti kihívása éppen ez.

Hogyan biztosíthatjuk a növekvő népesség és a fejlődő társadalmak számára a magasabb életszínvonalat úgy, hogy közben ne ismételjük meg a korábbi iparosodás legsúlyosabb hibáit?

A válasz nem lehet egyszerűen a fogyasztás vagy a termelés egyik országra történő áthárítása.

A környezetterhelés mérséklése közös technológiai, gazdasági és társadalmi feladat.

A fejezet adatainak fő forrásai:

- Global Carbon Budget 2025 – a globális és országonkénti fosszilis szén-dioxid-kibocsátások.
- Our World in Data – A világ CO_2-kibocsátásának megoszlása – a 2024-es területi kibocsátási adatok.
- Our World in Data – Fogyasztási alapú kibocsátások – a nemzetközi kereskedelembe beépült szén-dioxid.
- Európai Bizottság JRC – EDGAR 2026 – az üvegházhatású gázok országonkénti, 2025-ig terjedő kibocsátási adatai.

12. Banglades – amikor mások szennyezésének is megfizetjük az árát

Egy ország három nagy folyó torkolatában

Ha a világtérképen megkeressük Bangladest, első pillantásra talán nem értjük, miért tartozik a klímaváltozás által különösen veszélyeztetett országok közé.

Területe viszonylag kicsi, ám több mint 170 millió ember él benne. A népsűrűség rendkívül magas, a lakosság jelentős része pedig folyók, árterek és alacsonyan fekvő tengerparti területek közelében lakik.

Az ország természeti adottságait három hatalmas folyórendszer határozza meg: a Gangesz, a Brahmaputra és a Meghna.

Ezek a folyók a Himalájából, valamint Dél-Ázsia más térségeiből szállítják a vizet és a hordalékot a Bengáli-öböl felé. Évmilliók során hatalmas deltavidéket alakítottak ki, amelynek termékeny talajai kedvező feltételeket biztosítottak a mezőgazdaságnak.

Banglades történelme ezért elválaszthatatlan a víztől.

A folyók évszakos áradásai hosszú időn keresztül táplálták a termőföldeket, utánpótolták a talaj tápanyagait és lehetővé tették a jelentős mezőgazdasági termelést.

A víz azonban nemcsak az élet feltétele, hanem állandó veszélyforrás is.

A monszunesők idején hatalmas vízmennyiség érkezhet a folyókba. A Himalája hó- és jégolvadása, a vízgyűjtők csapadéka és a helyi esőzések együttesen súlyos árvizeket okozhatnak.

A tengerparti térségeket pedig a Bengáli-öbölből érkező trópusi ciklonok veszélyeztetik.

Banglades lakói évszázadok óta alkalmazkodnak ezekhez a körülményekhez.

A klímaváltozás azonban újabb terhelést jelent egy eleve sérülékeny természeti és társadalmi rendszer számára.

A történet különösen fontos tanulsága, hogy a klímaváltozás következményei nem feltétlenül ott jelentkeznek a legsúlyosabban, ahol az azokat előidéző üvegházhatású gázokat kibocsátották.

Az árvizek országa

Bangladesben az áradás nem minden esetben jelent katasztrófát.

A monszunhoz kapcsolódó rendszeres vízszintemelkedés a deltavidék természetes működésének része. Az áradó folyók hordalékot szállítanak, termékenyítik a talajt, és fontos szerepet játszanak a mezőgazdasági ökoszisztémák fenntartásában.

A probléma akkor kezdődik, amikor az áradás mértéke vagy időtartama meghaladja azt, amihez a települések és a gazdaság alkalmazkodni tudnak.

A súlyos árvizek lakóházakat, utakat, vasutakat és termőterületeket önthetnek el.

A víz hosszú ideig megmaradhat az alacsonyan fekvő területeken, ami megnehezíti a közlekedést, akadályozza a mezőgazdasági munkát, és növelheti a fertőző betegségek kockázatát.

Az árvízveszélyt tovább fokozza, hogy Banglades folyóinak vízgyűjtő területe nagyrészt az ország határain kívül helyezkedik el.

A csapadék jelentős része Indiában, Nepálban, Bhutánban és Kína egyes térségeiben hullik le, majd a víz Bangladesen keresztül jut a tengerbe.

A folyók állapotát ezért a felsőbb vízgyűjtő területeken végbemenő változások is befolyásolják.

Az erdőirtás, a földhasználat átalakulása, a folyószabályozás, a tározók működtetése és a csapadékviszonyok változása mind hatással lehet a vízjárásra.

A klímaváltozás a légkör melegedésén keresztül megváltoztathatja a csapadék mennyiségét és eloszlását, valamint az intenzív esőzések előfordulását.

Ez azonban nem jelenti azt, hogy Banglades minden árvize közvetlenül a klímaváltozásnak tulajdonítható.

A deltavidéken a súlyos áradások már jóval az ipari forradalom előtt is előfordultak.

A tudományos kérdés ezért nem az, hogy korábban léteztek-e árvizek, hanem az, hogyan változik ezek valószínűsége, intenzitása és következménye a melegedő éghajlatban.



76. ábra: Árvízzel elöntött települések Bangladesben. A monszunesők és a hatalmas folyórendszerek áradásai rendszeresen veszélyeztetik az alacsonyan fekvő területeket. A klímaváltozás a csapadékviszonyok módosításával tovább alakíthatja ezt a kockázatot. Dokumentumfotó-illusztráció.

A Bengáli-öböl pusztító viharai

A Bengáli-öböl a világ egyik legveszélyesebb térsége a trópusi ciklonok szempontjából.

A ciklonok kialakulásához meleg tengervíz, megfelelő légköri nedvesség és kedvező légköri feltételek szükségesek.

A trópusi ciklon nem egyszerűen rendkívül erős széllel járó vihar.

A legnagyobb pusztítást gyakran a tenger vízszintjének hirtelen megemelkedése, a vihardagály okozza.

A ciklon alacsony légnyomása és erős szelei a tenger vizét a part felé torlaszolhatják. A vízszint ilyenkor több méterrel megemelkedhet, és hatalmas területeket áraszthat el.

Banglades sekély, tölcsérszerűen szűkülő partvidéke különösen kedvezőtlen ebből a szempontból.

Az érkező víztömeg a part közelében feltorlódhat, miközben az alacsonyan fekvő településeknek kevés természetes védelmet nyújt a domborzat.

A szél, a hullámzás és a sós tengervíz együtt rendkívüli pusztítást okozhat.

A lakóházak összeomolhatnak, a földek víz alá kerülhetnek, az ivóvízkészletek elszennyeződhetnek, és a közlekedési útvonalak járhatatlanná válhatnak.

A tengerparton élő családok számára egyetlen ciklon sok év munkájának eredményét semmisítheti meg.

Az 1970-es katasztrófa

1970 novemberében a Bengáli-öbölből érkező Bhola-ciklon minden idők egyik legsúlyosabb természeti katasztrófáját okozta.

A vihar a mai Banglades területét érte el, amely akkor még Kelet-Pakisztán része volt.

A hatalmas vihardagály rendkívüli pusztítást végzett a deltavidék alacsonyan fekvő szigetein és part menti településein.

A halálos áldozatok számát a különböző becslések mintegy 300–500 ezer főre teszik.

A Meteorológiai Világszervezet szerint a Bhola-ciklon a feljegyzett történelem legtöbb halálos áldozatot követelő trópusi ciklonja volt.

A katasztrófa következményeit súlyosbította a figyelmeztető rendszerek fejletlensége, a biztonságos menedékhelyek hiánya, valamint a nehezen megközelíthető települések nagy száma.

Az emberek jelentős része nem rendelkezett megfelelő információval a közelgő veszély nagyságáról, vagy nem volt hová menekülnie.

Az 1970-es katasztrófa nemcsak humanitárius, hanem történelmi és politikai fordulópont is volt.

A katasztrófa utáni segítségnyújtás hiányosságai tovább növelték az akkori pakisztáni központi kormányzattal szembeni elégedetlenséget.

Banglades 1971-ben vált független állammá.

A Bhola-ciklon története azonban nem kizárólag a múlt tragédiája miatt fontos.

Az ország későbbi alkalmazkodásának kiindulópontjává is vált.

Amikor a felkészülés életeket ment

A ciklonok elleni védekezés Banglades egyik legjelentősebb környezetbiztonsági sikertörténete.

Az 1970-es katasztrófát követően fokozatosan fejlesztették a meteorológiai előrejelzést, a figyelmeztető rendszereket és a lakosság kitelepítésének lehetőségeit.

Biztonságos menedékhelyek épültek, amelyek magasított, erős szerkezetű épületekként képesek ellenállni a viharok és a vízbetörés jelentős részének.

Ezeket gyakran a mindennapi életben is használják.

Egy épület például iskolaként működhet, de ciklonveszély esetén több száz ember számára biztosíthat átmeneti menedéket.

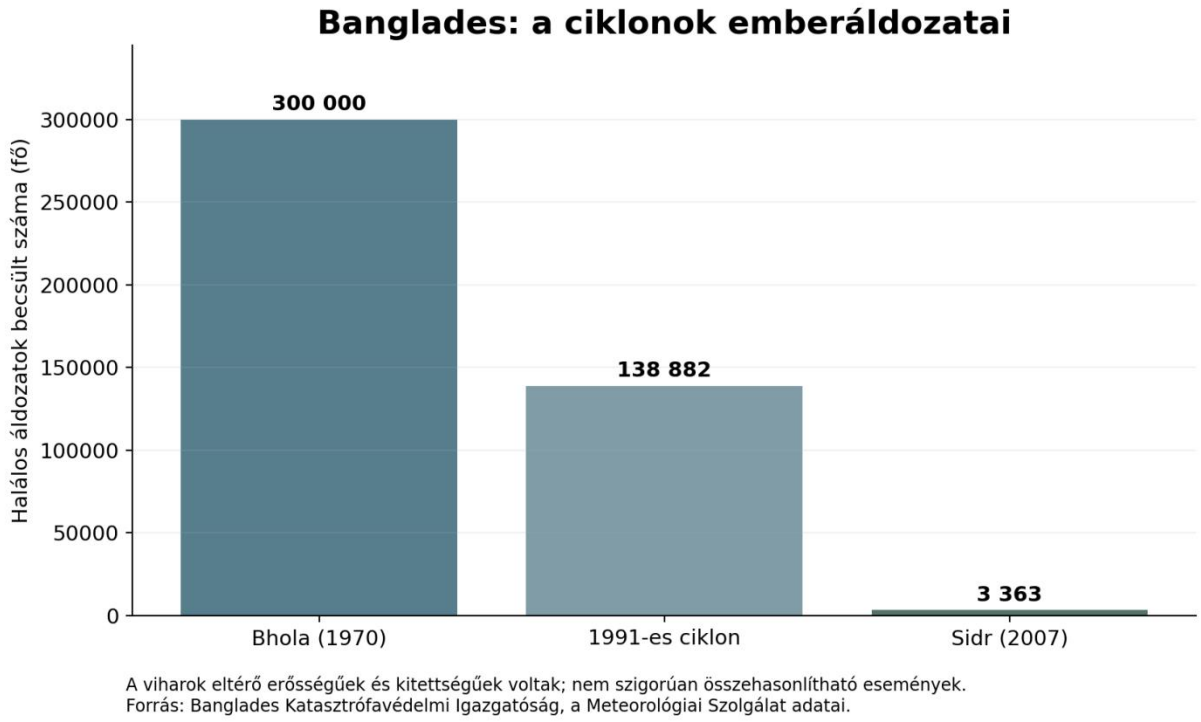
A közösségi figyelmeztető hálózatokban önkéntesek tízezrei vesznek részt.

A meteorológiai előrejelzésekből származó információkat helyi szinten is eljuttatják a lakossághoz, és segítik a veszélyeztetett családok biztonságos helyre jutását.

A fejlődés eredményei figyelemre méltók.

Az 1991-es ciklon még csaknem 139 ezer ember halálát okozta, a 2007-es Sidr-ciklon áldozatainak száma azonban már körülbelül 3400 volt.

Az egyes viharok nem teljesen összehasonlíthatók, hiszen pályájuk, erősségük, az érintett népesség és a vihardagály jellemzői is különböznek. A hosszabb távú halálozási adatok mégis egyértelműen jelzik a katasztrófavédelem fejlődését.



77. ábra: A ciklonok halálos áldozatainak csökkenése

A Bhola-ciklon (1970), az 1991-es ciklon és a Sidr (2007) becsült halálos áldozatainak száma. A viharok eltérő körülményei miatt az értékek nem alkalmasak arra, hogy önmagukban

meghatározzuk a védekezés eredményességének pontos mértékét. A hosszú távú fejlődésben ugyanakkor jelentős szerepe volt a korai előrejelzésnek, az evakuálásnak és a menedékhelyek építésének. Forrás: Bangladesh Department of Disaster Management.

A menedékhely, amely máskor iskola



78. ábra: Többfunkciós ciklonmenedékhely Banglades Satkhira térségében. A megemelt épület hétköznap iskolaként működik, ciklonveszély idején pedig biztonságos menedéket nyújt a lakosságnak. Az ilyen épületek fontos szerepet játszanak a természeti katasztrófák halálos áldozatainak csökkentésében.

Forrás: Világbank – Shelter from the Storm.

A tartópillérekre emelt vasbeton szerkezet lehetővé teszi, hogy az alsó szintet elöntse a víz, miközben a felső szinten emberek találhatnak menedéket. A Világbank beszámolói szerint a bangladesi parti védelmi programokban a menedékhelyek építését töltések megerősítésével, természetalapú megoldásokkal és korai figyelmeztető rendszerekkel kapcsolják össze. Egyes támogatott programok keretében százezrek jutottak nagyobb biztonsághoz.

Banglades ezzel fontos példát mutatott. Egy szegényebb ország is képes jelentősen csökkenteni a természeti veszélyek halálos következményeit, ha a tudományos előrejelzést, a megfelelő infrastruktúrát és a helyi közösségek felkészítését összekapcsolja. A siker azonban nem jelenti a veszély megszűnését.

A ciklonok továbbra is hatalmas anyagi károkat okozhatnak, lakóházakat rombolhatnak le, és tönkretehetik a mezőgazdasági termelést. A halálos áldozatok számának mérséklése mellett a megélhetés és a lakókörnyezet védelme is egyre fontosabb feladattá válik.

A tenger lassú előrenyomulása

A ciklonok néhány óra alatt hatalmas pusztítást okozhatnak. A tengerszint emelkedése ezzel szemben lassú folyamat, amelynek következményei gyakran csak évek vagy évtizedek alatt válnak nyilvánvalóvá. Banglades partvidékén mindkét jelenség fontos.

A globális felmelegedés következtében a tengervíz melegszik és hőtáguláson megy keresztül. A szárazföldi jégtakarók és gleccserek olvadása további vízmennyiséget juttat az óceánokba. Ezek a folyamatok együttesen emelik a globális átlagos tengerszintet.

A helyi tengerszintváltozás azonban nem mindenhol azonos a globális átlaggal. A tengeri áramlások, a víz hőmérséklete, a gravitációs hatások és a szárazföld függőleges mozgásai mind befolyásolják, hogy egy adott partvidéken milyen gyorsan változik a tenger relatív szintje. Bangladesben különösen fontos a talajsüllyedés.

A deltavidék üledékei természetes módon tömörödhetnek, egyes területeken pedig a felszín alatti víz kitermelése és más emberi tevékenységek is hozzájárulhatnak a süllyedéshez. Ha a tenger emelkedik, miközben a szárazföld süllyed, akkor a lakosság szempontjából a két folyamat hatása összeadódhat.

Az alacsonyan fekvő part menti területeken így gyakoribbá válhat a tengervíz betörése, nagyobb területeket érhetnek el a vihardagályok, és növekedhet a talaj, valamint a felszín alatti vízkészletek sótartalma. A helyzetet tovább bonyolítja, hogy a Gangesz–Brahmaputra–Meghna-delta nem mozdulatlan földdarab. A folyók folyamatosan hordalékot szállítanak, egyes helyeken új területeket építenek, máshol erózió pusztítja a partokat.

Ezért félrevezető lenne úgy ábrázolni Banglades jövőjét, mintha egyetlen tengerszint-emelkedési adatból pontosan kiszámítható volna, hogy egy meghatározott évben az ország hány százaléka kerül víz alá. A tényleges következményeket a tengerszint-változás, a talajmozgás, a hordalékszállítás, a folyómedrek átalakulása és a védekezés együtt határozza meg.

Az elsósodó termőföld

A tengerparti területeken élők számára a klímaváltozás egyik legsúlyosabb következménye nem feltétlenül az, hogy egy települést elönt a víz. Sokszor az is elegendő, ha a víz összetétele változik meg. A tengervíz sókat tartalmaz, amelyek nagyobb mennyiségben számos termesztett növény számára kedvezőtlenek.

Ha a sós víz egy ciklon idején bejut a termőföldekre, vagy a száraz évszakban egyre messzebb hatol fel a folyótorkolatokba, növekedhet a talaj sótartalma. Az elsósodott talajból a növények nehezebben tudják felvenni a szükséges vizet.A rizs és más mezőgazdasági növények hozama csökkenhet, egyes területeken pedig megváltozhat a termeszthető növények köre.

A probléma nemcsak a mezőgazdaságot érinti. A sós víz beszivároghat a felszín alatti vízkészletekbe, és ronthatja az ivóvízellátás lehetőségeit. Egy család számára ezért az elsósodás egyszerre jelenthet megélhetési és egészségügyi kockázatot. A folyamat kialakulásában több tényező játszik szerepet. A tengerszint-emelkedés mellett fontos a folyók édesvízhozama, a száraz évszak hossza, a csapadékviszonyok változása, valamint a helyi vízgazdálkodás.

Bizonyos térségekben a sós vizet használó akvakultúra, például a garnélatenyésztés is módosíthatja a környező földek és vizek sóháztartását. Nem minden elsósodás tulajdonítható tehát közvetlenül a klímaváltozásnak. A felmelegedés és a tengerszint-emelkedés azonban súlyosbíthatja a már meglévő problémákat.

A Világbank bangladesi vizsgálatai külön foglalkoztak azzal, hogyan növekedhet a part menti folyók sótartalma, és ez milyen következményekkel járhat a mezőgazdaságra és más gazdasági tevékenységekre.

Ahol a föld már nem művelhető

A tengerparti falvakban a termőföld nem csupán gazdasági érték. Gyakran egy család legfontosabb vagyontárgya és megélhetésének alapja. Ha a föld tartósan elsósodik, az embereknek új növényeket vagy más gazdasági tevékenységet kell keresniük.

Egyes gazdálkodók sótűrőbb rizsfajtákra térnek át, mások hal- vagy garnélatenyésztésbe kezdenek. Vannak, akik kénytelenek feladni a mezőgazdasági tevékenységet. Az alkalmazkodás azonban nem minden család számára egyformán könnyű. A tehetősebb gazdálkodók több lehetőséggel rendelkezhetnek.

Beruházhatnak öntözési rendszerekbe, új technológiákat vásárolhatnak, vagy más tevékenységre állhatnak át. A szegényebb családok ezzel szemben gyakran nem rendelkeznek elegendő megtakarítással. Egy elvesztett termés vagy elpusztult ház, számukra hosszú időre ellehetetlenítheti a megélhetést.

A környezeti változás így gazdasági egyenlőtlenséget is erősíthet. A klímaváltozás társadalmi következményeit tehát nemcsak a természeti folyamatok nagysága, hanem a közösségek alkalmazkodóképessége is meghatározza.

A lebegő kertek különös világa

Banglades egyik figyelemre méltó alkalmazkodási megoldása a vízen lebegő mezőgazdasági ágyások használata. A módszer nem új találmány. Az ország egyes déli, rendszeresen vízzel borított térségeiben már hosszú ideje alkalmazzák.

A helyi gazdálkodók vízinövényekből, például vízijácintból és más szerves anyagokból állítanak össze lebegő termesztő felületeket. Ezeken zöldségeket és palántákat nevelnek.

A módszer lehetővé teszi, hogy a gazdálkodás akkor is folytatódjon, amikor a hagyományos földterületek hosszabb időre víz alá kerülnek.



79. kép. Bangladesi asszony csónakból gondozza a vízen lebegő veteményeságyásokat. Az úszókertek vízijácintból és más növényi maradványokból készülnek, és lehetővé teszik a zöldségtermesztést a tartósan vízzel borított területeken. A hagyományos módszert a FAO 2015-ben a Globálisan Fontos Mezőgazdasági Örökségrendszerek közé emelte.

Forrás: FAO – Floating Garden Agricultural Practices, Bangladesh.

A vízinövényekből kialakított lebegő ágyásokon zöldségeket és palántákat termesztenek. Ez a hagyományos gazdálkodási módszer a vízzel borított területekhez való alkalmazkodás egyik példája. A FAO a bangladesi úszókerteket a globálisan fontos mezőgazdasági örökségrendszerek között is elismerte.

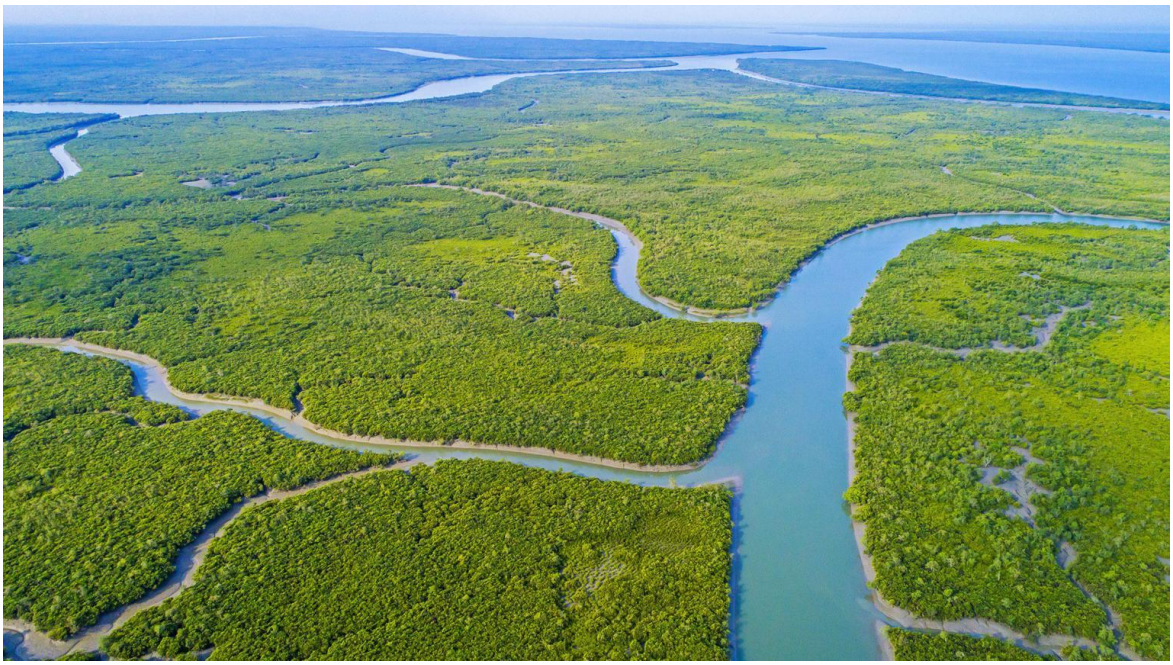
A módszer előnye, hogy helyben rendelkezésre álló anyagokkal, viszonylag egyszerű technológiával alkalmazható. Ugyanakkor nem tekinthető általános megoldásnak a partvidéki mezőgazdaság problémáira. A lebegő kertek elsősorban az édesvízzel elöntött területeken használhatók eredményesen. A nagy sótartalmú vízben történő termesztés továbbra is nehézségeket okozhat.

A történet azonban fontos tanulságot hordoz. A környezeti alkalmazkodás nem feltétlenül a legmodernebb technológia alkalmazását jelenti. Sok esetben a helyi tapasztalatok és hagyományos módszerek korszerű tudományos ismeretekkel való összekapcsolása vezethet eredményre.

A mangroveerdők mint természetes védelmi rendszerek

Banglades és India határvidékén található a Szundarbansz, a világ egyik legnagyobb összefüggő mangroveerdő-rendszere. A mangroveerdők különleges növénytársulások, amelyek a trópusi és szubtrópusi partvidékek sós vagy félsós vizű környezetében élnek.

Gyökérzetük hozzájárul az üledék megkötéséhez, és bizonyos körülmények között mérsékelheti a hullámzás erejét. A mangroveerdők emellett fontos élőhelyei számos halnak, ráknak, madárnak és más állatnak. Szerepük ezért egyszerre ökológiai és gazdasági.



80. ábra: A Szundarbansz mangroveerdeje.

A mangrovék gyökérzete segíti a part menti üledék megtartását, és mérsékelheti a hullámzás káros hatásait. Súlyos ciklonok ellen azonban önmagukban nem nyújtanak teljes védelmet. A mangroveerdők jelentősége különösen megnőtt a természetalapú védekezési megoldások iránti érdeklődéssel. A tengerparti erdők helyreállítása és védelme hozzájárulhat a partok ellenálló képességének növeléséhez.

A mangrovék azonban nem helyettesítik mindenhol a töltéseket, a korai figyelmeztető rendszereket vagy a biztonságos menedékhelyeket. A védelem hatékonysága a helyi tengerparti adottságoktól, a növényzet állapotától és a vihar erősségétől is függ. A sikeres alkalmazkodás ezért többféle megoldás együttes alkalmazását igényli.

A klímaváltozás és a vándorlás

A természeti veszélyek következményei nem korlátozódnak az érintett településekre. Ha egy család elveszíti otthonát, termőföldjét vagy megélhetési lehetőségét, gyakran kénytelen máshol újrakezdeni az életét.

Bangladesben a belső vándorlás régóta fontos társadalmi jelenség. A vidéki lakosság egy része a nagyvárosokba, mindenekelőtt Dakkába költözik, ahol ipari vagy szolgáltatási munkát keres. A költözéseknek számos oka lehet. A gazdasági lehetőségek, a bérek, az oktatás, a családi kapcsolatok és a földtulajdon viszonyai egyaránt befolyásolják a döntéseket.

A környezeti károk és természeti katasztrófák további tényezőt jelenthetnek. Egy súlyos árvíz vagy ciklon után a család ideiglenesen elhagyhatja otthonát. Ha a föld tartósan terméketlenné válik, vagy az épületeket ismételten elpusztítja a víz, az ideiglenes vándorlás véglegessé válhat. A klímaváltozás azonban ritkán egyetlen, elszigetelt oka a migrációnak.

A környezeti, gazdasági és társadalmi tényezők összekapcsolódnak. Ezért óvatosan kell kezelni azokat az előrejelzéseket, amelyek pontos számot próbálnak rendelni a jövőben várható „klímamenekültekhez". A migráció mértéke ugyanis nemcsak az éghajlatváltozástól, hanem a gazdasági fejlődéstől, a várostervezéstől, a mezőgazdaság alkalmazkodásától és a védekezési beruházásoktól is függ.

A jól működő alkalmazkodási politika csökkentheti a kényszerű elvándorlást. De bizonyos helyzetekben maga az előre megtervezett, biztonságos áttelepülés is része lehet az alkalmazkodásnak.

Miért igazságtalan a klímaváltozás következményeinek eloszlása?

Banglades esete különösen világosan mutatja meg a történelmi kibocsátások és a jelenlegi környezeti károk közötti különbséget. Az ország lakossága nagy, gazdasága fejlődik, de az egy főre jutó fosszilis szén-dioxid-kibocsátása jóval a világátlag alatt marad. Banglades történelmi hozzájárulása a légkörben felhalmozódott fosszilis szén-dioxidhoz szintén viszonylag kicsi.

A klímaváltozás következményei azonban az országot különösen súlyosan érinthetik. Ennek oka nem kizárólag a földrajzi elhelyezkedés. A nagy népsűrűség, a szegénység, a mezőgazdaságtól való függés és a települések sérülékenysége egyaránt befolyásolja a kockázatot.

A gazdagabb országok lakossága általában több pénzügyi és technikai lehetőséggel rendelkezik a védekezéshez. Biztosításokat köthet, ellenállóbb épületeket építhet, fejlett vízgazdálkodási rendszereket működtethet, és nagyobb forrásokat fordíthat az infrastruktúra helyreállítására. Egy szegényebb országban ugyanannak a természeti eseménynek arányaiban sokkal súlyosabb társadalmi következményei lehetnek. A klímaváltozás ezért nemcsak fizikai folyamat. Egyben az emberi társadalmak közötti különbségeket is felerősítheti.

Ugyanakkor a helyzet nem írható le pusztán úgy, hogy Banglades kizárólag más országok szennyezésének áldozata. Az árvizek és ciklonok természetes eredetű veszélyei a klímaváltozás előtt is léteztek. A helyi földhasználat, vízgazdálkodás, gazdasági fejlődés és településtervezés szintén befolyásolja a károk mértékét.

A klímaváltozás ezeket a meglévő kockázatokat módosítja, és egyes esetekben fokozza. A történelmi felelősség kérdését ezért nem szabad összekeverni az egyes természeti katasztrófák közvetlen okainak meghatározásával.

Az egyik a globális éghajlati rendszer hosszú távú változásáról szól. A másik arról, hogy egy adott esemény kialakulásában milyen szerepet játszottak a természetes és emberi eredetű tényezők.

Ki fizeti meg az alkalmazkodás költségeit?

A klímaváltozáshoz való alkalmazkodás sok esetben hatalmas beruházásokat igényel. Bangladesben töltéseket kell építeni és megerősíteni, biztonságos menedékhelyeket kell fenntartani, javítani kell az ivóvízellátást, és fejleszteni kell a mezőgazdasági technológiákat. A vízgazdálkodási rendszereknek egyszerre kell kezelniük a monszun idején jelentkező víztöbbletet és a száraz évszakban fellépő vízhiányt.

A tengerparti védekezés pedig folyamatos karbantartást követel. Ezek a feladatok jelentős pénzügyi forrásokat igényelnek egy olyan országban, ahol a társadalomnak az egészségügy, az oktatás, a lakhatás és a gazdasági fejlődés területén is nagy szükségletei vannak.

Ezért a nemzetközi klímapolitikában egyre fontosabbá vált az alkalmazkodás finanszírozásának kérdése. A fejlett országok történelmi kibocsátásai és nagyobb pénzügyi lehetőségei alapján felmerül, hogy arányosan nagyobb részt vállaljanak a leginkább veszélyeztetett országok támogatásából. A segítség azonban nem helyettesítheti a helyi intézmények működését.

Egy korszerű töltés vagy menedékhely csak akkor nyújt tartós védelmet, ha megfelelően tervezik meg, karbantartják, és a helyi közösségek ismerik a használatát. A sikeres alkalmazkodáshoz ezért nemcsak pénz, hanem szaktudás, szervezettség és folyamatos társadalmi együttműködés is szükséges.

Banglades nemcsak áldozat, hanem példa is

Banglades történetét könnyű lenne kizárólag a klímaváltozás veszélyeiről szóló figyelmeztetésként bemutatni.

Az ország azonban ennél sokkal összetettebb és tanulságosabb példát kínál. A természeti veszélyek súlyosak, a gazdasági lehetőségek korlátozottak, és a klímaváltozás további nehézségeket teremt. Mégis, az elmúlt évtizedek során

Banglades jelentős eredményeket ért el a ciklonok halálos következményeinek csökkentésében. A meteorológiai előrejelzés, a közösségi figyelmeztető rendszerek, a menedékhelyek építése és a helyi önkéntesek munkája együttesen emberek sokaságának életét mentette meg.

A mezőgazdaságban hagyományos és korszerű alkalmazkodási megoldásokat is alkalmaznak. A part menti töltések fejlesztése, a mangroveerdők védelme, a sótűrőbb növényfajták alkalmazása és az ivóvízellátás javítása mind a sérülékenység csökkentését szolgálják.

A Világbank 2022-es ország értékelése külön kiemelte Banglades katasztrófakockázat-kezelési eredményeit, köztük a parti védelmi infrastruktúrát és a több tízezer önkéntest bevonó figyelmeztető hálózatokat.

A tapasztalat azt mutatja, hogy a környezeti veszélyek következményei nem kizárólag a természeti folyamatoktól függenek. A társadalom felkészültsége jelentős különbséget jelenthet.

A klímaváltozás mérséklése továbbra is globális feladat, mert egyetlen ország sem képes saját területén megállítani a légköri szén-dioxid-koncentráció növekedését. Az alkalmazkodás azonban sok esetben helyi döntéseken, beruházásokon és közösségi együttműködésen múlik.

A legfontosabb tanulság

Banglades helyzete világosan megmutatja, miért nem elegendő a környezetvédelemben kizárólag az egyes országok saját kibocsátásaival foglalkozni.

A légkör közös rendszer. Az üvegházhatású gázok hatása nem áll meg az országhatároknál. Egy fejlett ipari ország több évtizeddel korábbi kibocsátásai ma is hozzájárulhatnak a globális felmelegedéshez, amelynek következményeit távoli országok lakói is viselik.

A környezeti terhelés és a következmények földrajzi eloszlása ezért gyakran eltér egymástól. Banglades azonban azt is bizonyítja, hogy a klímaváltozás következményeivel szemben nem vagyunk teljesen tehetetlenek.

Az előrejelzés, a megfelelő infrastruktúra, a helyi tudás és a közösségi szervezettség jelentősen csökkentheti a katasztrófák emberi veszteségeit. A megelőzés és az alkalmazkodás tehát nem egymás alternatívái.

Mindkettőre szükség van. Banglades legfontosabb tanulsága, hogy a klímaváltozás hatásai igazságtalanul oszolhatnak el, de a következmények súlyossága nem előre eldöntött. A tudomány, az infrastruktúra és a társadalmi együttműködés emberek százezreinek életét változtathatja meg.

Ez a történet ezért nemcsak a veszélyekről, hanem a sikeres környezetvédelmi alkalmazkodás lehetőségeiről is szól.

A fejezet főbb forrásai:

- WMO – A Bhola-ciklon története. Az 1970-es katasztrófa történeti adatai.
- Világbank – Banglades partvidéki alkalmazkodása. Menedékhelyek, töltések, figyelmeztető rendszerek.

- Világbank – Bangladesh Country Climate and Development Report. Az ország klímakockázatai és alkalmazkodási eredményei.
- FAO – Globálisan Fontos Mezőgazdasági Örökségrendszerek. A hagyományos úszókertek és alkalmazkodási módszerek.

13. Jogunk van-e ugyanúgy fejlődni?

Egy jogos kérdés, amelyre nincs egyszerű válasz

A környezetvédelem egyik legnehezebb kérdését nem a tudomány, hanem a gazdasági fejlődés története vetette fel.

Európa és Észak-Amerika országai több mint két évszázadon keresztül hatalmas mennyiségű szenet, kőolajat és földgázt használtak fel gazdaságuk felépítéséhez. Gyárakat, vasutakat, autópályákat, erőműveket és városokat építettek. A fosszilis energia tette lehetővé a modern ipari termelés, a tömeges közlekedés és a fogyasztói társadalom kialakulását.

A fejlődés jelentős környezeti károkkal járt, ugyanakkor rendkívüli eredményeket is hozott. Növekedett az élelmiszer-termelés, fejlődött az egészségügy, javultak a lakáskörülmények, és emberek százmilliói számára váltak elérhetővé korábban elképzelhetetlen szolgáltatások.

Amikor azonban a világ szegényebb országai is szeretnének hasonló életszínvonalat elérni, már egészen más feltételekkel találkoznak.

A klímakutatás eredményei alapján tudjuk, hogy a fosszilis energiahordozók további, korlátlan felhasználása fokozza a globális felmelegedést. A fejlett országok ezért a kibocsátások gyors csökkentését sürgetik.

A fejlődő országok részéről azonban felmerül egy érthető kérdés.

Miért mondanának le arról a fejlődési útról, amely korábban a gazdag országok jólétét megteremtette?

Miért éppen akkor kellene korlátozni a fosszilis energia használatát, amikor emberek százmilliói még nem rendelkeznek megbízható villamosenergia-ellátással, korszerű lakással vagy megfelelő közlekedési infrastruktúrával?

A kérdésben valós erkölcsi és gazdasági ellentmondás rejlik.

A klímaváltozás azonban nem tesz különbséget a kibocsátók szándékai között. Ugyanannyi szén-dioxid ugyanúgy járul hozzá a felmelegedéshez, akár egy gazdag ország luxusfogyasztásához, akár egy szegényebb ország alapvető infrastruktúrájának kiépítéséhez kapcsolódik.

A természeti törvények és a társadalmi igazságosság követelményei tehát nem feltétlenül vezetnek ugyanahhoz az egyszerű megoldáshoz.

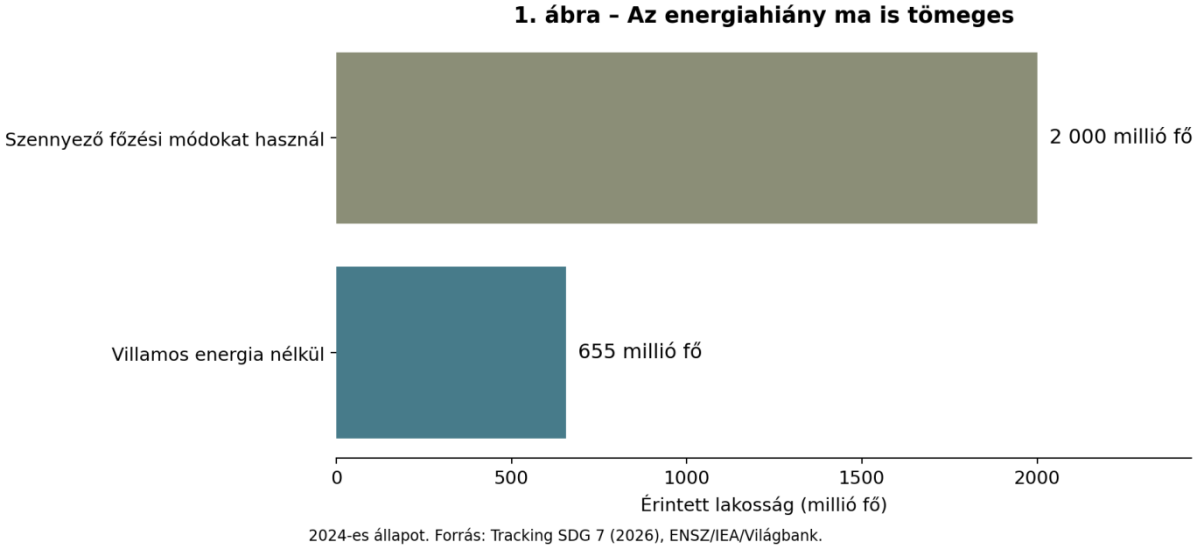
Az energia nem luxus, hanem a fejlődés feltétele

A fejlett országok lakói számára a villamos energia többnyire magától értetődő szolgáltatás.

Ha felkapcsoljuk a villanyt, működik a világítás. Ha kinyitjuk a hűtőszekrényt, az élelmiszer hideg. A vízellátás, a fűtés, az egészségügy, a távközlés és a közlekedés jelentős része közvetlenül vagy közvetve az energiaellátástól függ.

A világ jelentős részén azonban még mindig nem ilyen természetes a helyzet.

Az ENSZ és a Nemzetközi Energiaügynökség 2026-ban közölt adatai szerint 2024-ben 655 millió embernek nem volt villamosenergia-hozzáférése, és körülbelül kétmilliárdan továbbra is szennyező tüzelőanyagokat vagy technológiákat használtak a főzéshez.



81. ábra. Az energiahiány ma is tömeges probléma. Az alapvető villamosenergia-hozzáférés és a tiszta főzési megoldások hiánya 2024-ben. A két érintett csoport részben átfedhet.

Forrás: Tracking SDG 7, 2026.

Az energiahiány nem csupán kényelmetlenség.

Egy villamos energia nélküli iskolában korlátozottak a világítás és a digitális oktatás lehetőségei. Egy megfelelő áramellátás nélküli egészségügyi intézményben gondot jelenthet a gyógyszerek hűtése, az orvosi műszerek működtetése és az életmentő ellátás.

A korszerű főzési lehetőségek hiánya szintén komoly környezeti és egészségügyi probléma.

A rosszul szellőző helyiségekben elégetett fa, faszén, mezőgazdasági hulladék vagy más tüzelőanyag jelentős beltéri légszennyezést okozhat.

A modern energiaellátás kiépítése ezért önmagában is környezetvédelmi és közegészségügyi eredmény lehet.

A fejlődő országok energiaigényének növekedését nem lehet egyszerűen pazarlásként értelmezni.

Sok esetben alapvető emberi szükségletek kielégítéséről van szó.

Ugyanazt a fejlődési utat kell-e követni?

A 19. századi Európa iparosodásának kezdetén a szénnek alig volt versenytársa a nagy mennyiségű, megbízhatóan rendelkezésre álló ipari energia biztosításában.

A 20. században a kőolaj és a földgáz tovább növelte az energiafelhasználás lehetőségeit.

A mai fejlődő országok azonban már más technológiai feltételek között építhetik gazdaságukat.

Rendelkezésre állnak a napelemek, a szélturbinák, a korszerű villamos hálózatok, a hatékonyabb villamos motorok, az energiatakarékos berendezések és az energiatárolási technológiák.

Egy távoli afrikai település számára például nem feltétlenül az jelenti a leggyorsabb megoldást, ha több száz kilométeres vezetékkel kapcsolják be az országos villamosenergia-hálózatba.

Egy helyi napelemes rendszer akkumulátoros tárolással bizonyos körülmények között gyorsabban és olcsóbban biztosíthatja az alapvető szolgáltatásokat.

Ez azonban nem jelenti azt, hogy egy ország teljes ipari energiarendszere ugyanilyen egyszerűen kiépíthető.

Az acél- és cementgyártás, a vegyipar, a vasúti közlekedés, a nagyvárosok energiaellátása és az ipari termelés folyamatos, nagy mennyiségű energiát igényelhet.

A megújuló energiaforrások változó termelését hálózatokkal, tárolókkal, szabályozható erőművekkel és más megoldásokkal kell összehangolni.

A fejlődő országok tehát nem feltétlenül tudják egyik napról a másikra elhagyni a fosszilis energiahordozókat.

De már nem is szükséges minden esetben megismételniük a fejlett világ korábbi technológiai útját.

A kérdés ezért fokozatosan átalakul.

Nem az a legfontosabb, hogy joguk van-e fejlődni.

Hanem az, hogyan lehet számukra a korszerűbb és kisebb környezeti terheléssel járó fejlődést gazdaságilag is elérhetővé tenni.

A történelmi felelősség problémája

A korábbi fejezetekben láttuk, hogy a gazdag országok jelentős szerepet játszottak a légköri szén-dioxid történelmi felhalmozódásában.

Az Egyesült Államok és az európai ipari országok több nemzedéken keresztül nagy mennyiségű fosszilis energiahordozót égettek el.

Ezekből a kibocsátásokból gazdasági és társadalmi előnyök keletkeztek, miközben a szén-dioxid egy része hosszú időre a légkörben maradt.

A fejlődő országok érvelése szerint ezért a fejlett világnak nagyobb felelősséget kell vállalnia a klímaváltozás mérséklésében és következményeinek kezelésében.

Ez az álláspont érthető.

Ugyanakkor a felelősség meghatározása nem egyszerű.

Melyik időponttól számoljuk a történelmi kibocsátásokat?

Az ipari forradalom kezdetétől, amikor az üvegházhatás tudományos következményeit még nem ismerték, vagy attól az időszaktól, amikor már megbízható figyelmeztetések álltak rendelkezésre?

Az országok összes kibocsátását vagy az egy főre jutó kibocsátást tekintsük meghatározónak?

Hogyan értékeljük a korábban alacsony kibocsátású, de időközben jelentős ipari hatalommá vált államok helyzetét?

És mennyiben felelős egy mai nemzedék a korábbi nemzedékek döntéseiért?

Ezek nem pusztán tudományos kérdések.

A tudomány képes számszerűsíteni a különböző időszakok kibocsátásait és azok éghajlati következményeit.

Az azonban, hogy ebből milyen anyagi vagy erkölcsi kötelezettségek következzenek, társadalmi és politikai döntés tárgya.

A történelmi felelősség nem jelenti azt sem, hogy a mai nagy kibocsátóknak ne kellene részt venniük a megoldásban.

A légkör szempontjából a jövőben kibocsátott szén-dioxid is számít.

Ezért a múltbeli és a jelenlegi felelősséget egyaránt figyelembe kell venni.

Közös, de nem azonos felelősség

A nemzetközi klímapolitikában már az 1992-ben elfogadott ENSZ Éghajlatváltozási Keretegyezmény idején megjelent a közös, de megkülönböztetett felelősség elve.

Ennek lényege, hogy a klímaváltozás kezelése minden ország közös feladata, de az országok történelmi hozzájárulása és gazdasági képessége eltérő.

Az elv a későbbi nemzetközi megállapodásokban is fontos szerepet kapott.

Az 1997-es Kiotói Jegyzőkönyv elsősorban a fejlett országok számára írt elő számszerű kibocsátás csökkentési kötelezettségeket.

Ez megfelelt annak a megközelítésnek, hogy az iparosodott országoknak kell először jelentős lépéseket tenniük.

A rendszer azonban idővel egyre kevésbé tükrözte a globális kibocsátások alakulását.

Kína, India és más feltörekvő gazdaságok szerepe jelentősen növekedett, miközben a kibocsátások egyre nagyobb hányada a korábban fejlődő országként kezelt térségekhez kapcsolódott.

A nemzetközi megállapodásoknak ezért alkalmazkodniuk kellett a világgazdaság változásaihoz.

A párizsi megállapodás: mindenki részt vesz, de nem ugyanúgy

A 2015-ben elfogadott párizsi klímamegállapodás jelentős változást hozott.

A megállapodás célja, hogy a globális átlaghőmérséklet emelkedését jóval 2 Celsius-fok alatt tartsák az iparosodás előtti szinthez képest, és törekedjenek az 1,5 fokos korlát betartására.

A korábbi rendszerekkel szemben a párizsi megállapodásban valamennyi részes ország részt vesz a klímavédelmi erőfeszítésekben.

Az egyes országok saját nemzeti hozzájárulásokat, úgynevezett NDC-ket határoznak meg.

Ezeket időről időre felül kell vizsgálni és meg kell újítani, azzal a céllal, hogy az országok fokozatosan növeljék vállalásaik ambícióját.

A rendszer fontos előnye a rugalmasság.

Egy fejlett ipari ország, egy gyorsan fejlődő ázsiai gazdaság és egy alacsony jövedelmű afrikai állam nem feltétlenül azonos intézkedéseket vállal.

A megállapodás ugyanakkor nem ír elő minden országnak azonos, kívülről meghatározott kibocsátáscsökkentési kvótát.

A rendszer ezért jelentős mértékben az országok saját vállalásaira és azok rendszeres értékelésére épül.

Ez politikailag szélesebb részvételt tett lehetővé, de egyúttal korlátot is jelent.

A nemzeti vállalások összessége ugyanis nem feltétlenül elegendő a megállapodás hőmérsékleti céljainak teljesítéséhez.

A párizsi megállapodás így egyszerre nemzetközi együttműködési keret és folyamatos tárgyalási folyamat.

Mi az a klímafinanszírozás?

A fejlett és fejlődő országok közötti együttműködés egyik legfontosabb területe a klímafinanszírozás.

A kifejezés olyan pénzügyi forrásokat takar, amelyek az üvegházhatású gázok kibocsátásának csökkentését vagy a klímaváltozás következményeihez való alkalmazkodást szolgálják.

A finanszírozás történhet állami támogatások, kedvezményes hitelek, nemzetközi fejlesztési bankok, garanciák vagy magántőke bevonásával.

A kibocsátás csökkentést szolgáló beruházások közé tartozhat például egy korszerű villamosenergia-hálózat, egy megújuló erőmű vagy egy energiahatékonysági program.

Az alkalmazkodási beruházások más jellegűek.

Ilyen lehet a bangladesi ciklonmenedékhelyek építése, az árvízvédelmi infrastruktúra fejlesztése, az ivóvízellátás javítása vagy a szárazságtűrő mezőgazdasági technológiák bevezetése.

A két cél összefügg, de nem azonos.

A kibocsátáscsökkentés a jövőbeli éghajlatváltozás mérséklését szolgálja.

Az alkalmazkodás a már bekövetkező vagy várható következményekkel szemben próbálja csökkenteni a sérülékenységet.

Mindkettő szükséges.

A százmilliárd dolláros ígéret

A fejlett országok 2009-ben, a koppenhágai klímakonferencián azt a célt fogalmazták meg, hogy 2020-ra évente 100 milliárd amerikai dollárnyi klímafinanszírozást mozgósítanak a fejlődő országok támogatására.

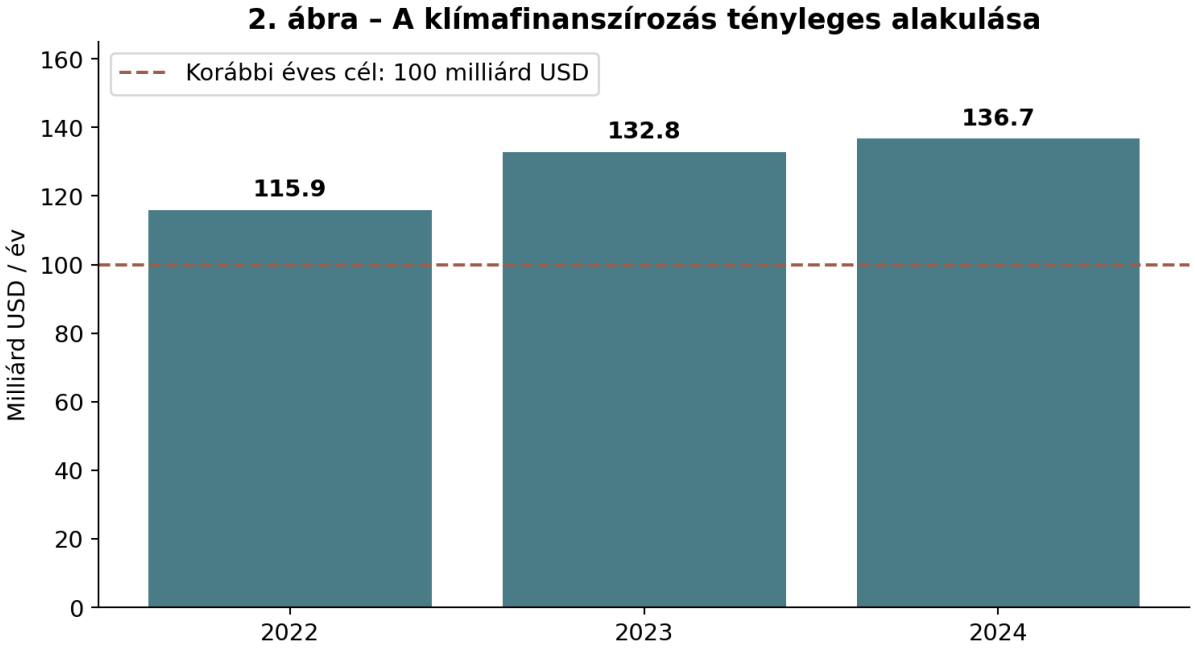
A cél később a nemzetközi klímafinanszírozás egyik legfontosabb mércéjévé vált.

A teljesítés azonban elmaradt az eredeti határidőtől.

Az OECD értékelése szerint a százmilliárd dolláros szintet először 2022-ben sikerült meghaladni.

A fejlett országok által biztosított és mozgósított finanszírozás abban az évben 115,9 milliárd dollárt tett ki.

A 2026 májusában közzétett legújabb OECD-adatok szerint az összeg 2023-ban 132,8 milliárd, 2024-ben pedig 136,7 milliárd dollárra nőtt.



Fejlett országok által nyújtott és mozgósított finanszírozás; OECD 2026.

82. ábra. A fejlett országok által biztosított és mozgósított klímafinanszírozás. Az éves 100 milliárd dolláros célt 2022-ben, az eredeti határidő után két évvel érték el. Az ábra tényleges OECD-elszámolási adatokat mutat, nem kizárólag vissza nem térítendő támogatásokat.

Forrás: OECD, 2026.

A növekedés számottevő eredmény, de nem oldotta meg a klímafinanszírozás körüli vitákat.

A fejlődő országok részéről ugyanis nemcsak az összeg nagysága, hanem a finanszírozás formája és elérhetősége is fontos kérdés.

Támogatás vagy hitel?

A klímafinanszírozásról gyakran úgy beszélünk, mintha a gazdag országok egyszerűen pénzt adnának a szegényebbeknek.

A valóság ennél összetettebb.

A finanszírozás jelentős része hitel formájában érkezik.

Egy korszerű villamosenergia-hálózat vagy egy új erőmű beruházása bevételt termelhet, ezért bizonyos körülmények között hitelből is finanszírozható.

Más a helyzet egy árvízvédelmi töltéssel vagy egy ciklonmenedékhellyel.

Ezek a létesítmények elsősorban károkat és emberi veszteségeket előznek meg, de általában nem hoznak közvetlen pénzügyi bevételt, amelyből a beruházási hitel visszafizethető lenne.

Ha egy már eleve eladósodott fejlődő ország kizárólag újabb hitelek révén tud alkalmazkodni a klímaváltozáshoz, akkor a védekezés maga is növelheti pénzügyi sérülékenységét.

Ezért különösen fontos a vissza nem térítendő támogatások és a kedvezményes finanszírozási formák szerepe.

Az OECD adatai szerint a nemzetközi közfinanszírozásban a hitelek továbbra is jelentős arányt képviselnek, bár az alacsony jövedelmű országok esetében nagyobb szerepet kapnak a támogatások.

Az egyes finanszírozási formák közötti különbséget a közvéleményben gyakran nem érzékelik.

Pedig nem ugyanaz, ha egy ország egymilliárd dollár támogatást kap, vagy ha ugyanekkora összegű, később visszafizetendő hitelt vehet fel.

Mindkettő lehet hasznos, de gazdasági hatásuk jelentősen különbözik.

A klímafinanszírozás értékelésekor ezért az összeg mellett annak feltételeit is vizsgálni kell.

Mire jut a pénzből?

A nemzetközi klímafinanszírozás hatékonyságát nem lehet kizárólag a kifizetett pénz mennyiségéből megítélni.

Egy nagy összegű beruházás is lehet eredménytelen, ha rosszul tervezik meg, nem illeszkedik a helyi igényekhez, vagy később nincs pénz a működtetésére és karbantartására.

Egy korszerű napelemes rendszer például csak akkor biztosít hosszú távú energiaellátást, ha rendelkezésre állnak a megfelelő villamos berendezések, a karbantartáshoz szükséges alkatrészek és a megfelelően képzett szakemberek.

Hasonlóképpen egy árvízvédelmi létesítmény is elveszítheti hatékonyságát, ha nem gondoskodnak a rendszeres ellenőrzéséről.

A klímafinanszírozás ezért nem egyszerű pénzátutalás.

A működő intézményrendszer, a helyi szakértelem, a korrupció elleni védelem, a beszerzések átláthatósága és a beruházások eredményességének ellenőrzése egyaránt szükséges.

A támogatást nyújtó országoknak és szervezeteknek jogos érdekük, hogy a források valóban a meghatározott célokat szolgálják.

A támogatást fogadó országoknak pedig jogos érdekük, hogy az adminisztratív követelmények ne tegyék aránytalanul nehézzé vagy költségessé a források igénybevételét.

A sikeres finanszírozásnak a két szempont között kell egyensúlyt teremtenie.

Miért kerül drágábba ugyanaz a beruházás egy szegény országban?

A nemzetközi klímafinanszírozás egyik kevésbé ismert problémája, hogy ugyanaz a technológia különböző országokban egészen eltérő pénzügyi feltételekkel valósítható meg.

Egy napelem vagy szélturbina beszerzési ára nem feltétlenül különbözik jelentősen attól függően, hogy Európában vagy Afrikában telepítik.

A beruházás teljes költsége azonban igen.

A befektetők figyelembe veszik az adott ország pénzügyi stabilitását, a valuta árfolyamkockázatát, a jogbiztonságot, a villamosenergia-piac működését és a szerződések érvényesíthetőségét.

Ha ezek a kockázatok nagyobbak, magasabb hozamot várnak el, vagy egyáltalán nem vállalják a finanszírozást.

Így előfordulhat, hogy egy technológia műszakilag gazdaságos lenne, de a finanszírozási költségek miatt a beruházás mégsem valósul meg.

Ez különösen nagy probléma az alacsony jövedelmű országokban.

Az OECD 2025-ös elemzése szerint a fejlődő gazdaságokban a magasabb tőkeköltség, az államadósság és a korlátozott pénzpiaci hozzáférés jelentős akadályt jelent a klímaberuházások előtt.

A támogatásoknak ezért nem feltétlenül kell minden beruházás teljes költségét fedezniük.

Sok esetben az is jelentős segítség lehet, ha garanciákkal, kedvezményes finanszírozással vagy kockázatmegosztással csökkentik a beruházási költségeket.

Ez lehetővé teheti, hogy több magántőke áramoljon olyan országokba, ahol egyébként nem vállalná a kockázatot.

De a magántőke nem minden problémára kínál megoldást.

Az alapvető ivóvízellátás, az egészségügyi infrastruktúra vagy a katasztrófavédelem számos beruházása nem termel megfelelő közvetlen pénzügyi megtérülést.

Ezeknél a közfinanszírozás és a vissza nem térítendő támogatás továbbra is nélkülözhetetlen maradhat.

Új pénzügyi célok: százmilliárdból háromszázmilliárd

A százmilliárd dolláros vállalás teljesítése után a nemzetközi tárgyalások középpontjába egy új finanszírozási cél került.

A 2024 novemberében, Bakuban megrendezett COP29 klímakonferencián az országok megállapodtak abban, hogy 2035-re legalább évi 300 milliárd dollárra emelik a fejlődő országok számára mozgósítandó klímafinanszírozás célját.

Az új cél elérésében továbbra is a fejlett országoknak kell vezető szerepet vállalniuk, miközben a finanszírozás különböző köz- és magánforrásokból származhat.

A megállapodás emellett szélesebb célként az évi 1300 milliárd dollárnyi, különböző forrásokból származó finanszírozás megteremtésére irányuló erőfeszítést is megfogalmazott 2035-re.

Fontos azonban megkülönböztetni a két számot.

A 300 milliárd dollár az új, számszerűsített kollektív finanszírozási cél.

Az 1300 milliárd dollár ennél szélesebb körű finanszírozás bővítésére vonatkozó felhívás, amely a köz- és magánforrásokat egyaránt magában foglalja.

Ezek nem ténylegesen rendelkezésre álló, már kifizetett összegek, hanem jövőbeli célkitűzések.

A fejlődő országok részéről sokan már a tárgyalások során is úgy értékelték, hogy a háromszázmilliárd dolláros cél nem elegendő a várható szükségletek fedezésére.

Ennek megítéléséhez azonban külön kell választani a kibocsátáscsökkentés és az alkalmazkodás finanszírozási igényeit.

Az alkalmazkodásra ma is túl kevés jut

A korábbi fejezetben bemutatott Banglades példája jól érzékelteti, milyen költségekkel jár a klímaváltozás következményeihez való alkalmazkodás.

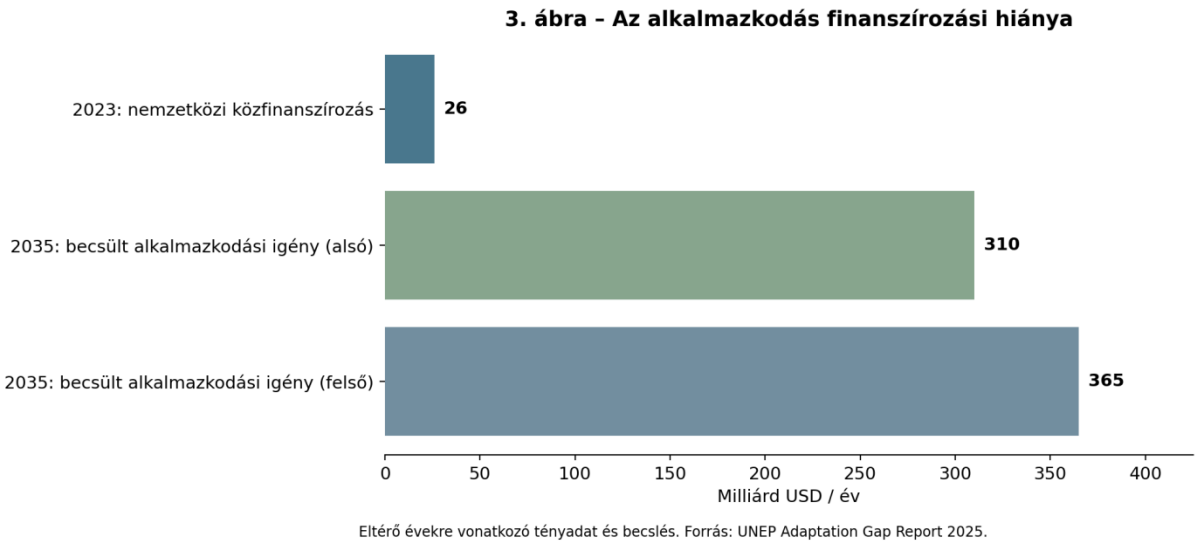
Egy ország árvízvédelmi rendszereket, biztonságos menedékhelyeket, víztisztító létesítményeket és ellenállóbb közlekedési infrastruktúrát építhet.

Ezek a beruházások közvetlenül emberéleteket menthetnek meg, de gyakran nem hoznak olyan bevételt, amely vonzóvá tenné őket a magánbefektetők számára.

Az ENSZ Környezetvédelmi Programjának 2025-ös jelentése szerint a fejlődő országok alkalmazkodási finanszírozási szükséglete 2035-re évi körülbelül 310–365 milliárd dollárra emelkedhet.

Ezzel szemben a fejlődő országoknak nyújtott nemzetközi közfinanszírozás alkalmazkodási célokra 2023-ban mindössze 26 milliárd dollár volt.

A különbség rendkívül nagy.



83. ábra. A klímaváltozáshoz való alkalmazkodás finanszírozási hiánya. A 2023-as tényleges nemzetközi közfinanszírozás és a 2035-re becsült éves szükségletek összehasonlítása. Az ábra eltérő évekre és eltérő módszertani kategóriákra vonatkozó adatokat mutat, ezért a különbség a finanszírozási nagyságrend érzékeltetésére szolgál.

Forrás: UNEP, Adaptation Gap Report 2025.

Ráadásul az alkalmazkodási finanszírozás iránti igény nem minden országban azonos.

Az alacsonyan fekvő szigetországokat a tengerszint-emelkedés, a száraz térségeket az aszály, a deltavidékeket az árvizek és a vihardagályok veszélyeztethetik különösen.

A beruházási szükségletek ezért az adott ország földrajzi, társadalmi és gazdasági helyzetétől is függenek.

A támogatási rendszerek egyik fontos feladata, hogy ne kizárólag a legnagyobb vagy legjobb pénzügyi helyzetű fejlődő gazdaságok férjenek hozzá a forrásokhoz.

A legsérülékenyebb országok gyakran éppen azok, amelyek a legnehezebben tudnak pénzt bevonni.

Veszteségek és károk: ki fizet, ha a védekezés már nem elég?

A klímaváltozás elleni fellépés során általában kétféle intézkedésről beszélünk.

Az egyik a kibocsátáscsökkentés, amely a további felmelegedést kívánja mérsékelni.

A másik az alkalmazkodás, amely a várható következményekkel szembeni sérülékenységet próbálja csökkenteni.

Vannak azonban olyan károk, amelyeket még megfelelő alkalmazkodási intézkedésekkel sem lehet teljesen elkerülni.

Egy rendkívül erős ciklon elpusztíthatja a megművelt földeket és az épületeket. A tartós tengerszint-emelkedés miatt bizonyos part menti települések hosszú távon elveszíthetik lakhatóságukat.

A korallzátonyok pusztulása vagy egyes ökoszisztémák visszafordíthatatlan átalakulása olyan veszteség is lehet, amelyet pénzzel nem lehet teljes egészében pótolni.

Ezekre a következményekre használják a nemzetközi klímapolitikában a veszteségek és károk kifejezést.

A 2022-es COP27 konferencián döntés született egy külön finanszírozási alap létrehozásáról, amelynek működtetési kereteiről a következő évben született további megállapodás.

A cél azoknak a különösen sérülékeny fejlődő országoknak a támogatása, amelyek a klímaváltozás kedvezőtlen következményeivel szembesülnek.

Ez azonban nem azonos egy olyan nemzetközi kártérítési rendszerrel, amely automatikusan jogi felelősséget állapítana meg az egyes országok múltbeli kibocsátásai alapján.

A kérdés továbbra is jelentős politikai és jogi viták tárgya.

A nehézség abból is ered, hogy egy adott természeti katasztrófa károit nem lehet minden esetben egyszerűen a klímaváltozáshoz rendelni.

A természeti változékonyság, az építési szabályok, a lakosság elhelyezkedése és a védekezési infrastruktúra állapota is befolyásolja a veszteségeket.

A klímaváltozás azonban módosíthatja egyes események valószínűségét és intenzitását, ezáltal hozzájárulhat a károk nagyságához.

A veszteségek és károk finanszírozása ezért a történelmi felelősség, a tudományos bizonyítékok és a nemzetközi szolidaritás találkozási pontjává vált.

A támogatás nem lehet újabb függőség forrása

A fejlődő országok klímafinanszírozása nemcsak pénzügyi, hanem gazdaságpolitikai kérdés is.

Egy ország hosszú távú fejlődését jelentősen befolyásolja, hogy saját ipari és technológiai kapacitásokat tud-e kiépíteni.

Ha a klímavédelmi beruházások kizárólag importált berendezések megvásárlását jelentik, miközben a helyi gazdaság nem szerez új ismereteket és nem épít ki megfelelő karbantartási, gyártási vagy mérnöki kapacitásokat, akkor a beruházások jelentős része tartós külső függőséget is kialakíthat.

A technológiai együttműködés ezért legalább olyan fontos lehet, mint a pénzügyi támogatás.

A helyi szakemberek képzése, a kutatási együttműködés, a műszaki ismeretek átadása és az ipari beszállítói hálózatok fejlesztése hozzájárulhat ahhoz, hogy a fejlődő országok saját maguk is képesek legyenek működtetni és továbbfejleszteni az új rendszereket.

Ugyanakkor a technológiaátadás nem jelenti automatikusan a szabadalmak és más szellemi tulajdonjogok megszüntetését.

A kutatás-fejlesztési beruházások megtérülése szintén fontos gazdasági szempont.

A kérdés az, hogyan alakíthatók ki olyan együttműködési formák, amelyek egyszerre ösztönzik az innovációt és lehetővé teszik a korszerű környezetvédelmi technológiák széles körű elterjedését.

A finanszírozás eredményességét ezért nem csupán abban kell mérni, hogy hány erőművet vagy víztisztító létesítményt építettek meg.

Abban is, hogy a beruházások hosszú távon mennyiben növelik az adott ország saját gazdasági és technológiai képességeit.

Lehet-e egyszerre gazdasági és környezetvédelmi érdek?

A nemzetközi klímavitákban gyakran úgy jelenik meg a probléma, mintha a fejlett országok kizárólag környezetvédelmi követelményeket támasztanának, a fejlődő országok pedig kizárólag gazdasági növekedést szeretnének.

A valóság ennél összetettebb.

A szegényebb országoknak is érdekük a tiszta levegő, a biztonságos ivóvíz és a megbízható energiaellátás.

A megújuló energiaforrások fejlesztése sok esetben csökkentheti az importált fosszilis tüzelőanyagoktól való függőséget.

Az energiatakarékos technológiák mérsékelhetik a vállalatok és háztartások költségeit.

A korszerű vízgazdálkodás és a katasztrófavédelem pedig közvetlen gazdasági előnyöket hozhat a károk megelőzésével.

A klímavédelem tehát nem feltétlenül kizárólag költség.

Beruházás is lehet a hosszú távú gazdasági stabilitásba.

Ezt azonban nem szabad általánosítani.

Vannak olyan iparágak és térségek, ahol az átalakulás rövid és középtávon jelentős költségekkel jár. Egy szénre épülő ipari régióban a technológiaváltás munkahelyek megszűnését és új szakértelem iránti igényt eredményezhet.

A megújuló energiaforrások gyors bővítése hálózati és tárolási beruházásokat tehet szükségessé.

A környezetvédelmi intézkedések megítélésekor ezért a várható előnyök mellett a költségeket, a végrehajthatóságot és a társadalmi következményeket is figyelembe kell venni.

A sikeres átmenet nem pusztán technológiai, hanem gazdasági és társadalmi szervezési feladat.

Nemzetközi együttműködés vagy verseny?

A klímaváltozás kezelése különös ellentmondást teremt a nemzetközi politikában.

A kibocsátások csökkentése közös globális érdek.

Az országok azonban egymással gazdasági versenyben állnak.

Egy állam attól tarthat, hogy ha szigorú környezetvédelmi előírásokat vezet be, miközben versenytársai ezt nem teszik meg, akkor saját vállalatai költséghátrányba kerülnek.

A termelés akár más országokba helyeződhet át.

Ezért a klímavédelem eredményessége nemcsak az egyes országok intézkedéseitől, hanem a nemzetközi együttműködés minőségétől is függ.

A kereskedelmi szabályok, az ipari támogatások, a szén-dioxid-árazás és a technológiai szabványok jelentősen befolyásolhatják a vállalatok döntéseit.

A nemzetközi klímafinanszírozás egyik fontos feladata éppen az lehet, hogy csökkentse a gazdasági fejlettségből fakadó különbségeket, és megkönnyítse a tisztább technológiák alkalmazását.

De a támogatásokhoz ellenőrizhetőségre és kölcsönös bizalomra is szükség van.

A fejlett országoknak bizonyítaniuk kell, hogy vállalásaik mögött valódi pénzügyi források állnak.

A támogatott országoknak pedig azt, hogy a kapott pénzt a meghatározott célokra, megfelelő hatékonysággal használják fel.

A nemzetközi együttműködés sikere így részben ugyanazon múlik, mint a korábbi fejezetben tárgyalt tudományos hitelesség: az átláthatóságon, az ellenőrizhetőségen és a vállalások teljesítésén.

Jogunk van-e ugyanúgy fejlődni?

A fejezet címében feltett kérdésre két különböző választ kell adnunk.

Az életszínvonal emeléséhez, az egészségügy, az oktatás, a lakhatás és az energiaellátás fejlesztéséhez való törekvés minden ország számára jogos cél.

Azt azonban nem lehet ebből levezetni, hogy minden országnak ugyanazokat a technológiákat és ugyanazt a környezetterheléssel járó fejlődési utat kellene követnie.

A természeti feltételek megváltoztak, és a rendelkezésre álló tudásunk is sokkal nagyobb lett.

A 19. század iparosodó országai még nem ismerték pontosan a fosszilis tüzelőanyagok éghajlati következményeit.

A 21. század társadalmai már rendelkeznek ezzel a tudással.

Ugyanakkor rendelkeznek olyan technológiákkal is, amelyekkel a korábbi fejlődési modellek egyes környezeti káros hatásai mérsékelhetők.

A legfontosabb kérdés ezért nem az, megengedhető-e a fejlődő országok gazdasági felzárkózása.

Hanem az, hogyan biztosítható, hogy a felzárkózás ne járjon szükségszerűen a korábbi iparosodás teljes környezeti terhével.

Ebben a fejlett országoknak különleges szerepük lehet.

Történelmi kibocsátásaik, gazdasági lehetőségeik és technológiai kapacitásaik egyaránt indokolják, hogy jelentős részt vállaljanak a nemzetközi együttműködésben.

De a fejlődő országoknak is felelősségük van abban, hogyan használják fel a rendelkezésre álló forrásokat, és milyen hosszú távú energiarendszereket építenek ki.

A klímaváltozás mérséklése és a szegénység csökkentése nem tekinthető egymástól független célnak.

A kettő összekapcsolása nélkül egyik feladat sem oldható meg kielégítően.

A történelem tanulsága nem az, hogy a gazdag országoknak joguk volt szennyezni, a szegényebbeknek pedig már nincs.

Hanem az, hogy a fejlődés célja nem a korábbi hibák megismétlése, hanem a jobb életfeltételek megteremtése a lehető legkisebb környezeti kárral.

A nemzetközi klímafinanszírozás és a technológiai együttműködés akkor válhat igazán eredményessé, ha ezt a célt szolgálja.

A környezetvédelem jövője így nem egyszerűen a kibocsátási számokról, a nemzetközi konferenciákról vagy az ígéretekről szól.

Arról, hogy az emberiség képes-e a modern civilizáció előnyeit egyre több ember számára hozzáférhetővé tenni anélkül, hogy közben tovább növelné azokat a környezeti problémákat, amelyek a civilizáció hosszú távú működését veszélyeztetik.

Tudományos és nemzetközi források:

- IEA és partnerei – Tracking SDG 7, 2026**.** A villamosenergia-hozzáférés, tiszta főzés és energiafejlesztés globális adatai.
- UNFCCC – Párizsi megállapodás. A nemzeti klímavédelmi vállalások és a közös, de megkülönböztetett felelősség.
- OECD – Klímafinanszírozás 2013–2024, 2026-os jelentés. A fejlett országok által biztosított és mozgósított pénzügyi források.
- UNFCCC – COP29, Baku, 2024**.** Az új nemzetközi finanszírozási célok.
- UNEP – Adaptation Gap Report 2025. A fejlődő országok alkalmazkodási finanszírozási szükségleteinek becslése.

IV. A tisztább gazdaság rejtett környezeti költségei

14. A szennyezés exportja

Amikor a gyár eltűnik, de a termék megmarad

A 20. század második felében Európa és Észak-Amerika számos iparvidéke jelentős átalakuláson ment keresztül.

A korábban füstölgő gyárkémények egy része eltűnt. Acélművek, kohók, textilgyárak és vegyipari üzemek zártak be. Az elhagyott iparterületek helyén bevásárlóközpontok, irodaházak, lakóparkok és kulturális központok épültek.

A változás sok helyen látványos környezeti javulást eredményezett.

Tisztább lett a levegő, csökkent bizonyos folyók szennyezése, és a korábban ipari tevékenység által uralt városi térségek egy része új funkciót kapott.

A folyamat azonban különös kérdést vet fel.

Ha egy országban megszűnik az acélgyártás, attól még szüksége lehet acélra. Ha bezárnak a textilgyárak, az emberek továbbra is ruhát vásárolnak. Ha egy elektronikai üzem más kontinensre költözik, a számítógépek és mobiltelefonok iránti kereslet nem feltétlenül csökken.

A termelés tehát gyakran nem szűnik meg.

Csak máshol folytatódik.

Egyes iparágak Ázsiába, Latin-Amerikába vagy más, gyorsan iparosodó térségekbe kerültek. A termékek továbbra is eljutottak a fejlett országok fogyasztóihoz, de előállításuk környezeti terhei részben más országokban jelentkeztek.

A jelenséget a környezeti terhelés kiszervezésének vagy – némileg szemléletesebben – a szennyezés exportjának is nevezhetjük.

A kifejezés azonban pontosításra szorul.

Nem feltétlenül magát a szennyező anyagot szállítjuk át egyik országból a másikba. Sokkal inkább a szennyezéssel járó gazdasági tevékenység helyét változtatjuk meg.

Ez a különbség alapvető.

Egy ország területén csökkenhet a környezetterhelés úgy is, hogy közben lakosságának fogyasztása változatlan vagy akár növekvő mennyiségű erőforrást igényel.

A kérdés az, hogy ez valódi globális környezeti javulást jelent-e, vagy csupán a szennyezés földrajzi átrendeződését.

Miért költöznek a gyárak?

A közbeszédben gyakran találkozunk azzal a magyarázattal, hogy a nagyvállalatok azért telepítik át termelésüket szegényebb országokba, mert ott kevésbé szigorúak a környezetvédelmi szabályok.

Ebben van igazság, de a teljes folyamat ennél jóval összetettebb.

Egy ipari üzem helyének megválasztását számos gazdasági tényező befolyásolja.

Az egyik legfontosabb a munkaerő költsége.

A textiliparban, az elektronikai összeszerelésben és más munkaigényes ágazatokban jelentős megtakarítást eredményezhet, ha ugyanazt a tevékenységet alacsonyabb bérszínvonalú országban végzik.

A bérek azonban önmagukban nem elegendők a gazdaságosság megítéléséhez. Számít a munkaerő képzettsége, termelékenysége, a termelés minősége és a munkaerő rendelkezésre állása is.

Hasonlóan fontosak a beszállítói hálózatok.

Ha egy elektronikai gyár közelében több száz alkatrészgyártó működik, akkor a termelés gyorsabban, rugalmasabban és gyakran olcsóbban szervezhető meg.

A kikötők, vasutak, autópályák, energiahálózatok és logisztikai szolgáltatások szintén meghatározó szerepet játszanak.

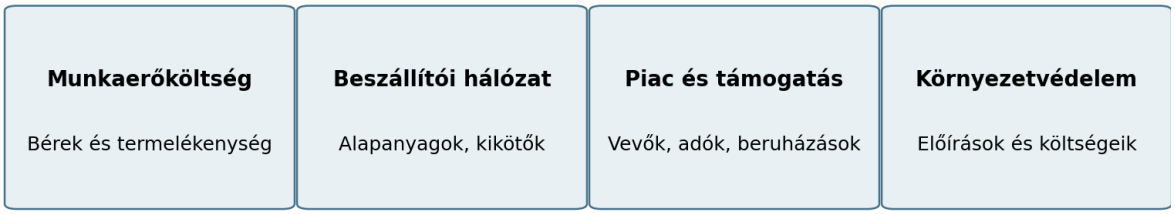
Egy vállalat nem feltétlenül azért választ kínai vagy vietnami gyártóhelyet, mert ott olcsóbban lehet szennyezni.

Lehet, hogy azért, mert a teljes termelési lánc ott működik a leghatékonyabban.

A döntést befolyásolhatják az adók, az állami beruházási támogatások, a helyi piac nagysága, a nyersanyagokhoz való hozzáférés és a politikai kockázatok is.

A környezetvédelmi szabályozás ennek a sokténezős döntésnek egyik eleme.

1. ábra – Miért helyezik át a gyártást?



A döntést több tényező együtt határozza meg; a környezetvédelmi szabály nem mindig döntő.

1. ábra – Miért helyezik át a gyártást?

Egy ipari beruházás helyszínét a munkaerőköltségek, a beszállítói kapcsolatok, a piacok és a szabályozási feltételek együttesen határozzák meg. A környezetvédelmi előírások különbsége egyes iparágakban jelentős lehet, más esetekben azonban háttérbe szorul a termelékenység, az infrastruktúra és a logisztika mellett.

A szennyezési menedékek elmélete

A közgazdaságtanban régóta vizsgálják az úgynevezett pollution haven hypothesis, vagyis a szennyezési menedékek hipotézisét.

Az elmélet szerint a szigorú környezetvédelmi előírásokkal rendelkező országokból egyes környezetterhelő tevékenységek olyan országokba kerülhetnek, ahol a szabályozás enyhébb, vagy annak betartatása kevésbé hatékony.

A jelenség gazdasági magyarázata viszonylag egyszerű.

Egy környezetvédelmi beruházás költséget jelent a vállalat számára.

Egy korszerű füstgáztisztító berendezés, szennyvíztisztító rendszer vagy veszélyeshulladék-kezelési technológia megépítése és működtetése pénzbe kerül.

Ha egy országban ezek kötelezőek, egy másikban pedig a vállalatnak alig kell számolnia velük, akkor a termelési költségek eltérhetnek.

Különösen jelentős lehet ez olyan iparágakban, amelyek nagy mennyiségű energiát, vizet vagy vegyi anyagot használnak fel.

A kohászat, bizonyos vegyipari folyamatok, a bőripar, a papírgyártás és a hulladékfeldolgozás egyes területei érzékenyek lehetnek az ilyen különbségekre.

A kutatási eredmények azonban nem igazolják azt az általános állítást, hogy a környezetvédelmi szabályok szigorítása szükségszerűen külföldre kényszeríti az ipart.

A hatás iparáganként és országonként eltérő.

Egy 2023-ban megjelent, nemzetközi ipari vállalatfelvásárlásokat vizsgáló kutatás például összefüggést talált a környezetvédelmi szabályozás szigorúsága és bizonyos, különösen szennyezésintenzív termelési szakaszok külföldre telepítésével kapcsolatos döntések között. A kutatás szerint a hatás különösen a termelési lánc korábbi, beszállítói szakaszaiban lehetett jelentős.

A jelenség tehát valós lehet, de nem magyarázza meg önmagában a világgazdaság ipari átrendeződését.

A környezetvédelem költsége – és a szennyezés valódi ára

A vállalatok gazdasági döntéseiben általában azok a költségek jelennek meg közvetlenül, amelyeket ténylegesen ki kell fizetniük.

Egy gyár számára költség az energia, a nyersanyag, a munkaerő, a szállítás és a gépek karbantartása.

De mi történik akkor, ha a gyár szennyezi a közeli folyót, és a vízminőség romlása miatt másoknak kell többet költeniük az ivóvíz tisztítására?

Vagy ha a légszennyezés következtében növekszik a légzőszervi betegségek előfordulása, és a társadalomnak magasabb egészségügyi költségeket kell viselnie?

Ezek a károk a vállalat saját könyvelésében nem feltétlenül jelennek meg.

A közgazdaságtan ezeket külső költségeknek, externáliáknak nevezi.

A környezetvédelmi szabályozás egyik legfontosabb feladata éppen az, hogy a vállalatokat legalább részben szembesítse tevékenységük társadalmi költségeivel.

Ha a szennyezés megelőzése olcsóbb, mint az általa okozott kár, akkor gazdasági szempontból is indokolt lehet a környezetvédelmi beruházás.

A probléma akkor keletkezik, ha a különböző országok eltérően kezelik ezeket a külső költségeket.

Egy szigorúbb szabályozású országban a vállalatnak fizetnie kell a kibocsátások csökkentéséért.

Egy másik országban ugyanaz a szennyezés esetleg jelentős költség nélkül megengedett.

A vállalat szempontjából a második megoldás olcsóbbnak tűnhet.

A társadalom egészét tekintve azonban nem feltétlenül az.

A költség ugyanis nem szűnt meg.

Csak más szereplőhöz került.

Az acél, amelynek a füstje máshol keletkezik

A kohászat jó példája a környezetterhelő iparágak nemzetközi átrendeződésének.

Az acélgyártás hatalmas mennyiségű energiát és nyersanyagot igényel.

A hagyományos nagyolvasztós eljárásban a vasércet koksz felhasználásával redukálják. A koksz nemcsak hőforrás, hanem a kémiai folyamat egyik alapvető szereplője is.

A szén felhasználása jelentős szén-dioxid-kibocsátással jár.

Emellett a kohászati üzemek működéséhez különféle légszennyező anyagok, porok, salakok és más melléktermékek kezelése is kapcsolódik.

A modern acélgyártás természetesen jelentős technológiai fejlődésen ment keresztül.

Az elektromos ívkemencék például megfelelő alapanyag, különösen acélhulladék rendelkezésre állása esetén más energia- és kibocsátási jellemzőkkel működhetnek.

A villamos energiával működő technológiák környezeti előnye ugyanakkor függ attól is, hogyan állítják elő az áramot.

Az acél iránti világméretű kereslet továbbra is rendkívül nagy.

Épületekhez, hidakhoz, járművekhez, gépekhez, vasutakhoz és energetikai berendezésekhez egyaránt szükség van rá.

Ha egy európai acélmű bezár, és a korábban előállított terméket más országból importálják, akkor az európai területi kibocsátás csökkenhet.

A globális hatás azonban attól függ, hogy az importált acélt milyen technológiával és milyen energiaforrások felhasználásával állítják elő.

Ha a külföldi gyár korszerűbb és hatékonyabb, a globális terhelés akár csökkenhet is.

Ha viszont nagyobb kibocsátású technológiával működik, akkor a termelés áthelyezése ellenkező eredményre vezethet.

A gyár földrajzi elhelyezkedése önmagában ezért nem elegendő a környezeti teljesítmény megítéléséhez.

A teljes termelési folyamatot kell vizsgálni.

A textilipar: olcsó ruha, távoli környezeti terhek

A textilipar a termelés nemzetközi áthelyeződésének egyik legismertebb példája.

A 20. század második felében a ruházati termékek gyártásának jelentős része a fejlett ipari országokból alacsonyabb bérszínvonalú ázsiai országokba került.

Kína mellett Banglades, Vietnam, India, Pakisztán és több más ország vált a világ ruházati termelésének fontos központjává.

A termelés áthelyezésének egyik meghatározó oka az alacsonyabb munkaerőköltség volt.

A ruhagyártás bizonyos szakaszai – különösen a szabás, varrás és összeszerelés – munkaigényes tevékenységek.

A környezeti problémák azonban gyakran nem a varrodákban, hanem a termelési lánc korábbi szakaszaiban jelentkeznek.

A textilszálak előállítása, a festés, a fehérítés, a kikészítés és más vegyipari jellegű folyamatok jelentős víz- és vegyianyag-felhasználással járhatnak.

Ha a szennyvízkezelés nem megfelelő, a színezékek, segédanyagok és más szennyezők a folyókba kerülhetnek.

A textilipari termelés környezeti terhelése ezért nemcsak a szén-dioxid-kibocsátásból áll.

Fontos lehet a vízfogyasztás, a helyi vízszennyezés, a vegyi anyagok kezelése és a keletkező hulladék mennyisége is.

A fejlett országok fogyasztói gyakran csak a késztermék alacsony árával találkoznak.

A gyártás környezeti következményei távoli országok lakosságát érinthetik.

Ez különösen élesen mutatja meg, hogy a fogyasztásból származó gazdasági előny és a termelés helyi környezeti költsége nem feltétlenül ugyanott jelentkezik.

A technológiai fejlődés két arca

A termelés nemzetközi áthelyezése azonban nem minden esetben növeli a környezetterhelést.

Ha egy fejlődő országba korszerű, energiahatékony gyár települ, az hozzájárulhat a régebbi, szennyezőbb helyi technológiák kiváltásához.

A külföldi beruházások új mérnöki ismereteket, modernebb gépeket és magasabb termelési színvonalat is hozhatnak.

A nemzetközi vállalatok bizonyos esetekben saját környezetvédelmi követelményeiket is alkalmazzák a külföldi leányvállalatoknál és beszállítóknál.

Ez akár szigorúbb lehet a fogadó ország jogszabályi minimumánál.

A globalizáció ezért nem szükségszerűen jár környezeti romlással.

A kérdés az, hogy a termelés áthelyezése együtt jár-e a technológia és a környezetvédelmi gyakorlat fejlődésével.

Fontos különbség van egy elavult, erősen szennyező üzem egyszerű átköltöztetése és egy korszerű, hatékony gyár új országban történő létrehozása között.

A környezeti eredmény a technológia, az energiaellátás, a szabályozás és az ellenőrzés együttesétől függ.

Ezért az ipar áthelyezésének megítéléséhez nem elegendő a munkahelyek vagy a termelési érték változását megvizsgálni.

A környezeti mutatókat is követni kell.

Kétféle mérleg ugyanarról a gazdaságról

A környezeti terhelés exportjának megértéséhez két különböző elszámolási módszert kell megkülönböztetnünk.

Az egyik a területi, más néven termelési alapú mérleg.

Ez azt mutatja meg, mennyi szén-dioxid keletkezik egy adott ország területén.

Ha egy kínai gyárban szenet égetnek el a termeléshez szükséges energia biztosítására, az így keletkező szén-dioxid Kína területi kibocsátásában jelenik meg.

A másik módszer a fogyasztási alapú mérleg.

Ez a nemzetközi kereskedelem során figyelembe veszi az importált és exportált termékek előállításához kapcsolódó kibocsátásokat is.

A fogyasztási mérleg tehát a területi kibocsátásból levonja az exporthoz kapcsolódó kibocsátásokat, és hozzáadja az importált termékekben megtestesülő kibocsátásokat.



2. ábra – A termelési és fogyasztási alapú mérleg különbsége

A területi elszámolás a kibocsátás keletkezési helyét vizsgálja. A fogyasztási elszámolás a nemzetközi kereskedelembe beépült kibocsátásokkal korrigálja ezt, és a végső felhasználáshoz rendeli a terhelést. Az ábra a fosszilis és ipari szén-dioxidra vonatkozó elszámolást szemlélteti.

A két mérleg ugyanazt a világméretű kibocsátást különböző nézőpontból mutatja be.

A globális összkibocsátás szempontjából az elszámolás megválasztása természetesen nem változtatja meg, mennyi szén-dioxid kerül a légkörbe.

Az egyes országok környezeti teljesítményéről alkotott képet azonban jelentősen befolyásolhatja.

A nemzetközi klímaegyezményekben alkalmazott országos kibocsátási nyilvántartások jellemzően területi elven működnek. Ez logikus, hiszen egy állam közvetlen szabályozási lehetősége elsősorban a saját területén működő létesítményekre terjed ki.

A fogyasztási mérleg viszont más kérdésre válaszol.

Arra, hogy az ország lakosságának, vállalatainak és intézményeinek végső fogyasztása mekkora szén-dioxid-kibocsátással jár a világ különböző pontjain.

E két megközelítés egymást kiegészíti.

Egyik sem teszi szükségtelenné a másikat.

Mit mutatnak a számok?

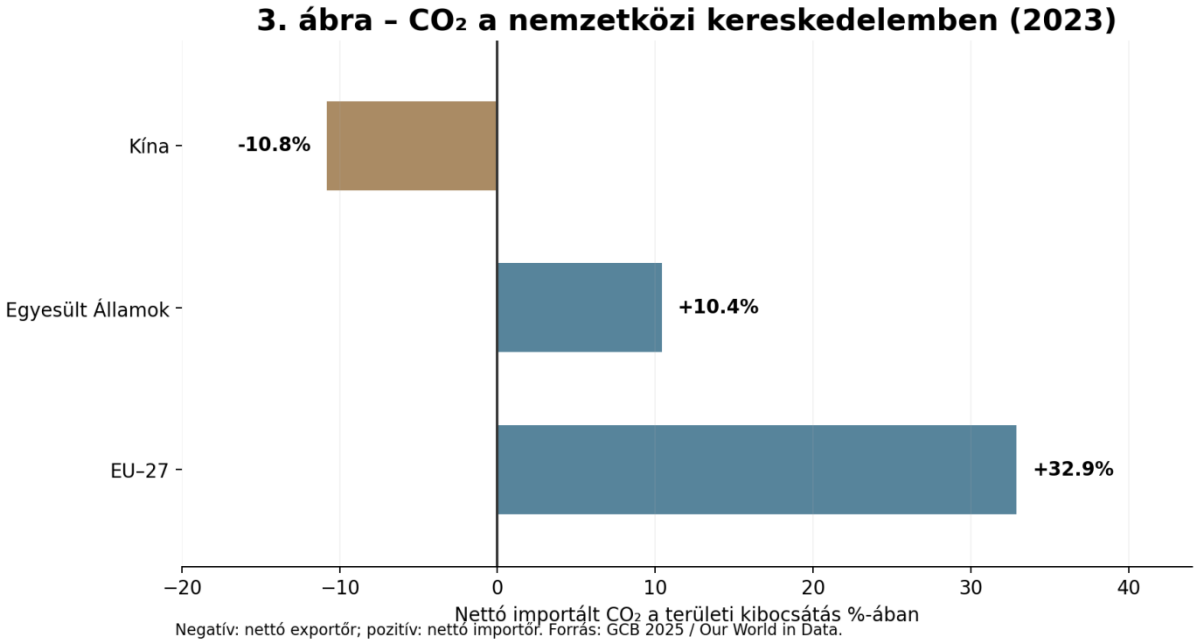
A kétféle elszámolás különbsége a nagy gazdasági térségek összehasonlításakor különösen jól látható.

A Global Carbon Budget 2025 adatain alapuló, 2023-ra vonatkozó nemzetközi kereskedelmi mérleg szerint Kína nettó szén-dioxid-exportőr.

Ez azt jelenti, hogy az exportált termékek gyártásához kapcsolódó kibocsátás meghaladja az importált termékekhez kapcsolódót.

Az Egyesült Államok és az Európai Unió viszont nettó szén-dioxid-importőrök.

Az Our World in Data 2023-as adatai alapján a nettó kereskedelmi kibocsátásegyenleg a területi kibocsátás arányában Kínánál −10,8 százalék, az Egyesült Államoknál +10,4 százalék, az Európai Uniónál pedig +32,9 százalék volt.



3. ábra – A nemzetközi kereskedelembe beépült szén-dioxid

Képaláírás: A nemzetközi kereskedelemhez kapcsolódó nettó szén-dioxid-egyenleg 2023-ban, a területi fosszilis és ipari kibocsátás százalékában. A negatív érték nettó exportot, a pozitív nettó importot jelent. Az Európai Unió fogyasztási alapú kibocsátása ezért jelentősen meghaladja területi kibocsátását. Forrás: Global Carbon Budget 2025, Our World in Data.

A számok értelmezésekor azonban óvatosnak kell lennünk.

A kínai nettó exportegyenleg nem azt jelenti, hogy Kína kibocsátásának többi része kizárólag a lakossági fogyasztásból keletkezik. A hazai beruházások, az infrastruktúra-építés, a közszolgáltatások és az ipari termelési láncok ugyancsak jelentős szerepet játszanak.

Hasonlóképpen, az Európai Unió nettó importegyenlege sem jelenti azt, hogy az európai termelés minden ágazatban eltűnt volna.

A nettó érték ugyanis az importhoz és exporthoz kapcsolódó kibocsátások különbségét mutatja.

Egy ország egyszerre exportálhat és importálhat nagy mennyiségű terméket.

A mérleg mindössze azt mutatja meg, melyik irányhoz kapcsolódik több kibocsátás.

Az európai környezetvédelmi siker valódi vagy látszólagos?

Az európai országok ipari szerkezetének átalakulása jelentős környezetvédelmi eredményeket hozott.

A szigorúbb kibocsátási előírások, a korszerű füstgáztisztítás, a szennyvízkezelés fejlődése, az energiahatékonyság javulása és az energiarendszer változásai egyaránt hozzájárultak bizonyos szennyezések mérsékléséhez.

Ugyanakkor a termelés nemzetközi átrendeződése is befolyásolta az európai területi kibocsátásokat.

Ebből két szélsőséges következtetést lehetne levonni.

Az egyik szerint Európa környezetvédelmi eredményei teljes egészében látszólagosak, mert a szennyezést egyszerűen más országokba helyezte át.

A másik szerint az importált termékekhez kapcsolódó környezetterheléssel egyáltalán nem kell foglalkozni, hiszen az a külföldi gyártók felelőssége.

Egyik álláspont sem írja le megfelelően a valóságot.

Európában tényleges technológiai és környezetvédelmi fejlődés történt.

A fogyasztási alapú szén-dioxid-adatsorok ugyanakkor azt is megmutatják, hogy a nemzetközi kereskedelem figyelembevétele nélkül a teljes európai környezeti lábnyom alulbecsülhető.

Fontos azonban egy további megállapítás.

Európa hosszú távú fogyasztási alapú szén-dioxid-kibocsátása is csökkent számos vizsgált időszakban. A környezeti javulás tehát nem magyarázható teljes egészében az ipar külföldre helyezésével.

A helyes megközelítés ezért nem az eredmények megkérdőjelezése, hanem a mérlegek kiegészítése.

A területi és fogyasztási adatok együttes vizsgálata segít elkülöníteni a valódi technológiai fejlődést a kibocsátások nemzetközi átrendeződésétől.

A szén-dioxid nem azonos a teljes környezeti terheléssel

A fogyasztási alapú szén-dioxid-mérleg fontos eszköz, de nem írja le a termelés teljes környezeti hatását.

Egy importált termék előállítása vízszennyezéssel, talajpusztulással, erdőirtással vagy veszélyes hulladékok keletkezésével is járhat.

Ezeket a hatásokat a szén-dioxid-kibocsátás nem feltétlenül mutatja meg.

Különösen fontos ez a nyersanyag-kitermelésnél.

Egy elektromos berendezésben felhasznált réz, nikkel vagy ritkaföldfém kitermelése és feldolgozása gyakran több országon keresztül kapcsolódik a végtermék előállításához.

A bányászat jelentős területigényű lehet, módosíthatja a vízháztartást, és nagy mennyiségű meddőanyagot hozhat létre.

A fémek feldolgozása energiát és különféle vegyi anyagokat igényelhet.

Ha a nyersanyagokat egy fejlődő országban termelik ki, majd egy fejlett ipari országban használják fel, akkor a környezeti terhelés egy része az előállítás helyén marad.

A fogyasztó sokszor nem is találkozik ezekkel a következményekkel.

A környezeti lábnyom fogalmát ezért célszerű a szén-dioxidon túl kiterjeszteni a vízfelhasználásra, a nyersanyagigényre, a földhasználatra és más környezeti hatásokra is.

Egy termék valódi környezeti terhelése csak a teljes életciklus figyelembevételével értékelhető.

A veszélyes hulladékok kereskedelme

A szennyezés exportjának van egy másik, közvetlenebb formája is.

Nemcsak a termelés helyezhető át más országba, hanem a már keletkezett hulladék is.

A fejlett országokban egyes hulladékok kezelése jelentős költséggel jár. Különösen igaz ez a veszélyes vegyi anyagokat tartalmazó ipari hulladékokra, az elektronikai hulladékokra és bizonyos műanyagfajtákra.

A hulladék nemzetközi kereskedelme önmagában nem feltétlenül káros.

Egy megfelelő technológiával rendelkező külföldi feldolgozóüzem akár hatékonyabban is hasznosíthat bizonyos anyagokat, mint a hulladék keletkezési helyén működő létesítmények.

A probléma akkor jelentkezik, ha a hulladék olyan országba kerül, ahol a biztonságos kezeléshez hiányoznak a megfelelő műszaki, pénzügyi vagy ellenőrzési feltételek.

Az elektronikai hulladékok különösen szemléletes példát kínálnak.



84. ábra: elektronikai hulladék Afrikában

A számítógépek, mobiltelefonok, televíziók és egyéb készülékek értékes fémeket tartalmazhatnak, ugyanakkor veszélyes anyagok is előfordulhatnak bennük.

Az elektronikai hulladékok nem megfelelő, például nyílt tűzön történő feldolgozása károsíthatja a levegőt, a talajt és a vizeket.

Egyes fejlődő országokban az informális hulladékfeldolgozás sok ember megélhetését biztosítja, de az egészségügyi és környezeti kockázatok gyakran jelentősek.

A hulladékok országhatárokon át történő szállításának szabályozására született meg az 1989-ben elfogadott Bázeli Egyezmény.

A megállapodás célja a veszélyes hulladékok nemzetközi mozgásának ellenőrzése és környezetvédelmi szempontból megfelelő kezelése.

Az egyezmény különösen fontos elve, hogy a veszélyes hulladékok szállítása nem válhat a biztonságos hulladékkezelési kötelezettségek megkerülésének eszközévé.

A probléma azonban nem szűnt meg teljesen.

A hulladékok nem megfelelő osztályozása, az ellenőrzés hiányosságai és az illegális szállítás továbbra is kockázatot jelentenek.

Ezért különbséget kell tennünk a jogszerű, ellenőrzött nemzetközi újrahasznosítás és a hulladékkezelési költségek más országokra történő áthárítása között.

A fogyasztó felelőssége

A környezetterhelés exportjának kérdése előbb-utóbb elvezet a fogyasztói döntésekhez.

A fejlett országok lakói számos olyan terméket vásárolnak, amelyeket távoli országokban állítottak elő.

A fogyasztó azonban rendszerint nem tudja megállapítani, milyen környezeti körülmények között készült az adott termék.

Egy ruhadarab címkéje általában megmutatja a gyártás országát, de nem feltétlenül árulja el, hogyan kezelték a festés során keletkező szennyvizet.

Egy elektronikai eszköz műszaki adatlapja részletes információkat tartalmazhat a teljesítményéről, de jóval kevesebbet a felhasznált fémek bányászatának környezeti körülményeiről.

A fogyasztói tájékozottság növelése ezért fontos feladat.

A megbízható életciklus-elemzések, a termékek környezeti információi és a beszállítói láncok átláthatósága segíthetik a választást.

Ugyanakkor nem lenne életszerű a teljes felelősséget az egyéni vásárlóra hárítani.

Egy korszerű elektronikai berendezés előállítása akár több tucat országot és több száz beszállítót érinthet.

A fogyasztó nem rendelkezik azokkal az információkkal és ellenőrzési lehetőségekkel, amelyekkel egy nagyvállalat vagy hatóság igen.

Ezért a termékek környezeti teljesítményének javításában a gyártóknak, kereskedőknek és állami szabályozó szerveknek is szerepet kell vállalniuk.

A vállalat felelőssége nem érhet véget a gyárkapunál

A nemzetközi vállalatok számára a környezeti felelősség egyik legfontosabb kérdése a beszállítói hálózatok kezelése.

Egy vállalat közvetlen működése lehet viszonylag kis környezetterhelésű, miközben termékeinek előállításához jelentős mennyiségű energiát és nyersanyagot használnak fel más cégek.

Ez különösen jellemző lehet olyan vállalatokra, amelyek elsősorban terméktervezéssel, márkaépítéssel és kereskedelemmel foglalkoznak, míg a gyártást külső beszállítók végzik.

A vállalati üvegházhatásúgáz-elszámolás ezért több kibocsátási kategóriát különböztet meg.

A közvetlen kibocsátások mellett figyelembe veszik a vásárolt energia előállításához, valamint a teljes értéklánchoz kapcsolódó közvetett kibocsátásokat is.

Az utóbbiakat gyakran Scope 3 kibocsátásoknak nevezik.

Ezekhez tartozhatnak például a vásárolt alapanyagok előállításának, a szállításnak, a termékek használatának és élettartamuk végén történő kezelésének egyes kibocsátásai.

A módszer fontos előnye, hogy a vállalat környezeti hatását nem korlátozza a saját tulajdonában álló gyárakra és irodákra.

Ugyanakkor az értéklánc kibocsátásainak meghatározása sok esetben becsléseket igényel.

A beszállítói adatok hiányosak lehetnek, és az egyes termelési folyamatok környezeti hatásának felosztása sem mindig egyértelmű.

A vállalati környezeti mérlegek ezért ugyanolyan módszertani átláthatóságot és ellenőrizhetőséget igényelnek, mint a nemzeti kibocsátási statisztikák.

Hogyan akadályozható meg a szennyezés áthelyezése?

A környezeti terhelés exportjának mérséklésére többféle megoldás létezik.

Az egyik az importált termékek előállítási körülményeinek jobb megismerése.

Ha a vállalatok és hatóságok megbízható adatokkal rendelkeznek a termékek gyártásához kapcsolódó kibocsátásokról, könnyebben azonosíthatók a nagy környezeti terhelésű termelési folyamatok.

A másik lehetőség a nemzetközi környezetvédelmi szabályok közelítése.

Ha a különböző országok hasonló alapvető követelményeket alkalmaznak a veszélyes hulladékok kezelésére, a vízszennyezésre vagy a légszennyező anyagok kibocsátására, csökkenhet a szabályozási különbségekből származó költségelőny.

A harmadik megoldás a technológiai együttműködés.

A fejlett országokban alkalmazott korszerű tisztítási és energiahatékonysági technológiák elterjesztése segíthet abban, hogy a fejlődő országok ipara kisebb környezetterheléssel működjön.

A negyedik lehetőség a kibocsátások kereskedelemhez kapcsolódó elszámolása és bizonyos esetekben árazása.

Az Európai Unió szén-dioxid-határkiigazítási mechanizmusa, a CBAM éppen azt a problémát kívánja kezelni, hogy az európai kibocsátási költségek egyes szén-dioxid-intenzív termékek gyártását olyan országokba terelhetik, ahol nincs hasonló költség.

A rendszer meghatározott importtermékekhez kapcsolódó kibocsátásokat vesz figyelembe, és a megfelelő feltételek mellett az uniós szén-dioxid-árazáshoz kapcsolódó fizetési kötelezettséget hoz létre.

Ez azonban nem általános környezetvédelmi vám.

Nem kezeli közvetlenül valamennyi vízszennyezési, hulladékkezelési vagy természetvédelmi problémát.

A nemzetközi kereskedelem és a környezetvédelem összehangolása ezért további eszközöket is igényel.

A fejlődő országok számára lehetőség is lehet

A környezetterhelő termelés áthelyezése nemcsak környezeti veszélyeket, hanem gazdasági fejlődési lehetőségeket is teremt.

Egy új gyár munkahelyeket biztosíthat, növelheti az exportbevételeket, és hozzájárulhat a helyi infrastruktúra fejlődéséhez.

A fogadó ország számára ezért nem feltétlenül az jelenti a jó megoldást, ha elutasít minden környezetterhelő ipari beruházást.

Sokkal inkább az, hogy megfelelő feltételeket alakítson ki a termeléshez.

A környezetvédelmi követelmények, a munkahelyi biztonság, a tisztességes adózás és a technológiai fejlődés együtt tehetik hosszú távon előnyössé a beruházást.

A túlzottan enyhe környezetvédelmi szabályozás rövid távon növelheti egy térség vonzerejét bizonyos beruházók számára.

Hosszabb távon azonban a szennyezett vízkészletek, a károsodott talaj és a lakosság egészségügyi problémái jelentős gazdasági költségeket okozhatnak.

Ezeket a költségeket gyakran nem ugyanazok a vállalatok viselik, amelyek a szennyezést előidézték.

A környezetvédelmi szabályozás ezért nem pusztán az ipari fejlődés korlátozásának eszköze.

A hosszú távú gazdasági fejlődés feltétele is lehet.

Tisztább lett a világ, vagy csak máshol szennyezünk?

A fejezet elején feltett kérdésre nem adható egyetlen általános válasz.

Vannak olyan országok és iparágak, ahol a környezeti terhelés valóban csökkent a technológiai fejlődés és a szigorúbb szabályozás következtében.

Más esetekben a hazai kibocsátások mérséklődéséhez a termelés külföldre helyezése is hozzájárult.

És olyan helyzetek is léteznek, amikor a termelés áthelyezése korszerűbb technológiák alkalmazásával jár, így a globális környezeti terhelés csökkenhet.

A különböző eseteket ezért nem szabad egyetlen magyarázatra visszavezetni.

A világgazdaság környezeti teljesítményének értékeléséhez a területi és fogyasztási alapú mérlegeket egyaránt vizsgálni kell.

Fontos azonban azt is tudni, hogy a szén-dioxid-kibocsátás önmagában nem elegendő a környezetterhelés teljes leírásához.

A vízfelhasználás, a vegyi szennyezés, a bányászat, a hulladékok és a természetes élőhelyek átalakítása szintén része a teljes mérlegnek.

Amikor átszakad a zagytározó – két magyarországi katasztrófa

A bányászat és a fémfeldolgozás környezeti veszélyei nem érnek véget a nyersanyag kitermelésével. Az ércfeldolgozás során keletkező zagy és más ipari maradványok gyakran hatalmas tározókba kerülnek. Ha ezek gátjai megsérülnek, a szennyezés rövid idő alatt nagy területekre juthat el.

Magyarország közelmúltjának két súlyos környezeti katasztrófája is ilyen tározók meghibásodásához kapcsolódott.

A tiszai ciánszennyezés, 2000



A 2000-es tiszai ciánszennyezés tömeges halpusztulást okozott, és súlyosan károsította a folyó élővilágát.

2000. január 30-án a romániai Nagybánya (Baia Mare) közelében működő Aurul aranyfeldolgozó üzem zagytározójának gátja átszakadt.

Az ENSZ vizsgálata szerint mintegy 100 ezer köbméter, becslések szerint 50–100 tonna cianidot is tartalmazó szennyezett víz és zagy jutott a környezetbe. A szennyezés a Láposon és a Szamoson keresztül elérte a Tiszát, majd a Dunát.

A cianidot az arany kinyerésére használták. Az anyag nagy koncentrációban rendkívül mérgező a vízi élőlények számára.

A szennyezés következtében a Tisza egyes szakaszain tömeges halpusztulás következett be. A vízkivételt korlátozni kellett, a folyóhoz kapcsolódó halászat és idegenforgalom pedig jelentős károkat szenvedett.

Az eset különösen jól mutatta, hogy a környezetszennyezés nem ismeri az országhatárokat. Egy romániai ipari baleset következményeit több ország lakossága és természetes élővilága viselte.

A vörösiszap-katasztrófa, 2010



A 2010. októberi vörösiszap-katasztrófa után Kolontár és Devecser egyes részeit erősen lúgos ipari zagy borította.

Tíz évvel később, 2010. október 4-én az ajkai timföldgyár egyik vörösiszap-tározójának gátja szakadt át.

Mintegy egymillió köbméter, erősen lúgos vörösiszap és folyadék zúdult a környező területekre. A katasztrófa különösen Kolontárt és Devecsert sújtotta. Tíz ember életét vesztette, több százan megsérültek, és jelentős lakóterületek váltak lakhatatlanná.

A vörösiszap a bauxitból történő timföldgyártás melléktermék. Vörös színét elsősorban vastartalmú vegyületek adják. A kiömlött zagy legközvetlenebb veszélyét azonban nem a színe vagy önmagában a nehézfémtartalma jelentette, hanem rendkívül magas lúgossága, amely súlyos kémiai égési sérüléseket okozhatott.

A szennyezés a Torna-patakon keresztül a Marcalba, majd a Rába és a Duna vízrendszerébe is eljutott.

A két katasztrófa közös tanulsága

A két esemény eltérő ipari tevékenységhez kapcsolódott: Nagybányán az aranykinyeréshez használt cianidos technológiai folyadék, Ajkán a timföldgyártás erősen lúgos melléktermék okozta a pusztítást.

Közös bennük, hogy a veszélyes anyagok tárolásának biztonsága nem kapott megfelelő védelmet a gátszakadással szemben.

Az események arra is figyelmeztetnek, hogy a nyersanyagok valódi környezeti költségét nem lehet kizárólag a bányászat vagy az ipari feldolgozás közvetlen kibocsátásával mérni.

Számolni kell a hulladékok hosszú távú tárolásával, a tározók karbantartásával, az esetleges balesetek következményeivel és a helyreállítás költségeivel is.

A nyersanyag kitermelésének haszna gyakran egy vállalatnál jelentkezik, egy súlyos környezeti baleset ára viszont egész településekre, folyórendszerekre és akár szomszédos országokra hárulhat.

Források:

- UNECE – A nagybányai ciánszennyezés tizedik évfordulója, 2010
- Francia ARIA iparbaleseti adatbázis – Az ajkai vörösiszap-katasztrófa
- ICPDR – Az ajkai timföldgyár balesete, 2010

A fejlett országok nem tekinthetik környezeti felelősségük lezárásának, ha egy szennyező iparág eltűnik a saját területükről, miközben termékeit továbbra is nagy mennyiségben fogyasztják.

A fejlődő országoknak ugyanakkor nem érdekük, hogy hosszú távú gazdasági fejlődésüket a környezetvédelmi követelmények tartós mellőzésére építsék.

A nemzetközi munkamegosztás akkor válhat környezeti szempontból is kedvezővé, ha a termelés nem pusztán oda kerül, ahol a szennyezés a legolcsóbb, hanem oda, ahol hatékonyan és felelősen végezhető.

A modern gazdaságban a termékek könnyedén átlépik az országhatárokat.

A környezeti következmények azonban gyakran ott maradnak, ahol a termelés történt.

A valódi környezetvédelmi eredmény nem az, ha a szennyezés eltűnik a szemünk elől, hanem az, ha a világ egészét tekintve csökken.

Ez a különbség a helyi környezetvédelem és a globális környezeti felelősség között.

A fejezet legfontosabb forrásai: Our World in Data fogyasztási alapú CO_2-elemzése, a Global Carbon Budget 2025 nemzetközi kereskedelmi adatai, valamint a 2023-as tudományos tanulmány a szennyező termelés kiszervezéséről.

15. Zöld üzemanyag, eltűnő erdők

Amikor a környezetvédelem újabb környezeti problémát teremt

A fosszilis energiahordozók felhasználásának csökkentése évtizedek óta a környezetvédelem egyik legfontosabb célja. A közlekedésben azonban különösen nehéz feladatnak bizonyult a kőolaj helyettesítése.

A benzin és a gázolaj nagy energiasűrűségű, viszonylag könnyen szállítható és tárolható üzemanyag. A belső égésű motorok elterjedésével hatalmas infrastruktúra épült ki a felhasználásukra. Finomítók, üzemanyagtöltő állomások, szállítóvezetékek és járművek százmilliói kapcsolódnak ehhez a rendszerhez.

Amikor világossá vált, hogy a fosszilis tüzelőanyagok elégetése hozzájárul a globális felmelegedéshez, a kutatók és a politikai döntéshozók olyan megoldásokat kezdtek keresni, amelyekkel csökkenthető a közlekedés szén-dioxid-kibocsátása.

Az egyik lehetőség kézenfekvőnek tűnt.

Ha a kőolaj helyett növényekből állítunk elő üzemanyagot, akkor az elégetéskor keletkező szén-dioxidot a növények korábban a légkörből vették fel.

A növény növekedése során fotoszintézissel szerves anyagot állít elő. Ezt az anyagot különböző technológiákkal folyékony üzemanyaggá alakíthatjuk, amelyet a motorokban elégetünk.

A gondolat egyszerű és vonzó.

A fosszilis energiahordozók a földtörténeti múltban megkötött szenet juttatják a légkörbe. A növényekből előállított üzemanyag viszont elvileg a jelenlegi biológiai szénkörforgás része.

Ebből alakult ki a bioüzemanyagokkal kapcsolatos egyik legfontosabb várakozás: a mezőgazdaság segítségével részben helyettesíthetjük a kőolajat, miközben mérsékeljük az üvegházhatású gázok kibocsátását.

A valóság azonban bonyolultabbnak bizonyult.

A növényeket meg kell termeszteni, be kell takarítani, szállítani és fel kell dolgozni. Ehhez energia, műtrágya, víz és gépek szükségesek.

Mindenekelőtt pedig földterület kell.

És a földterület nem korlátlan erőforrás.

A bioüzemanyagok története ezért különösen tanulságos példája annak, hogyan okozhat egy eredetileg környezetvédelmi célból támogatott technológia újabb környezeti problémákat.

Mit nevezünk bioüzemanyagnak?

A bioüzemanyag olyan üzemanyag, amelyet biológiai eredetű alapanyagokból állítanak elő.

A közlekedésben legelterjedtebb folyékony változatai közé a bioetanol és a biodízel tartozik.

A bioetanol etil-alkohol, amelyet cukrot vagy keményítőt tartalmazó növényekből lehet előállítani. A cukornád levében közvetlenül rendelkezésre állnak az erjeszthető cukrok, míg a kukorica keményítőjét előbb cukrokká kell lebontani.

Az erjesztést követően a keletkező alkoholt elválasztják és tisztítják. Az így előállított bioetanol megfelelő feltételek mellett benzinhez keverhető, vagy az erre alkalmas motorokban nagyobb arányban is felhasználható.

A biodízel általában növényi olajokból vagy állati zsírokból készül kémiai átalakítás útján.

Alapanyaga lehet például a repceolaj, a szójaolaj vagy a pálmaolaj. Más technológiai eljárásokkal, például hidrogénezéssel szintén előállíthatók megújuló eredetű dízeljellegű üzemanyagok.

Fontos különbséget tenni az egyes termékek között, mert eltérő gyártási technológiáik miatt környezeti mérlegük is különbözhet.

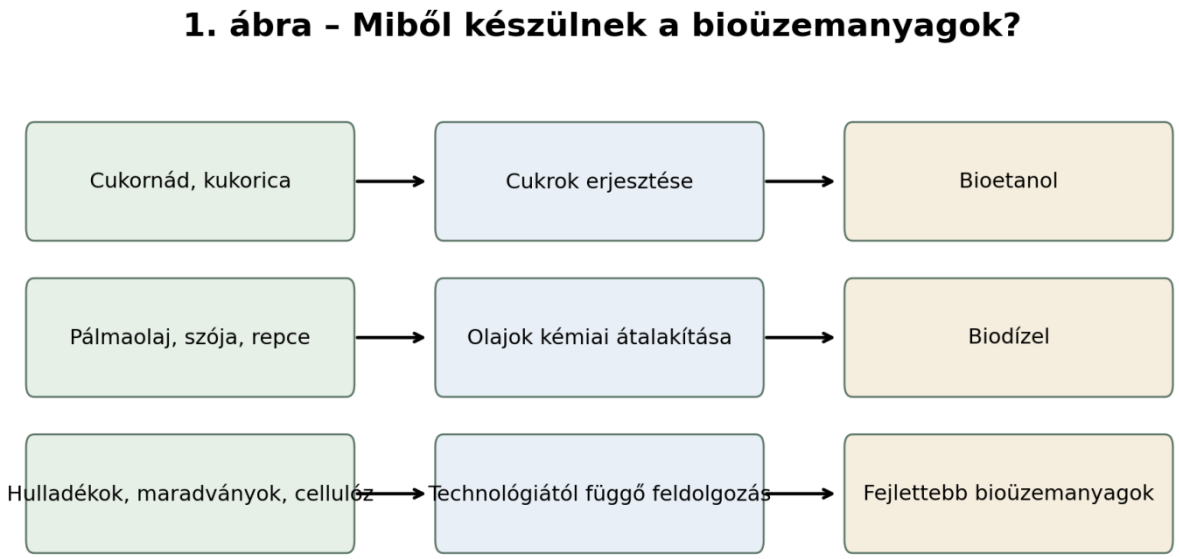
A hagyományos mezőgazdasági alapanyagokon kívül léteznek más megoldások is.

Felhasználható például használt sütőolaj, bizonyos állati zsiradék, növényi hulladék, szalma, faipari melléktermék vagy más lignocellulóz-tartalmú anyag.

Ezeket gyakran fejlettebb bioüzemanyagok alapanyagának tekintik.

Az elnevezés azonban nem jelent automatikusan kedvező környezeti teljesítményt. A technológia, az alapanyag eredete és a felhasználás módja egyaránt számít.

Az IEA szerint a ma alkalmazott bioüzemanyagok jelentős része még mindig hagyományos mezőgazdasági növényekre épül. A hulladékokból és maradványokból készült üzemanyagok szerepének növelése azért fontos, mert bizonyos esetekben mérsékelhetik az új termőföld iránti igényt.



85. ábra – Miből készülnek a bioüzemanyagok?

A főbb bioüzemanyag-típusok, alapanyagaik és előállítási módszereik. Az ábra egyszerűsített technológiai áttekintés; a valóságban többféle eljárás és további alapanyag is létezik.

Miért nem szén-dioxid-semleges automatikusan a bioüzemanyag?

A bioüzemanyagokkal kapcsolatos egyik legelterjedtebb félreértés, hogy a növényi eredet miatt felhasználásuk szükségszerűen szén-dioxid-semleges.

A magyarázat többnyire arra épül, hogy a növény növekedése közben ugyanannyi szén-dioxidot vesz fel, amennyi az üzemanyag elégetésekor felszabadul.

Ez a megközelítés azonban csak a szénkörforgás egy részét veszi figyelembe.

A mezőgazdasági termeléshez használt gépek üzemanyagot fogyasztanak. A műtrágyák előállítása energiaigényes. A talajban alkalmazott nitrogénvegyületek egy része dinitrogén-oxid formájában kerülhet a légkörbe.

A dinitrogén-oxid erős üvegházhatású gáz.

A növényi alapanyag szállítása, az erjesztés, az olajfeldolgozás és az üzemanyag finomítása szintén energiát igényel.

A bioüzemanyag teljes környezeti mérlegéhez ezért ezeket a folyamatokat is figyelembe kell venni.

Ezt az eljárást életciklus-elemzésnek nevezzük.

A számítás nemcsak azt vizsgálja, mi történik a gépjármű motorjában, hanem azt is, milyen energia- és anyagfelhasználással járt az üzemanyag előállítása.

A különböző bioüzemanyagok között jelentős eltérések lehetnek.

Az amerikai kukoricaetanol, a brazil cukornádetanol, az európai repcealapú biodízel és az indonéz pálmaolajból előállított üzemanyag környezeti teljesítménye nem feltétlenül azonos.

A terméshozam, a felhasznált energia eredete, a mezőgazdasági technológia, a melléktermékek hasznosítása és a földhasználat egyaránt befolyásolja az eredményt.

A Nemzetközi Energiaügynökség 2024-es elemzése külön kiemeli, hogy a bioüzemanyagok életciklus-kibocsátása nagyon eltérő lehet, és a földhasználat változásának figyelembevétele az egyik legfontosabb módszertani kérdés.

A bioüzemanyagok környezeti mérlegének egyik legnagyobb kockázata a termőföld iránti megnövekedett kereslet.

Egy mezőgazdasági növény termesztéséhez földterület kell.

Ha a bioüzemanyagok iránti kereslet növekszik, többféle folyamat indulhat el.

A gazdálkodók növelhetik a meglévő területek terméshozamát.

Felhasználhatnak korábban műveletlen vagy más célra használt mezőgazdasági földeket.

De az is előfordulhat, hogy természetes élőhelyeket alakítanak át új ültetvényekké.

Az utóbbi különösen súlyos környezeti következményekkel járhat.

Ha egy trópusi erdőt kivágnak, és a helyén energiaültetvényt létesítenek, az erdőben és a talajban korábban tárolt szén jelentős része felszabadulhat.

Emellett megszűnnek vagy átalakulnak az eredeti élőhelyek, és csökkenhet a biológiai sokféleség.

Ezt közvetlen földhasználat-változásnak nevezzük.

Az angol szakirodalomban gyakran a direct land-use change, röviden DLUC kifejezést használják.

A folyamat könnyen megérthető.

A természetes erdőt kivágják, majd ugyanazon a területen cukornádat, olajpálmát vagy más mezőgazdasági növényt termesztenek.

A helyi változás közvetlenül megfigyelhető, például műholdfelvételek segítségével.

De a bioüzemanyag-termelés akkor is hozzájárulhat természetes élőhelyek pusztulásához, ha maga az energiaültetvény nem erdő helyén létesül.

Itt kezdődik a történet nehezebben látható része.

Amikor az erdőirtás máshol történik

Tegyük fel, hogy Brazíliában egy korábban szarvasmarha-legelőként használt területen cukornádültetvényt létesítenek.

A változás első pillantásra környezetvédelmi szempontból kedvezőnek tűnhet.

Nem kellett erdőt kivágni az ültetvényhez.

Az újonnan megtermelt cukornádból bioetanolt állítanak elő, amely részben helyettesítheti a fosszilis benzint.

De mi történik a legelő korábbi hasznosításával?

Ha a szarvasmarha-tenyésztés csökkenés nélkül folytatódik, akkor új legelőkre lehet szükség.

Előfordulhat, hogy a gazdálkodók más térségben alakítanak ki új legelőket, akár természetes élőhelyek rovására.

Így a bioüzemanyag-termelés területén nem történt erdőirtás, de a földhasználati változás közvetett következményeként máshol igen.

Ezt nevezzük közvetett földhasználat-változásnak, angol rövidítéssel ILUC-nak.

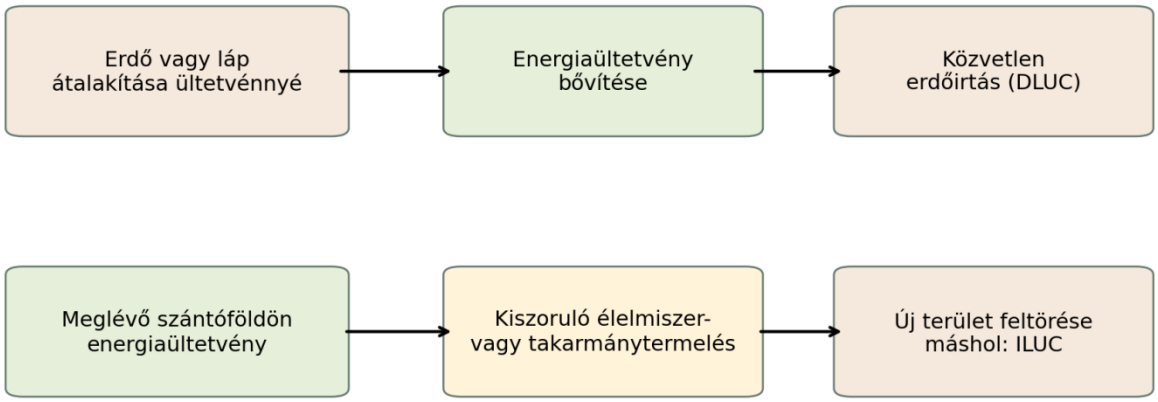
A jelenség nem korlátozódik Brazíliára.

Hasonló helyzet alakulhat ki akkor is, ha az élelmiszer- vagy takarmánytermelésre használt földeken energiaültetvényeket létesítenek.

Az élelmiszerek iránti kereslet ettől még nem feltétlenül csökken.

A kieső termelést más területeken pótolhatják, ami új termőföldek kialakítását ösztönözheti.

2. ábra – Közvetlen és közvetett földhasználat-változás



86. ábra – A közvetlen és közvetett erdőirtás

A közvetlen földhasználat-változás során az energiaültetvény természetes élőhely helyén létesül. Közvetett földhasználat-változás esetén az ültetvény más mezőgazdasági tevékenységet szoríthat ki, amely újabb területek művelésbe vonását idézheti elő. Az ábra lehetséges oksági láncokat mutat, nem szükségszerű következményeket.

A közvetett földhasználat-változás kimutatása azonban jóval nehezebb, mint a közvetlen erdőirtásé.

A nemzetközi mezőgazdasági piacokat számos tényező befolyásolja.

Változnak a terméshozamok, az árak, a fogyasztási szokások, a kereskedelmi feltételek és a termelési technológiák.

Nem mindig állapítható meg egyértelműen, hogy egy adott erdőirtást milyen mértékben idézett elő a bioüzemanyagok iránti kereslet.

A kutatók ezért gazdasági és földhasználati modelleket alkalmaznak.

Ezek segíthetnek a várható közvetett hatások becslésében, de az eredményeket bizonytalanságok terhelik.

Az IEA 2024-es értékelése szerint a közvetlen földhasználat-változás megfigyelhető és számszerűsíthető, míg az ILUC hatásait gazdasági modellekből kell becsülni, ezért értékeik meghatározása lényegesen bizonytalanabb.

Ez fontos módszertani különbség.

A közvetett erdőirtás lehetősége valós, de nem indokolt minden új bioüzemanyag-ültetvényhez automatikusan ugyanakkora erdőirtási kárt hozzárendelni.

Brazília: a cukornád és az etanol története

Brazília különleges helyet foglal el a bioüzemanyagok történetében.

Az országban a cukornád termesztése évszázados múltra tekint vissza. A trópusi és szubtrópusi éghajlat egyes térségekben kedvező feltételeket biztosít a növény termesztéséhez.

Az 1970-es évek olajválságai idején Brazília nagyszabású programot indított a kőolajimport-függőség csökkentésére.

Az 1975-ben elindított Proálcool program célja a cukornádból előállított etanol termelésének és közlekedési felhasználásának növelése volt.

A kezdeményezés idővel jelentős technológiai és ipari fejlődést eredményezett.

Brazíliában elterjedtek az etanoltartalmú benzin használatára alkalmas járművek, majd a rugalmas üzemanyag-felhasználású motorok is, amelyek különböző arányú benzin–etanol-keverékkel működhetnek.

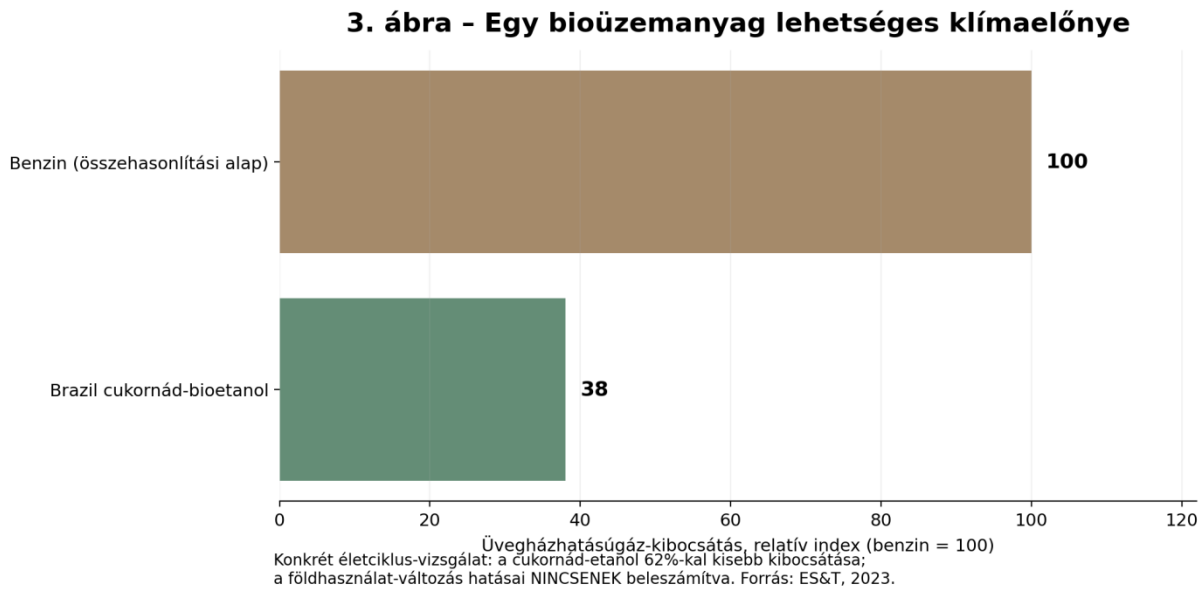
A cukornád feldolgozásának egyik fontos előnye, hogy a cukor kinyerése után visszamaradó rostos növényi anyag, a bagasz energetikai célra felhasználható.

A cukorgyárak és etanolüzemek így részben saját melléktermékük elégetésével fedezhetik hő- és villamosenergia-igényüket.

Ez javíthatja az előállított üzemanyag energia- és szén-dioxid-mérlegét.

A brazil cukornádetanol ezért bizonyos körülmények között jelentősen alacsonyabb életciklus-kibocsátással állítható elő, mint a fosszilis benzin.

Egy 2023-ban publikált, brazil üzemi adatokon alapuló kutatás például a vizsgált cukornádetanolra körülbelül 62 százalékkal kisebb üvegházhatásúgáz-kibocsátást becsült a fosszilis benzin összehasonlítási alapjához képest. A számítás ugyanakkor nem tartalmazta a földhasználat-változás hatásait.



87. ábra – A brazil cukornádetanol lehetséges előnye

A fosszilis benzinhez viszonyított relatív életciklus-kibocsátás egy konkrét, 2023-ban publikált brazil cukornádetanol-vizsgálat alapján. A benzin értéke 100, az etanolé körülbelül 38. Az összehasonlítás nem tartalmazza a földhasználat-változásból származó kibocsátásokat, ezért nem tekinthető minden brazil etanolra érvényes általános értéknek. Forrás: Environmental Science & Technology, 2023.

A brazil etanol tehát nem szükségszerűen kedvezőtlen környezeti megoldás.

A kérdés azonban az, milyen földterületen és milyen mezőgazdasági rendszerben állítják elő.

Cukornád a legelők helyén – és legelők az erdők helyén?

Brazíliában a cukornád termesztése elsősorban a középső és déli ipari-mezőgazdasági térségekben koncentrálódik, nem pedig közvetlenül az Amazonas esőerdejének belsejében.

Ez lényeges különbség.

A cukornádtermelés növekedését ezért nem lehet egyszerűen azonosítani az amazóniai erdőirtással.

A közvetett hatások lehetősége azonban továbbra is fennáll.

Ha a cukornád korábbi legelők vagy más mezőgazdasági területek helyét foglalja el, a kiszoruló tevékenységek új területeken jelenhetnek meg.

Brazíliában különösen fontos a szarvasmarha-tenyésztés szerepe, mert az országban a legelők terjeszkedése jelentős kapcsolatban állt a természetes élőhelyek átalakításával.

A Cerrado szavannavidék ökológiai szempontból szintén rendkívül értékes terület, bár a nemzetközi közvélemény gyakran kevesebb figyelmet fordít rá, mint az Amazonas erdőségeire.

A Cerrado nem egyszerűen ritkás, értéktelen növényzettel borított térség.

Önálló, nagy biológiai sokféleségű ökoszisztéma, amely jelentős mennyiségű szenet tárolhat a talajban és a kiterjedt gyökérrendszerekben.

A természetes szavanna mezőgazdasági területté alakítása ezért szintén komoly környezeti következményekkel járhat.

Egy 2010-ben publikált brazil modellezés arra figyelmeztetett, hogy a bioüzemanyag-termelés bővülése bizonyos feltételek mellett hozzájárulhat a legeltetés új térségekbe történő áthelyeződéséhez, és így az amazóniai, valamint cerradoi természetes élőhelyek átalakításához.

Más kutatások ugyanakkor arra mutattak rá, hogy a cukornádtermelés bővülésének környezeti következményei nagymértékben függenek a terméshozamok változásától, a földhasználati szabályozástól és a mezőgazdasági termelés szerkezetétől.

Egy 2024-es gazdaságtudományi tanulmány a cukornádtermesztés terjeszkedését műholdas adatok alapján vizsgálta, és arra jutott, hogy bizonyos feltételek mellett a termelés növekedésében a földterület-bővülésnek nagyobb szerepe lehetett, mint a terméshozam javulásának.

A brazil példa tanulsága ezért kettős.

A cukornádetanol jelentős fosszilisüzemanyag-megtakarítást eredményezhet.

Az előny azonban csökkenhet, vagy kedvezőtlen esetben el is veszhet, ha előállítása nagy széntartalmú természetes élőhelyek átalakításával jár.

Indonézia: az olajpálma két arca

A bioüzemanyagokkal kapcsolatos környezeti ellentmondások egyik legismertebb példája Indonézia.

Az ország trópusi éghajlata kedvez az olajpálma termesztésének. A növény terméséből kinyert pálmaolaj rendkívül sokoldalúan felhasználható.

Megtalálható élelmiszerekben, kozmetikumokban, tisztítószerekben és számos ipari termékben. Emellett biodízel előállítására is alkalmas.

A pálmaolaj iránti világméretű kereslet ezért több különböző gazdasági ágazatból származik.

A 20. század végén és a 21. század elején Indonéziában rendkívül gyorsan bővült az olajpálma-ültetvények területe.

Hatalmas mezőgazdasági vállalkozások és kisebb gazdálkodók egyaránt részt vettek a termelés növelésében.



88. ábra Olajpálma ültetvény

A fejlődés gazdasági szempontból jelentős eredményeket hozott.

Az olajpálma sok vidéki család számára biztosított megélhetést, növelte az exportbevételeket, és hozzájárult az ipari feldolgozás fejlődéséhez.

A terjeszkedés azonban súlyos környezeti károkat is okozott.

Egyes térségekben természetes trópusi erdőket vágtak ki az ültetvények kialakítása érdekében.

Másutt tőzeglápokat csapoltak le, hogy mezőgazdasági termelésre alkalmassá tegyék őket.

A tőzegterületek átalakítása különösen veszélyes lehet a szén-dioxid-kibocsátás szempontjából.

Amikor nemcsak az erdő, hanem a talaj is szénforrássá válik

A trópusi tőzeglápok nagy mennyiségű szerves anyagot tartalmaznak.

A vízzel telített talajban az elhalt növényi maradványok lebomlása lassú, ezért a szén hosszú időn keresztül felhalmozódhat.

Ha a területet lecsapolják, a talajba oxigén jut.

A szerves anyagok bomlása felgyorsulhat, és a korábban tárolt szén egy része szén-dioxid formájában felszabadul.

A kiszáradt tőzeg ráadásul tűzveszélyessé válhat.

Egy tőzegtűz nem feltétlenül hasonlít a felszínen gyorsan terjedő erdőtűzre. A tőzeg a felszín alatt is hosszan izzhat, jelentős füst- és üvegházhatásúgáz-kibocsátást okozva.

Indonéziában több alkalommal alakultak ki súlyos, nagy kiterjedésű erdő- és tőzegtüzek.

A füst nemcsak az érintett szigetek lakosságát veszélyeztette, hanem időnként a szomszédos országok levegőminőségét is jelentősen rontotta.

Itt ismét megjelenik a könyv egyik visszatérő gondolata: a szennyezés nem ismer országhatárokat.

A helyben végzett földhasználati tevékenységből keletkező füst nagy távolságokra juthat, miközben az üvegházhatású gázok kibocsátása a Föld egészének éghajlati rendszerét befolyásolja.

Ha a tőzegláp helyén létesített ültetvény pálmaolaját biodízelként használják fel, akkor az üzemanyag környezeti mérlegében figyelembe kell venni a talajból felszabaduló szén-dioxidot is.

Ez a kibocsátás olyan nagy lehet, hogy hosszú időre ellensúlyozhatja a fosszilis gázolaj helyettesítéséből származó előnyöket.

Miért olyan sikeres növény az olajpálma?

Az olajpálma környezetvédelmi megítélését nehezíti, hogy rendkívül hatékony olajtermelő növény.

Egységnyi területen általában lényegesen több növényi olaj állítható elő belőle, mint például szójából vagy repcéből.

Ez fontos szempont.

Ha ugyanannyi növényi olajat alacsonyabb terméshozamú növényekből állítunk elő, nagyobb mezőgazdasági területre lehet szükség.

A pálmaolaj teljes betiltása tehát önmagában nem garantálja a globális természetpusztítás csökkenését.

Előfordulhat, hogy a kereslet más növényi olajok irányába fordul, amelyek előállítása több földterületet igényel.

Ettől természetesen a trópusi erdők kivágása nem válik elfogadhatóvá.

A kérdés azonban nem egyszerűen az, hogy melyik növény terméséből származik az olaj.

Legalább ilyen fontos, hogy hol és milyen körülmények között termesztik.

Egy korábban mezőgazdasági használatban álló területen működő, jó terméshozamú ültetvény környezeti mérlege egészen más lehet, mint egy frissen kiirtott esőerdő vagy lecsapolt tőzegláp helyén létesített gazdaságé.

A fenntarthatóság ezért nem dönthető el kizárólag a növényfaj megnevezése alapján.

A biodízel mint nemzeti iparpolitikai eszköz

Indonézia számára a pálmaolajból előállított biodízel nem kizárólag környezetvédelmi kérdés.

Energia- és iparpolitikai jelentősége is van.

A hazai pálmaolaj feldolgozása értékesítési lehetőséget biztosít a mezőgazdasági termelőknek, munkahelyeket teremt, és mérsékelheti a fosszilis gázolaj importigényét.

Az indonéz kormány ezért hosszabb ideje támogatja a biodízel dízelüzemanyagba történő bekeverését.

A program a pálmaolaj iránti belföldi keresletet is növelte.

A döntés gazdasági logikája érthető.

Ha egy ország jelentős mennyiségű mezőgazdasági alapanyaggal rendelkezik, akkor törekedhet arra, hogy ne kizárólag nyersanyagként exportálja, hanem magasabb feldolgozottságú termékként is hasznosítsa.

A környezeti mérleg azonban attól függ, honnan származik az alapanyag, és növeli-e az üzemanyagprogram a természetes élőhelyek átalakítására nehezedő nyomást.

Fontos az is, hogy a biodízelprogramnak tulajdonítható hatásokat elkülönítsük a pálmaolaj iránti általános élelmiszeripari, kozmetikai és egyéb kereslettől.

Az indonéziai erdőirtást nem lehet teljes egészében a bioüzemanyag-termelés következményének tekinteni.

A pálmaolaj piacát sokféle felhasználás befolyásolja.

Ezért a környezeti felelősség megállapításához részletesebb elemzés szükséges.

A kisgazdálkodók, akiknek az ültetvény a megélhetést jelenti

A pálmaolajjal kapcsolatos nemzetközi vitákban gyakran megfeledkeznek a helyi lakosságról.

Pedig Indonéziában a termelés jelentős részében kisgazdálkodók is részt vesznek.

Az olajpálma számukra nem pusztán exporttermék vagy biodízel-alapanyag.

Sok esetben a családi jövedelem egyik legfontosabb forrása.

A mezőgazdasági termelésből származó bevételek segítségével javíthatják lakáskörülményeiket, finanszírozhatják gyermekeik oktatását, és fejleszthetik gazdaságukat.

A környezetvédelmi előírások szigorítása ezért társadalmi következményekkel is járhat.

Ha egy nagy nemzetközi vállalat kizárólag olyan beszállítóktól hajlandó vásárolni, amelyek részletes földhasználati dokumentációval, műholdas ellenőrzéssel és tanúsítványokkal rendelkeznek, akkor a kisebb termelők nehéz helyzetbe kerülhetnek.

Sok gazdálkodó nem rendelkezik megfelelő adminisztratív háttérrel, pontos földtulajdoni dokumentumokkal vagy a tanúsítás költségeinek fedezéséhez szükséges pénzzel.

Egy 2024-ben megjelent tudományos elemzés arra figyelmeztetett, hogy az erdőirtásmentes ellátási láncok követelményei megfelelő támogatás nélkül éppen a kisebb termelőket szoríthatják ki a piacról.

Ez különös ellentmondást teremt.

A környezetvédelem célja a természeti erőforrások megőrzése.

A szabályozás azonban kedvezőtlen esetben olyan emberek megélhetését veszélyeztetheti, akiknek a környezetpusztításhoz való hozzájárulása jóval kisebb, mint a nagyüzemi terjeszkedésé.

Más kutatások szerint ugyanakkor az olajpálma-termeléshez kapcsolódó jövedelmek jelentősen hozzájárulhatnak a vidéki szegénység mérsékléséhez.

A megoldás ezért nem feltétlenül az, hogy a kisgazdálkodókat kizárjuk a nemzetközi piacokról.

Sokkal inkább az, hogy segítséget kapjanak a termelékenység javításához, az ültetvények felújításához és az erdőirtásmentes termelés igazolásához.

Egy 2024-es Nature Sustainability tanulmány kifejezetten amellett érvelt, hogy a kisgazdálkodók megfelelő támogatása javíthatja megélhetésüket anélkül, hogy további erdőterületeket kellene mezőgazdasági művelésbe vonni.

Miért nem elegendő az ültetvények betiltása?

A trópusi erdők megőrzése globális érdek.

Az erdők jelentős szénkészleteket tárolnak, szabályozzák a vízháztartást, és rendkívül gazdag élővilágnak biztosítanak otthont.

De a természetvédelem hosszú távon nem lehet sikeres, ha a helyi lakosság megélhetési szükségleteit teljesen figyelmen kívül hagyja.

A termelés korlátozása önmagában nem szünteti meg az élelmiszerek, növényi olajok és üzemanyagok iránti keresletet.

Ha az egyik térségben betiltják a termelés bővítését, a kereslet más térségekben növelheti a területhasználati nyomást.

Ez a probléma éppen a közvetett földhasználat-változás egyik megjelenési formája.

A megoldás ezért többféle intézkedés kombinációját igényli.

Szükség lehet a természetes erdők és tőzeglápok hatékony védelmére, a már meglévő ültetvények terméshozamának javítására, a kisgazdálkodók támogatására és az ellátási láncok átláthatóságára.

A terméshozam növelése sem jelent azonban automatikusan kisebb erdőirtást.

Ha a hatékonyabb termesztés jelentősen növeli a jövedelmezőséget, az további terjeszkedést is ösztönözhet.

Ezért az intenzívebb termelést célszerű egyértelmű földhasználati szabályokkal összekapcsolni.

A mezőgazdasági termelékenység növekedése és a természetvédelem csak megfelelő intézményi feltételek mellett erősítik szükségszerűen egymást.

Európa: amikor a zöld célkitűzést újra kellett gondolni

Az Európai Unió bioüzemanyag-politikája jól mutatja, hogyan változhat meg egy környezetvédelmi intézkedés megítélése az új tudományos eredmények hatására.

A közlekedés fosszilisenergia-felhasználásának csökkentése érdekében az Európai Unió korábban ösztönözte a bioüzemanyagok alkalmazását.

A kiinduló elképzelés az volt, hogy a megújuló eredetű folyékony üzemanyagok részben helyettesíthetik a benzint és a gázolajat.

A tapasztalatok azonban rámutattak, hogy a mezőgazdasági alapanyagok iránti kereslet növelése földhasználati és természetvédelmi problémákat idézhet elő.

Ezért a szabályozásban egyre nagyobb szerepet kaptak az életciklus-kibocsátási számítások és a fenntarthatósági kritériumok.

Különösen fontos kérdéssé vált a nagy szénkészletű természetes élőhelyek átalakításának megakadályozása.

Az Európai Bizottság 2019-es szabályozása külön kategóriát hozott létre a magas közvetett földhasználat-változási kockázatú alapanyagokra. Az ezekből készült üzemanyagok megújulóenergia-célokba történő beszámítását fokozatosan korlátozni rendelte, 2030-ig történő kivezetéssel, miközben bizonyos, igazoltan alacsony kockázatú termelési módok számára kivételt is lehetővé tett.

A szabályozás fontos tanulsága, hogy a bioüzemanyag növényi eredete önmagában nem elegendő a fenntarthatóság igazolásához.

A gyártás és az alapanyag-termelés teljes környezeti mérlegét kell vizsgálni.

A nemzetközi szabályozás azonban gazdasági és kereskedelmi vitákat is okozhat.

Az érintett termelő országok szerint a követelmények kedvezőtlenül érinthetik gazdálkodóikat és exportlehetőségeiket.

Az európai álláspont ezzel szemben a trópusi erdők és más nagy szénkészletű élőhelyek védelmét hangsúlyozza.

A vita nem oldható meg azzal, hogy az egyik fél környezetvédelmi, a másik pedig gazdasági szempontjai közül csak az egyiket vesszük figyelembe.

A cél olyan ellenőrizhető követelményrendszer kialakítása, amely valóban csökkenti az erdőirtást, de nem zárja ki indokolatlanul a fenntartható módon termelő kisebb gazdálkodókat.

A kukorica, amelyből nem élelmiszer, hanem üzemanyag lesz

A bioüzemanyagokkal kapcsolatos viták másik fontos területe az Egyesült Államok.

Az amerikai bioetanol-termelés jelentős részben kukoricára épül.

A kukoricakeményítőből erjesztéssel alkoholt állítanak elő, amelyet a benzinhez kevernek.

A kukoricatermesztés fejlett amerikai mezőgazdasági technológiákra, gépesítésre és jelentős ipari feldolgozókapacitásra támaszkodik.

Az etanolüzemek melléktermékei takarmányként is hasznosíthatók, ezért a kukorica bioüzemanyag-célú felhasználása nem jelenti azt, hogy a növény összes tápanyaga eltűnik az élelmiszer- és takarmánylánc ból.

A termelésnek azonban jelentős föld-, energia- és műtrágyaigénye van.

A kukorica terméshozama, a mezőgazdasági energiafelhasználás, a nitrogénműtrágyák alkalmazása és a feldolgozóüzemek energiaellátása egyaránt befolyásolja az etanol életciklus-kibocsátását.

Ezek mellett felmerül az élelmiszer-termeléssel való verseny kérdése is.

Ha a mezőgazdasági termények egy részét üzemanyaggyártásra használják fel, az befolyásolhatja a terménypiacokat és az árakat.

Az összefüggés azonban nem egyszerű.

Az élelmiszerárakat az időjárás, az energiaárak, a műtrágyaköltségek, a nemzetközi kereskedelem, a készletek és a mezőgazdasági támogatások is befolyásolják.

Ezért egy élelmiszerár-emelkedést nem lehet automatikusan kizárólag a bioüzemanyag-termelésnek tulajdonítani.

A kérdés inkább az, hogy egy adott országban és időszakban a bioüzemanyagok iránti kereslet milyen mértékben növeli a termőföld és a mezőgazdasági termények iránti versenyt.

Élelmiszer vagy üzemanyag?

A bioüzemanyagok elterjedésének egyik legnehezebb erkölcsi kérdése az élelmiszer- és energiatermelés közötti verseny.

A termőföld véges erőforrás.

Ha egy országban nő az energiaültetvények területe, az bizonyos körülmények között csökkentheti az élelmiszer- vagy takarmánytermelésre rendelkezésre álló földeket.

Ez különösen érzékeny kérdés olyan világban, ahol továbbra is emberek százmilliói küzdenek élelmezési bizonytalansággal.

Ugyanakkor a helyzetet itt sem lehet egyszerű választásként leírni.

A mezőgazdaság számos terméke egyszerre több célra is felhasználható.

A bioüzemanyag-előállítás melléktermékei takarmányként vagy energetikai célra hasznosíthatók.

A mezőgazdasági termelés hatékonysága is növekedhet, így ugyanakkora földterületen több termék állítható elő.

Vannak olyan területek és növényi maradványok, amelyek élelmiszer-termelésre nem vagy csak korlátozottan használhatók.

A döntő kérdés ezért nem egyszerűen az, hogy egy növényből élelmiszert vagy üzemanyagot készítünk.

Hanem az, milyen alternatív felhasználásai lennének az adott földnek, víznek és biomasszának, és melyik megoldás jár a legnagyobb társadalmi haszonnal, illetve a legkisebb környezeti kárral.

A második generáció ígérete

A hagyományos bioüzemanyagok korlátainak felismerése felgyorsította a más alapanyagokra épülő technológiák kutatását.

A fejlettebb bioüzemanyagok előállításához mezőgazdasági és erdészeti melléktermékeket, szerves hulladékokat és más, nem közvetlenül élelmiszerként használt alapanyagokat is fel lehet használni.

A növényi cellulóz és hemicellulóz például megfelelő technológiával cukrokká bontható, amelyekből etanol állítható elő.

Más eljárásokban a biomasszát gázzá vagy folyékony szénhidrogénekké alakítják.

Az ilyen technológiák egyik lehetséges előnye, hogy csökkenthetik az élelmiszer-termeléssel folytatott közvetlen versenyt.

Ez azonban nem jelenti azt, hogy a hulladék vagy melléktermék korlátlanul rendelkezésre állna.

A szalma például nem egyszerűen felesleges anyag.

Egy része hozzájárul a talaj szervesanyag-tartalmának fenntartásához, védi a talajfelszínt, és fontos szerepet játszhat a mezőgazdasági tápanyag-körforgásban.

Ha túl sok növényi maradványt távolítanak el energetikai célra, az hosszabb távon ronthatja a talaj állapotát.

Hasonló probléma jelentkezhet az erdészeti melléktermékek felhasználásánál is.

A holtfa és más szerves maradványok a természetes erdőökoszisztéma fontos alkotóelemei.

A biomassza energetikai felhasználásának ezért az anyagkörforgás és az ökológiai működés korlátait is figyelembe kell vennie.

A fejlettebb bioüzemanyagok fontos szerepet kaphatnak bizonyos közlekedési ágazatokban, különösen ott, ahol a közvetlen villamosítás nehezebb. Ilyen lehet a légi közlekedés és a hajózás egy része.

Az IEA szerint azonban e technológiák széles körű elterjedését ma is befolyásolja az előállítási költség és a fenntartható alapanyagok korlátozott mennyisége.

Nem minden bioenergia egyformán hasznos

A bioüzemanyagok környezetvédelmi megítélésekor célszerű elkerülni a két szélsőséges álláspontot.

Az egyik szerint minden növényi eredetű üzemanyag automatikusan környezetbarát.

A másik szerint minden bioüzemanyag szükségszerűen káros.

Egyik állítás sem helyes.

A bioüzemanyagok között jelentős különbségek vannak.

Egy meglévő mezőgazdasági területen, korszerű technológiával, alacsony fosszilisenergia-felhasználással előállított üzemanyag kedvező életciklus-kibocsátással rendelkezhet.

Egy újonnan kiirtott erdő vagy lecsapolt tőzegláp helyén termesztett növényből előállított üzemanyag viszont súlyos környezeti terheléssel járhat.

A hulladékból vagy melléktermékből előállított bioüzemanyag is kedvezőbb lehet, de csak akkor, ha az alapanyag eltávolítása nem okoz más jelentős ökológiai vagy gazdasági kárt.

Ezért nem elegendő a megújuló eredet megállapítása.

A bioüzemanyag környezeti teljesítményét az alapanyagtól a végső felhasználásig kell vizsgálni.

A környezetvédelmi támogatásoknak is lehetőleg ehhez kell igazodniuk.

Nem az a legfontosabb, hogy hány liter bioüzemanyagot kevernek a benzinhez vagy gázolajhoz.

Hanem az, hogy ezzel mennyi tényleges üvegházhatásúgáz-kibocsátást és egyéb környezeti terhelést sikerül elkerülni.

A helyi megélhetés és a globális célok találkozása

Brazília és Indonézia példája világosan mutatja, hogy a bioüzemanyagok kérdése nem kizárólag technológiai vagy környezetvédelmi probléma.

A cukornád és az olajpálma mezőgazdasági termény.

A termesztésükhöz gazdálkodók, munkások, feldolgozóüzemek, szállítók és kereskedők kapcsolódnak.

Az ültetvények sok térségben jelentős jövedelemforrást biztosítanak.

Ha a globális környezetvédelmi célok érdekében korlátozzák bizonyos termékek piacra jutását, annak helyi társadalmi következményei lehetnek.

A korlátozások különösen nehéz helyzetbe hozhatják azokat a kisebb gazdálkodókat, akiknek nincs elegendő tőkéjük a technológiai váltáshoz vagy a tanúsítási követelmények teljesítéséhez.

A globális környezetvédelem ezért nem lehet közömbös a helyi megélhetési viszonyok iránt.

Ugyanakkor a gazdasági fejlődésre való hivatkozás sem igazolhatja korlátlanul a természetes erdők és tőzeglápok pusztítását.

Az erdők, talajok és vízrendszerek hosszú távú károsodása éppen a helyi lakosság jövőbeli megélhetési lehetőségeit veszélyeztetheti.

A megoldás ezért a gazdasági fejlődés és a természetvédelem összehangolása lehet.

A meglévő mezőgazdasági területek hatékonyabb használata, a kisgazdálkodók támogatása, a természetes élőhelyek védelme és az átlátható termelési láncok együtt eredményesebbek lehetnek, mint az egyszerű tiltások vagy korlátlan támogatások.

A zöld címke nem bizonyíték

A bioüzemanyagok történetének egyik legfontosabb tanulsága, hogy egy technológia elnevezése nem garantálja annak környezetvédelmi előnyeit.

A „bio”, a „megújuló” vagy a „zöld” kifejezés önmagában nem mondja meg, mennyi szén-dioxid kerül a légkörbe, milyen területhasználati változások történtek, vagy milyen hatással van a termelés az élővilágra.

A környezetvédelmi teljesítmény mérhető és ellenőrizhető tulajdonságokból következik.

Ezért minden támogatott bioüzemanyag esetében vizsgálni kell a teljes életciklust, az alapanyag eredetét és a földhasználati következményeket.

Ugyanilyen fontos a társadalmi szempontok figyelembevétele.

Egy megoldás nem tekinthető minden tekintetben fenntarthatónak, ha ugyan mérsékli a fosszilis üzemanyagok felhasználását, de közben értékes ökoszisztémákat pusztít el, vagy jelentős megélhetési károkat okoz.

A bioüzemanyagok tehát nem eleve jók vagy rosszak.

A környezeti hatásuk attól függ, miből, hol, hogyan és milyen mennyiségben állítják elő őket.

Amikor a megoldás újabb problémát teremt

A bioüzemanyagok története a környezetvédelem egyik visszatérő nehézségét mutatja meg.

Egy adott probléma kezelésére hozott intézkedés más területen újabb károkat idézhet elő.

A fosszilis energiahordozók helyettesítése fontos cél.

De ha a helyettesítés érdekében természetes erdőket vágnak ki, tőzeglápokat csapolnak le vagy élelmiszer-termelésre használt területeket alakítanak át, akkor a környezetvédelmi eredmény akár meg is fordulhat.

A probléma nem magával a helyettesítés gondolatával van.

Hanem azzal, ha a döntéshozók kizárólag az egyik környezeti hatást vizsgálják.

A szén-dioxid-kibocsátás mérséklése nem választható el a földhasználat, a vízfelhasználás, a talajvédelem és a biológiai sokféleség kérdésétől.

Ugyanígy a globális klímavédelmi célokat sem lehet teljesen elválasztani a helyi lakosság megélhetésétől.

A környezetvédelem akkor válik valóban eredményessé, ha nem egyetlen mutató javítására törekszik, hanem a teljes rendszer következményeit vizsgálja.

A bioüzemanyagokkal kapcsolatos tapasztalatok ezért túlmutatnak a közlekedés és a mezőgazdaság kérdésén.

Más környezetvédelmi technológiáknál is ugyanilyen fontos az alapanyagok kitermelése, az energiaigény, az ipari gyártás és az élettartam végén történő kezelés.

Egy elektromos jármű, egy napelem vagy egy szélturbina környezeti teljesítményének vizsgálatakor ugyanezt a szemléletet kell alkalmazni.

A környezetvédelem célja nem az, hogy a szennyezést egyik ágazatból a másikba vagy egyik kontinensről a másikra helyezzük át, hanem az, hogy a teljes rendszer környezeti terhelését mérsékeljük.

A bioüzemanyagok története ezért egyszerre figyelmeztetés és tanulság.

A jó szándék önmagában nem elegendő.

A környezetvédelmi döntéseket a teljes életciklus, az ökológiai következmények és a társadalmi hatások ismeretére kell alapozni.

A fejezet legfontosabb tudományos forrásai:

- Nemzetközi Energiaügynökség – Carbon Accounting for Sustainable Biofuels (2024). A bioüzemanyagok életciklus-kibocsátása és a földhasználat-változás számítási kérdései.
- Environmental Science & Technology – Brazil cukornádetanol életciklus-elemzése (2023). Az etanol lehetséges kibocsátáscsökkentési előnyei.
- Közvetett földhasználat-változás Brazíliában (2010). Modellezés a cukornád, a szójatermelés és az új legelők közötti kapcsolatokról.
- Nature Sustainability – Indonéz kisgazdálkodók és az erdővédelem (2024). A helyi megélhetés és a természetvédelem összehangolása.
- Európai Bizottság – A közvetett földhasználat-változás kockázatainak szabályozása.

16. A hulladék sorsa

Lerakjuk, elégetjük vagy újrahasznosítjuk?

A hulladék a modern civilizáció egyik legkülönösebb terméke. Mindennap előállítjuk, mégis igyekszünk minél gyorsabban megszabadulni tőle. Amint a szemetesautó elviszi a házunk elől, többnyire megfeledkezünk róla. Pedig a hulladék nem tűnt el. Csupán valahová máshová került.

A történelem nagy részében az emberek viszonylag kevés tartós hulladékot termeltek. Az élelmiszer-maradékok lebomlottak, a fa és a textil elhasználódott, a fémeket pedig értékük miatt gyakran újra felhasználták. A tárgyakat javították, a ruhákat foltozták, az edényeket hosszú éveken át használták.

Az ipari termelés és a tömegfogyasztás mindezt alapvetően megváltoztatta. A termékek egyre olcsóbbá és könnyebben hozzáférhetővé váltak, miközben megjelentek a természetben lassan lebomló vagy különleges kezelést igénylő anyagok. A műanyagok, az összetett csomagolóanyagok, az elektronikai eszközök és a vegyi termékek új feladat elé állították a hulladékgazdálkodást.

A hulladék mennyisége ma már önmagában is globális probléma.

Az ENSZ Környezetvédelmi Programjának 2024-es jelentése szerint a világon 2023-ban mintegy 2,1 milliárd tonna települési szilárd hulladék keletkezett évente. Ha a jelenlegi folyamatok folytatódnak, ez a mennyiség 2050-re elérheti a 3,8 milliárd tonnát. Ebbe még nem is tartozik bele minden ipari, bányászati és mezőgazdasági hulladék.

Települési hulladék, világszerte

2,1 milliárd t

2023

Várható mennyiség

3,8 milliárd t

2050, változatlan trend mellett

A hulladék kezelése alapvetően három nagy megoldás köré szerveződik. Elhelyezhetjük hulladéklerakókban, különféle eljárásokkal átalakíthatjuk kevésbé veszélyes vagy kisebb térfogatú formára, illetve megpróbálhatjuk visszanyerni és újra felhasználni az értékes anyagokat.

A három út azonban nem egyenértékű, és egyik sem alkalmazható minden hulladékra.

Ráadásul létezik egy negyedik lehetőség is, amelyet gyakran csak utólag említünk: megakadályozhatjuk, hogy a hulladék egyáltalán keletkezzen.

A hulladéklerakók – Amikor a problémát eltemetjük

A hulladékkezelés legrégebbi és legegyszerűbb módszere az elhelyezés.

A történelmi városokban a hulladékot gyakran gödrökbe, folyópartokra vagy a településeken kívüli területekre hordták. A növekvő népességgel és fogyasztással azonban a szemét mennyisége is emelkedett, így a korábban elfogadhatónak tartott módszerek egyre nagyobb egészségügyi és környezeti problémákat okoztak.

A modern hulladéklerakók már bonyolult mérnöki létesítmények. A megfelelően kialakított lerakók alját szigetelőrétegek védik, a csurgalékvizet összegyűjtik és kezelik, a lebomló szerves anyagokból keletkező gázokat pedig megpróbálják ellenőrzötten elvezetni.





89. ábra: Korszerű hulladéklerakó kialakítása és működése. A szigetelés, a csurgalékvíz kezelése és a keletkező gázok összegyűjtése mérsékelheti, de nem szünteti meg teljesen a környezeti terhelést.

A korszerű technológia azonban nem változtat azon az alapvető tényen, hogy a hulladékot hosszú időre egy helyen halmozzuk fel.

A lerakásnak három jelentős környezeti kockázata van.

Az első a talaj és a felszín alatti vizek szennyezése. Az esővíz átszivároghat a hulladék rétegein, miközben különféle szerves és szervetlen anyagokat oldhat ki belőlük. Az így keletkező csurgalékvíz megfelelő kezelés nélkül veszélyeztetheti a környező vizeket.

A második probléma a területfoglalás. A lerakók nagy földterületeket vehetnek igénybe, és lezárásuk után is hosszú ideig ellenőrzést igényelhetnek.

A harmadik, klímavédelmi szempontból különösen fontos probléma a metán.

Amikor az élelmiszer-maradékok, a papír és más lebomló szerves anyagok oxigénszegény környezetbe kerülnek, bomlásuk során metán keletkezhet. Ez lényegesen erősebb üvegházhatású gáz, mint a szén-dioxid, bár a légköri élettartama rövidebb.

A lerakókból származó metán egy része összegyűjthető, és akár energiatermelésre is felhasználható. A begyűjtés azonban nem tökéletes: különösen a lerakó működésének kezdeti és lezárás utáni időszakában lehetnek nehezen ellenőrizhető kibocsátások.

Egy lezárt hulladéklerakó tehát nem feltétlenül válik azonnal környezetvédelmi szempontból problémamentessé.

Az Európai Unióban a hulladéklerakás aránya az elmúlt évtizedekben jelentősen csökkent. Az Eurostat szerint az 1995-ben keletkezett települési hulladék 61 százaléka került lerakóba, 2024-ben ez az arány már körülbelül 24 százalék volt.

Ez komoly előrelépés, de a lerakók teljes megszüntetése nem reális cél. Mindig lesznek olyan hulladékok és kezelési maradékok, amelyek más módon nem hasznosíthatók megfelelő biztonsággal.

A cél ezért az, hogy a lerakókba elsősorban a már kezelt, lehetőség szerint stabilizált, másként nem hasznosítható hulladék kerüljön.

A „Hulladéklerakók – Amikor a problémát eltemetjük” című részbe két rövid kiegészítést tennék. Ezek jól érzékeltetik, hogy nemcsak a háztartási hulladék tárolása jelent hosszú távú környezeti kockázatot, hanem az ipari és az energiatermelésből származó hulladékoké is.

A radioaktív hulladék: felelősség évszázadokon és évezredeken át

Az atomerőművek különleges hulladékkezelési problémát jelentenek. A radioaktív hulladékok mennyisége viszonylag kicsi, veszélyességük és a szükséges elszigetelés időtartama azonban rendkívül eltérő lehet. A kis és közepes aktivitású hulladékok egy része megfelelő műszaki védelemmel felszínközeli tárolókban vagy hulladéklerakókban helyezhető el. A kiégett nukleáris üzemanyag és a nagy aktivitású, hosszú élettartamú hulladék azonban különleges megoldást igényel. Ezeket kezdetben hűtőmedencékben, majd gyakran száraz tárolókban őrzik, végleges elhelyezésükre pedig a mélygeológiai tárolás kínál hosszú távú megoldást. A cél az, hogy a radioaktív anyagok megfelelő műszaki és természetes védőgátak segítségével az emberi környezettől akár több tízezer vagy százezer évig elszigetelve maradjanak. Ez a hulladékgazdálkodás egyik legkülönösebb felelőssége: olyan rendszereket kell létrehoznunk, amelyek biztonságának nemzedékek sokaságán keresztül fenn kell maradnia.

A zagytározók: amikor a tároló maga válik veszélyforrássá

A bányászat és a kohászat hatalmas mennyiségű feldolgozási maradékot termel, amelyet gyakran zagytározókban helyeznek el. Ezek a létesítmények finom szemcséjű szilárd

anyagokat, vizet és esetenként veszélyes vegyületeket tartalmaznak. A legnagyobb kockázatot a tározók gátjainak meghibásodása jelenti, amikor rövid idő alatt óriási mennyiségű szennyezett anyag kerülhet a környezetbe. A veszélyt Magyarország két súlyos példából is ismeri: a 2000-es tiszai ciánszennyezés egy romániai aranyfeldolgozó zagytározójának gátsérüléséből indult ki, míg a 2010-es ajkai vörösiszap-katasztrófát egy timföldgyári tározó gátjának átszakadása okozta *(e két esettel később bővebben is foglalkozunk*). A két eset eltérő jellegű szennyezést jelentett, de közös tanulságuk világos: a hulladék biztonságos tárolása nem fejeződik be a lerakással. A gátak állapotát, a vízháztartást és a szennyezőanyagok mozgását folyamatosan ellenőrizni kell, és a létesítmények bezárása után is gondoskodni kell a hosszú távú biztonságról.

A hulladéklerakás tehát nem a hulladék megsemmisítését jelenti, hanem annak elkülönítését a környezettől. Minél veszélyesebb és tartósabb a tárolt anyag, annál nagyobb felelősséget hagyunk a következő nemzedékekre.

A hulladék átalakítása – Amikor az anyagot nem tudjuk megőrizni

A második lehetőség a hulladék fizikai, kémiai, biológiai vagy termikus kezelése.

Ennek célja lehet a veszélyesség csökkentése, a fertőző anyagok ártalmatlanítása, a hulladék térfogatának mérséklése vagy a benne lévő energia hasznosítása.

A legismertebb ilyen eljárás az égetés.

A hulladékégetés: eltüntetjük a szemetet?

Első pillantásra az égetés rendkívül vonzó megoldásnak tűnik. A hulladék térfogata jelentősen csökken, megszűnik számos fertőzési és bomlási probléma, ráadásul az égés során felszabaduló hő energiatermelésre is felhasználható.

A modern hulladékégetők azonban messze nem egyszerű kemencék.

A települési hulladék összetétele rendkívül változatos. Tartalmazhat nedves szerves anyagokat, papírt, műanyagokat, textíliákat és kisebb mennyiségben különféle problémás vegyületeket. A biztonságos égetéshez szabályozott égési körülményekre, korszerű füstgáztisztításra és folyamatos kibocsátás-ellenőrzésre van szükség.



90. ábra: A koppenhágai Amager Bakke hulladékhasznosító és a modern hulladékégetés technológiája. Az égetés során a hulladék tömege és térfogata csökken, de a füstgáz és a visszamaradó salak, valamint hamu külön kezelést igényel.

Az égetés legfontosabb előnye, hogy jelentősen csökkentheti a lerakásra kerülő hulladék mennyiségét.

De az anyag nem tűnik el.

A hulladék egy része égéstermékké, főként szén-dioxiddá és vízgőzzé alakul, miközben salak és hamu marad vissza. A füstgáztisztításból származó maradékok koncentráltan tartalmazhatnak olyan szennyezőanyagokat, amelyeket különleges módon kell kezelni.

A jól működő hulladékégető képes szigorú kibocsátási határértékeket teljesíteni, de a teljes folyamat nem tekinthető környezetterhelés nélkülinek.

Különösen fontos a műanyagok kérdése.

A műanyagok jelentős része fosszilis eredetű szénvegyületekből készül. Elégetésükkor szén-dioxid keletkezik, így a hulladékégetés klímavédelmi mérlege attól is függ, mekkora a hulladék fosszilis eredetű széntartalma.

A hulladékból termelt hő és villamos energia helyettesíthet más energiaforrásokat. A környezeti előny ezért részben attól függ, mit vált ki az égetőmű.

Ha a felszabaduló hő széntüzelésű fűtést helyettesít, az eredmény eltérhet attól, mintha egy eleve alacsony szén-dioxid-kibocsátású energiarendszerben működne.

A hulladékégetés tehát nem egyértelműen jó vagy rossz megoldás. Sok múlik a hulladék összetételén, a füstgáztisztításon, az energia hasznosításán és a maradékanyagok kezelésén.

Az égetés különös ellentmondása

A hulladékégetők rendszerint nagy beruházást igénylő létesítmények, amelyeket több évtizedes működésre terveznek.

Gazdaságos üzemeltetésükhöz általában folyamatos hulladékellátás szükséges.

Ezzel azonban sajátos ellentmondás keletkezhet: miközben a társadalom célja a hulladék mennyiségének csökkentése és az újrahasznosítás növelése, az égetőmű üzemeltetőjének érdeke lehet a megfelelő mennyiségű égethető hulladék biztosítása.

Ez nem jelenti azt, hogy a hulladékégetés eleve akadályozza az újrahasznosítást. Jól szervezett rendszerekben a két technológia kiegészítheti egymást.

De a beruházási döntéseknél figyelembe kell venni azt is, hogy a hulladék mennyisége és összetétele a jövőben megváltozhat.

Ha például sikerül jelentősen csökkenteni az élelmiszer-pazarlást és a felesleges csomagolást, a hulladékégetők számára rendelkezésre álló anyagmennyiség is mérséklődhet.

Egy hosszú távra tervezett környezetvédelmi rendszernek ezt a lehetőséget nem szabad figyelmen kívül hagynia.

Nem minden ártalmatlanítás égetés

Az ipari és veszélyes hulladékok esetében gyakran más kezelési eljárások szükségesek.

A savas vagy lúgos hulladékok bizonyos esetekben semlegesíthetők. Egyes mérgező anyagok kémiai reakciókkal kevésbé veszélyes vegyületekké alakíthatók. A fertőző egészségügyi hulladékok megfelelő technológiával fertőtleníthetők.

Más hulladékokat stabilizálnak vagy megszilárdítanak, hogy a bennük található veszélyes összetevők kevésbé kerülhessenek a környezetbe.

Ezek az eljárások azonban nem mindig szüntetik meg magát a veszélyes anyagot.

A nehézfémeket például kémiai kezeléssel nem lehet egyszerűen megsemmisíteni. Legfeljebb más vegyületté alakíthatók, elkülöníthetők vagy olyan formába vihetők, amelyből nehezebben oldódnak ki.

Ezért a veszélyes hulladékoknál különbséget kell tenni a tényleges ártalmatlanítás és a veszélyes összetevők biztonságosabb elkülönítése között.

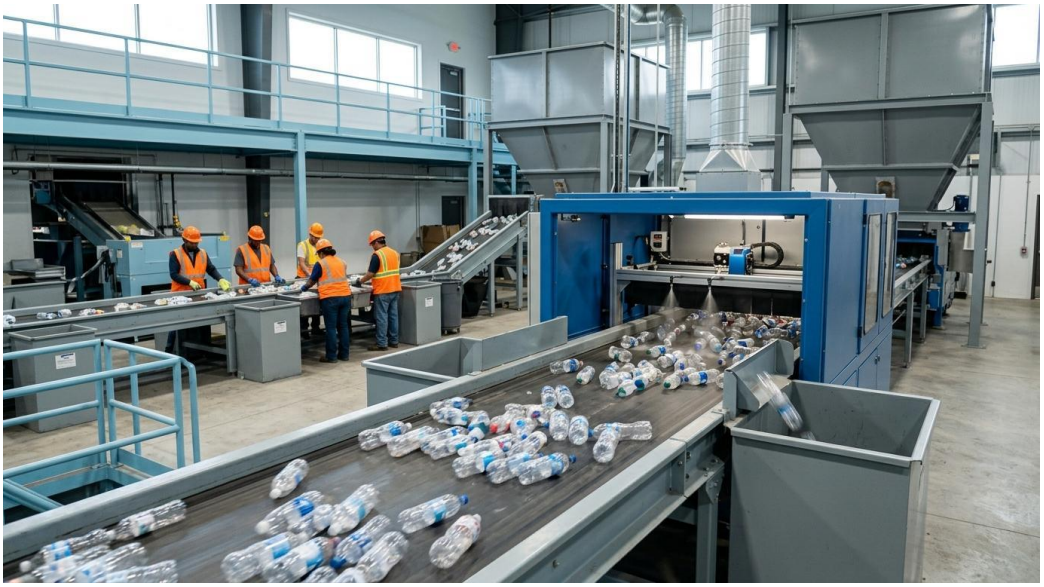
Az újrahasznosítás – Amikor a hulladék ismét nyersanyaggá válik

A harmadik lehetőség a hulladék anyagának visszanyerése.

Az újrahasznosítás gondolata egyáltalán nem új. A fémhulladékot évszázadok óta beolvasztják, a papírt régóta újrafeldolgozzák, az üvegedények visszaváltása pedig sok országban természetes gyakorlat volt.

A modern hulladékgazdálkodás azonban ennél jóval összetettebb feladattal szembesül. A termékek egyre többféle anyagból készülnek, és ezeket gyakran úgy kapcsolják össze, hogy később nehéz legyen szétválasztani őket.

Egy alumíniumdoboz újrahasznosítása viszonylag egyszerű. Egy rétegelt, műanyaggal és fémgőzölt bevonattal ellátott csomagolóanyag feldolgozása már sokkal bonyolultabb.





91. ábra: A korszerű újrahasznosítás válogatással kezdődik. A különböző anyagok szétválasztása nélkül a hulladék jelentős része nem alakítható vissza megfelelő minőségű nyersanyaggá.

Az anyagok nem egyformán újrahasznosíthatók

A fémek különösen értékes másodlagos nyersanyagok.

Az acél mágneses tulajdonsága miatt viszonylag könnyen elkülöníthető, majd újraolvasztható. Az alumínium újrahasznosítása általában sokkal kevesebb energiát igényel, mint az elsődleges alumínium előállítása bauxitból.

A réz szintén jelentős értéket képvisel, ezért a kábelekből, gépekből és elektronikai berendezésekből történő visszanyerése gazdasági szempontból is fontos.

Az üveg megfelelő tisztaság esetén többször újraolvasztható. A papírrostok azonban minden újrafeldolgozási ciklusban rövidülhetnek és károsodhatnak, így egy idő után friss rostanyag hozzáadása válhat szükségessé.

A legösszetettebb problémát sok esetben a műanyagok jelentik.

A műanyag ugyanis nem egyetlen anyag. A polietilén, a polipropilén, a PET, a PVC és a különféle műszaki műanyagok eltérő tulajdonságúak, és különböző feldolgozási technológiát igényelhetnek.

Ráadásul a termékek színezékeket, égésgátlókat, lágyítókat és más adalékanyagokat is tartalmazhatnak.

A mechanikai újrahasznosítás során a műanyagot válogatják, tisztítják, aprítják, majd újrafeldolgozzák. A hő és a mechanikai igénybevétel azonban ronthatja egyes polimerek tulajdonságait, a szennyeződések pedig korlátozhatják az újrafelhasználás lehetőségeit.

A kémiai újrahasznosítás bizonyos műanyagoknál lehetőséget kínál a molekulák kisebb építőelemekre bontására, de ezek az eljárások energiaigényesek lehetnek, és nem minden esetben jelentenek kedvezőbb környezeti megoldást.

Különösen fontos, hogy a műanyag tüzelőanyaggá alakítása és elégetése nem azonos az anyagában történő újrahasznosítással.

A hulladékot ilyenkor energiaforrásként használjuk fel, nem pedig az eredeti anyagot tartjuk körforgásban.

Amikor az újrahasznosítás csak részben sikerül

A szelektíven összegyűjtött hulladék nem feltétlenül válik teljes egészében új termékké.

A feldolgozás során keletkezhetnek veszteségek, szennyezett maradékok és olyan anyagkeverékek, amelyeknek nincs megfelelő piaca.

Egy műanyag palackból például készülhet új palack, de textilszál vagy alacsonyabb értékű műanyagtermék is. Az utóbbi újrahasznosítás, de nem feltétlenül jelent valódi zárt körforgást.

Az újrafeldolgozás környezeti mérlegében ezért nem elegendő azt mérni, hogy mennyi hulladékot gyűjtöttünk szelektíven.

Azt is tudni kell, hogy ebből mennyi vált ténylegesen új alapanyaggá, milyen minőségben, milyen energiafelhasználás mellett, és végül milyen terméket helyettesített.

Ez már gazdasági kérdés is.

Ha az elsődleges nyersanyag olcsóbb, mint a hulladékból visszanyert alapanyag, az újrahasznosítás gazdaságossága könnyen romolhat. A hulladék begyűjtése, szállítása, tisztítása és válogatása költséges, miközben az újrafeldolgozott anyag minőségével kapcsolatban a gyártók gyakran szigorú követelményeket támasztanak.

A körforgásos gazdaság ezért nem működik pusztán attól, hogy több szelektív gyűjtőedényt helyezünk ki.

A termékeket már a tervezésükkor úgy kellene kialakítani, hogy később könnyebben javíthatók, szétszerelhetők és újrahasznosíthatók legyenek.

A szerves hulladék: nem égetni és nem eltemetni kellene

A háztartási hulladék jelentős részét szerves anyagok alkotják: élelmiszer-maradékok, zöldhulladékok és más lebomló anyagok.

Ezeket különösen kedvezőtlen lehet kezeletlenül hulladéklerakóba helyezni, mert oxigénszegény körülmények között metánt termelhetnek.

A szerves hulladék kezelésének két fontos lehetősége a komposztálás és az anaerob lebontás.

A komposztálás során megfelelő oxigénellátás mellett mikroorganizmusok bontják le a szerves anyagokat, és olyan komposzt keletkezhet, amely javíthatja a talaj szerkezetét és szervesanyag-tartalmát.

Az anaerob lebontás zárt, oxigénmentes rendszerben történik. Ennek során biogáz keletkezik, amely megfelelő tisztítás után energetikai célra használható, míg a visszamaradó anyag a minőségi és biztonsági követelményektől függően hasznosítható.





92. ábra: Komposztálás és biogáz-előállítás. A biológiailag lebomló hulladék külön gyűjtése csökkentheti a lerakóba kerülő szerves anyag mennyiségét, és lehetővé teheti a tápanyagok visszaforgatását.

Itt azonban a hulladékkezelés mellett egy alapvetőbb kérdés is felmerül.

Valóban az a legjobb megoldás, ha a megtermelt élelmiszert kidobjuk, majd biogázt vagy komposztot készítünk belőle?

Nyilvánvalóan nem.

Az élelmiszer előállításához már felhasználtunk földet, vizet, energiát, műtrágyát, gépeket és emberi munkát. Ha az élelmiszert végül nem fogyasztjuk el, ezeknek az erőforrásoknak a jelentős részét is elpazaroltuk.

A biohulladék hasznosítása tehát fontos, de nem helyettesítheti az élelmiszer-pazarlás megelőzését.

Miért nem az újrahasznosítás az első lépés?

A hulladékgazdálkodás európai szabályozása úgynevezett hulladékhierarchiára épül.

Ennek lényege, hogy a különböző megoldások között környezetvédelmi szempontból elsőbbségi sorrendet állítunk fel. A legelőnyösebb a hulladék keletkezésének megelőzése, ezt követi az újrahasználatra való előkészítés, az anyagában történő újrahasznosítás, majd az egyéb hasznosítás, például az energia-visszanyerés, végül az ártalmatlanítás.

A hulladékhierarchia – általános fontossági sorrend

1. Megelőzés

Tartós termék, kevesebb csomagolás, pazarlás elkerülése

2. Újrahasználat

Javítás, felújítás, újratöltés, továbbadás

3. Anyagában újrahasznosítás

Fémek, üveg, papír, műanyagok és szerves anyagok feldolgozása

4. Egyéb hasznosítás

Például hulladékból történő energia-visszanyerés

5. Ártalmatlanítás

Lerakás és hasznosítás nélküli kezelés

Forrás: az Európai Unió hulladék-keretirányelvének hulladékhierarchiája. Ez általános elsőbbségi sorrend, amelytől egyes hulladékáramok életciklus-elemzése alapján indokolt esetekben el lehet térni.

Ez a sorrend első pillantásra magától értetődő, de a mindennapi környezetvédelmi kommunikációban gyakran háttérbe szorul.

Sok reklám és vállalati tájékoztató hangsúlyozza, hogy egy termék csomagolása újrahasznosítható. Arról azonban kevesebb szó esik, hogy a csomagolásra egyáltalán szükség volt-e, vagy hogy ugyanazt a terméket tartósabb, többször használható csomagolásban is értékesíthették volna.

Egy eldobható műanyag palack újrahasznosítása jobb lehet, mint a palack lerakása vagy a természetbe kerülése.

De ha egy tartós, újratölthető palack sok alkalommal használható, megfelelő körülmények között annak teljes környezeti terhelése még kedvezőbb lehet.

Ugyanez érvényes az elektronikai készülékekre, a háztartási gépekre, a bútorokra és a ruházati termékekre.

Egy működőképes készülék újrahasználata gyakran több anyagot és energiát takarít meg, mint ha szétszerelnénk, beolvasztanánk az alkatrészeit, majd új terméket gyártanánk belőlük.

Természetesen itt is vannak kivételek. Egy nagyon régi és rendkívül energiafaló berendezés lecserélése bizonyos körülmények között környezetvédelmi szempontból is indokolt lehet.

A döntést ezért a termék teljes életciklusának mérlegelése alapján kell meghozni.

A hulladékkezelés gazdasági ellentmondásai

A hulladék problémáját gyakran úgy kezeljük, mintha kizárólag műszaki kérdés lenne.

Pedig a hulladékgazdálkodás működését legalább annyira meghatározzák a gazdasági ösztönzők, mint a rendelkezésre álló technológiák.

Egy hulladéklerakó üzemeltetése sok esetben olcsóbb, mint a külön gyűjtés, válogatás és magas színvonalú újrahasznosítás. Ez különösen akkor igaz, ha a lerakás környezeti költségeinek jelentős része nem jelenik meg az üzemeltető költségei között.

A szennyezett talajvíz helyreállítása, a metánkibocsátás éghajlati hatása vagy a terület későbbi hasznosíthatatlansága olyan költség lehet, amelyet végül a társadalom fizet meg.

A hulladékégetés más gazdasági modellt képvisel. Magas beruházási költséggel és összetett technológiával működik, de csökkentheti a lerakási igényt, és bevételt termelhet a hulladék átvételéből, valamint az energia értékesítéséből.

Az újrahasznosításnál viszont az egyik alapvető kérdés, hogy a visszanyert anyag versenyképes-e az elsődleges nyersanyaggal.

Egyes fémek újrahasznosítása önmagában is nyereséges lehet. Más anyagok esetében támogatásra, kötelező visszavételi rendszerre vagy külön hulladékkezelési díjra lehet szükség.

Ez a különbség megmagyarázza, miért működik egyes hulladékáramoknál hatékonyan az újrafeldolgozás, miközben más anyagok jelentős része továbbra is lerakókba vagy égetőkbe kerül.

Az államok többféle gazdasági eszközzel változtathatnak ezen a helyzeten.

A lerakási díjak megemelése ösztönözheti a hasznosítást. A visszaváltási rendszerek segíthetik a jó minőségű anyagok visszagyűjtését. A kiterjesztett gyártói felelősség elve pedig arra épül, hogy a termék előállítója is viselje a későbbi hulladékkezelés bizonyos költségeit.

Ezzel a hulladék költsége legalább részben visszakerülhet oda, ahol a termék anyagairól, szerkezetéről és várható élettartamáról döntenek.

Az elv egyszerű: ha egy terméket nehéz szétszerelni vagy újrahasznosítani, akkor ennek költsége ne kizárólag a hulladékkezelőt vagy a közösséget terhelje.

A szabályozás azonban csak akkor hatékony, ha a termékek és a hulladékok tényleges sorsa ellenőrizhető.

A veszélyes hulladék nem tűnik el az országhatáron

A hulladékkezelés költségei között jelentős nemzetközi különbségek vannak.

Egyes országokban szigorú előírások és költséges technológiák szabályozzák a veszélyes hulladékok kezelését. Másutt gyengébb az ellenőrzés, olcsóbb a munkaerő, és kevésbé fejlett a környezetvédelmi infrastruktúra.

Ez gazdasági ösztönzést teremthet arra, hogy bizonyos hulladékokat külföldre szállítsanak.

A nemzetközi hulladékkereskedelem önmagában nem feltétlenül káros. Ha egy ország nem rendelkezik megfelelő újrafeldolgozó üzemmel, környezetvédelmi szempontból akár előnyös is lehet, ha a hulladékot egy korszerű külföldi létesítményben dolgozzák fel.

A probléma akkor kezdődik, amikor az újrahasznosítás ígérete mögött valójában ellenőrizetlen lerakás, illegális égetés vagy veszélyes anyagok szakszerűtlen feldolgozása történik.

Különösen nagy kockázatot jelenthet az elektronikai hulladék.







93. ábra: Az elektronikai hulladék értékes fémeket és problémás összetevőket egyaránt tartalmaz. A korszerű ipari visszanyerés és az ellenőrizetlen szétszerelés környezeti következményei között óriási különbség lehet.

A régi számítógépekben, mobiltelefonokban és más elektronikai eszközökben réz, arany, ezüst és számos további értékes anyag található.

Visszanyerésük gazdasági szempontból is vonzó, de az elektronikai hulladék ólmot, egyes típusokban higanyt, égésgátló anyagokat és más veszélyes összetevőket is tartalmazhat.

Ha a kábeleket nyílt tűzön égetik le, vagy az áramköri lapokat szakszerűtlen vegyszeres eljárásokkal dolgozzák fel, a visszanyert fémek ára súlyos egészségügyi és környezeti károkat rejthet.

A hulladék így ugyanúgy a szennyezés nemzetközi áthelyezésének eszközévé válhat, mint a korábban tárgyalt ipari termelés.

A kérdés ismét ugyanaz: ki élvezi a hasznot, és ki viseli a környezeti terheket?

A nemzetközi hulladékkereskedelem és a hulladékmaffia konkrét eseteivel a könyv korábbi fejezete részletesebben foglalkozik.

Ki fizeti meg a hulladék árát?

A hulladékgazdálkodásról szóló vitákban gyakran a lakosság felelőssége kerül előtérbe.

Válogassuk szét a szemetet, használjunk kevesebb csomagolást, vigyük vissza a palackokat, javíttassuk meg a készülékeket.

Ezek hasznos és fontos lépések.

De a hulladék keletkezésének jelentős része már jóval azelőtt eldől, hogy a termék a fogyasztóhoz kerülne.

A gyártó dönt az alapanyagokról, a csomagolásról, az alkatrészek hozzáférhetőségéről és gyakran a termék várható élettartamáról is.

A kereskedelem határozza meg, milyen kiszerelésben és milyen csomagolással kínálja az árukat.

A fogyasztó döntései mindezt befolyásolhatják, de a lehetőségeit az elérhető termékek és szolgáltatások is korlátozzák.

A felelősség ezért nem hárítható kizárólag a háztartásokra.

A hulladékgazdálkodás hatékonysága a terméktervezésen, a gyártói ösztönzőkön, a begyűjtési rendszereken, az újrahasznosítási technológiákon és a szabályozáson egyaránt múlik.

Az ENSZ Környezetvédelmi Programja arra figyelmeztet, hogy a hulladékkezelés gazdasági költségeit nem szabad kizárólag a begyűjtés és feldolgozás közvetlen kiadásai alapján értékelni.

A 2024-es világjelentés szerint a globális hulladékgazdálkodás becsült közvetlen éves költsége 2020-ban 252 milliárd dollár volt. A rossz hulladékkezeléshez kapcsolódó egészségügyi, környezetszennyezési és éghajlati károk becsült költségeivel együtt ez mintegy 361 milliárd dollárra emelkedett.

Vagyis a legolcsóbbnak látszó hulladékkezelési módszer társadalmi szinten könnyen a drágább megoldások közé tartozhat.

Ennek ellenére a hulladékkezelés fejlesztése önmagában még nem oldja meg a problémát.

Ha egyre több terméket gyártunk, egyre gyorsabban cseréljük le őket, és egyre több csomagolóanyagot használunk, az újrahasznosítás fejlődése mellett is növekedhet az összes hulladék mennyisége.

Ezért a körforgásos gazdaság nem egyszerűen hatékonyabb szemétfeldolgozást jelent.

Olyan termelési és fogyasztási rendszert feltételez, amelyben a termékeket hosszabb használatra tervezik, javítják, újrahasználják, és csak ezután dolgozzák fel az anyagaikat.

A hulladék legjobb kezelése az, ha nem keletkezik

A hulladéklerakás, az átalakítás és az újrahasznosítás mind szükséges részei a modern hulladékgazdálkodásnak.

A lerakók nélkül ma még nem tudnánk biztonságosan kezelni minden feldolgozási maradékot. A megfelelő hulladékégetők és más kezelési technológiák fontos szerepet tölthetnek be a nem újrahasznosítható vagy veszélyes hulladék kezelésében. Az újrahasznosítás pedig csökkentheti az elsődleges nyersanyagok kitermelését és az ipari termelés környezeti terheit.

Egyik módszer sem tökéletes.

A lerakás hosszú távú terhet jelenthet. Az égetés során kibocsátások és kezelendő maradékanyagok keletkeznek. Az újrahasznosítás energiát igényel, és bizonyos anyagoknál csak korlátozott számú alkalommal vagy minőségromlással valósítható meg.

A hulladék tehát ritkán tüntethető el nyomtalanul.

Az egyik anyagból másik anyag lesz, az egyik környezeti terhelés helyett másikat hozhatunk létre, és a kezelési folyamatok maguk is erőforrásokat fogyasztanak.

Ezért a legfontosabb kérdés végső soron nem az, hogy mit kezdünk a hulladékkal.

Hanem az, hogy miért termeltük meg.

Valóban szükség volt arra a termékre? Nem készülhetett volna tartósabb változatban? Javítható lett volna? Újrahasználhattuk volna? Nem lehetett volna elkerülni a felesleges csomagolást?

Egy gazdaság fejlettségét sokáig az előállított és elfogyasztott termékek mennyiségével mértük.

A jövőben talán azt is fontos lesz vizsgálni, mennyi értéket tudunk létrehozni a lehető legkevesebb új nyersanyag felhasználásával és a lehető legkisebb hulladékmennyiség mellett.

A hulladék nem akkor szűnik meg problémának lenni, amikor eltűnik a szemünk elől. Hanem akkor, amikor kevesebbet állítunk elő belőle, és ami mégis keletkezik, azt a lehető legkisebb környezeti kárral kezeljük.

Fő források: UNEP – Global Waste Management Outlook 2024; EU – A hulladékhierarchia; Eurostat – Települési hulladékstatisztikák.

16. A hulladék világkereskedelme

Amikor a hulladék is világutazóvá vált

A modern világgazdaság egyik legkülönösebb ellentmondása, hogy nemcsak a termékek, hanem a használatuk után keletkező hulladékok is kontinenseken keresztül utaznak.

Egy európai kikötőben leselejtezett teherhajó utolsó útja egy indiai bontótelepre vezethet. Egy nyugat-európai háztartásból kikerült számítógép Afrikában találhat új tulajdonosra, majd évekkel később egy helyi hulladékfeldolgozóban végezheti. Egy országban összegyűjtött műanyaghulladékot több ezer kilométerrel távolabb válogathatnak szét és dolgozhatnak fel.

A jelenség első pillantásra nehezen érthető.

Miért éri meg hulladékot szállítani egyik kontinensről a másikra? Hiszen a szállítás pénzbe kerül, üzemanyagot igényel, és maga is környezeti terheléssel jár.

A válasz az, hogy a hulladék nem minden esetben értéktelen.

Egy leselejtezett hajó acélt és más újrahasznosítható fémeket tartalmaz. Egy régi számítógépben réz, arany, ezüst és más értékes anyagok találhatók. Bizonyos műanyaghulladékok megfelelő feldolgozással ismét nyersanyagként használhatók fel.

A hulladék egy része ezért gazdasági szempontból másodlagos nyersanyag.

Más esetekben azonban éppen az okozza a nemzetközi kereskedelmet, hogy a hulladék biztonságos kezelése költséges.

Egy veszélyes anyagokat tartalmazó berendezés szétszerelése megfelelő védőfelszerelést, képzett szakembereket, ellenőrzött technológiát és biztonságos hulladékkezelést igényelhet.

Ezek a követelmények jelentősen növelik a feldolgozás árát.

Ha egy másik országban alacsonyabbak a munkabérek, olcsóbbak a szolgáltatások, vagy a környezetvédelmi szabályok betartatása kevésbé szigorú, akkor a hulladék oda történő szállítása gazdaságilag vonzóvá válhat.

A két eset között azonban alapvető különbség van.

A hulladék nemzetközi újrahasznosítása lehet környezetvédelmi szempontból hasznos tevékenység. A kezelés költségeinek és veszélyeinek más országok lakosságára hárítása viszont nem tekinthető annak.

A hulladék világkereskedelmének története éppen e két lehetőség közötti határról szól.

Miért lehet olcsóbb messzire szállítani?

A nemzetközi tengeri szállítás fejlődése a hulladékkereskedelem gazdasági feltételeit is megváltoztatta.

A konténeres áruszállítás lehetővé tette, hogy nagy mennyiségű anyagot viszonylag alacsony fajlagos költséggel mozgassanak kontinensek között.

A hajózási útvonalak ráadásul nem minden irányban egyformán terheltek.

Egyes kereskedelmi kapcsolatokban a visszaúton rendelkezésre álló szállítási kapacitás kedvező díjakat eredményezhet. Ez megkönnyítheti az alacsonyabb értékű újrahasznosítható anyagok nemzetközi szállítását is.

A feldolgozási költségek között pedig jelentős különbségek lehetnek.

Egy korszerű európai hulladékkezelőben a munkabérek, az energia, a környezetvédelmi berendezések és az ellenőrzések költsége egyaránt magas lehet.

Egy alacsonyabb jövedelmű országban bizonyos munkaigényes válogatási vagy szétszerelési műveleteket olcsóbban végezhetnek el.

A nemzetközi munkamegosztás önmagában nem jelent problémát. A nyersanyagok, alkatrészek és félkész termékek ugyanilyen gazdasági logika szerint mozognak a világban.

A kérdés azonban megváltozik, amikor a feldolgozás során veszélyes anyagok szabadulhatnak fel.

Ilyenkor különbséget kell tennünk az alacsonyabb munkabérből vagy jobb technológiából származó valódi költségelőny és a környezetvédelmi költségek elkerüléséből származó látszólagos megtakarítás között.

Ha egy országban olcsóbb az újrahasznosítás, mert a munka hatékonyabban szervezett, az gazdasági előny.

Ha azért olcsóbb, mert a munkások megfelelő védelem nélkül dolgoznak, a mérgező anyagok pedig a talajba és a folyókba kerülnek, akkor a teljes társadalmi költség valójában nem csökkent.

Csak mások fizetik meg.

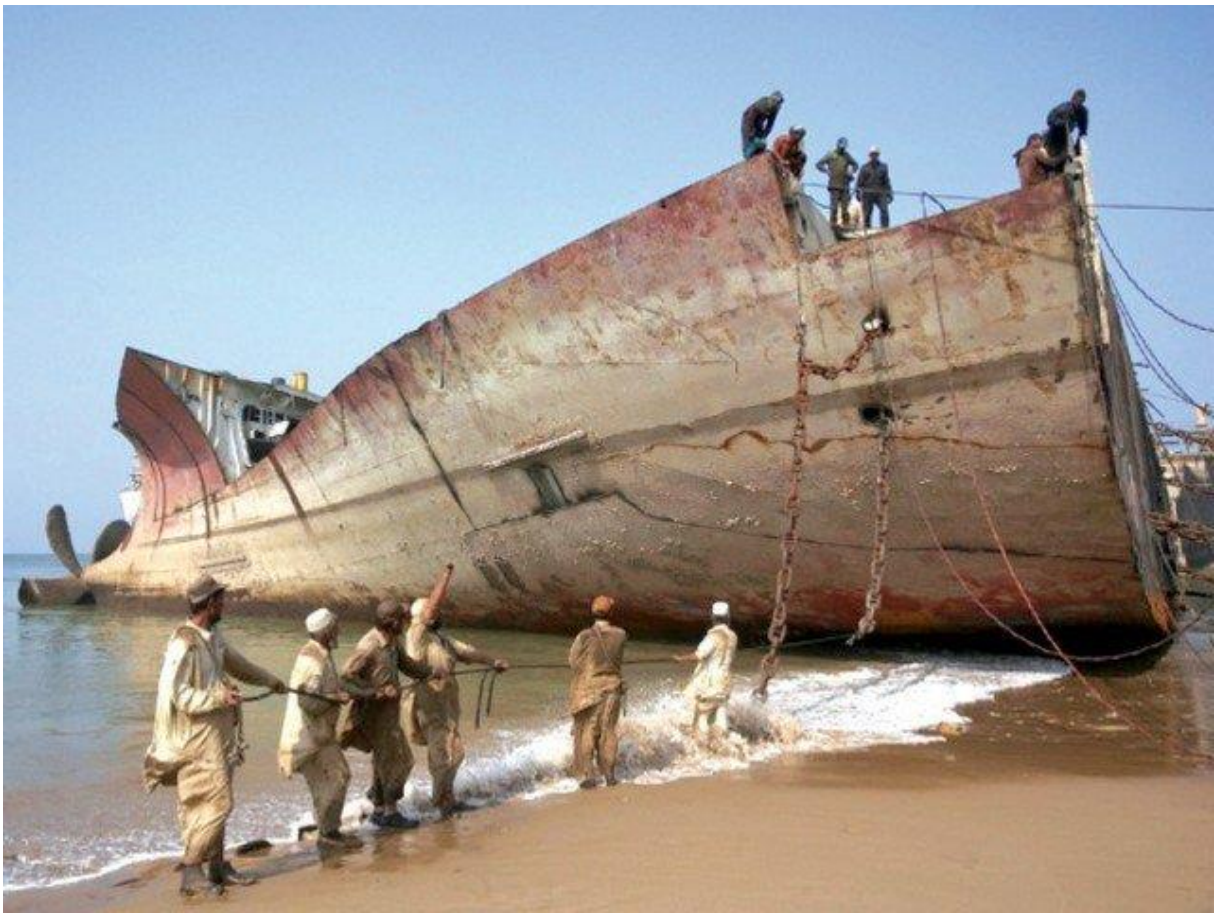
A hajók utolsó útja

A tengeri kereskedelem hajói évtizedeken keresztül szolgálhatnak.

Az olajszállító tartályhajók, konténerszállítók, ömlesztettáru-szállítók és más nagy hajók hatalmas mennyiségű acélt, színesfémet, gépet és berendezést tartalmaznak.

Élettartamuk végén azonban egyre költségesebbé válhat a karbantartásuk.

A műszaki előírások szigorodása, az üzemanyag-felhasználásuk, a javítások és az új hajók jobb gazdaságossága miatt végül elérkezik az a pont, amikor a további üzemeltetés már nem éri meg.



94. ábra: hajóbontás Indiában

A hajót ekkor gyakran bontásra értékesítik. A bontás során a hajó jelentős része anyagában újrahasznosítható.

Az acél újraolvasztható, a különféle fémek és berendezések egy része ismét felhasználható.

A munka azonban rendkívül összetett és veszélyes.

Egy nagy hajóban olajmaradványok, éghető anyagok, kábelek, festékbevonatok, szigetelések és különféle vegyi anyagok lehetnek. A régebbi hajók egyes szerkezeti elemei azbesztet is tartalmazhatnak.

A bontás közben nehéz fémszerkezeteket vágnak szét, magasban és szűk helyeken dolgoznak, miközben tűz, robbanás, zuhanás és mérgező anyagokkal való érintkezés veszélye is fennállhat.

Ezért a hajóbontás nem egyszerűen fémhulladék-gyűjtés.

Különleges ipari technológia, amelynek megfelelő biztonsági és környezetvédelmi feltételekre van szüksége.

India: Alang, a hajók temetője

India nyugati partvidékén, Gudzsarát államban található Alang, a világ egyik legismertebb hajóbontó központja.

A térség természeti adottságai kedveznek bizonyos bontási módszereknek.

A nagy árapály-ingadozás és a megfelelő partszakaszok lehetővé tették, hogy a hajókat a partra futtassák, majd fokozatosan szétszereljék.

Ez jelentősen csökkentheti annak szükségességét, hogy minden hajóhoz drága szárazdokkot építsenek.

A módszer azonban komoly környezetvédelmi kérdéseket vet fel.

Ha a bontás közvetlenül a parton történik, különösen fontos megakadályozni, hogy olaj, festékmaradvány, fémforgács és más szennyező anyag jusson a tengerbe vagy a parti talajba.

Az azbeszt és más veszélyes anyagok kezelése szintén megfelelő technológiát igényel.

Alang térsége évtizedek óta jelentős mennyiségű acélt és újrahasznosítható anyagot biztosít az indiai gazdaság számára, miközben sok embernek ad munkát.

A hajóbontás tehát nem kizárólag környezetvédelmi probléma.

Jelentős gazdasági tevékenység is, amelynek helyi társadalmi szerepét nem lehet figyelmen kívül hagyni.

A környezetvédelmi bírálatok hatására egyes indiai bontóüzemek korszerűsítették technológiájukat, javították a hulladékkezelést és a munkabiztonsági feltételeket.

A helyzet ezért nem írható le úgy, mintha valamennyi ázsiai hajóbontó változatlanul a korábbi, ellenőrizetlen módszerekkel működne.

A különböző üzemek között jelentős eltérések lehetnek.

A kérdés az, hogy ezek az intézkedések mennyiben biztosítják a teljes bontási folyamat környezetvédelmi és munkabiztonsági megfelelőségét.

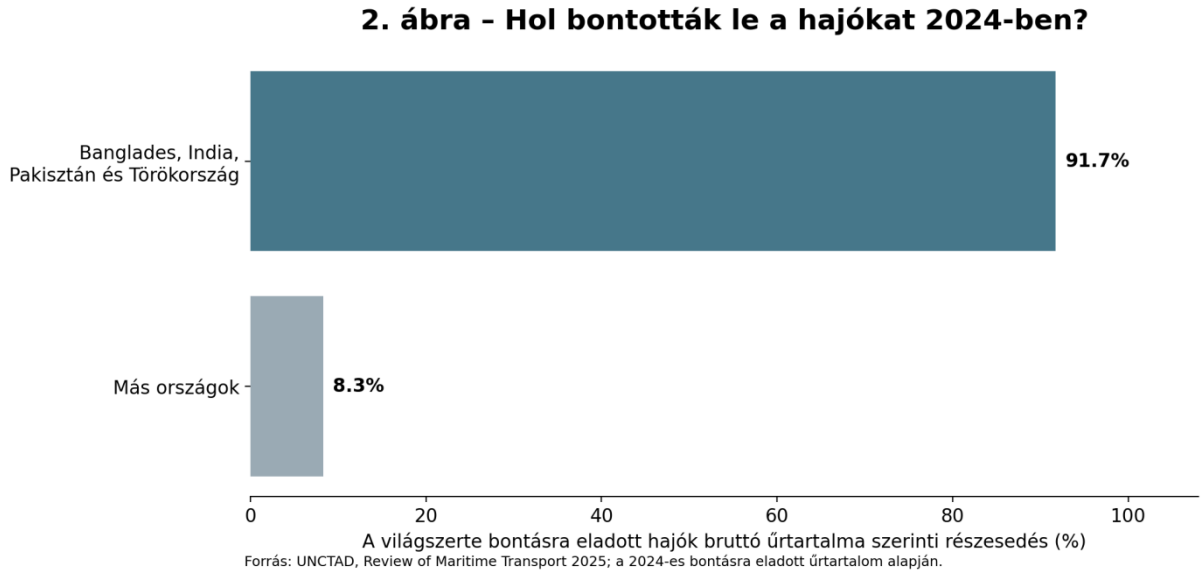
Miért éppen Dél-Ázsiában bontják a hajókat?

A nagy hajók bontása az elmúlt évtizedekben jelentős részben néhány dél-ázsiai országra koncentrálódott.

A folyamatot az alacsonyabb munkaerőköltségek, a fémhulladék iránti helyi kereslet, a bontási infrastruktúra és a kialakult szakmai hálózatok együttesen alakították.

A 2024-es adatok szerint a bontásra értékesített hajók összes bruttó űrtartalmának 91,7 százaléka Bangladesbe, Indiába, Pakisztánba és Törökországba került.

Ebből Banglades és India együttes részesedése meghaladta a 77 százalékot. A négy ország tehát szinte a teljes világpiacot uralta.



95. ábra. A hajóbontás világméretű koncentrációja. A 2024-ben bontásra értékesített hajók bruttó űrtartalmának megoszlása a legnagyobb bontóországok és a világ többi része között. Az ábra nem a hajók darabszámát, hanem bruttó űrtartalmát hasonlítja össze. Forrás: UNCTAD, Review of Maritime Transport 2025.

A hajóbontás különleges példája annak, hogy az újrahasznosítás és a környezeti kockázat ugyanabban a tevékenységben jelenhet meg.

Egy leselejtezett hajó acéljának visszanyerése csökkentheti az új acél előállításához szükséges nyersanyagok és energia mennyiségét.

Ha azonban a bontás során veszélyes anyagok kerülnek a környezetbe, vagy a munkások súlyos egészségügyi kockázatoknak vannak kitéve, az újrahasznosítás környezeti és társadalmi mérlege jelentősen romlik.

A cél ezért nem feltétlenül az, hogy megszüntessük a dél-ázsiai hajóbontást.

Sokkal inkább az, hogy a hajók lebontása megfelelő technológiával, biztonságos körülmények között történjen.

Nemzetközi szabályok a hajóbontásra

A hajóbontás biztonságának javítására született meg a Nemzetközi Tengerészeti Szervezet égisze alatt a 2009-ben elfogadott hongkongi hajó-újrahasznosítási egyezmény.

Az egyezmény 2025. június 26-án lépett hatályba.

Célja, hogy a hajók teljes életciklusa során javuljon a veszélyes anyagok nyilvántartása, és a bontás megfelelően kialakított, ellenőrzött létesítményekben történjen.

Az előírások érintik a bontás előkészítését, a veszélyes anyagok kezelését, az üzemek működését és a munkavédelmi követelményeket is.

Az egyezmény fontos előrelépés, de önmagában nem garantálja, hogy minden hajóbontás biztonságossá válik.

A szabályok csak akkor érnek valamit, ha a részes államok megfelelően beépítik őket saját jogrendszerükbe, és ténylegesen ellenőrzik betartásukat.

A hajók tulajdonosainak és a bontást végző vállalatoknak is felelősséget kell vállalniuk.

A környezetvédelmi megfelelés nem érhet véget akkor, amikor a hajó tulajdonjoga egy másik társasághoz kerül.

A számítógép, amely hulladékként is értékes

A hulladékkereskedelem másik jelentős területe az elektromos és elektronikus berendezések világa.

A számítógépek, mobiltelefonok, televíziók, háztartási gépek és más elektronikai eszközök száma az elmúlt évtizedekben rendkívül gyorsan növekedett.

Ezzel párhuzamosan nőtt a használatból kivont eszközök mennyisége is.

Az elektronikai berendezések élettartama több okból lehet rövid.

Egyes eszközök műszakilag elhasználódnak, mások javítása gazdaságtalanná válik. A számítógépek és mobiltelefonok esetében a szoftveres támogatás megszűnése is hozzájárulhat ahhoz, hogy a még működő hardvereket lecserélik.

A fogyasztói igények és a technológiai fejlődés további cseréket ösztönözhetnek.

A leselejtezett berendezések azonban sok értékes anyagot tartalmaznak.

Réz található a vezetékekben és motorokban, arany és más fémek az elektronikai alkatrészekben. Az akkumulátorokban a technológiától függően lítium, nikkel, kobalt és más anyagok fordulhatnak elő.

Ezek visszanyerése gazdasági és környezetvédelmi szempontból is hasznos lehet.

A nehézséget az okozza, hogy az értékes anyagok sokszor kis mennyiségben, összetett szerkezetekben találhatók.

Az alkatrészeket szét kell választani, és egyes anyagok visszanyeréséhez különleges metallurgiai vagy kémiai eljárások szükségesek.

A megfelelő feldolgozás tehát jelentős technológiai felkészültséget igényel.

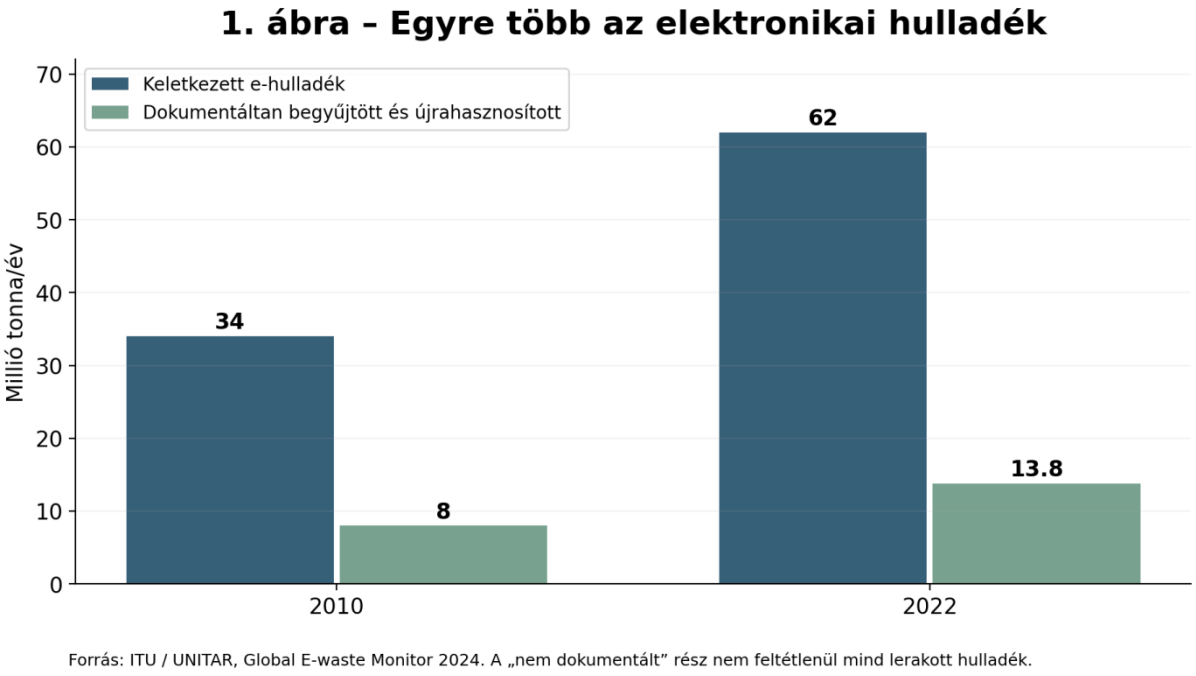
Egyre több hulladék, lassabban fejlődő újrahasznosítás

Az ENSZ szakosított szervezeteinek 2024-ben közzétett jelentése szerint 2022-ben világszerte körülbelül 62 millió tonna elektronikai hulladék keletkezett.

Ennek mindössze 22,3 százalékát dokumentálták megfelelően begyűjtött és környezetvédelmi szempontból szabályosan újrahasznosított hulladékként.

2010-ben még körülbelül 34 millió tonna elektronikai hulladék keletkezett a világon.

A mennyiség tehát tizenkét év alatt mintegy 82 százalékkal nőtt.



96. ábra. Az elektronikai hulladék mennyiségének növekedése. A világon keletkező elektromos és elektronikai hulladék mennyisége 2010-ben és 2022-ben, valamint a dokumentáltan begyűjtött és megfelelően újrahasznosított mennyiség. A nem dokumentált rész nem tekinthető automatikusan illegálisan kezelt hulladéknak. Forrás: ITU–UNITAR, Global E-waste Monitor 2024.

A számokból jól látható, hogy az elektronikai hulladék mennyisége gyorsabban növekszik, mint a dokumentált újrahasznosítási kapacitás.

A különbség különösen nagy kihívást jelent a fejlődő országokban.

Az új elektronikai eszközök iránti kereslet növekszik, miközben a hivatalos gyűjtési és feldolgozási rendszerek sok helyen még hiányosak.

A hulladék egy része háztartásokban vagy raktárakban marad, más része a vegyes hulladékba kerül, illetve informális kereskedelmi és feldolgozási csatornákba jut.

Ezért a hiányzó dokumentációból nem lehet közvetlenül következtetni arra, hogy minden ilyen eszközt veszélyes módon kezeltek.

A megfelelő nyomon követés hiánya azonban önmagában is probléma.

Ha nem tudjuk, hová kerülnek a berendezések, nehéz biztosítani, hogy az értékes anyagokat visszanyerjék, a veszélyeseket pedig megfelelően kezeljék.

Afrika: az elektronikai hulladék és a másodkézből származó technológia

Az afrikai elektronikai hulladékkal kapcsolatban gyakran jelennek meg megrázó fényképek.

Hatalmas mennyiségű használatból kivont berendezés, szétbontott számítógépek, égő kábelek és füstben dolgozó emberek láthatók rajtuk.

Az ilyen felvételek valódi környezetvédelmi és egészségügyi veszélyekre hívják fel a figyelmet.

A probléma azonban összetettebb annál, mint hogy a gazdag országok egyszerűen Afrikába szállítják valamennyi elektronikai hulladékukat.

Az afrikai országok saját elektronikai fogyasztása is növekszik.

A mobiltelefonok, televíziók, számítógépek és háztartási készülékek elterjedésével egyre több helyben keletkező elektronikai hulladék jelenik meg.

Emellett jelentős szerepe van a használt, de még működő készülékek kereskedelmének is.

Egy Európában leselejtezett számítógép lehet, hogy ott már nem felel meg a felhasználó igényeinek, de egy alacsonyabb jövedelmű országban még éveken keresztül hasznos szolgálatot tehet.

Az ilyen eszközök továbbhasználata környezetvédelmi szempontból akár kedvező is lehet.

Meghosszabbítja a termék élettartamát, és késleltetheti egy új eszköz gyártásának szükségességét.

A probléma akkor jelentkezik, ha a működőképes berendezések kereskedelmére hivatkozva valójában javíthatatlan, használhatatlan eszközöket szállítanak külföldre.

Ilyenkor a fogadó ország nem értékes használt technológiához, hanem hulladékhoz jut.

A két kategória között ezért világos jogi és műszaki különbséget kell tenni.

A valóban működőképes használt berendezés és a hulladéknak minősülő elektromos készülék nem ugyanaz.

Ghána és Agbogbloshie: egy világhírű hulladéklerakó története

A ghánai főváros, Accra egyik városrészében található Agbogbloshie neve sokáig egyet jelentett az afrikai elektronikai hulladék problémájával.

A területen informális fém- és hulladékfeldolgozás folyt.

A munkások használt berendezéseket szereltek szét, fémeket válogattak, és egyes esetekben kábeleket égettek el, hogy hozzáférjenek a bennük található rézhez.

Az ilyen eljárások jelentős egészségügyi és környezeti veszélyeket hordozhatnak.

A nyílt égés során mérgező égéstermékek és részecskék kerülhetnek a levegőbe. A nem megfelelő hulladékkezelés következtében nehézfémek és más szennyező anyagok juthatnak a talajba.

A térségről készült fényképek világszerte ismertté váltak.

Agbogbloshie-t gyakran a világ egyik legnagyobb elektronikaihulladék-lerakójaként mutatták be.

A kutatások azonban később rámutattak, hogy ez a kép számos ponton leegyszerűsítő vagy félrevezető volt.

A helyszínen nem kizárólag külföldről érkezett elektronikai hulladékot dolgoztak fel. Jelentős szerepe volt a Ghánában keletkezett hulladéknak és a különböző eredetű fémhulladékoknak is.

A tevékenység ráadásul sok ember számára megélhetést biztosított.

Egy 2024-ben megjelent tudományos tanulmány kifejezetten azt vizsgálta, hogyan alakult ki Agbogbloshie körül a szenzációhajhász beszámolók és a pontatlan adatok által erősített kép. A szerzők szerint a terület 2021-es felszámolásában a helyi városrendezési és politikai tényezők mellett a nemzetközi nyilvánosságban elterjedt, részben torzított leírások is szerepet játszhattak.

A történet tanulsága nem az, hogy az informális hulladékfeldolgozás veszélytelen lett volna.

Hanem az, hogy még egy valós környezetvédelmi problémát is pontatlanul mutathatunk be, ha nem választjuk külön a bizonyított tényeket a látványos, de nem kellően ellenőrzött állításoktól.

Ez különösen fontos a fejlődő országok megítélésénél.

Egy veszélyes hulladékfeldolgozási módszer bírálata indokolt lehet, de nem vezethet oda, hogy a helyi lakosságot pusztán a gazdag országok hulladékának tehetetlen áldozataként ábrázoljuk.

A valóságban gazdasági szereplőkről, kereskedelmi hálózatokról, megélhetési lehetőségekről és helyi fogyasztásból származó hulladékokról is szó van.

A kábelek égetésének gazdasági logikája

Az informális elektronikaihulladék-feldolgozás egyik legveszélyesebb gyakorlata a szigetelt vezetékek nyílt égetése.

A módszer célja a réz visszanyerése.

A réz értékes fém, amelynek jelentős piaca van. A műanyag szigetelés eltávolítása azonban munkaigényes lehet.

Egy megfelelő feldolgozóüzemben mechanikai aprítással, válogatással és más technológiákkal lehet elválasztani a fémet a szigeteléstől.

Az ilyen berendezések beszerzése és működtetése viszont beruházást igényel.

A nyílt égetés sokkal kevesebb eszközzel elvégezhető.

A munkát végző ember így rövid idő alatt értékesíthető fémhez jut.

A módszer gazdasági előnye azonban csak azért látszik jelentősnek, mert a légszennyezés, az egészségkárosodás és a talajszennyezés költségei nem jelennek meg közvetlenül az eladott réz árában.

Ez pontosan ugyanaz az externáliaprobléma, amelyet a korábbi fejezetekben a kohászat, a vegyipar és más iparágak esetében is láttunk.

A környezetvédelmi fejlődés ezért nemcsak tiltásokat igényel.

Elérhetővé kell tenni a biztonságos feldolgozás gazdasági feltételeit is.

Ha a megfelelő technológia megfizethetetlen, az informális feldolgozás pedig a lakosság számára fontos jövedelemforrás, akkor a puszta tiltás könnyen a tevékenység földrajzi áthelyeződéséhez vagy rejtett folytatásához vezethet.

A fenntartható megoldás a hivatalos begyűjtési rendszerek, a korszerű újrahasznosítás és a helyi megélhetési lehetőségek összehangolása lehet.

Amikor a hulladékból veszélyes anyag lesz

Az elektronikai hulladék különböző anyagok összetett keveréke.

Egyes alkatrészei értékes fémeket tartalmaznak, más részei azonban potenciálisan veszélyes összetevőket is magukban foglalhatnak.

A régebbi készülékekben ólom- vagy higanytartalmú alkatrészek fordulhatnak elő. Bizonyos műanyagok égésgátló anyagokat tartalmazhatnak, az akkumulátorok pedig különféle fémeket és gyúlékony vagy reakcióképes elektrolitokat.

A kockázat azonban nem minden eszköznél egyforma.

Más veszélyekkel jár egy régi képcsöves televízió szétszerelése, mint egy modern mobiltelefon akkumulátorának szakszerű eltávolítása.

Az újrahasznosítás során ezért az első lépések egyikének a veszélyes alkatrészek azonosításának és elkülönítésének kell lennie.

A veszélyes anyagokat ellenőrzött körülmények között kell kezelni.

Az értékes fémeket tartalmazó alkatrészek egy része ezután specializált ipari üzemekbe kerülhet, ahol korszerű technológiával történik a fémek visszanyerése.

Ez jelentős környezetvédelmi előnyökkel járhat az elsődleges bányászathoz képest.

De csak akkor, ha a teljes folyamat megfelel a megfelelő környezetvédelmi követelményeknek.

A mérgező hulladékok nemzetközi botrányai

A veszélyes hulladékok nemzetközi kereskedelme már az 1980-as években komoly politikai és környezetvédelmi vitákat váltott ki.

A fejlett országokban a veszélyes ipari hulladékok kezelése egyre szigorúbb szabályokhoz kötődött.

A biztonságos lerakás, égetés vagy speciális feldolgozás költségei növekedtek.

Ezzel párhuzamosan megjelentek olyan kereskedelmi ajánlatok, amelyek veszélyes hulladékok alacsonyabb jövedelmű országokba történő szállítását ígérték.

Az egyik ismert történeti példa az 1987–1988-as olasz–nigériai hulladékügy.

Olaszországból származó veszélyes ipari hulladékot helyeztek el Nigéria Koko nevű településén, ahol a tárolás feltételei nem biztosították a megfelelő környezetvédelmi védelmet.

Az eset nemzetközi felháborodást váltott ki, és hozzájárult a veszélyes hulladékok határokon átnyúló mozgásának szigorúbb ellenőrzését sürgető törekvésekhez.

Az ilyen esetekben a probléma nem az volt, hogy a hulladékot egy másik országba szállították.

Hanem az, hogy a szállítás és az elhelyezés nem garantálta a veszélyes anyagok biztonságos kezelését.

A gazdasági haszon egyes szereplőknél jelentkezett, miközben a környezeti és egészségügyi kockázatokat a fogadó ország lakossága viselte.

Ezek a botrányok világossá tették, hogy a hulladékkereskedelmet nem lehet kizárólag a piaci szereplők megállapodásaira bízni.

A Bázeli Egyezmény megszületése

1989-ben elfogadták a veszélyes hulladékok országhatárokon átnyúló szállításának és ártalmatlanításának ellenőrzéséről szóló Bázeli Egyezményt.

Az egyezmény 1992-ben lépett hatályba.

Alapvető célja a veszélyes hulladékok keletkezésének mérséklése, nemzetközi mozgásuk ellenőrzése és a környezetvédelmi szempontból megfelelő kezelés előmozdítása.

Az egyezmény egyik legfontosabb elve az előzetes tájékoztatáson alapuló hozzájárulás.

Ez azt jelenti, hogy az ellenőrzés alá tartozó hulladék szállításához a megfelelő hatóságokat tájékoztatni kell, és a szükséges engedélyeket a szállítás előtt be kell szerezni.

Nem elegendő tehát, hogy az egyik országban működő vállalat találjon egy külföldi vevőt a hulladék számára.

A fogadó országnak is tudnia kell, milyen anyag érkezik, és milyen kezelésre kerül sor.

Az egyezmény a veszélyes hulladékok kezelésének más fontos követelményeit is szabályozza.

A cél nem a hulladékok nemzetközi kereskedelmének teljes megszüntetése.

Hanem annak biztosítása, hogy a kereskedelem ne vezessen ellenőrizetlen veszélyesanyag-áramláshoz és környezeti károkhoz.

A szabályozás azóta többször változott.

A veszélyes hulladékok egyes fejlett országokból más országcsoportokba történő kivitelének korlátozását erősítő úgynevezett Ban Amendment 2019. december 5-én lépett hatályba az azt elfogadó részes felekre nézve.

A Bázeli Egyezmény különösen fontos példa a nemzetközi környezetvédelmi együttműködésre.

A hulladékkereskedelem ugyanis olyan tevékenység, amelyet egyetlen ország önmagában nem képes teljes körűen ellenőrizni.

A műanyaghulladék új útvonalai

A műanyaghulladékok világkereskedelme hosszú ideig jelentős részben Kínához kapcsolódott.

Kína nagy mennyiségű műanyaghulladékot importált, amelynek egy részét újrahasznosították.

A gyors gazdasági fejlődés és a feldolgozóipar növekvő nyersanyagigénye jelentős keresletet teremtett a másodlagos alapanyagok iránt.

A rendszer azonban komoly problémákkal is járt.

A hulladékszállítmányok minősége nagyon eltérő lehetett. Bizonyos tételek jelentős szennyeződést vagy nehezen újrahasznosítható anyagokat tartalmaztak.

2018-tól Kína lényegesen szigorúbb korlátozásokat vezetett be több hulladékkategória importjára.

A döntés jelentősen átalakította a nemzetközi hulladékkereskedelmet.

Azoknak az országoknak, amelyek korábban nagy mennyiségű műanyaghulladékot szállítottak Kínába, új feldolgozási és értékesítési lehetőségeket kellett keresniük.

A hulladék egy része más ázsiai országok felé indult.

Ez azonban nem minden esetben jelentette a megfelelő feldolgozási kapacitások egyidejű kiépülését.

A nemzetközi kereskedelem így újabb környezetvédelmi konfliktusokat idézett elő.

A probléma kezelésére a Bázeli Egyezmény részes felei 2019-ben elfogadták a műanyaghulladékokra vonatkozó módosításokat, amelyek 2021. január 1-jén léptek hatályba.

Ezek a szabályok a korábbinál szélesebb körben vonták ellenőrzés alá a műanyaghulladék nemzetközi szállítását.

A módosítások nem jelentettek általános, minden műanyaghulladékra kiterjedő exporttilalmat.

A hulladék összetételétől és besorolásától függően különböző ellenőrzési követelmények vonatkozhatnak a szállításra.

A cél az volt, hogy a nehezen kezelhető vagy szennyezett műanyaghulladék ne kerülhessen megfelelő hatósági ellenőrzés nélkül olyan országokba, ahol nincs megoldva a biztonságos feldolgozás.

Új szabályok az elektronikai hulladékra

Az elektronikai hulladékok nemzetközi kereskedelmének ellenőrzése 2025-ben újabb fontos lépéshez érkezett.

A Bázeli Egyezmény elektronikai hulladékokra vonatkozó módosításai 2025. január 1-jén léptek hatályba a módosításokat elfogadó részes felek számára.

Az új szabályok az elektromos és elektronikai hulladékok szélesebb körét vonták az előzetes tájékoztatáson alapuló hozzájárulási eljárás alá.

Ez a nem veszélyesnek minősülő elektronikai hulladékok jelentős részére is kiterjed.

A változás lényege, hogy a megfelelő hulladékkategóriák nemzetközi szállításáról a hatóságoknak már a szállítás előtt tudomást kell szerezniük, és a szükséges hozzájárulásokat meg kell adniuk.

A szabályozás különösen fontos a használt berendezések és hulladéknak minősülő eszközök megkülönböztetése szempontjából.

Egy működőképes, továbbhasználatra szánt használt számítógép nem feltétlenül hulladék.

Egy javíthatatlan, működésképtelen készülék viszont nem válik automatikusan használt termékké attól, hogy a szállító így nevezi meg a dokumentumokban.

Az ellenőrzésnek ezért nem csupán a papírokra, hanem szükség esetén a szállított eszközök tényleges állapotára is ki kell terjednie.

A jogszabályok ugyanakkor önmagukban nem oldják meg a problémát.

A kikötői és határellenőrzésnek fel kell ismernie a hibás besorolásokat, a hatóságoknak pedig megfelelően együtt kell működniük.

A hulladékok nemzetközi útjának követhetősége ezért alapvető jelentőségű.

Mi különbözteti meg a jogszerű újrahasznosítást a teheráthelyezéstől?

A hulladék nemzetközi szállítása önmagában sem a jó, sem a rossz környezetvédelmi megoldások közé nem sorolható.

A valódi különbséget a hulladék eredete, összetétele, szállításának jogszerűsége és végső kezelése határozza meg.

Vegyünk két példát.

Az első esetben egy európai vállalat réztartalmú hulladékot szállít egy megfelelő engedéllyel működő külföldi fémfeldolgozó üzembe.

A szállítmány összetétele ismert, rendelkezésre állnak a szükséges dokumentumok és hozzájárulások, az üzemben pedig ellenőrzött technológiával nyerik vissza a rezet.

A veszélyes melléktermékeket megfelelően kezelik.

Ebben az esetben a nemzetközi szállítás egy hasznos anyag-visszanyerési folyamat része lehet.

A második esetben egy vállalat javíthatatlan elektronikai berendezéseket működő használt készülékekként tüntet fel.

A szállítmány olyan országba kerül, ahol az eszközöket megfelelő védőfelszerelés és környezetvédelmi berendezések nélkül szétszerelik. A fémeket részben nyílt égetéssel nyerik vissza, a maradék hulladékot pedig ellenőrizetlenül lerakják.

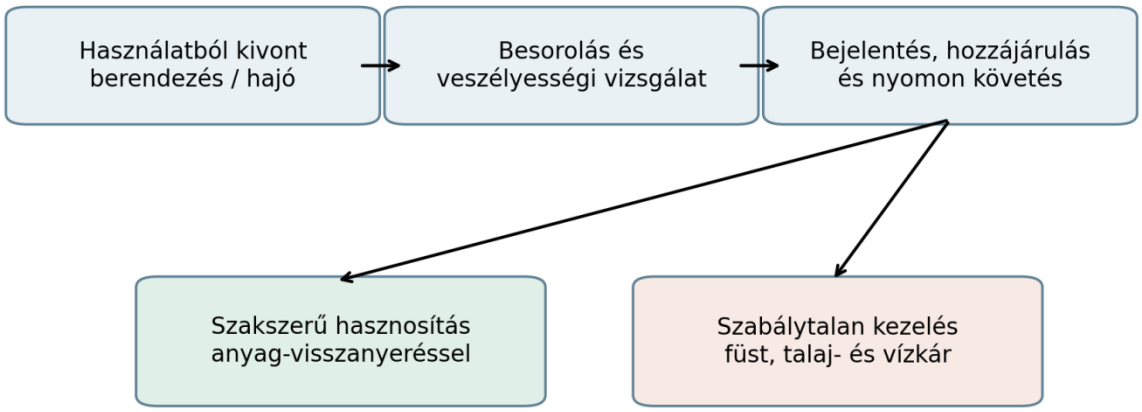
Ebben az esetben a szállítás gazdasági haszna a környezetvédelmi költségek másokra hárításából származhat.

A két tevékenység külső megjelenése bizonyos szempontból hasonló.

Mindkét esetben hulladékot szállítanak külföldre, majd anyagokat nyernek vissza belőle.

A társadalmi és környezeti következmények azonban alapvetően különböznek.

3. ábra – A hulladékszállítás két lehetséges vége



A legális szállítás feltétele nemcsak a határátlépés engedélye, hanem a megfelelő végső kezelés is.

97. ábra. A hulladékszállítás két lehetséges kimenetele. Az ellenőrzött, megfelelően dokumentált nemzetközi hulladékforgalom biztonságos anyag-visszanyeréshez vezethet. A hibás besorolás, a jogellenes szállítás vagy a nem megfelelő kezelés viszont a környezeti és egészségügyi károk áthelyezését eredményezheti. A jogszerűséghez az alkalmazandó nemzetközi és nemzeti előírások teljesítése szükséges.

A jogszerűség fontos feltétel, de önmagában nem azonos a környezeti fenntarthatósággal.

Előfordulhat, hogy egy jogszerűen működő létesítmény is jelentős környezeti terhelést okoz, vagy hogy az alkalmazott technológia fejlesztésre szorul.

A jó hulladékgazdálkodás ezért a jogszabályi megfelelés mellett a tényleges környezeti eredmények vizsgálatát is igényli.

Miért nehéz ellenőrizni a teljes hulladék utat?

A nemzetközi hulladékkereskedelemben gyakran több vállalat vesz részt.

A hulladék egyik cégnél keletkezik, egy másik összegyűjti, egy kereskedő továbbértékesíti, egy szállítmányozó megszervezi a fuvarozást, végül egy külföldi feldolgozó átveszi.

A feldolgozás után visszamaradó anyagok további vállalatokhoz kerülhetnek.

A teljes lánc ezért nehezen átlátható.

Az egyik legfontosabb kérdés a hulladék pontos besorolása.

Ha egy szállítmányt újrahasznosítható alapanyagként tüntetnek fel, de valójában nagy arányban szennyezett vagy veszélyes hulladékot tartalmaz, az jelentősen megváltoztathatja a szállítás jogi és környezetvédelmi megítélését.

A másik probléma a végső feldolgozás ellenőrzése.

Nem elegendő tudni, hogy a hulladékot egy külföldi vállalat átvette.

Azt is vizsgálni kell, hogy ténylegesen mi történt vele.

Mennyi anyagot nyertek vissza? Mi lett a veszélyes melléktermékekkel? Megfelelően kezelték-e a feldolgozás során keletkező szennyvizet és légszennyezést?

A korszerű digitális nyilvántartások, a szállítmányok elektronikus dokumentációja és a hatóságok közötti adatcsere javíthatják az ellenőrizhetőséget.

De a rendszer nem működhet megfelelő helyszíni ellenőrzések nélkül.

A hulladékkereskedelemben ezért ugyanazzal a problémával találkozunk, mint a globális termelési láncok esetében.

A gazdasági kapcsolatokat viszonylag könnyű nemzetközivé tenni.

A felelősség és az ellenőrzés nemzetközivé tétele sokkal nehezebb.

Az illegális kereskedelem és a szervezett bűnözés

A hulladékok nemzetközi mozgásának egy része jogellenes.

Az illegális szállítás többféle formában történhet.

A szállító hamisan tüntetheti fel a hulladék jellegét, mennyiségét vagy veszélyességét. Hiányozhatnak a szükséges engedélyek, vagy az áru nem a dokumentumokban megjelölt feldolgozóhoz kerül.

Előfordulhat az is, hogy a szállítmány több országon keresztül halad, ami megnehezítheti a felelősség megállapítását.

A hulladékkereskedelemben jelentős pénzek mozoghatnak.

A veszélyes hulladékok szabályos kezelésének elkerülése komoly gazdasági előnyt jelenthet a jogsértő szereplőknek.

Ezért az illegális hulladékszállítás bizonyos esetekben szervezett bűnözői hálózatokhoz is kapcsolódhat.

A probléma kezeléséhez a vámhatóságok, környezetvédelmi szervek, rendőrségek és nemzetközi szervezetek együttműködése szükséges.

A határellenőrzés azonban nem elegendő.

Fontos, hogy a hulladékkezelés költségei és a visszanyerhető anyagok értéke olyan gazdasági feltételeket teremtsenek, amelyek mellett a szabályos feldolgozás is életképes.

Ha a jogszerű kezelés tartósan gazdasági hátrányban van az ellenőrizetlen tevékenységgel szemben, akkor a szabályok betartatására folyamatosan nagy nyomás nehezedik.

A hulladék mint nyersanyagforrás

A hulladék világkereskedelmét nem lehet kizárólag a veszélyes anyagok problémájaként kezelni.

A modern ipar hatalmas mennyiségű nyersanyagot használ fel.

A réz, az alumínium, az acél, a különféle műanyagok és más anyagok elsődleges előállítása gyakran jelentős energia- és nyersanyagigénnyel jár.

A már felhasznált anyagok visszanyerése ezért fontos szerepet játszhat a természeti erőforrások megőrzésében.

Az alumínium újraolvasztása például általában lényegesen kevesebb energiát igényel, mint az alumínium elsődleges előállítása bauxitból.

Az acélhulladék újrahasznosítása mérsékelheti a vasérc és bizonyos körülmények között a koksz iránti igényt.

Az elektronikai hulladékokból visszanyerhető nemes- és színesfémek pedig csökkenthetik az újabb bányászati nyersanyagok iránti kereslet egy részét.

A hulladék tehát fontos másodlagos nyersanyagforrás.

A körforgásos gazdaság egyik célja éppen az, hogy a termékekben felhasznált anyagok minél tovább a gazdasági rendszerben maradjanak.

Ehhez azonban nem elegendő a hulladék begyűjtése.

A termékeket lehetőleg már a tervezés során úgy kell kialakítani, hogy javíthatók, szétszerelhetők és anyagaik visszanyerhetők legyenek.

A megfelelő terméktervezés sok esetben nagyobb környezetvédelmi eredményt hozhat, mint az élettartam végén alkalmazott egyre bonyolultabb hulladékfeldolgozás.

Miért nem mindig jó a hulladékot helyben kezelni?

A hulladékkereskedelem szabályozásakor felmerül az a gondolat, hogy minden országnak saját területén kellene feldolgoznia a keletkező hulladékot.

Ez első pillantásra igazságos megoldásnak tűnhet.

A valóságban azonban nem minden hulladéktípusnál gazdaságos vagy környezetvédelmi szempontból kedvező külön feldolgozóüzemet építeni.

Egy kis országban például évente csak korlátozott mennyiségű, ritka fémeket tartalmazó ipari hulladék keletkezhet.

A speciális fémvisszanyerő technológia kiépítése és működtetése jelentős beruházást igényelne.

Ésszerűbb lehet, ha a hulladékot olyan külföldi, korszerű üzemben dolgozzák fel, amely több ország anyagait fogadja.

A nagyobb mennyiség gazdaságosabb működést és fejlettebb környezetvédelmi technológia alkalmazását teheti lehetővé.

A nemzetközi hulladékszállítás tehát nem feltétlenül ellentétes a környezetvédelmi célokkal.

A döntéshez a teljes környezeti mérleget kell vizsgálni.

A szállítás energiaigénye mellett figyelembe kell venni a feldolgozás hatékonyságát, a visszanyert anyagok mennyiségét és a maradék hulladék kezelését.

Az a megoldás lehet kedvezőbb, amely a teljes folyamatot tekintve kisebb környezeti terhelést okoz.

Ki felel a hulladékért?

A korábbi fejezetekben megvizsgáltuk, hogyan válhat el a termék előállításának helye a fogyasztás helyétől.

A hulladékkereskedelem ehhez egy harmadik földrajzi helyszínt is hozzáad.

Egy elektronikai eszközt előállíthatnak Ázsiában, értékesíthetnek Európában, majd élettartama végén Afrikában kerülhet feldolgozásra.

A három tevékenység gazdasági előnyei és környezeti költségei különböző országokban jelentkeznek.

Ilyenkor felmerül a felelősség kérdése.

A gyártónak kell-e gondoskodnia a termék visszagyűjtéséről?

A fogyasztó köteles megfelelő gyűjtőrendszerbe juttatni a használatból kivont eszközt?

A hulladékot exportáló ország hatóságai meddig felelősek a szállítmányért?

És milyen feladatai vannak a hulladékot fogadó ország államának?

A korszerű hulladékgazdálkodás egyik fontos elve a kiterjesztett gyártói felelősség.

Ennek lényege, hogy a gyártók vagy a termékeket forgalomba hozók a termék használati idejének végén keletkező hulladék kezeléséért is meghatározott felelősséget viselnek.

Ez ösztönözheti a könnyebben javítható és újrahasznosítható termékek tervezését.

Ugyanakkor a nemzetközi hulladékkereskedelem ellenőrzése továbbra is állami és nemzetközi együttműködést igényel.

A felelősség nem érhet véget annál a pontnál, ahol a hulladékot átadják egy másik vállalatnak vagy átlépi az országhatárt.

A valódi körforgásos gazdaság feltételei

A körforgásos gazdaság fogalma az elmúlt évtizedekben egyre nagyobb szerepet kapott a környezetvédelmi politikában.

A cél az, hogy a termékek élettartama hosszabb legyen, az anyagfelhasználás hatékonyabbá váljon, és a használatból kivont termékek anyagai minél nagyobb arányban visszakerüljenek a gazdaságba.

Ehhez azonban több lépésre van szükség.

Először a felesleges hulladék keletkezését kell mérsékelni.

Ezután következhet a termékek javítása, újrahasználata és élettartamuk meghosszabbítása.

Ha ezek már nem lehetségesek, fontos az anyagok megfelelő újrahasznosítása.

A hulladékkezelés végső lehetőségei közé tartozhat az energetikai hasznosítás vagy a biztonságos ártalmatlanítás, de ezek nem helyettesítik az értékes anyagok visszanyerését minden esetben.

A körforgásos gazdaság sem képes teljesen megszüntetni az új nyersanyagok iránti igényt.

A termékek egy része elhasználódik, az anyagok szennyeződhetnek vagy szétszóródhatnak, és a visszanyerési folyamatoknak is vannak technológiai veszteségei.

A gazdaság növekedése ráadásul további anyagokat igényelhet akkor is, ha az újrahasznosítás hatékonysága javul.

Ezért a körforgásos gazdaságot nem szabad korlátlan anyaghasználatot lehetővé tevő megoldásként bemutatni.

Jelentős mértékben mérsékelheti a környezetterhelést, de nem szüntetheti meg valamennyi anyag- és energiaigényt.

A hulladék nem tűnik el az országhatáron

A hulladék világkereskedelmének története több szempontból is hasonlít a korábbi fejezetekben bemutatott ipari áthelyeződéshez.

A gazdasági tevékenység nemzetközivé válik, miközben a környezeti hatások jelentős része helyben marad.

Egy fejlett ország tisztábbá válhat azáltal, hogy veszélyes hulladékainak kezelését külföldre helyezi.

Ez azonban önmagában nem bizonyítja a globális környezetterhelés csökkenését.

Ugyanakkor a nemzetközi hulladékszállítás megfelelő ellenőrzés mellett hasznos is lehet.

A korszerű, specializált feldolgozóüzemek lehetővé tehetik értékes nyersanyagok visszanyerését, és csökkenthetik az elsődleges bányászat iránti igényt.

A hulladékkereskedelem ezért nem egyszerűen tiltandó vagy támogatandó tevékenység.

A döntő kérdés a teljes folyamat környezeti és társadalmi mérlege.

A hajóbontás esetében nem elegendő az újrahasznosított acél mennyiségét vizsgálni. Figyelembe kell venni a munkavédelmet és a veszélyes anyagok kezelését is.

Az elektronikai hulladékoknál nemcsak a visszanyert fémek értéke számít, hanem az is, hogy mi történik a műanyagokkal, az akkumulátorokkal és a mérgező összetevőkkel.

A műanyaghulladék nemzetközi kereskedelmében pedig nem elég tudni, hogy egy szállítmány újrahasznosítási célból indult útnak. Azt is ellenőrizni kell, hogy valóban megfelelően dolgozták-e fel.

A hulladék útja tehát nem ér véget a kikötőben, a vámhatáron vagy a kereskedelmi szerződés aláírásakor.

A hulladék környezetvédelmi szempontból nem attól válik megfelelően kezelt anyaggá, hogy egy másik országban eltűnik a szemünk elől, hanem attól, hogy a teljes feldolgozási folyamat ellenőrizhetően és biztonságosan történik.

A globális gazdaság egyik legfontosabb környezetvédelmi feladata ezért nem csupán az újrahasznosítás mennyiségének növelése.

Hanem annak biztosítása, hogy az újrahasznosítás ne váljon a szennyezés exportjának újabb formájává.

A fejezet főbb adatainak és szabályozási megállapításainak forrásai:

- ITU–UNITAR: Global E-waste Monitor 2024 – az elektronikai hulladék keletkezésének és újrahasznosításának adatai.
- UNCTAD: Review of Maritime Transport 2025 – a hajóbontás 2024-es globális területi megoszlása.
- Bázeli Egyezmény – egyezményszöveg és módosításai – a veszélyes, műanyag- és elektronikai hulladékok nemzetközi mozgása.
- Bázeli Egyezmény – az elektronikai hulladékokra vonatkozó 2025-ös szabályok.
- Grant és munkatársai (2024): Academic urban legend, Agbogbloshie – az afrikai elektronikai hulladék körüli tévhitek kritikai értékelése.

17. Amikor a szemétből bűnözői üzlet lesz

A hulladék, amelynek az eltüntetéséért fizetnek

A bűnözői tevékenységet általában olyan árukhoz kapcsoljuk, amelyek jelentős piaci értéket képviselnek. Kábítószer, csempészett cigaretta, lopott gépjármű vagy hamisított termék – a bűnöző megszerzi az árut, eladja, és a különbségből hasznot húz.

A hulladék esetében azonban egészen különös gazdasági helyzet alakulhat ki.

A hulladék tulajdonosa sokszor nem pénzt szeretne kapni az anyagért, hanem éppen ellenkezőleg: hajlandó fizetni azért, hogy valaki elszállítsa és kezelje.

Egy vállalat számára a hulladék megfelelő ártalmatlanítása költséget jelent.

A veszélyes anyagok begyűjtése, szállítása, laboratóriumi vizsgálata, feldolgozása és biztonságos elhelyezése szigorú műszaki követelményeket és megfelelő engedélyeket igényelhet.

A szabályos kezelés költsége jelentős lehet.

Ez teremti meg a hulladékbűnözés egyik legfontosabb gazdasági ösztönzőjét.

Ha valaki vállalja a hulladék átvételét, beszedi a kezelésért járó díjat, majd a feldolgozást nem végzi el, akkor a bevétel jelentős részét megtarthatja.

A bűnözőnek ebben az esetben nem feltétlenül kell értékes terméket előállítania.

Elég lehet elhitetnie, hogy el fogja végezni a szükséges hulladékkezelést.

A haszon tehát nem a hulladék értékéből, hanem az el nem végzett munka költségének megtakarításából keletkezik.

Ez teszi a hulladékbűnözés bizonyos formáit különösen jövedelmezővé.

A hulladékmaffia gazdasági modellje

Képzeljünk el egy vállalatot, amelynek nagy mennyiségű használt gumiabroncsot, szennyezett ipari anyagot vagy más hulladékot kell kezelnie.

A szabályos feldolgozásra több árajánlatot kap.

Egy megfelelő engedélyekkel rendelkező hulladékkezelő vállalat árajánlata tartalmazza a szállítás, a gépek, a munkaerő, a veszélyes melléktermékek kezelése és a szükséges környezetvédelmi intézkedések költségét.

Megjelenik azonban egy másik vállalkozás, amely lényegesen olcsóbban vállalja ugyanazt a feladatot.

A megrendelő számára az ajánlat vonzó.

A hulladékot elszállítják, a vállalat megkapja az átvételi dokumentumokat, és a kezelésért fizetendő összeg is kisebb.

Csakhogy a hulladékot átvevő vállalkozás valójában nem rendelkezik megfelelő feldolgozókapacitással, vagy nem kívánja azt igénybe venni.

A hulladékot egy bérelt vagy megvásárolt területre szállítja, ahol átmeneti tárolásra hivatkozva felhalmozza.

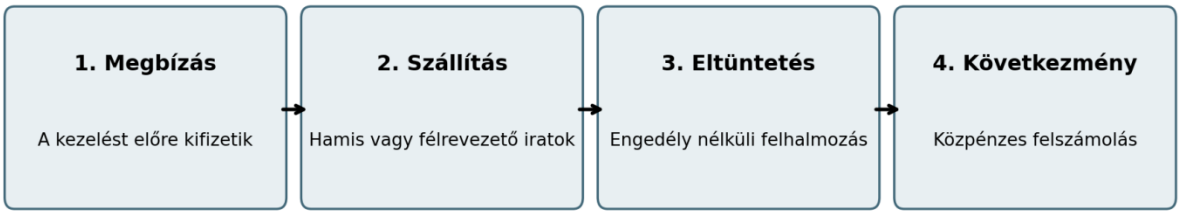
A szállítások folytatódnak, a kezelésért járó díjak beérkeznek, a hulladékhegy pedig egyre nő.

Amikor a hatóságok felismerik a problémát, előfordulhat, hogy a vállalat már fizetésképtelen, megszűnt, vagy a felelős személyeket nehéz elérni.

A hulladék azonban ott marad.

A felszámolás költsége végül az ingatlantulajdonosra, egy másik érintett vállalkozásra vagy – ha nincs más megoldás – a közösségre hárulhat.

1. ábra – A hulladékbűnözés gyakori üzleti modellje



Elvi folyamatábra, nem egyetlen büntetőügy bizonyított tényállása

98. ábra. A hulladékbűnözés egyik jellemző üzleti modellje. A megbízó kifizeti a hulladék kezelésének díját, de a hulladékot átvevő szereplő a tényleges feldolgozás helyett felhalmozza vagy illegálisan lerakja az anyagot. A nyereség a meg nem fizetett kezelési költségből származhat. Elvi folyamatábra.

Ez a modell különösen veszélyes, mert a szabálytalan tevékenység bizonyos ideig teljesen legális gazdasági működésnek látszhat.

Léteznek szerződések, fuvarlevelek, számlák és telephelyek.

A csalás gyakran nem a hulladék szállításában, hanem a vállalt kezelés elmaradásában rejlik.

Nem minden illegális lerakó mögött áll szervezett bűnözés

A hulladékmaffia kifejezés látványos és közérthető, de szakmai szempontból óvatosan kell használni.

Nem minden jogellenes hulladéklerakás szervezett bűnözői tevékenység.

Előfordulhat, hogy egy vállalat gondatlanságból, rossz gazdasági döntések miatt vagy egyszerűen a jogszabályok megsértésével nem megfelelően kezeli hulladékát.

Más esetekben azonban tudatos, több szereplőre épülő gazdasági rendszer jön létre.

A szervezett hulladékbűnözésben részt vehetnek hulladékkereskedők, fuvarozók, közvetítők, formálisan legális vállalkozások és hamis dokumentumokat előállító személyek.

Az Europol korábbi értékelése szerint a környezeti bűncselekmények jelentős részét nem feltétlenül különálló, hagyományos bűnszervezetek követik el. Előfordul, hogy jogszerű gazdasági tevékenységet végző vállalkozások tulajdonosai vagy vezetői kapcsolódnak be a szabálytalan üzletbe.

Ez megnehezíti az ellenőrzést.

Egy látszólag szabályosan működő vállalkozás ugyanazokat az eszközöket használhatja jogszerű és jogellenes tevékenységre.

A különbséget csak a dokumentumok, a tényleges anyagmozgások és a hulladék végső sorsának vizsgálata tárhatja fel.

Hamis papírok, valódi hulladék

A hulladékbűnözés egyik legfontosabb eszköze a dokumentumokkal való visszaélés.

A nemzetközi hulladékszállításnál különösen fontos a szállított anyag pontos megnevezése és besorolása.

Nem mindegy, hogy egy szállítmány újrahasználható terméket, feldolgozásra alkalmas másodlagos nyersanyagot vagy veszélyes hulladékot tartalmaz.

A különböző kategóriákhoz eltérő ellenőrzési és engedélyezési követelmények kapcsolódhatnak.

Egy régi számítógép például lehet működőképes, használt berendezés.

De lehet javíthatatlan elektronikai hulladék is.

Egy műanyagokat tartalmazó szállítmány lehet megfelelően válogatott újrahasznosítási alapanyag, de állhat különféle szennyezett hulladékokból is.

A jogellenes kereskedelem során ezért gyakran a hulladék besorolásával vagy rendeltetési helyével kapcsolatos hamis adatok jelennek meg.

A szállítmány a papírok szerint újrahasznosító üzembe kerülhet, miközben ténylegesen egy nem megfelelő telephelyre szállítják.

Máskor a feldolgozásról állítanak ki olyan dokumentumokat, amelyek nem tükrözik a valóságot.

A dokumentáció megléte tehát önmagában nem bizonyítja a szabályos hulladékkezelést.

A döntő kérdés az, hogy a dokumentumokban szereplő tevékenység valóban megtörtént-e.

Amikor Európa nyugati feléből kelet felé indul a hulladék

Az európai integráció jelentősen megkönnyítette az áruk és szolgáltatások nemzetközi mozgását.

Ez gazdasági szempontból fontos eredmény volt.

A hulladékok nemzetközi szállítása azonban különös ellenőrzési problémákat teremtett.

Egy Németországban vagy Olaszországban keletkező hulladékszállítmány megfelelő feltételek mellett más európai országban is feldolgozható.

Ez önmagában jogszerű és környezetvédelmi szempontból is indokolt lehet.

A probléma ott kezdődik, amikor a kezelési költségek közötti különbség illegális tevékenységet ösztönöz.

Az Europol megállapításai szerint a szervezett hulladékbűnözésben Közép- és Kelet-Európa egyes országai célterületként jelenhetnek meg a Nyugat-Európában keletkező hulladékok jogellenes szállításában.

Egy megfelelő feldolgozóüzemmel rendelkező ország természetesen hasznos gazdasági tevékenységet végezhet a külföldről érkező hulladék kezelésével.

A veszély akkor keletkezik, ha a szállítmányok mögött nincs valós kezelőkapacitás, vagy a vállalt feldolgozás nem történik meg.

Magyarországon ennek egyik különösen szemléletes példája a használt gumiabroncsok ügye.

A Németországból és Olaszországból érkező gumiabroncsok

A 2000-es évek közepén Magyarországon olyan hulladékkereskedelmi ügyek kerültek nyilvánosságra, amelyekben külföldről behozott használt gumiabroncsok szerepeltek.

A használt gumiabroncs első pillantásra nem tűnik különösen veszélyes hulladéknak.

Nem olyan, mint egy maró vegyi anyagokat tartalmazó tartály vagy radioaktív anyaggal szennyezett berendezés.

A nagy tömegben felhalmozott abroncsok azonban jelentős környezeti és tűzvédelmi kockázatot jelentenek.

A gumihulladék térfogata nagy, kezelése speciális technológiát igényelhet, és a nagy halmokban tárolt abroncsok meggyulladása rendkívül nehezen kezelhető tüzeket okozhat.

A gumi égése során nagy mennyiségű füst és különféle káros anyagok kerülhetnek a levegőbe.

A tűz oltásából származó szennyezett víz további környezeti problémát jelenthet.

Miközben a szabályos feldolgozás költséges, az abroncsok átvételéért díjat lehet felszámítani.

Ez gazdasági lehetőséget teremtett olyan vállalkozások számára, amelyek tényleges feldolgozókapacitás nélkül vállalták az átvételt.

Egy 2006. március 20-án megjelent, a Nemzetbiztonsági Hivatal korábbi évkönyvére hivatkozó beszámoló szerint egy hulladékkereskedelemben érintett kör egyetlen év alatt becslések alapján legalább tízezer tonna használt gumiabroncsot hozott Magyarországra, főként Németországból és Olaszországból.



99. ábra: gumiabroncs hulladék hegy

A korabeli számítás szerint ilyen mennyiség átvételéhez akár másfél milliárd forintos bevétel is kapcsolódhatott.

A számokat azonban becslésként kell kezelni, nem valamennyi érintett vállalkozásra kiterjedő, jogerős bírósági megállapításként.

A beszámoló olyan fantomcéges megoldásokat is ismertetett, amelyekben a papírokon szereplő tulajdonos később nehezen volt elérhető.

A gazdasági modell lényege nem feltétlenül az abroncsok értékesítése volt.

A haszon már a hulladék átvételéből származhatott.

A tényleges feldolgozás költsége pedig elmaradt.

Miért éppen gumiabroncs?

A használt gumiabroncs különleges hulladékfajta.

Viszonylag könnyen gyűjthető, nagy mennyiségben keletkezik, és a szállítása egyszerűbb lehet, mint sok más ipari hulladéké.

Feldolgozása azonban nem oldható meg pusztán a tárolással.

Az abroncsokat mechanikailag apríthatják, a bennük található acélt és más anyagokat elválaszthatják, a gumifrakciót pedig megfelelő technológiával további felhasználásra készíthetik elő.

Bizonyos alkalmazásokban a gumi anyagában hasznosítható.

Más esetekben megfelelő ipari feltételek mellett energetikai felhasználásra kerülhet.

Az egyes feldolgozási módoknak eltérő környezeti mérlege és műszaki követelménye van.

A probléma tehát nem az, hogy a gumiabroncs hasznosíthatatlan lenne.

Hanem az, hogy a feldolgozáshoz beruházás, energia, munkaerő és piac szükséges.

Ha egy vállalkozás a hulladék átvételéért megkapja a díjat, de a feldolgozáshoz szükséges feltételeket nem teremti meg, akkor a telephely idővel hatalmas gumihulladék-raktárrá válhat.

A gazdasági előny addig jelentkezik, amíg a hatóságok nem kényszerítik ki a feldolgozást vagy a hulladék elszállítását.

Minél nagyobb a felhalmozott mennyiség, annál magasabbá válhat a helyreállítás költsége.

Amikor a régi történet újra megismétlődik

A gumiabroncsok szabálytalan felhalmozása nem kizárólag a 2000-es évek problémája volt.

Magyarországon később is kerültek nyilvánosságra jelentős gumihulladék-lerakók.

Vas vármegyében, Nagykölked határában például évek óta nagy mennyiségű használt gumiabroncs halmozódott fel.

A területről 2026 márciusában közzétett felvételeken hatalmas gumihalmok láthatók.

A sajtóban megjelent becslések szerint a felhalmozott hulladék térfogata elérhette az 50 ezer köbmétert. Ez azonban becsült térfogat, nem hitelesített tömegadat.

A helyi beszámolók szerint a gumihulladék jelentős része külföldről érkezett, és a területen korábban legális feldolgozási tevékenység is működött.

A felelősséggel, a vállalkozások közötti kapcsolatokkal és a hatósági fellépéssel kapcsolatban politikai viták is kialakultak.

Ezeket azonban célszerű elkülöníteni a közvetlenül megfigyelhető tényektől.

A jelentős mennyiségű felhalmozott gumihulladék létezése, annak lehetséges tűzvédelmi kockázata és a szabályos kezelés szükségessége önállóan is értékelhető.

Egyes személyek büntetőjogi felelősségét ugyanakkor csak megfelelő vizsgálatok és bizonyítékok alapján lehet megállapítani.

A nagykölkedi ügy fontos tanulsága, hogy a hulladék megfelelő kezelésének biztosítása nem ér véget akkor, amikor az átvételi dokumentumot aláírták.

A feldolgozás tényleges megtörténtét is ellenőrizni kell.

A tűz, amelyet senki sem szeretne látni

A gumihulladék különösen veszélyessé válhat, ha nagy, ellenőrizetlen halmokban tárolják.

Az abroncsok éghető anyagokat tartalmaznak, és egy nagy kiterjedésű gumitűz oltása műszaki szempontból rendkívül nehéz lehet.

Az egymásra halmozott gumiabroncsok között kialakuló üregek elősegíthetik a levegő áramlását, miközben a tűzfészkek belsejéhez nehéz hozzáférni.

Az égés során sűrű, fekete füst képződhet, amely koromrészecskéket és egyéb egészségkárosító anyagokat tartalmazhat.

A tűz során keletkező olajos bomlástermékek és a szennyezett oltóvíz a környező talajt és vizeket is veszélyeztethetik.

A nagy gumihulladék-halmok ezért nem egyszerűen rendezetlen iparterületek.

Olyan veszélyforrások, amelyek felszámolását célszerű még egy esetleges tűzeset előtt elvégezni.

A megelőzés költsége természetesen jelentős lehet.

Egy több ezer vagy több tízezer tonnás hulladékhalom elszállítása, feldolgozása és az esetlegesen szennyezett terület helyreállítása komoly beruházást igényelhet.

A költségek azonban tovább növekedhetnek, ha tűz vagy talajszennyezés következik be.

A hulladékbűnözés így nemcsak környezetvédelmi, hanem pénzügyi kockázatot is teremt.

A jogellenes tevékenység hasznát egyes szereplők realizálhatják, míg a későbbi helyreállítás költségét már másoknak kell viselniük.

A szennyezés, amely nem is hulladékként érkezett: az osztrák azbesztes kőzúzalék

A nemzetközi környezeti kockázatok között különösen érdekes eset az Ausztriából Magyarországra szállított, azbesztásványokat tartalmazó kőzúzalék története.

Ez a példa fontos különbséget mutat a hulladékbűnözés és a veszélyes anyagokkal kapcsolatos más gazdasági, szabályozási problémák között.

A szóban forgó anyagot ugyanis nem feltétlenül hulladékként szállították Magyarországra.

Építőipari alapanyagként, kőzúzalékként használták fel.

A probléma éppen abban rejlik, hogy egy természetes eredetű, hasznosításra szánt ásványi nyersanyag veszélyes összetevőket is tartalmazhat.

2026 tavaszán a Vas Vármegyei Kormányhivatal vizsgálatai során azonosították, hogy egyes ausztriai bányákból származó szerpentinit kőzúzalék jelentős mennyiségű azbesztásványt tartalmaz.

A hatóság 2026. április 13-i tájékoztatója szerint egyes vizsgált kőzetminták azbeszttartalma meghaladta az 50 százalékot.

A vizsgálatok azt is kimutatták, hogy a közlekedés és más mechanikai igénybevétel következtében azbesztrostok kerülhettek a levegőbe.

A kőzúzalékot többek között útalapokban, parkolókban, udvarokon és gépkocsibejárókon használták fel.

A hatósági tájékoztató Szombathely és Bozsok területén végzett vizsgálatokat ismertetett, és több ausztriai bányát is megnevezett a beszállítás lehetséges forrásaként.

Az ügy különös jelentőségét az adja, hogy az anyagot a mindennapi építési gyakorlatban felhasználható termékként kezelték.

Nem kellett illegális hulladéklerakót létesíteni ahhoz, hogy környezeti kockázat keletkezzen.

Elég volt egy olyan alapanyag forgalomba kerülése, amelynek veszélyes ásványi összetevői nem kaptak megfelelő figyelmet.

Mi az az azbeszt, és miért veszélyes?

Az azbeszt nem egyetlen mesterségesen előállított vegyület.

A kifejezés többféle, természetben előforduló, rostos szerkezetű ásványt jelöl.

Ezek az ásványok különleges tulajdonságokkal rendelkeznek.

Hőállók, bizonyos vegyi hatásokkal szemben ellenállók, és rostos szerkezetük miatt korábban sokféle ipari felhasználásra alkalmasnak tartották őket.

Az azbesztet többek között építőanyagokban, hőszigetelésben, fékbetétekben és tűzálló termékekben is alkalmazták.

Később azonban világossá vált, hogy az azbesztrostok belélegzése súlyos egészségügyi következményekkel járhat.

A belélegzett rostok egy része tartósan a tüdőben maradhat. Az azbesztexpozíció összefüggésbe hozható többek között az azbesztózissal, a tüdőrákkal és a mellhártya rosszindulatú daganatával, a mezoteliómával.

Az egészségkárosodás gyakran csak hosszú idő elteltével jelentkezik.

Fontos azonban különbséget tenni az azbesztásvány jelenléte és a belélegezhető rostoknak való tényleges kitettség között.

Egy természetes kőzetben található azbesztásvány önmagában nem jelenti azt, hogy a közelében tartózkodó ember szükségszerűen veszélyes mennyiségű rostot lélegez be.

A kockázat különösen akkor növekedhet, ha a kőzetet összetörik, aprítják, csiszolják vagy más módon olyan mechanikai hatás éri, amely rostokat juttathat a levegőbe.

Az osztrák szerpentinit kőzúzalék esete ezért különösen fontos.

Az útburkolatokon és parkolókban a gépjárműforgalom rendszeres mechanikai igénybevételt jelent.

A kőzet folyamatos aprózódása és a porképződés lehetősége miatt nem elegendő kizárólag a kőzet ásványtani összetételét megvizsgálni.

A tényleges levegőterhelést is ellenőrizni kell.

A Magyar Tudományos Akadémia kutatóinak 2026-ban megjelent ismeretterjesztő elemzése ugyancsak felhívta a figyelmet arra, hogy a szerpentinit természetes ásványi összetétele és a felhasználás során keletkező rostexpozíció két, egymással összefüggő, de külön vizsgálandó kérdés.

Hogyan lett egy osztrák kőzetből magyar környezeti probléma?

A történet a modern európai gazdaság mindennapos működésének egyik sajátosságára világít rá.

Az építőanyagok nemzetközi kereskedelme természetes része a gazdaságnak.

A határ menti térségekben különösen életszerű, hogy a vállalkozások nem kizárólag saját országukból szereznek be követ, homokot, kavicsot vagy más építőipari alapanyagot.

Ha egy osztrák bánya közelebb van egy magyarországi építkezéshez, mint valamelyik hazai lelőhely, a külföldi beszerzés akár gazdaságilag és szállítási szempontból is kedvező lehet.

Önmagában ebben semmi rendkívüli nincs.

A veszély akkor jelentkezik, ha az áru olyan természetes összetevőket tartalmaz, amelyek egészségügyi kockázatot jelenthetnek a tervezett felhasználás során.

Az azbeszttartalmú szerpentinit esetében a kitermelés és a zúzás megváltoztathatja az anyag fizikai állapotát.

A korábban összefüggő kőzetből apró szemcsék és esetleg belélegezhető ásványi rostok válhatnak szabaddá.

A kőzúzalékot ezután kamionok szállíthatják különböző magyarországi településekre.

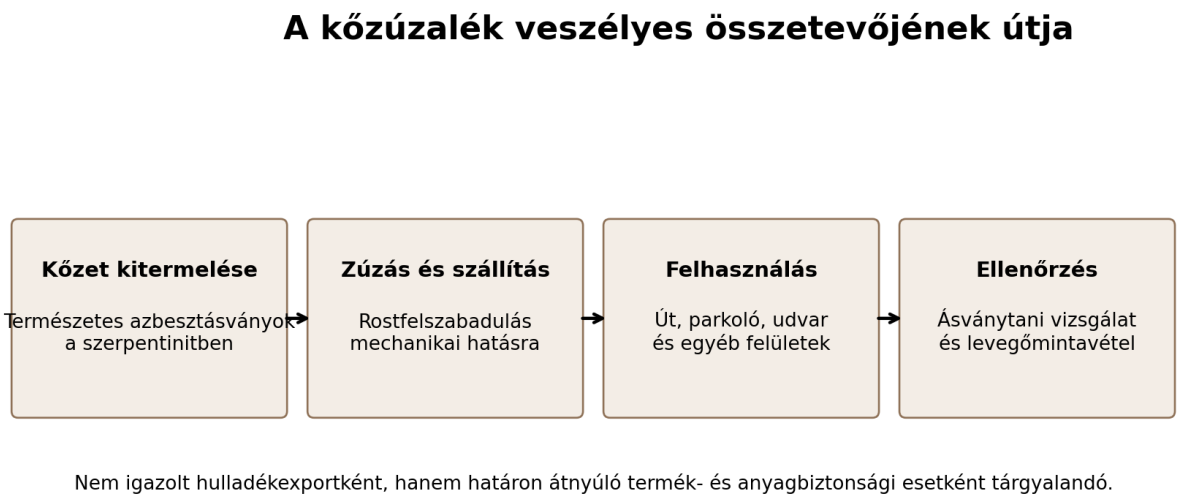
Az anyag útalapba, parkolóba vagy udvari burkolatba kerülhet, ahol évekig mechanikai igénybevételnek van kitéve.

Az ellátási lánc egyes pontjain a különböző gazdasági szereplők egészen eltérő információkkal rendelkezhetnek a termékről.

A bányavállalat ismerheti a kőzet eredetét. A kereskedő elsősorban a termék műszaki paramétereit és árát tarthatja szem előtt. A kivitelező a tömöríthetőséget, a szemcseméretet és az építési felhasználhatóságot vizsgálhatja.

A végfelhasználó pedig gyakran egyszerűen megfelelő minőségű zúzott követ szeretne vásárolni.

A környezeti és egészségügyi kockázatok csak akkor tárhatók fel megbízhatóan, ha az ellátási láncban az anyag ásványtani összetételét és a tervezett felhasználás során várható viselkedését is figyelembe veszik.



100. ábra. A természetes azbesztásványokat tartalmazó kőzúzalék útja. A kockázat nem feltétlenül magából a határon átnyúló kereskedelemből, hanem a kőzet összetételéből és a felhasználás során fellépő rostképződésből ered. Az ábra szemléltető folyamatábra.

Több száz településre is eljuthatott az érintett bányák anyaga

A kőzúzalék ügyének földrajzi kiterjedése 2026 májusában további figyelmet kapott.

Közérdekű adatigénylések alapján nyilvánosságra került, hogy az azbesztszennyezéssel összefüggésbe hozott ausztriai bányákból 2015 és 2026 között több mint 250 magyarországi településre érkeztek szállítmányok.

Ez önmagában azonban nem jelenti azt, hogy valamennyi érintett település valamennyi szállítmánya bizonyítottan veszélyes mennyiségű azbesztet tartalmazott.

A bánya eredetének azonosítása, a konkrét kőzúzalék összetétele és a helyszíni kitettség megállapítása külön vizsgálatokat igényel.

Ez a megkülönböztetés különösen fontos.

Egy adott lelőhelyről származó kőzetek ásványi összetétele térben is változhat.

A szállítmányok nyomon követése ezért segíthet a potenciálisan érintett helyszínek azonosításában, de nem helyettesítheti a megfelelő mintavételt és laboratóriumi vizsgálatot.

A szombathelyi önkormányzat a vizsgálati eredményekhez, a helyszíni mérésekhez és az érintett területekhez kapcsolódó dokumentumokat külön is közzétett.

Az ügy olyan ellenőrzési problémára világít rá, amely nem korlátozódik az azbesztre.

A nemzetközi termékkereskedelemben a határátlépés jogszerűsége nem garantálja automatikusan, hogy a termék minden felhasználási körülmény között biztonságos.

Hulladékbűnözés vagy termékbiztonsági mulasztás?

Az osztrák azbeszttartalmú kőzúzalék ügyét fontos szerepeltetni ebben a fejezetben, de tudományos és jogi szempontból nem szabad automatikusan a hulladékmaffia bizonyított esetének nevezni.

A kőzúzalékot a rendelkezésre álló adatok alapján építőipari alapanyagként forgalmazták és használták fel.

Az, hogy egy bányából származó termék veszélyes ásványi összetevőket tartalmaz, önmagában nem bizonyítja, hogy a terméket hulladéknak kellett volna minősíteni, vagy hogy a forgalmazók tudatosan törvényt sértettek.

Ennek megállapításához az anyag pontos jogi besorolását, a bányák és kereskedők kötelezettségeit, a minőségvizsgálatokat, valamint az esetleges tudomásszerzés és mulasztás körülményeit is vizsgálni kell.

A környezeti kockázat azonban független attól, hogy végül milyen jogi minősítést kap az ügy.

Ha az útburkolatban felhasznált anyagból belélegezhető azbesztrostok szabadulnak fel, akkor a veszély elhárítása és a lakosság tájékoztatása nem várhat feltétlenül a büntetőjogi felelősség végleges megállapításáig.

Az ügy tanulsága ezért eltér a gumihulladékok történetétől.

A gumiabroncsok esetében a kezelés elmulasztása és a felhalmozásból származó gazdasági haszon lehet a probléma középpontjában.

Az osztrák kőzúzaléknál viszont az anyag eredetének, összetételének és tervezett felhasználásának ellenőrzése a döntő kérdés.

Mindkét történetben közös, hogy a gazdasági tevékenységből származó környezeti kockázat csak akkor kezelhető megfelelően, ha az anyag teljes útja ellenőrizhető.

A szennyezés valódi költsége később jelentkezik

A hulladékbűnözés különösen súlyos gazdasági problémája, hogy a költségek és a bevételek időben is elválnak egymástól.

A hulladék átvételéért járó díjat rendszerint a tevékenység elején fizetik ki.

Az illegális lerakás következményei viszont csak később válhatnak nyilvánvalóvá.

Egy szennyezett ipari terület évekig látszólag változatlan állapotban maradhat.

A talajba került veszélyes anyagok lassan vándorolhatnak a talajvízzel. Egyes vegyi szennyezők hosszú időn keresztül megmaradhatnak a környezetben.

A probléma feltárásához laboratóriumi vizsgálatokra, monitoringkutakra, geológiai és hidrológiai elemzésekre lehet szükség.

Ha a szennyezés már jelentős területet érint, a helyreállítás költsége sokszorosa lehet annak az összegnek, amelyet a szabályos hulladékkezelés eredetileg igényelt volna.

Az elkövető azonban addigra eltűnhet a gazdasági rendszerből.

A vállalkozás megszűnhet, felszámolás alá kerülhet, vagy vagyontalanná válhat.

Ez a hulladékbűnözés egyik legfontosabb társadalmi következménye.

A nyereség magánkézbe kerülhet, miközben a veszteséget később a társadalom viseli.

A gazdasági modell lényegében a környezeti költségek áthárítására épül.

Milyen nagy üzlet a hulladékbűnözés?

A hulladékbűnözés jövedelmezőségét nem könnyű pontosan meghatározni.

Az illegális tevékenységek természetüknél fogva nem jelennek meg teljes körűen a hivatalos gazdasági statisztikákban.

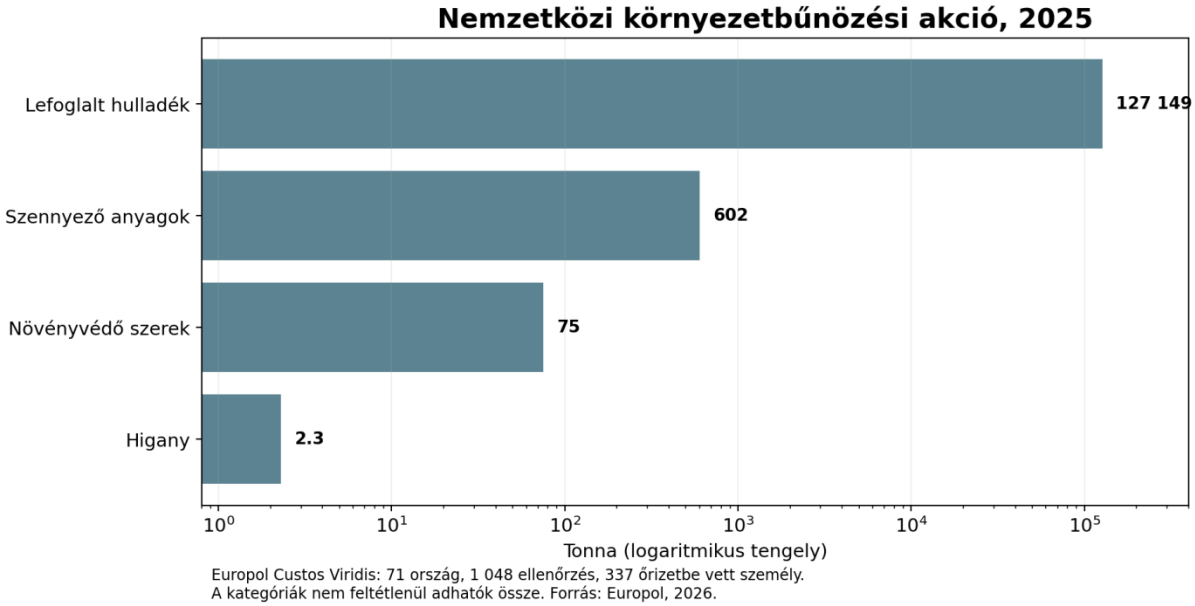
A nemzetközi bűnüldöző szervezetek ezért becslésekre, feltárt ügyekre és nyomozati adatokra támaszkodnak.

Az Europol 2026 márciusában ismertette a Custos Viridis nevű nemzetközi művelet eredményeit.

A 2025-ben lezajlott akcióban 71 ország szervei működtek együtt. Összesen 1048 ellenőrzést hajtottak végre, és 337 személyt vettek őrizetbe.

A lefoglalt anyagok között több mint 127 ezer tonna hulladék, 602 tonna különféle szennyező anyag, növényvédő szerek és több mint két tonna higany szerepelt.

A művelethez kapcsolódóan jelentős vagyoni értékeket és bizonyítékokat is lefoglaltak.



101. ábra. A 2025-ös nemzetközi környezetbűnözési művelet eredményei. A lefoglalt hulladékok és veszélyes anyagok mennyisége logaritmikus skálán. A kategóriák eltérő jellegűek, és nem feltétlenül összeadhatók. Forrás: Europol, 2026.

Az ilyen műveletek számai látványosak, de óvatosan kell értelmezni őket.

A lefoglalt mennyiségek nem mutatják meg a világ teljes illegális hulladékkereskedelmének nagyságát.

Azt viszont bizonyítják, hogy a probléma nem korlátozódik néhány elszigetelt illegális lerakóra.

Nemzetközi vállalkozói és kereskedelmi hálózatok, jelentős pénzügyi érdekek és sok országra kiterjedő anyagmozgások kapcsolódhatnak hozzá.

Egy horvátországi eset: az üzleti modell a gyakorlatban

A hulladékbűnözés gazdasági működését különösen jól szemlélteti egy 2025 februárjában nyilvánosságra került horvátországi nyomozás.

Az Europol beszámolója szerint a horvát hatóságok olyan hálózatot tártak fel, amelynek tagjai a gyanú szerint Olaszországból, Szlovéniából és Németországból szállítottak veszélyes, illetve egészségügyi hulladékot Horvátországba.

A hulladékokat a dokumentációban részben újrahasznosítható műanyaghulladékként tüntették fel.

A nyomozás szerint azonban legalább 35 ezer tonna hulladékot megfelelő kezelés nélkül helyezhettek el három helyszínen.

A feltételezett jogellenes haszon legalább négymillió eurót érhetett el.

A hatóságok 13 személyt fogtak el az ügyben.

Ez a történet szinte tankönyvi példája a hulladékmaffia gazdasági modelljének.

A vállalkozások a hulladékkezelésre megbízást szereztek. A kezelés költségét azonban a gyanú szerint nem vállalták ténylegesen.

A különbségből keletkezett a jogellenes haszon.

Az Europol ismertetése szerint az ügyben legális vállalkozások és szállítócégek infrastruktúráját is felhasználhatták.

A nyomozati megállapításokat természetesen nem szabad minden érintett személy esetében jogerős bűnösségként kezelni.

A feltárt módszer azonban világosan megmutatja, miért lehet különösen vonzó a hulladékkezelési költségek elkerülése a szervezett bűnözés számára.

Miért nem veszik észre időben?

A hulladékbűnözés megelőzésének egyik legnagyobb nehézsége, hogy a szabálytalanságok nem mindig azonnal felismerhetők.

Egy új hulladékkezelő telephely létrehozása önmagában nem gyanús.

Egy vállalat jogszerűen kezdhet hulladékgyűjtésbe vagy -feldolgozásba, majd gazdasági nehézségekkel szembesülhet.

Egyes feldolgozási technológiák beindítása késedelmet szenvedhet.

Egy átmeneti tárolóban ezért bizonyos mennyiségű hulladék jelenléte teljesen indokolt lehet.

A kérdés az, hogy a felhalmozott mennyiség összhangban áll-e a tényleges kezelési kapacitással, az engedélyekkel és a vállalkozás pénzügyi lehetőségeivel.

Ha a telephelyre folyamatosan érkezik a hulladék, de az újrahasznosított termékek vagy a kezelt anyagok mennyisége nem növekszik, az figyelmeztető jel lehet.

Hasonlóan gyanús lehet, ha az átmeneti tárolásra szolgáló területek folyamatosan bővülnek, miközben a feldolgozó berendezések nem működnek.

A vállalat pénzügyi helyzetének változása szintén fontos információt adhat.

Ha az átvételi díjakból jelentős bevétel keletkezik, de a kezeléshez szükséges beruházások elmaradnak, akkor a gazdasági működés hosszú távon fenntarthatatlanná válhat.

A megelőzés ezért nem kizárólag környezetvédelmi hatósági feladat.

Pénzügyi, adóügyi, cégnyilvántartási és bűnüldözési információkra is szükség lehet.

Amikor az adatok összekapcsolása segíthet

A modern informatikai rendszerek új lehetőségeket kínálnak a hulladékbűnözés felismerésére.

A különböző hatóságok nyilvántartásaiban már ma is sok olyan adat található, amely segíthet a gyanús tevékenységek azonosításában.

A hulladék származási helye, mennyisége, besorolása, szállítási útvonala és rendeltetési helye mind ellenőrizhető információ lehet.

Ezek összevethetők a feldolgozóüzemek engedélyezett kapacitásával.

Ha egy telephelyre például egy év alatt többször annyi hulladék érkezik, mint amennyit a berendezései képesek feldolgozni, az további vizsgálatot indokolhat.

A műholdfelvételek és drónok segítségével ellenőrizhető a szabadtéri hulladéktárolók mérete és változása.

A fuvarozási adatok alapján vizsgálható, hogy a szállítmányok valóban a dokumentumokban megjelölt helyszínekre érkeztek-e.

A számítógépes elemzés segíthet felismerni azokat a kapcsolatokat is, amelyek külön-külön vizsgálva nem feltétlenül tűnnek gyanúsnak.

Fontos azonban, hogy az automatikusan azonosított eltérés önmagában ne jelentsen bűnösséget.

Egy szokatlan anyagmozgásnak lehet jogszerű magyarázata is.

A digitális ellenőrzés feladata ezért a kockázatok felismerése és a hatósági vizsgálatok célzottabbá tétele.

A bizonyítás és a jogi felelősség megállapítása továbbra is megfelelő emberi és intézményi ellenőrzést igényel.

A szabályozás nem érhet véget az országhatárnál

A nemzetközi hulladékkereskedelem jogi ellenőrzésének alapját a Bázeli Egyezmény és az európai hulladékszállítási szabályok adják.

Az Európai Unió 2024-ben új hulladékszállítási rendeletet fogadott el, amelynek szabályai fokozatosan lépnek alkalmazásba.

A rendelkezések célja többek között a nemzetközi hulladékmozgások jobb nyomon követése, az ellenőrzések erősítése és az illegális szállítások visszaszorítása.

A 2024-ben elfogadott új európai környezetbüntetőjogi irányelv emellett a súlyos környezeti jogsértésekkel szembeni büntetőjogi fellépést is erősíteni kívánja.

Az irányelv a jogellenes hulladékszállítások és más jelentős környezetkárosító cselekmények esetében is szigorúbb fellépést követel meg a tagállamoktól.

A szabályozás hatékonysága azonban továbbra is a végrehajtástól függ.

Ha az egyik országban szigorú a hulladékkezelés ellenőrzése, a másikban viszont kevés az ellenőr, akkor a szabálytalan tevékenységek a gyengébben ellenőrzött térségek felé mozdulhatnak el.

A közös európai szabályok ezért csak akkor teremtenek valódi védelmet, ha az egyes országokban működő hatóságok megfelelő kapacitással rendelkeznek.

A gyors információcsere, a közös nyomozások és a határokon átnyúló pénzügyi vizsgálatok különösen fontosak.

A hulladékbűnözés ugyanis sokszor nem egyetlen telephelyen kezdődik és végződik.

Nemzetközi gazdasági lánc része lehet.

Ki fizeti meg a károkat?

A hulladékbűnözés elleni fellépés egyik legfontosabb kérdése a pénzügyi felelősség.

A szennyező fizet elve szerint a környezetkárosítás költségeit lehetőség szerint annak kell viselnie, aki a kárt okozta.

A gyakorlatban azonban ez nem mindig valósítható meg.

Egy hulladékkezelő vállalkozás fizetésképtelenné válhat. A telephely tulajdonosa eltérhet a hulladékot beszállító vállalattól. Az eredeti hulladéktermelő pedig több közvetítőn keresztül adhatta át az anyagot.

Ilyenkor a felelősség megállapítása hosszadalmas jogi eljárásokat igényelhet.

A költségek megtérülése bizonytalan.

A probléma megelőzésének egyik lehetséges eszköze a megfelelő pénzügyi biztosíték előírása.

Ha egy hulladékkezelő jelentős mennyiségű anyagot vesz át, indokolt lehet olyan pénzügyi fedezet biztosítása, amelyből a szükséges kezelés vagy felszámolás akkor is elvégezhető, ha a vállalkozás megszűnik.

Ugyancsak fontos lehet az átvett és feldolgozott hulladék mennyiségének rendszeres összehasonlítása.

A hatóságoknak nem kizárólag azt kell vizsgálniuk, rendelkezik-e a vállalkozás megfelelő engedéllyel.

Azt is, hogy a tényleges gazdasági és műszaki működés megfelel-e az engedélyben foglalt feltételeknek.

A hulladékbűnözésben ugyanis éppen az jelentheti a legnagyobb veszélyt, amikor a látszólag szabályos vállalkozás mögött hiányzik a valódi feldolgozás.

Két magyar történet, két különböző tanulság

A Németországból és Olaszországból behozott gumiabroncsok, valamint az osztrák azbeszttartalmú kőzúzalék ügye első pillantásra hasonlónak tűnhet.

Mindkettőben külföldről érkező anyag jelent meg Magyarországon.

Mindkettő környezeti és egészségügyi kockázatot teremthetett.

Mindkettő felveti az ellenőrzés és a felelősség kérdését.

A két történet között azonban alapvető különbség van.

A használt gumiabroncsok ügyében a hulladék kezeléséhez kapcsolódó gazdasági ösztönzők és az illegális felhalmozás jelentették a probléma lényegét.

A környezeti terhelés abból keletkezhetett, hogy a hulladékot átvették, de a vállalt feldolgozás elmaradt.

Az osztrák kőzúzalék esetében a probléma nem feltétlenül hulladékkezelési tevékenységhez kapcsolódott.

Az építőanyagként forgalmazott természetes kőzet veszélyes ásványi összetevőinek felismerése és a felhasználásból eredő rostkibocsátás jelentette a fő kockázatot.

Az első eset a hulladékbűnözés gazdasági modelljének megértéséhez szolgál példával.

A második arra figyelmeztet, hogy a határon átnyúló kereskedelemben egy alapanyag veszélyessége akkor is rejtve maradhat, ha maga a szállítás nem hulladékszállításként történik.

Egyiket sem szabad automatikusan összemosni a másikkal.

Közös tanulságuk azonban rendkívül fontos.

A környezeti biztonság nem biztosítható pusztán a dokumentumok és az országhatáron történő ellenőrzés segítségével. Ismernünk kell az anyag összetételét, eredetét, tényleges felhasználását és végső sorsát is.

Amikor az ellenőrzés költsége kisebb, mint a mulasztásé

A hulladékmaffia és a veszélyes anyagokkal kapcsolatos botrányok egyik visszatérő tanulsága, hogy a problémákat gyakran jóval olcsóbb lenne megelőzni, mint később felszámolni.

Egy hulladékkezelő telephely rendszeres ellenőrzése pénzbe kerül.

A szállítmányok dokumentációjának vizsgálata, a mintavétel és a laboratóriumi elemzés szintén költséges.

Egy építőipari alapanyag ásványtani vizsgálata sem ingyenes.

Ezeket a költségeket könnyű felesleges adminisztratív tehernek tekinteni addig, amíg nem történik súlyos szabálytalanság.

Egy több tízezer köbméteres illegális hulladékhalom felszámolása vagy egy kiterjedt azbesztes kőzúzalék-felhasználás következményeinek kezelése azonban nagyságrendekkel összetettebb feladattá válhat.

A hatékony környezetvédelmi ellenőrzés ezért nem egyszerűen állami kiadás.

Kockázatcsökkentő beruházás is.

A kérdés az, hogyan lehet az ellenőrzéseket úgy megszervezni, hogy azok ne bénítsák meg a jogszerű gazdasági tevékenységet, de időben felismerjék a súlyos problémákat.

Ehhez megfelelő szakértelemre, kockázatalapú ellenőrzésre, laboratóriumi kapacitásra és a hatóságok közötti adatcserére van szükség.

A modern informatikai rendszerek és a mesterséges intelligenciával támogatott elemzések itt is segíthetnek.

De az adatok önmagukban nem elegendők.

A felismerhető kockázatokra megfelelő időben intézkedni is kell.

A hulladékbűnözés legfontosabb tanulsága

A hulladék világkereskedelmének előző fejezetében azt vizsgáltuk, hogyan válhat a használt termékekből és ipari melléktermékekből értékes másodlagos nyersanyag.

A jelen fejezet ennek sötétebb oldalát mutatta be.

A hulladékkereskedelemben a gazdasági haszon nem minden esetben az anyagok visszanyeréséből származik.

Előfordulhat, hogy éppen a kezelés elmaradása teszi nyereségessé az üzletet.

A hulladékért beszedett díj az egyik szereplőnél marad, a feldolgozatlan anyag pedig mások számára teremt veszélyt és költséget.

Ez a gazdasági modell csak akkor működhet tartósan, ha a felelősség és az ellenőrzés hiányos.

A hulladékbűnözés ezért nem egyszerűen a környezetvédelmi szabályok megsértése.

A gazdasági rendszer azon gyengeségeinek kihasználása, amelyek lehetővé teszik a költségek másokra hárítását.

A megoldás nem a hulladék nemzetközi kereskedelmének teljes megszüntetése.

A megfelelően működő újrahasznosítás fontos szerepet játszhat a nyersanyagokkal való takarékos gazdálkodásban.

A cél az, hogy a jogszerű és környezetvédelmi szempontból megfelelő feldolgozás gazdaságilag életképes legyen, a szabálytalan tevékenység pedig ne válhasson tartós üzleti előnyé.

Ehhez nem elegendő a szigorú jogszabály.

A teljes anyagáramlás ellenőrzése, a megfelelő pénzügyi biztosítékok és a hatékony nemzetközi együttműködés egyaránt szükséges.

A Németországból és Olaszországból behozott gumiabroncsok története azt mutatja meg, milyen gazdasági előnyt jelenthet a hulladékkezelés elmulasztása.

Az osztrák azbeszttartalmú kőzúzalék ügye pedig arra hívja fel a figyelmet, hogy a veszélyes összetevőket már az alapanyagok kitermelése és forgalomba hozatala során is fel kell ismerni.

A két eset eltérő, de ugyanahhoz az alapvető következtetéshez vezet.

A környezetvédelem egyik legfontosabb feladata annak biztosítása, hogy a gazdasági tevékenység hasznát élvező szereplők ne háríthassák át észrevétlenül annak környezeti költségeit másokra.

A hulladék ugyanis nem tűnik el attól, hogy elszállítják.

És a környezeti felelősség sem szűnhet meg az országhatárnál.

A fejezetben tárgyalt ügyekhez különösen fontos források:

- Milliárdokat kaszál az ökomaffia (2006) – a Németországból és Olaszországból behozott gumiabroncsok korabeli ügye.
- Europol – Horvátországi veszélyeshulladék-ügy (2025) – a hulladékkezelés elmulasztására épülő gazdasági modell dokumentált példája.
- Europol – Custos Viridis művelet (2026) – a nemzetközi környezetbűnözési akció eredményei.
- Vas Vármegyei Kormányhivatal – Lakossági tájékoztató az azbeszttartalmú kőzúzalékról (2026. április 13.) – hivatalos mérési megállapítások.
- Szombathely önkormányzata – Azbesztvizsgálatok és intézkedések – részletes vizsgálati dokumentumok.
- A velünk élő azbeszt (2026) – geológus kutatók magyarázata a szerpentinit természetes azbesztásványairól és a rostképződés veszélyéről.
- Európai Bizottság – Környezetbüntetőjogi irányelv – a súlyos környezeti jogsértésekkel szembeni uniós fellépés.

18. A tiszta technológia piszkos nyersanyagai

A zöld átmenet láthatatlan oldala

Egy szélturbina lassan forgó lapátjai vagy egy csendesen haladó elektromos autó a környezetkímélő technológia jelképeivé váltak.

A szélturbina működéséhez nem kell szenet vagy földgázt elégetni. Az elektromos autónak nincs kipufogócsöve, így használat közben nem bocsát ki közvetlenül szén-dioxidot vagy nitrogén-oxidokat az utcák levegőjébe.

Ezek valódi környezeti előnyök.

A berendezések azonban nem a semmiből keletkeznek.

Az elektromos motorokhoz, generátorokhoz, elektronikai rendszerekhez és számos korszerű ipari berendezéshez fémekre, különleges ötvözetekre és más nyersanyagokra van szükség.

Ezeket ki kell termelni, fel kell dolgozni, majd megfelelő tisztaságú és tulajdonságú anyagokká kell alakítani.

A folyamat bányászattal kezdődhet, de gyakran hosszú, bonyolult vegyipari és kohászati műveletekkel folytatódik.

Miközben a fejlett országok városaiban egyre tisztábbá válhat a levegő, a korszerű technológiákhoz szükséges nyersanyagok kitermelése és feldolgozása távoli iparvidékeken jelentős környezeti terhelést okozhat.

A környezetvédelem egyik különös ellentmondásával találkozunk.

A tisztább működésű technológiák előállításához sok esetben kifejezetten környezetterhelő ipari folyamatokra van szükség.

Ez azonban nem jelenti azt, hogy a tiszta technológiák környezeti szempontból értelmetlenek lennének.

A kérdés inkább az, hogy a teljes életciklusuk során milyen előnyt nyújtanak a korábbi megoldásokhoz képest, és hogyan csökkenthetők az előállításuk környezeti költségei.

Ennek megértéséhez érdemes megvizsgálnunk a ritkaföldfémek történetét.

Mik azok a ritkaföldfémek?

A ritkaföldfémek elnevezés tizenhét kémiai elemet jelöl: a tizenöt lantanoidát, valamint a szkandiumot és az ittriumot.

A név történeti eredetű, és némileg félrevezető.

Ezek az elemek ugyanis nem feltétlenül ritkák a földkéregben.

Egyes ritkaföldfémek viszonylag nagy mennyiségben fordulnak elő, de gyakran szétszórtan, más elemekkel együtt találhatók meg.

A gazdaságosan kitermelhető, megfelelő koncentrációjú lelőhelyek már jóval kevésbé gyakoriak.

A különböző ritkaföldfémek kémiai tulajdonságai nagyon hasonlóak, ezért elválasztásuk is nehéz.

A ritkaföldfémeket nem szabad összekeverni a lítiummal, a kobalttal vagy a nikkellel. Ezek szintén fontos technológiai nyersanyagok, de kémiai értelemben nem tartoznak a ritkaföldfémek közé.

Ez a különbség azért lényeges, mert a modern környezetvédelmi technológiák nem azonos nyersanyagokat igényelnek.

A legtöbb lítiumion-akkumulátor például nem tartalmaz jelentős mennyiségű ritkaföldfémet. A ritkaföldfémek különösen fontos felhasználási területe a nagy teljesítményű állandó mágnesek gyártása.

Ezekben a mágnesekben a neodímium és a prazeodímium játszhat fontos szerepet. Egyes nagyobb hőmérsékleti igénybevételű alkalmazásokban diszpróziumot vagy terbiumot is használnak.

Az ilyen mágnesek lehetővé teszik, hogy viszonylag kis méretű és tömegű, nagy teljesítményű villamos gépeket készítsenek.

Megtalálhatók bizonyos elektromos autók motorjaiban, szélturbinák generátoraiban, ipari robotokban és számos elektronikai eszközben.

A ritkaföldfémeknek ugyanakkor sok más felhasználása is van.

Katalizátorokban, optikai és elektronikai berendezésekben, speciális üvegekben, kerámiákban, orvosi eszközökben és hadiipari rendszerekben is szerepet játszhatnak.

A modern ipar számára ezért a ritkaföldfémek nem egyszerűen a zöld átmenet nyersanyagai.

Stratégiai jelentőségű ipari alapanyagok.

A bánya még csak a kezdet

Ha egy ország jelentős ritkaföldfém-lelőhellyel rendelkezik, az még nem jelenti automatikusan, hogy képes is a korszerű ipar számára szükséges termékek előállítására.

A ritkaföldfémek esetében különösen nagy jelentősége van a bányászat és a feldolgozás közötti különbségnek.

A kitermelt érc rendszerint különféle ásványokat tartalmaz.

Az első lépés az érc aprítása, őrlése és dúsítása lehet, amelynek során megpróbálják növelni a kívánt ásványok koncentrációját.

Ezt követhetik a kémiai feltárási műveletek.

A cél az, hogy a ritkaföldfémeket megfelelő vegyületek formájában oldatba vagy más feldolgozható állapotba hozzák.

Ekkor azonban még nem feltétlenül rendelkezünk különálló, nagy tisztaságú ritkaföldfémekkel.

A különböző elemek sokszor keverékben vannak jelen.

A következő feladat éppen ezek szétválasztása.

A probléma abból ered, hogy a lantanoidák kémiai viselkedése rendkívül hasonló.

A legtöbbjük vegyületeiben a +3 oxidációs állapot a jellemző, és ionjaik mérete is csak fokozatosan változik az elemsorban.

Ezek a kis különbségek azonban megfelelő kémiai eljárásokkal kihasználhatók.

A szétválasztás egyik fontos módszere az oldószeres extrakció.

Ennek során a ritkaföldfémeket tartalmazó vizes oldatot olyan, vízzel nem elegyedő szerves fázissal hozzák érintkezésbe, amely megfelelő extrahálószert tartalmaz.

A különböző ritkaföldfémionok nem teljesen azonos mértékben oszlanak meg a két fázis között.

Ezt az eltérést sok egymást követő művelettel fel lehet erősíteni.

Egy nagy tisztaságú termék előállításához akár sok száz extrakciós és visszaextrakciós műveleti fokozatra is szükség lehet.

Más technológiák is léteznek, például az ioncserés és bizonyos csapadékképzéses eljárások.

A szétválasztott vegyületekből végül megfelelő tisztaságú oxidokat, majd fémeket és ötvözeteket állítanak elő.

Ezekből készülhetnek a nagy teljesítményű állandó mágnesek.



102. ábra – A ritkaföldfém útja a bányától a mágnesig
A ritkaföldfém-értéklánc fő lépései. A bányászat önmagában nem elegendő: a kémiai szétválasztás, a fémelőállítás és a mágnes gyártás külön ipari tudást, berendezéseket és jelentős beruházásokat igényel. Az ábra egyszerűsített technológiai folyamatot mutat.

A teljes folyamat megértése nélkül nehéz értékelni Kína mai ipari helyzetét.

Az ország gazdasági fölénye ugyanis nem pusztán abból ered, hogy jelentős ritkaföldfém-lelőhelyekkel rendelkezik.

Sokkal fontosabb, hogy a kitermeléstől a vegyipari feldolgozáson át a végtermékgyártásig egymásra épülő ipari rendszert alakított ki.

A nehéz munka a szétválasztásnál kezdődik

A ritkaföldfémek feldolgozása különleges vegyipari feladat.

A szétválasztás során gyakran nagy mennyiségű savat, lúgot, vizet és különféle szerves vegyületeket használnak fel.

Az érc ásványtani összetételétől függően többféle előkezelés és feltárási eljárás lehet szükséges.

Egyes ércek savas feltárása jelentős vegyszerfelhasználással járhat, míg más technológiáknál hőkezelés, lúgos eljárás vagy kombinált feldolgozás alkalmazható.

Az oldószeres extrakció során nem csupán a megfelelő extrahálószer kiválasztása jelent nehézséget.

A teljes elválasztási rendszer kialakításához az egyensúlyi viszonyok, a hőmérséklet, a savasság, a koncentrációk és az anyagáramok pontos szabályozása is szükséges.

A szétválasztás hatékonysága és a végtermék tisztasága érzékenyen függhet a technológia működési feltételeitől.

A nagyüzemi rendszer megépítése és gazdaságos működtetése ezért komoly technológiai tudást igényel.

Nem elegendő megvásárolni egy bányát vagy felépíteni néhány vegyipari tartályt.

Szükség van laboratóriumokra, megfelelő analitikai háttérre, képzett vegyészmérnökökre, megbízható berendezésekre és sokéves üzemeltetési tapasztalatra.

A ritkaföldfémek feldolgozásának egyik legfontosabb tanulsága éppen ez: a nyersanyag birtoklása és a nyersanyag feldolgozásához szükséges technológiai képesség két különböző gazdasági erőforrás.



103. ábra: Ritkaföldfémeket feldolgozó vegyipari üzem. A szétválasztás nagy számú, szigorúan szabályozott kémiai műveletből állhat; ez a technológiai lépés a ritkaföldfém-értéklánc egyik legnehezebben helyettesíthető része. A könyvbeli közléshez az eredeti fotó jogtulajdonosát és a felhasználási feltételeket ellenőrizni kell.

A kémiai tisztaság ára

A nagy tisztaságú ritkaföldfémek előállítása során keletkező hulladékok és szennyvizek kezelése különösen fontos.

A feldolgozásból savas vagy lúgos oldatok, fémtartalmú iszapok és más technológiai maradványok származhatnak.

Ezek megfelelő kezelés nélkül károsíthatják a vizeket és a talajt.

A környezeti kockázatot bizonyos ércek esetében tovább növeli, hogy a ritkaföldfémeket tartalmazó ásványok természetes radioaktív elemekkel is együtt fordulhatnak elő.

Ilyen lehet a tórium és az urán.

Fontos hangsúlyozni, hogy maguk a ritkaföldfémek általában nem radioaktívak. A probléma az, hogy a feldolgozott ércben más, természetes radioaktív elemek is lehetnek.

A dúsítás és a kémiai feldolgozás során ezek bizonyos hulladékfrakciókban feldúsulhatnak.

Az ilyen maradványok kezelése megfelelő sugárvédelmi, hulladékkezelési és hosszú távú tárolási intézkedéseket igényel.

A Nemzetközi Energiaügynökség ritkaföldfémekről készített értékelése külön felhívja a figyelmet a savas technológiai oldatok, a szennyezett maradványanyagok és az egyes ércekkel együtt előforduló természetes radioaktív anyagok kezelésének jelentőségére.

A feldolgozás tehát környezetvédelmi szempontból nem mellékes tevékenység.

A technológiai lánc egyik legnagyobb kockázatú szakasza lehet.

Kína ipari fölényének története

A ritkaföldfémek történetében Kína nem mindig töltött be vezető szerepet.

A 20. század második felében az Egyesült Államok is jelentős ritkaföldfém-termelő volt. A kaliforniai Mountain Pass bánya például hosszú időn keresztül fontos szerepet játszott a világ ellátásában.

A nyugati vállalatok rendelkeztek a ritkaföldfémek szétválasztásához és feldolgozásához szükséges technológiai ismeretekkel is.

A kínai ipar azonban az 1980-as és 1990-es évektől gyors fejlődésnek indult.

Az ország jelentős nyersanyagkészleteket tárt fel és vont termelésbe. Ezzel párhuzamosan tudatosan fejlesztette a ritkaföldfémek feldolgozását és a rájuk épülő iparágakat.

Belső-Mongóliában a Bayan Obo lelőhely vált különösen jelentőssé. A térségben a vasérc és a ritkaföldfémek kitermelése, valamint a közeli Baotou városában kialakult feldolgozóipar fokozatosan hatalmas ipari központtá fejlődött.

Kína déli tartományaiban más típusú ritkaföldfém-lelőhelyek találhatók.

Egyes agyagos képződményekben különösen fontos nehéz ritkaföldfémek fordulnak elő, amelyek többek között a nagy teljesítményű állandó mágnesek előállításához szükségesek.

A különböző típusú lelőhelyek együttesen szélesebb alapanyagválasztékot biztosítottak a kínai ipar számára.

A kínai termelés egyik előnye a nagy volumen volt.

A jelentős kapacitások, a kialakult beszállítói kapcsolatok, a viszonylag alacsonyabb korábbi termelési költségek és az állami iparpolitikai támogatás együttesen növelték az ország versenyképességét.

A környezetvédelmi követelmények történeti különbségei szintén szerepet játszhattak a költségelőny kialakulásában, de nem magyarázzák meg önmagukban a kínai ipar sikereit.

Kína a vegyipari szétválasztás, a metallurgia, az ötvözetgyártás és az állandó mágnesek előállítása terén is jelentős kapacitásokat és szakértelmet halmozott fel.

A nyersanyag-kitermelésből így fokozatosan magasabb hozzáadott értékű ipari termelés alakult ki.



104. ábra: A belső-mongóliai Bayan Obo bányavidék. A térség Kína egyik legfontosabb ritkaföldfém-lelőhelye. A bányászat és a Baotou környékén kialakult feldolgozóipar együtt járult hozzá az ország ipari fölényének megszilárdulásához.

Amikor a környezeti teherrel együtt az ipar is elköltözik

A kínai ritkaföldfémipar fejlődése szorosan összefüggött a világgazdaság átalakulásával.

A fejlett ipari országokban a 20. század végén egyre szigorúbbá váltak a környezetvédelmi követelmények.

A vegyipari és kohászati termelés bizonyos formáinál növekedtek a környezetvédelmi beruházások és a hulladékkezelés költségei.

A gazdasági versenyben ugyanakkor egyre nagyobb szerepet kaptak azok az országok, amelyek jelentős termelési kapacitásokkal, megfelelő alapanyagokkal és kedvezőbb költségfeltételekkel rendelkeztek.

A ritkaföldfémek feldolgozásának jelentős része fokozatosan Kínába koncentrálódott.

Ez azonban nem pusztán arról szólt, hogy a nyugati országok a szennyező tevékenységeket külföldre helyezték át.

A folyamat során a termelési kapacitás, a beszállítói hálózat, a szaktudás és a fejlesztési képesség is egyre nagyobb mértékben Kínában összpontosult.

A nyugati országok közben egyre inkább a késztermékek és a már feldolgozott anyagok importjára támaszkodtak.

Az ipari átrendeződés ezért hosszú távú gazdasági következményekkel járt.

Egy üzem bezárásakor nemcsak a gépek állnak le.

Megszűnhetnek a kapcsolódó kutatási és fejlesztési feladatok, széteshetnek a beszállítói kapcsolatok, és idővel eltűnhet az adott technológia nagyüzemi működtetéséhez szükséges gyakorlati tapasztalat is.

A képzett szakemberek más iparágakba kerülhetnek, a technológia fejlesztése pedig ott folytatódhat, ahol a termelés fennmaradt.

Évtizedekkel később ezért az elveszett ipari képességeket jóval nehezebb visszaépíteni, mint amilyen könnyűnek egykor a bezárásuk tűnhetett.

Három szám, amely megmutatja a függőség mértékét

Kína ritkaföldfémipari fölénye különösen jól érzékelhető, ha a teljes termelési lánc különböző szakaszait hasonlítjuk össze.

A Nemzetközi Energiaügynökség adatai szerint 2024-ben Kína adta a mágnesekhez használt ritkaföldfémek világméretű bányászati termelésének körülbelül 60 százalékát.

A szétválasztás és finomítás területén azonban már 91 százalék volt a részesedése.

A szinterezett ritkaföldfém-alapú állandó mágnesek gyártásában pedig elérte a 94 százalékot.



105. ábra: Kína részesedése a ritkaföldfém-értékláncban (60% – 91% – 94%; IEA, 2024)

Kína részesedése a globális termelésből 2024-ben, a mágnesekhez használt ritkaföldfémek, valamint a szinterezett állandó mágnesek esetében. A számok nem az összes kritikus ásványra, hanem a megjelölt ritkaföldfém-értékláncra vonatkoznak.

Forrás: Nemzetközi Energiaügynökség, Rare Earth Elements.

A különbség rendkívül fontos.

A ritkaföldfémek bányászata már ma sem kizárólag Kínában történik.

Ausztrália, az Egyesült Államok és más országok is rendelkeznek jelentős lelőhelyekkel és bányászati tevékenységgel.

A kitermelt anyag feldolgozása azonban sok esetben továbbra is kínai kapacitásokhoz kapcsolódik.

Ez azt jelenti, hogy a bányászat földrajzi diverzifikálása önmagában nem szünteti meg az ellátási függőséget.

Egy új ausztrál vagy amerikai bánya megnyitása fontos lépés lehet.

De ha a kitermelt koncentrátumot továbbra is Kínába kell szállítani szétválasztásra és finomításra, akkor az értéklánc egyik legfontosabb szakasza változatlanul ugyanahhoz az országhoz kötődik.

A Nemzetközi Energiaügynökség elemzése ezért hangsúlyozza, hogy a ritkaföldfémek esetében a feldolgozás és az állandó mágnesek gyártása még koncentráltabb, mint maga a bányászat.

Ez az ipari fölény jóval nehezebben megváltoztatható, mint ahogy azt a nyersanyagkészletek földrajzi eloszlása alapján gondolhatnánk.

A technológiai tudás is stratégiai nyersanyag

A ritkaföldfémipar egyik legfontosabb tanulsága, hogy egy ország ipari képességei nem egyszerűen a területén található ásványkincsek mennyiségétől függenek.

A nyersanyag kitermelése csak az első lépés.

A nagy tisztaságú vegyületek előállítása, a fémek és ötvözetek gyártása, valamint az állandó mágnesek termelése különböző technológiai rendszereket igényel.

Ezeknek a rendszereknek a hatékony működtetéséhez gyakorlati tapasztalat szükséges.

A szükséges ismeretek egy része szabadalmakban, tudományos közleményekben és műszaki dokumentációkban található meg.

Más részük azonban az üzemeltetés során halmozódik fel.

A technológiai veszteségek csökkentése, a tisztaság javítása, a berendezések karbantartása és az egyes gyártási lépések összehangolása hosszú évek tapasztalatán alapulhat.

Ezért egy új üzem megépítése nem feltétlenül jelenti azt, hogy azonnal versenyképes termelés kezdődhet.

A technológia bejáratása, a termékminőség állandóságának biztosítása és a megrendelők bizalmának megszerzése további időt igényel.

Kína az elmúlt évtizedekben nemcsak bányákat, hanem teljes ipari ökoszisztémát épített ki.

A vegyipari üzemek, metallurgiai vállalatok, mágnesgyártók és végtermék-előállítók egymást erősítik.

A nagy termelési mennyiség csökkentheti a fajlagos költségeket.

A hazai feldolgozóipar jelentős keresletet biztosít az alapanyagok számára.

A folyamatos termelés pedig újabb technológiai fejlődést tesz lehetővé.

Ez a rendszer önmagát erősítő versenyelőnyt hoz létre.

Miért nem épít minden ország saját ritkaföldfémipart?

Ha a ritkaföldfémek ennyire fontosak, felmerül a kérdés: miért nem hoznak létre mindenütt új bányákat és feldolgozóüzemeket?

A válasz elsősorban gazdasági és technológiai természetű.

Egy új bánya létesítése jelentős beruházást igényel. Geológiai kutatásra, környezeti hatásvizsgálatra, engedélyekre, infrastruktúrára és feldolgozókapacitásra van szükség.

A beruházás megtérülése az ásványkincs mennyiségétől és minőségétől, a kitermelési költségektől, valamint a ritkaföldfémek jövőbeli áraitól függ.

A feldolgozóüzemek építése még összetettebb feladat lehet.

Nem elegendő egyetlen ritkaföldfém előállítására berendezkedni, mert a lelőhelyek rendszerint több különböző elemet tartalmaznak.

Az egyes ritkaföldfémek iránti kereslet azonban nagyon eltérő.

A neodímium és a prazeodímium értékes mágnesipari alapanyag.

A cérium és a lantán sok esetben jóval nagyobb mennyiségben fordul elő a nyersanyagban, miközben felhasználásuk és piaci értékük más.

Egy új üzem gazdaságosságát ezért az is befolyásolja, hogy az összes kitermelt elemnek talál-e megfelelő piacot.

A Nemzetközi Energiaügynökség ezt az együtttermelési problémát a ritkaföldfémipar egyik különleges gazdasági nehézségeként azonosítja.

A magas beruházási költségek mellett jelentős az árkockázat is.

Ha egy új feldolgozóüzem megépítésére jelentős összeget költenek, de a világpiaci árak időközben csökkennek, a beruházás veszteségessé válhat.

Ez különösen veszélyes egy olyan piacon, ahol a meghatározó termelő nagy kapacitásokkal rendelkezik.

A termelés diverzifikálása ezért nem egyszerűen új bányák megnyitásának kérdése.

Pénzügyi, iparpolitikai és technológiai együttműködést is igényel.

A környezeti előírások versenyhátrányt jelentenek?

A ritkaföldfémek feldolgozása jól mutatja, milyen nehéz kérdés a környezetvédelmi követelmények és a gazdasági versenyképesség összehangolása.

Egy olyan országban, ahol szigorú szabályok vonatkoznak a savas szennyvizek kezelésére, a veszélyes hulladékokra és a természetes radioaktív anyagokat tartalmazó maradványokra, a feldolgozóüzem működtetése jelentős költségekkel járhat.

Ezek a követelmények ugyanakkor valódi környezeti károk megelőzését szolgálják.

Ha egy másik országban a szabályozás enyhébb, vagy annak betartatása hiányos, a termelési költségek alacsonyabbak lehetnek.

Ebből azonban nem következik, hogy minden kínai feldolgozóüzem szennyezőbb lenne minden nyugati üzemnél.

A technológiai színvonal, az energiahatékonyság, a hulladékkezelés és a helyi szabályozás üzemenként is eltérő lehet.

Kína maga is jelentős környezetvédelmi intézkedéseket vezetett be a ritkaföldfémiparban, részben a korábbi környezeti károk és az ellenőrizetlen kitermelés visszaszorítása érdekében.

A környezetvédelmi költségek tehát csak az iparág versenyképességének egyik tényezőjét jelentik.

A méretgazdaságosság, a technológiai tudás, az infrastruktúra és a kialakult beszállítói hálózatok legalább ilyen fontosak lehetnek.

A fejlett országok előtt ezért nem az a kérdés, hogy a környezetvédelem érdekében fel kell-e adniuk ipari önállóságukat.

Hanem az, hogy képesek-e a korszerű környezetvédelmi követelményeket megtartva, gazdaságilag életképes technológiákat kialakítani.

Amikor a függőség geopolitikai eszközzé válik

A nemzetközi kereskedelemben természetes jelenség, hogy egyes országok meghatározott termékek előállítására szakosodnak.

Egy ország olajat exportál, egy másik félvezetőket gyárt, egy harmadik jelentős mezőgazdasági termékeket értékesít a világpiacon.

A szakosodás gazdasági előnyökkel járhat.

A probléma akkor válik geopolitikai jelentőségűvé, ha valamelyik termék létfontosságú a modern gazdaság számára, és annak előállítása rendkívül kevés országra vagy vállalatra koncentrálódik.

A ritkaföldfémek esetében pontosan ez történt.

Egy európai vagy amerikai autógyártó rendelkezhet korszerű gyárakkal, kutatóközpontokkal és fejlett elektromosmotor-technológiával.

Ha azonban a motorokhoz szükséges állandó mágneseket nem tudja beszerezni, a gyártás akadályokba ütközhet.

Hasonló függőség jelentkezhet bizonyos szélturbina-gyártóknál, robotikai vállalatoknál, elektronikai cégeknél és hadiipari beszállítóknál.

Nem feltétlenül nagy mennyiségű anyag hiányzik.

Előfordulhat, hogy a végtermék teljes tömegéhez képest viszonylag kis mennyiségű ritkaföldfém vagy mágnes nélkülözhetetlen a működéshez.

Ez különös helyzetet teremt.

Egy kis tömegű, de nehezen helyettesíthető alkatrész hiánya akár egy sokkal nagyobb értékű termék gyártását is megakaszthatja.

A gazdasági függőség így stratégiai sebezhetőséggé válhat.

A 2010-es japán figyelmeztetés

A ritkaföldfémek geopolitikai jelentősége először 2010-ben került igazán a nemzetközi figyelem középpontjába.

Kína és Japán között a Kelet-kínai-tengeren kialakult diplomáciai konfliktus idején a ritkaföldfémek Japánba irányuló szállításában fennakadások jelentkeztek.

A konfliktus hátterében egy vitatott hovatartozású szigetcsoport közelében történt tengeri incidens állt.

A szállítások korlátozásának pontos jogi és politikai körülményei vitatottak maradtak. Kína hivatalosan nem minden, a sajtóban megjelent korlátozást ismert el kormányzati embargóként.

A történet azonban világosan megmutatta, mennyire sérülékeny lehet egy olyan iparág, amely néhány kritikus alapanyagot döntően egyetlen országból szerez be.

Japán számára különösen fontosak a ritkaföldfémek, mert az ország jelentős autóipari, elektronikai és precíziós gépipari kapacitásokkal rendelkezik.

A konfliktus után Japán fokozta beszállítói diverzifikációs törekvéseit, és más országokkal is együttműködést alakított ki a ritkaföldfémek biztosítására.

Az eset fontos tanulsága az volt, hogy a kereskedelmi függőség békeidőben gazdasági előnynek tűnhet, válsághelyzetben azonban politikai nyomásgyakorlás lehetőségét teremtheti meg.

A 2025-ös exportkorlátozások

A ritkaföldfémek geopolitikai jelentősége 2025-ben újra közvetlenül érzékelhetővé vált.

Kína 2025 áprilisában exportengedélyezési korlátozásokat vezetett be több ritkaföldfémhez és kapcsolódó termékhez.

Az intézkedések különösen fontosak voltak egyes nehéz ritkaföldfémek és a nagy teljesítményű állandó mágnesek ellátása szempontjából.

A korlátozások nem jelentették automatikusan valamennyi ritkaföldfém exportjának teljes tilalmát.

Az engedélyezési követelmények azonban bizonytalanságot és késedelmeket okozhattak az ellátási láncokban.

A vállalatok számára sok esetben már az is komoly probléma lehet, ha nem tudják előre, mikor jutnak hozzá egy nélkülözhetetlen alkatrészhez.

A washingtoni Center for Strategic and International Studies 2026 áprilisában közzétett elemzése szerint a 2025-ös kínai intézkedések gyors fennakadásokat okoztak több nyugati ipari és védelmi ellátási láncban.

A nyersanyagfüggőség geopolitikai következményeit 2026 őszén különösen élesen mutatta meg a japán ittriumhiány. Kína exportkorlátozásai következtében az év első kilenc hónapjában mintegy 98 százalékkal csökkent a Japánba szállított ittrium-oxid mennyisége. A sugárhajtóművek hőálló bevonataihoz és a félvezetőgyártáshoz szükséges anyagból a japán készletek hónapokon belül kimerülhetnek, ami az amerikai hadiipart is érintheti. Az eset jól példázza, hogy egyetlen kritikus nyersanyag feletti ellenőrzés is komoly gazdasági és politikai nyomásgyakorlás eszközévé válhat.

Az eset világossá tette, hogy a ritkaföldfémekkel kapcsolatos függőség nem csupán elméleti kockázat.

A korlátozások ténylegesen befolyásolhatják az ipari vállalatok működését.

2026: már nemcsak az anyag, hanem a tudás is stratégiai eszköz

A következő lépés még érdekesebb.

A kínai exportpolitika egyre inkább nemcsak az alapanyagokra és bizonyos késztermékekre, hanem a technológiák átadására is kiterjed.

A 2025 októberében bejelentett ritkaföldfém-exportkorlátozások egyes feldolgozási technológiákat és mágnesipari termékeket is érintettek.

2026 októberében Kína további, fejlett technológiák exportjának ellenőrzését célzó javaslatokat tett közzé. Ezek többek között a mesterséges intelligenciához, a félvezetőkhöz és a napenergia-iparhoz kapcsolódó technológiákat is érintik. A javaslatok ekkor még nem jelentettek minden területen hatályos, általános tilalmat.

Ez a fejlemény túlmutat a hagyományos nyersanyag-kereskedelmen.

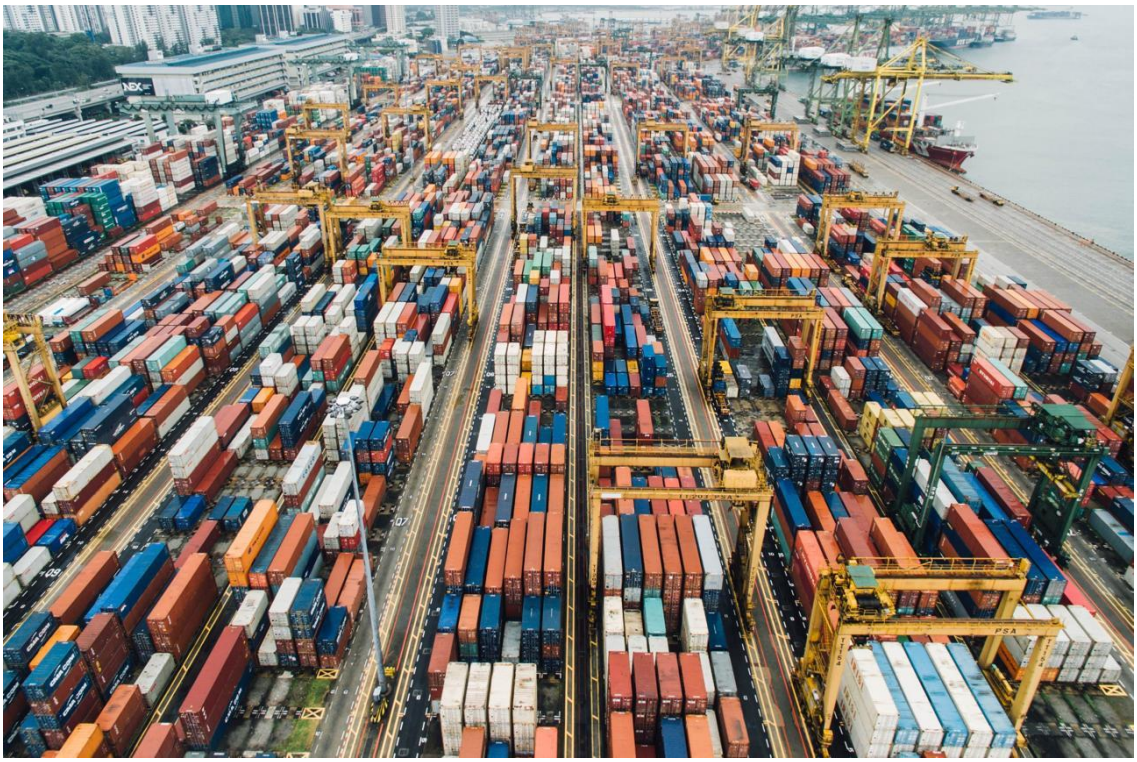
Korábban a függőség fő kérdése gyakran az volt, honnan szerezzük be a szükséges anyagokat.

Ma már egyre fontosabbá válik az is, hogy ki rendelkezik a nyersanyagok feldolgozásához és a korszerű termékek előállításához szükséges technológiai tudással.

A kétféle függőség egymást erősítheti.

Egy ország rendelkezhet jelentős ritkaföldfém-készletekkel, de ha hiányzik a szétválasztási és mágnesgyártási technológia, akkor továbbra is külföldi feldolgozókra szorulhat.

Ha pedig a szükséges technológia átadása is korlátozottá válik, az új ipari kapacitások kiépítése még nehezebb lehet.



106. ábra – A gazdasági függőségtől a politikai nyomásgyakorlásig
Az ellátási láncok nagyfokú koncentrációja lehetőséget teremthet exportengedélyezési és más kereskedelmi korlátozások alkalmazására. Ezek áremelkedést, késedelmeket vagy gyártási fennakadásokat okozhatnak a függő országokban. Az ábra lehetséges oksági folyamatot mutat, nem minden korlátozás szükségszerű következményét.

Az ásó, amelynek a gyártója dönti el, ki használhatja

A ritkaföldfémek történetében különös gazdasági fordulat történt.

A fejlett országok hosszú időn keresztül abból indultak ki, hogy a világpiacon a szükséges nyersanyagok és ipari termékek megvásárolhatók.

Ha egy alapanyag előállítása olcsóbb volt külföldön, gyakran gazdaságosabbnak tűnt az import, mint a hazai termelés fenntartása.

Ez a megközelítés sok esetben valóban csökkentette a költségeket.

De közben a termelés egyre kevesebb szereplőre koncentrálódhatott.

A kritikus ipari kapacitások megszűnése után pedig az importáló országok mozgástere beszűkült.

A helyzet ahhoz hasonlít, mintha egy gazdálkodó minden szükséges munkaeszközt egyetlen szállítótól vásárolna.

Amíg a szállító megbízhatóan és kedvező áron értékesít, ez jó üzletnek tűnhet.

Ha azonban a gazdálkodó időközben felszámolja saját eszközgyártását és javítási képességeit, akkor később már nem csupán vásárlója, hanem kiszolgáltatott partnere is lehet a szállítónak.

A ritkaföldfémek esetében a helyzet ennél is összetettebb.

Nem egyetlen késztermék előállítása koncentrálódott Kínába, hanem az egymást követő technológiai lépések jelentős része.

A nyersanyag, a vegyipari feldolgozás, a metallurgia és a mágnesgyártás egymásra épülő rendszerként működik.

A függőség ezért több ponton is jelentkezhet.

Ebből azonban nem következik, hogy Kína szükségszerűen minden helyzetben visszaélne gazdasági fölényével.

Az exportáló országoknak is érdeke a stabil kereskedelem, a megbízható vevői kapcsolatok és a bevételek fenntartása.

A stratégiai kockázatot mégis figyelembe kell venni, mert a kereskedelmi kapcsolatok politikai konfliktusok esetén megváltozhatnak.

Lehetséges-e újraépíteni a nyugati ritkaföldfémipart?

Az Egyesült Államok, az Európai Unió, Japán és más országok az elmúlt években egyre nagyobb figyelmet fordítottak a kritikus nyersanyagok ellátásbiztonságára.

A cél nem feltétlenül az, hogy valamennyi ország minden szükséges ritkaföldfémet saját maga termeljen ki és dolgozzon fel.

Ez gazdaságilag sok esetben ésszerűtlen lenne.

Sokkal inkább az, hogy a legfontosabb termelési és feldolgozási kapacitások ne kizárólag egyetlen országban összpontosuljanak.

A beszállítók diverzifikálása, az új feldolgozóüzemek kiépítése és a nemzetközi együttműködés csökkentheti a kockázatokat.

Ausztrália jelentős ritkaföldfém-lelőhelyei és bányászati tapasztalatai miatt fontos partner lehet.

Az Egyesült Államok a saját termelési és feldolgozási képességeinek fejlesztésére törekszik.

Japán a korábbi ellátási zavarok tapasztalatai alapján különösen nagy hangsúlyt fektet a beszállítói kapcsolatok sokszínűségére és a takarékosabb anyagfelhasználásra.

Az Európai Unió szintén igyekszik csökkenteni a kritikus nyersanyagokkal kapcsolatos függőségét.

A kihívás azonban jelentős.

Az új ipari kapacitások létrehozása időigényes, és magas beruházási költségekkel jár.

A környezetvédelmi engedélyezés, a megfelelő hulladékkezelés és a képzett munkaerő biztosítása további feladatokat jelent.

Egy ilyen átalakulás nem valósítható meg pusztán néhány bánya megnyitásával.

A teljes feldolgozási láncot fejleszteni kell.

A stratégiai tartalék nem helyettesíti a gyárat

A kritikus nyersanyagok ellátásbiztonságának egyik eszköze a tartalékképzés.

Ha egy ország vagy iparág megfelelő készletekkel rendelkezik, átmeneti szállítási zavarok esetén tovább működhet.

A stratégiai készletek azonban csak időt biztosítanak.

Nem oldják meg a hosszú távú függőséget.

Egy néhány hónapra elegendő nyersanyagkészlet nem helyettesíti azokat a feldolgozóüzemeket, amelyek évek alatt épülhetnek fel.

Ráadásul nem elegendő pusztán ritkaföldfém-oxidokat raktározni, ha a végtermékgyártáshoz szükséges fémelőállítási és ötvözési kapacitások hiányoznak.

Az ellátásbiztonság ezért több elemből áll.

Szükség van megbízható beszállítókra, megfelelő tartalékokra, feldolgozási képességekre és olyan technológiai megoldásokra, amelyek csökkentik a legnehezebben hozzáférhető anyagok iránti igényt.

A hélium – egy láthatatlan stratégiai nyersanyag

A modern technológia nyersanyagfüggősége nem korlátozódik a ritkaföldfémekre és a lítiumra. 2026 októberében az Egyesült Államok a héliumot is kritikus jelentőségű anyaggá nyilvánította. A közel-keleti háború, valamint az orosz és kínai exportkorlátozások ugyanis veszélyeztetik a globális ellátást.

A hélium nélkülözhetetlen a félvezetőgyártás egyes folyamataiban, különösen a hűtésben és a szivárgásvizsgálatban. Emellett az orvosi MRI-berendezések és számos tudományos műszer működésében is fontos szerepet játszik. Ipari mennyiségben elsősorban földgázlelőhelyekből nyerik ki, mesterséges előállítása pedig gazdaságosan nem megoldható.

A világ héliumtermelése néhány országban összpontosul, különösen az Egyesült Államokban és Katarban. Egy regionális konfliktus vagy kereskedelmi korlátozás ezért az egész világ technológiai iparát érintheti.

A hélium esete jól mutatja a modern gazdaság egyik ellentmondását: miközben a világ egyre nagyobb összegeket fordít mesterséges intelligenciára, csipgyártásra és digitális infrastruktúrára, ezek fejlődése olyan nyersanyagoktól is függ, amelyek kínálata korlátozott, és amelyek ellátását geopolitikai konfliktusok veszélyeztetik.

A technológiai függetlenség nem a számítógépek gyártásánál kezdődik, hanem azoknál a nyersanyagoknál, amelyek nélkül a számítógépek sem készülhetnek el.

Újrahasznosítás: a már kitermelt ritkaföldfémek értéke

A ritkaföldfémek jelentős része a felhasználás során nem semmisül meg.

Egy elektromos motor vagy szélturbina állandó mágnese működés közben nem fogyasztja el a benne található neodímiumot.

Az anyag továbbra is jelen van a berendezésben.

Ez elvileg lehetőséget teremt az újrahasznosításra.

A berendezések szétszerelése után a mágnesek bizonyos esetekben közvetlenül is újra felhasználhatók, illetve megfelelő technológiával visszanyerhetők belőlük a ritkaföldfémek.

A feladat azonban nem egyszerű.

A mágnesek gyakran bonyolult szerkezetek belsejében találhatók. Eltávolításuk munkaigényes lehet, és a különféle mágnesötvözeteket sem mindig könnyű elkülöníteni.

Az anyagok visszanyerésére mechanikai, termikus és kémiai technológiákat egyaránt fejlesztenek.

Ezek között vannak olyan eljárások, amelyek a mágnesanyag közvetlen újrafeldolgozására törekednek, és olyanok is, amelyek a ritkaföldfémeket vegyületeik formájában nyerik vissza.

Az újrahasznosításnak jelentős környezetvédelmi és ellátásbiztonsági előnye lehet.

Ugyanakkor egyelőre nem helyettesítheti teljes egészében az elsődleges termelést.

A hosszú élettartamú berendezésekben található ritkaföldfémek csak évek vagy évtizedek múlva kerülnek vissza a hulladékkezelési rendszerbe.

Ha a kereslet közben gyorsan növekszik, az újrahasznosítás önmagában nem biztosít elegendő alapanyagot.

A Nemzetközi Energiaügynökség ezért a bányászati és feldolgozási kapacitások fejlesztése mellett az újrahasznosítást, az anyagtakarékosságot és a technológiai helyettesítést is fontosnak tekinti.

Lehet-e ritkaföldfémek nélkül is korszerű technológiát gyártani?

A ritkaföldfémek iránti kereslet csökkentésének másik lehetősége a technológiai helyettesítés.

Nem minden elektromos motor igényel ritkaföldfém-alapú állandó mágnest.

Léteznek például aszinkronmotorok és más olyan villamosgéptípusok, amelyek működésükhöz nem használnak ilyen mágneseket.

Ezeknek is vannak előnyeik és hátrányaik.

A választást befolyásolja a hatásfok, a teljesítménysűrűség, a tömeg, a költség és a szabályozhatóság.

Bizonyos alkalmazásokban a ritkaföldfémmentes motor kedvező megoldás lehet.

Más esetekben a nagy teljesítményű állandó mágnes előnyei miatt továbbra is indokolt az alkalmazása.

Hasonlóan fontos a mágnesek összetételének fejlesztése.

A kutatók olyan megoldásokat keresnek, amelyek kisebb mennyiségű nehéz ritkaföldfém felhasználásával is megfelelő hőmérsékleti és mágneses tulajdonságokat biztosítanak.

A helyettesítés azonban nem mindig jelent teljes megoldást.

Egy másik technológia is igényelhet ritka, drága vagy stratégiai szempontból érzékeny nyersanyagokat.

A nyersanyagfüggőség csökkentésénél ezért a teljes technológiai és anyagigényt vizsgálni kell.

A környezetvédelem geopolitikai ellentmondása

A ritkaföldfémek története különösen jól mutatja a modern környezetvédelem egyik legnehezebb ellentmondását.

A fejlett országok szeretnék csökkenteni a fosszilis energiahordozók felhasználását.

Ehhez azonban korszerű villamos gépekre, elektronikai rendszerekre és különleges nyersanyagokra van szükségük.

Ezek előállítása jelentős ipari és környezeti terheléssel járhat.

A nyersanyag-kitermelés és a feldolgozás jelentős része ezért olyan országokban koncentrálódott, ahol nagy ipari kapacitások épültek ki, és korábban sok esetben alacsonyabbak voltak a termelési vagy környezetvédelmi költségek.

Az ipari átrendeződés hosszú távon azonban új függőséget hozott létre.

A fejlett országok egyes tisztább működésű technológiáinak gyártása olyan feldolgozókapacitásoktól vált függővé, amelyeket maguk már csak korlátozottan birtokolnak.

A gazdasági hatékonyság és az ellátásbiztonság így egymással versengő szempontokká válhatnak.

Az olcsó import rövid távon gazdaságilag előnyös lehet.

De ha egy létfontosságú anyag vagy technológia egyetlen beszállítótól függ, az hosszú távú kockázatot jelenthet.

A megoldás nem feltétlenül a nemzetközi kereskedelem visszaszorítása.

Sokkal inkább az, hogy a globális termelés ne váljon túlzottan sérülékennyé.

A beszállítók sokszínűsége, a feldolgozási technológiák fejlesztése, a stratégiai készletek és az újrahasznosítás együtt növelhetik az ellenálló képességet.

Ugyanakkor a termelési kapacitások visszaépítése nem jelentheti a környezetvédelmi követelmények feladását.

Ha Európa vagy Amerika új ritkaföldfém-feldolgozó üzemeket épít, azoknak korszerű szennyvíztisztítási, hulladékkezelési és környezetbiztonsági rendszerekkel kell működniük.

A korábbi ipari környezetszennyezést nem lenne értelme egyszerűen hazatelepíteni.

A cél az, hogy a szükséges nyersanyagokat a lehető legkisebb környezeti terheléssel, ellenőrizhető és biztonságos technológiákkal állítsuk elő.

A tiszta technológia valódi mérlege

A ritkaföldfémek környezeti terhelése nem jelenti azt, hogy a szélturbinák vagy az elektromos járművek szükségszerűen rosszabbak lennének a fosszilis energiahordozókra épülő technológiáknál.

A helyes összehasonlítás itt is a teljes életciklusra vonatkozik.

Egy szélturbina gyártásához acél, beton, réz és bizonyos konstrukciók esetén ritkaföldfémeket tartalmazó mágnes szükséges.

Az előállításuk környezeti terheléssel jár.

A működés során azonban a turbina hosszú éveken keresztül villamos energiát termel közvetlen tüzelőanyag-felhasználás nélkül.

A teljes életciklusra vetített üvegházhatásúgáz-kibocsátása ezért általában lényegesen kisebb, mint a fosszilis tüzelőanyaggal működő erőműveké.

Hasonlóképpen, az elektromos jármű előállításának anyag- és energiaigénye jelentős lehet, de megfelelő használati körülmények között teljes élettartamára vetítve lényegesen kisebb kibocsátással járhat, mint egy hagyományos belső égésű motoros jármű.

Ez azonban nem menti fel a gyártókat az alapanyagok környezeti terheinek csökkentése alól.

A bányászat, a vegyipari szétválasztás és a kohászat környezeti hatásainak mérséklése ugyanolyan fontos feladat, mint a végtermék működés közbeni kibocsátásának csökkentése.

A tisztább technológia nem attól válik igazán fenntarthatóvá, hogy használat közben nem látunk füstöt.

Attól, hogy a teljes előállítási és felhasználási folyamatot tekintve kisebb környezeti terhelést okoz.

Amikor a zöldenergia is ellenállásba ütközik







107. ábra Szélturbinák és napelempark

A fosszilis energiahordozók kiváltásának egyik legfontosabb eszköze a szél- és napenergia. Ezek az energiatermelési módok működésük során lényegesen kevesebb üvegházhatású gázt bocsátanak ki, mint a szén- vagy gáztüzelésű erőművek. Elterjedésük azonban nem mindenütt találkozik egyértelmű társadalmi támogatással.

A szélerőművek ellenzői elsősorban a zajterhelést, a tájkép megváltozását és a madárvilág veszélyeztetését említik.

A hatalmas, forgó lapátok hangja megfelelő telepítési távolság nélkül zavarhatja a közelben élőket. A szélturbinák emellett veszélyt jelenthetnek egyes madár- és denevérfajokra, különösen akkor, ha vonulási útvonalak vagy fontos élőhelyek közelében épülnek.

A kockázat azonban jelentősen függ a helyszíntől és a technológiától. A korszerű szélerőművek gondos elhelyezésével, bizonyos időszakokban történő leállításával és madárérzékelő rendszerekkel a károk mérsékelhetők. A szélturbinák által okozott madárpusztulás ugyanakkor nem azonos nagyságrendű minden más emberi eredetű veszéllyel: például az épületekkel való ütközések és a házi macskák sok térségben jóval több madár pusztulásáért felelősek.

A napelemparkokkal kapcsolatban más jellegű kifogások merülnek fel.

A nagy kiterjedésű naperőművek jelentős földterületet igényelhetnek. Ha jó minőségű termőföldeken épülnek, az energiatermelés közvetlenül versenybe kerülhet a mezőgazdasági termeléssel. Egyes beruházások megváltoztathatják a táj jellegét, az élőhelyek szerkezetét és a helyi vízháztartást is.

Felmerül a kérdés: indokolt-e termőföldeket kivonni a mezőgazdasági művelésből, miközben hatalmas ipari csarnokok, raktárépületek, parkolók és más beépített területek tetőfelületei továbbra is kihasználatlanok?

A válasz természetesen nem minden esetben egyértelmű. A tetőre telepített rendszerek költségei, műszaki adottságai és hálózati csatlakozási lehetőségei eltérhetnek a nagy naperőművekétől. A két megoldás ezért nem mindig helyettesíti egymást.

Ráadásul a mezőgazdaság és a napenergia-termelés sem feltétlenül zárja ki egymást. Az úgynevezett agrár-fotovoltaikus rendszereknél a napelemek között vagy alatt növénytermesztés, illetve állattartás is folyhat. Megfelelő kialakítás mellett a részleges árnyékolás bizonyos növénykultúráknál még előnyös is lehet.

A kérdés tehát nem az, hogy szükségünk van-e szél- és napenergiára. Hanem az, hogy hol, milyen feltételekkel és milyen környezeti áldozatok árán érdemes ezeket a létesítményeket megépíteni.

A megújuló energiaforrások körüli viták jól mutatják, hogy a környezetvédelemben különböző célok is ütközhetnek egymással. A klímavédelem, a természetvédelem, a tájvédelem, az élelmiszer-termelés és a helyi lakosság érdekei nem mindig esnek egybe.

A jó környezetpolitika ezért nem elégedhet meg azzal, hogy egy beruházásra ráírják: zöld. A teljes életciklusát, területigényét és helyi hatásait is vizsgálni kell.

A környezetvédelem nem azt jelenti, hogy az egyik környezeti problémát automatikusan egy másikra cseréljük.

Egy további szempontot is érdemes lenne megemlíteni: mi történik a szélturbinákkal és a napelemekkel az élettartamuk végén? A szélturbinák kompozit lapátjainak újrahasznosítása különösen nehéz, és a napelemek feldolgozása is megfelelő ipari hátteret igényel.

Ez összekapcsolná a szöveget a hulladékgazdálkodásról szóló fejezettel, és erősítené a könyv visszatérő kérdését: a környezeti költségeket valóban megszüntetjük, vagy csak áthelyezzük térben és időben?

Mi történik a zöldenergia berendezéseivel, amikor elöregszenek?

A szél- és napenergia környezeti mérlegének van egy kevésbé látványos, de egyre fontosabb része: mi történik a berendezésekkel, amikor elérik élettartamuk végét?

A szélturbinák tervezett élettartama általában 20–30 év, a napelemeké gyakran 25–35 év, bár megfelelő körülmények között ennél tovább is működhetnek. Ez azt jelenti, hogy a megújulóenergia-ipar gyors növekedésével párhuzamosan a következő évtizedekben egyre több elhasználódott berendezést kell majd leszerelni, feldolgozni vagy újrahasznosítani.



Amikor a szélturbinából híd lesz

A megújuló energia egyik kevésbé ismert környezeti problémája a leszerelt szélturbinák lapátjainak kezelése. Ezeket általában üvegszál-erősítésű műgyantából készítik. Az anyag rendkívül szilárd, könnyű és ellenálló, de éppen emiatt nehéz gazdaságosan újrahasznosítani. A hőre keményedő műgyantát ugyanis nem lehet egyszerűen megolvasztani és újraformázni.

Írországban különleges megoldást találtak erre a problémára. Cork megyében, a Midleton és Youghal közötti kerékpárút egyik hídját két kiszolgált szélturbinalapát felhasználásával építették meg. A Re-Wind kutatási programban részt vevő mérnökök a lapátokat teherhordó tartóelemként alkalmazták, így azok részben kiváltották a hagyományos acélszerkezetet.



A 2022-ben elkészült hidat alapos szerkezeti vizsgálatok előzték meg. A kutatók ellenőrizték, hogy a korábban évtizedekig szélerőműben használt kompozit elemek megfelelnek-e az új terhelési követelményeknek.

A megoldás kettős előnnyel jár: a lapátok nem kerülnek hulladéklerakóba, miközben csökken az új építőanyagok felhasználása. A projekt számításai szerint az acélszerkezet részleges kiváltásával közel 800 kilogramm szén-dioxid-kibocsátást sikerült elkerülni.

A lapátok azonban nem elpusztíthatatlanok. Az új felhasználás során is számolni kell az anyag öregedésével, a szerkezeti kapcsolatok állapotával és a rendszeres ellenőrzés szükségességével.

Az ír példa legfontosabb tanulsága, hogy az újrahasznosítás nem feltétlenül jelenti az anyagok beolvasztását vagy kémiai feldolgozását.



A szélturbinák második élete. Írországban gyalogoshíd, Dániában kerékpártároló készült leszerelt szélturbinalapátokból. A példák azt mutatják, hogy az anyagában nehezen újrahasznosítható kompozit szerkezetek sok esetben új feladatra még alkalmasak lehetnek.



108. ábra: hulladék napelemek újrahasznosítása

A szélturbinák esetében különösen a hatalmas rotorlapátok jelentenek problémát. Ezek jellemzően üveg- vagy szénszálas, műgyantával megerősített kompozit anyagokból készülnek. Rendkívül erősek és könnyűek, de éppen ezek a tulajdonságaik nehezítik az újrahasznosításukat.

A tornyok acélja, a generátorok réztartalma és számos más alkatrész viszonylag jól visszanyerhető. A kompozit lapátok feldolgozása azonban bonyolultabb és költségesebb. Egyes országokban a leszerelt lapátokat korábban hulladéklerakókba szállították, máshol feldarabolva cementgyártásban hasznosítják, vagy új termékeket készítenek belőlük. Fejlesztés alatt állnak olyan kémiai és termikus eljárások is, amelyekkel az értékes erősítőszálak egy része visszanyerhető.

A napelemek esetében más jellegű nehézségek jelentkeznek. Egy hagyományos szilíciumalapú napelemmodul tömegének jelentős részét üveg és alumínium alkotja, amelyek viszonylag jól újrahasznosíthatók. A cellákban található szilícium, ezüst és más értékes anyagok gazdaságos visszanyerése azonban összetettebb feladat. A különböző rétegek tartós összeragasztása megnehezíti a szétszerelést.

A megfelelő feldolgozási technológiák már léteznek, de a begyűjtés, a szállítás és a feldolgozás költségei sok esetben meghaladják a visszanyerhető nyersanyagok piaci értékét. Emiatt a gazdasági ösztönzők önmagukban nem mindig elegendők az újrahasznosítás biztosításához.

A probléma idővel tovább növekedhet. A Nemzetközi Megújulóenergia-ügynökség (IRENA) és a Nemzetközi Energiaügynökség fotovoltaikus rendszerekkel foglalkozó programjának 2016-os becslése szerint 2050-re világszerte 60–78 millió tonna elhasználódott napelempanelből származó hulladék halmozódhat fel. Ez forgatókönyvi becslés, amelyet

azóta a technológiai fejlődés, az élettartamok és a telepítések ütemének változása is befolyásolhat.

A hulladékkezelés költségeit ezért már a beruházások tervezésekor figyelembe kellene venni. Nem elegendő azt kiszámítani, mennyibe kerül egy szélerőmű vagy napelempark felépítése, és mennyi villamos energiát termel majd. A leszerelés, a terület helyreállítása és az anyagok újrahasznosítása is a teljes életciklus része.

Ez különösen fontos a nagy napelemparkok esetében. Ha egy mezőgazdasági területet évtizedekig energiatermelésre használnak, előre tisztázni kell, ki köteles a berendezéseket eltávolítani, és milyen állapotban kell visszaadni a földterületet.

Mindez nem jelenti azt, hogy a megújuló energiaforrások környezeti mérlege kedvezőtlenebb lenne a fosszilis energiahordozókénál. A teljes életciklusra számított üvegházhatásúgáz-kibocsátásuk általában lényegesen alacsonyabb. A szén, az olaj és a földgáz ráadásul folyamatos kitermelést és elégetést igényel, miközben a megújulóenergia-berendezések anyagainak jelentős része elvileg ismét felhasználható.

A valódi tanulság inkább az, hogy a tiszta energiatermelésnek is vannak anyagi és környezeti költségei. Ezeket nem szabad figyelmen kívül hagyni pusztán azért, mert a technológia egy másik környezeti problémára kínál megoldást.

Egy energiatermelési mód attól még nem válik teljesen környezetbaráttá, hogy működés közben nem bocsát ki szén-dioxidot. A környezeti mérleghez a nyersanyagok kitermelése, a gyártás, a területhasználat, az üzemeltetés és a leszerelés következményei egyaránt hozzátartoznak.

Források a könyvhöz:

- IRENA–IEA-PVPS: End-of-Life Management: Solar Photovoltaic Panels (2016)
- U.S. Department of Energy – Wind Energy End-of-Life Management
- IEA-PVPS – Napelemek élettartama, hulladékkezelése és újrahasznosítása

A nyersanyagoknál fontosabb lehet a tudás

A ritkaföldfémek történetéből egy további, általánosabb következtetés is levonható.

A modern gazdaságban az ipari függetlenséget már nem kizárólag az határozza meg, hogy egy országnak milyen ásványkincsei vannak.

Legalább ilyen fontos, hogy képes-e azokat feldolgozni, megfelelő tisztaságú anyagokká alakítani és korszerű termékeket gyártani belőlük.

A 20. században sok fejlett ország számára gazdaságosnak tűnt bizonyos ipari tevékenységek külföldre helyezése. A folyamat csökkenthette a termelési költségeket és egyes helyi környezeti terheket. Hosszabb távon azonban a technológiai tudás és a termelési képesség egy része is elkerült. Kína éppen ezen a területen szerzett meghatározó előnyt.

Nem egyszerűen ritkaföldfémeket termel ki.

Olyan ipari rendszert működtet, amely a nyersanyagtól a nagy tisztaságú vegyületeken és ötvözeteken át a kész mágnesekig képes lefedni az értéklánc jelentős részét.

Ennek következtében a ritkaföldfémek ma már nemcsak nyersanyagok, hanem geopolitikai eszközök is lehetnek.

A történet azonban nem kizárólag Kínáról szól.

Ugyanez a probléma megjelenhet a félvezetők, az akkumulátorok, a gyógyszerhatóanyagok és más stratégiai termékek esetében is.

A gazdasági hatékonyságra épülő nemzetközi munkamegosztás sérülékennyé válhat, ha túlságosan kevés országra vagy vállalatra koncentrálódik.

Ezért az ellátásbiztonság, a technológiai önállóság és a környezetvédelem egyre szorosabban összekapcsolódik.

A ritkaföldfémek történetének legfontosabb tanulsága, hogy a környezetterhelő termelés külföldre helyezésével nemcsak a szennyezés kerülhet máshová, hanem a technológiai tudás, az ipari kapacitás és végül a gazdasági befolyás is.

A tiszta technológiák jövője ezért nemcsak azon múlik, hogy milyen új berendezéseket fejlesztünk ki.

Azon is, hogy képesek vagyunk-e az előállításukhoz szükséges teljes ipari rendszert környezetvédelmi és ellátásbiztonsági szempontból fenntartható módon működtetni.

A fejezet főbb tudományos és gazdasági forrásai:

- Nemzetközi Energiaügynökség – Rare Earth Elements, Executive Summary. A bányászat, a szétválasztás és a mágnesgyártás 2024-es megoszlása, valamint a környezeti és technológiai kockázatok.
- IEA – Global Critical Minerals Outlook 2025. A kritikus ásványok globális piaca, ellátási kockázatai és jövőbeli kilátásai.
- USGS – China's Mineral Industries and Related Infrastructure (2026). A kínai ásványi nyersanyagipar és feldolgozókapacitás földrajzi, valamint gazdasági jelentősége.
- CSIS – Rare Earth Export Restrictions One Year Later (2026). A 2025-ös kínai exportkorlátozások hatásai és a nyugati iparpolitikai válaszok.
- IEA – Rare Earth Elements 2025. A kereslet, az újrahasznosítás és a feldolgozóipar várható fejlődése.

19. Az elektromos világ anyagigénye

Az elektromos autók, az akkumulátorok, a szélerőművek és a napelemek a környezetbarát jövő jelképeivé váltak. Működésük közben sok esetben valóban lényegesen kevesebb szennyező anyagot bocsátanak ki, mint a hagyományos technológiák. De miből készülnek?

Honnan származnak a szükséges fémek? Mennyi energiát, vizet és természeti erőforrást igényel az előállításuk? És mi történik velük, amikor elérik élettartamuk végét?

A fosszilis tüzelőanyagoktól a fémek világáig

Az emberiség energiaellátása évszázadokon keresztül elsősorban az éghető anyagokra épült. Előbb a fa, majd a szén, a kőolaj és a földgáz vált a gazdaság meghatározó energiaforrásává. A fosszilis energiahordozók elégetésével nyertük az energiát, miközben a keletkező szén-dioxidot és más szennyező anyagokat a légkörbe juttattuk.

Az energetikai átállás alapvetően változtat ezen a rendszeren. A nap- és szélenergia hasznosításához nincs szükség folyamatos tüzelőanyag-utánpótlásra. Az elektromos autó nem éget benzint vagy gázolajat, az akkumulátor pedig képes tárolni a megtermelt villamos energiát.

Csakhogy ezek a technológiák rendkívül anyagigényesek.

A hagyományos energiaellátásban a tüzelőanyagot folyamatosan termeljük ki és fogyasztjuk el. Az új rendszerben a kitermelés jelentős része a berendezések megépítése előtt történik. A szélkerék, az elektromos motor, az akkumulátor és a villamos hálózat előállításához nagy mennyiségű fémet és más ásványi nyersanyagot kell kibányászni, feldolgozni és finomítani.

Ez nem egyszerűen technológiaváltás. Az energiaellátás anyagáramainak átrendeződése.







109. ábra: Az új energiarendszer három arca: a nyersanyagkitermelés, az akkumulátorgyártás és a megújuló energiatermelés. A tisztább működés mögött jelentős ipari infrastruktúra áll.

A Nemzetközi Energiaügynökség (IEA) elemzései szerint egy átlagos elektromos személyautó gyártása lényegesen több energetikai szempontból fontos ásványi nyersanyagot igényel, mint egy hagyományos gépkocsié. Egy szárazföldi szélerőmű egységnyi teljesítményre vetítve szintén többször annyi ilyen ásványi nyersanyagot használhat fel, mint egy gáztüzelésű erőmű.

A pontos arány a technológiától és attól is függ, mely anyagokat számítjuk bele. Az összehasonlítás önmagában nem jelenti azt, hogy a megújuló technológia összességében környezetszennyezőbb volna.

A különbség azonban világossá teszi: az energetikai átállás nem szünteti meg a bányászat jelentőségét. Bizonyos területeken éppen ellenkezőleg, fokozza azt.

Az akkumulátor: egy egész bányaipar a motorháztető alatt

Az elektromos autó legfontosabb és gyakran legdrágább alkatrésze az akkumulátor. Egy korszerű jármű akkumulátorcsomagja több száz kilogrammot is nyomhat, és különböző fémeket, szénalapú anyagokat, elektrolitot, műanyagokat és elektronikai alkatrészeket tartalmaz.

A legismertebb nyersanyagok a lítium, a nikkel, a kobalt, a mangán, a grafit és a réz. Ezek szerepe azonban nem azonos, és nem is minden akkumulátortípus használja valamennyit.

A nikkel-mangán-kobalt (NMC) akkumulátorokban mindhárom névadó fém szerepet kap. A lítium-vas-foszfát (LFP) akkumulátorok viszont nem igényelnek nikkelt és kobaltot a katódjukhoz. Ez különösen fontos, mert az LFP-technológia terjedése máris megváltoztatja a nyersanyagpiacot.



110. ábra: Elektromos autó akkumulátorcsomagja. A cellák mellett hűtőrendszer, elektronika, elektromos csatlakozások és mechanikai védőszerkezet is szükséges.

A lítium különösen érdekes anyag. Könnyű fém, amely elektrokémiai tulajdonságai miatt kiválóan alkalmas nagy energiasűrűségű akkumulátorok készítésére. A természetben azonban nem elemi állapotban találjuk meg, hanem ásványokban vagy sóoldatokban.

Két fontos kitermelési módja terjedt el. Az egyik a keménykőzetes bányászat, például Ausztráliában. A másik a lítiumtartalmú sós vizek feldolgozása, elsősorban Dél-Amerika száraz, magashegyi medencéiben.

Mindkettőnek vannak környezeti következményei.

A keménykőzetes bányászat nagy mennyiségű kőzet mozgatásával, aprításával, vegyszeres feldolgozásával és energiafelhasználásával jár. A sóoldatok kitermelése pedig beavatkozhat a helyi vízháztartásba, különösen ott, ahol a csapadék rendkívül kevés.

A lítiumháromszög: az elektromos autók és a sivatag vízkészlete

Argentína, Bolívia és Chile határvidékén található a világ egyik legismertebb lítiumtartalmú térsége, az úgynevezett lítiumháromszög.

Itt a magashegyi sós medencék alatt lítiumot tartalmazó sóoldatok találhatók. A hagyományos eljárások során a felszínre szivattyúzott oldatot hatalmas párologtató medencékbe vezetik. A víz elpárolog, a sók koncentrációja megváltozik, majd további ipari műveletekkel állítják elő az akkumulátorgyártás alapanyagait.



111. ábra: A chilei Atacama-sivatag lítiumtermelő vidéke. A párologtató medencék látványos színei mögött összetett vízgazdálkodási és ökológiai problémák húzódnak meg.

A környezeti probléma nem egyszerűen az, hogy a termelés vizet használ fel. A sós felszín alatti vízrendszerek és az édesvízkészletek közötti kapcsolat rendkívül összetett.

A sóoldatok kitermelése egyes helyeken befolyásolhatja a vízszinteket, a vizes élőhelyeket és a környező ökoszisztémákat. A tényleges hatás a medence geológiai felépítésétől, a kitermelés mértékétől és a vízrendszerek kapcsolatától függ.

Az Atacama térségében élő őslakos közösségek számára a víz nem pusztán ipari erőforrás. A helyi élet, az állattartás, a hagyományos gazdálkodás és a kulturális örökség alapja.

Itt különösen élesen jelenik meg a környezetvédelem egyik ellentmondása: a világ egyik részén azért vásárolnak elektromos autót, hogy csökkentsék a környezeti terhelést, miközben az akkumulátor alapanyagának kitermelése egy távoli, sérülékeny térségben okozhat új problémákat.

Az újabb közvetlen lítiumkinyerési technológiák (DLE) egyes esetekben mérsékelhetik a párologtató medencék iránti igényt, de ezek sem automatikusan víz- vagy energiaigény nélküliek. Környezeti előnyüket minden konkrét alkalmazásnál vizsgálni kell.

Kobalt: a tiszta technológia emberi ára

A kobalt az akkumulátorgyártás egyik legtöbbet vitatott nyersanyaga.

A világ kobaltkitermelésének meghatározó része a Kongói Demokratikus Köztársaságból származik. A kobalt gyakran a rézbányászat melléktermék, ezért kitermelése és piaci kínálata szorosan összekapcsolódik a réziparral.

A nagyüzemi bányák mellett a térségben kisüzemi és kézi bányászat is működik. Egyes ilyen bányákban dokumentáltak veszélyes munkakörülményeket, gyermekmunkát és súlyos munkavédelmi hiányosságokat.



112. ábra: Kisüzemi bányászat a Kongói Demokratikus Köztársaságban. A kobalt ellátási láncában a munkakörülmények, a nyomon követhetőség és a helyi közösségek jogai egyaránt fontos kérdések.

A kobalt esete azért különösen tanulságos, mert a probléma nem oldható meg egyszerűen azzal, hogy a fejlett országok lemondanak a kongói nyersanyagról.

A bányászat sok család megélhetését biztosítja. A kitermelés hirtelen visszaesése gazdasági és társadalmi válságot is okozhatna. A valódi megoldás a munkakörülmények javítása, az

ellenőrizhető ellátási láncok kialakítása, a gyermekmunka felszámolása és a helyi közösségek részesedésének növelése lehet.

Közben az akkumulátortechnológia is változik. A kobaltot nem tartalmazó LFP-akkumulátorok térnyerése csökkenti az egy akkumulátorra jutó kobaltigényt, de a kobalt továbbra is fontos ipari nyersanyag marad.

Ez jó példa arra, hogy a technológiai fejlődés és a társadalmi szabályozás egymást kiegészítő megoldások lehetnek.

Nikkel: amikor az erdő helyére bánya kerül

A nikkel nélkülözhetetlen az acélipar egyes ágazataiban, és fontos szerepet tölt be bizonyos nagy energiasűrűségű akkumulátorokban is.

A világ egyik legfontosabb nikkeltermelő országa Indonézia. Az ország jelentős laterites nikkelérckészletekkel rendelkezik, amelyek gyakran trópusi erdőkkel borított területeken találhatók.

A külszíni kitermeléshez sok esetben el kell távolítani a növényzetet és a talaj felső rétegeit. Ez erdőpusztulással, élőhelyvesztéssel, talajerózióval és a vízfolyások üledékterhelésének növekedésével járhat.





113. ábra: Az indonéz nikkelipar: külszíni bányászat, energiaigényes feldolgozás és a környező tájakra gyakorolt hatások.

A probléma azonban nem ér véget a bányánál.

Az akkumulátorokhoz szükséges nikkel előállítása jelentős feldolgozási kapacitást igényel. Egyes laterites ércekből nagynyomású savas kioldással (HPAL) nyernek ki nikkelt és kobaltot. Más eljárások pirometallurgiai feldolgozást alkalmaznak.

A kohászati technológiák energiaigénye nagy lehet. Ha ezt az energiát széntüzelésű erőművek biztosítják, a feldolgozás szén-dioxid-kibocsátása is jelentőssé válik.

Indonéziában több nikkelipari központ energiaellátása részben vagy nagyrészt szénre épül.

Így előállhat az a különös helyzet, hogy egy elektromos autó akkumulátorához szükséges fémet szénalapú energiával dolgozzák fel.

Ez nem teszi értelmetlenné az elektromos autót, de rávilágít arra, hogy a tiszta technológia környezeti mérlegét nem lehet kizárólag a használat helyén megítélni.

Réz: az elektromos világ nélkülözhetetlen féme

A réz kevésbé látványos, mint a lítium vagy a kobalt, de az elektromos átállás egyik legfontosabb alapanyaga.

A villamos motorok, generátorok, transzformátorok, kábelek, töltőberendezések és elektromos hálózatok mind jelentős mennyiségű rezet igényelnek.

Egy elektromos autóban rendszerint lényegesen több réz található, mint egy hagyományos belső égésű motoros gépkocsiban. A töltőhálózat és a villamosenergia-elosztó rendszer bővítése további rézigényt jelent.

A réz tehát nem egyszerűen egy új technológia nyersanyaga. Az egész elektromos infrastruktúra egyik alapja.







114. ábra: A réz útja a hatalmas külszíni bányáktól a kohászaton át az elektromos berendezésekig.

A rézbányászat egyik alapvető problémája, hogy a gazdaságosan kitermelhető ércek sok esetben viszonylag alacsony réztartalmúak. Egy tonna réz előállításához ezért akár több száz tonna kőzet kitermelésére és feldolgozására is szükség lehet.

A kitermelt kőzetet összetörik, megőrlik, majd fizikai és kémiai eljárásokkal választják el az értékes ásványokat a meddőtől.

A szulfidos rézércek kohászati feldolgozásakor kén-dioxid is keletkezhet, amelyet korszerű üzemekben leválasztanak, és gyakran kénsavgyártásra hasznosítanak. A rosszul ellenőrzött üzemekben azonban a levegőszennyezés továbbra is jelentős probléma.

A rézbányászat másik nagy környezeti terhe a bányászati hulladék.

A finomra őrölt meddőanyag gyakran hatalmas tározókba kerül. Ezekben maradék fémek, különféle vegyületek és technológiai segédanyagok is előfordulhatnak. Egyes meddők savas bányavizet képezhetnek, amely nehézfémeket oldhat ki.

A meddőtározók gátszakadása pedig súlyos környezeti katasztrófát okozhat. A brazíliai Mariana és Brumadinho tragédiái vasércbányászathoz kapcsolódtak, de megmutatták, milyen következményekkel járhat egy bányászati hulladéktározó meghibásodása.

Az IEA 2025-ös előrejelzése szerint a réz iránti kereslet 2040-ig mintegy 30 százalékkal növekedhet a vizsgált szakpolitikai forgatókönyvben.

Ez különösen nagy kihívás, mert egy új rézbánya megnyitása hosszú évekig tarthat. A lelőhely feltárása, az engedélyezés, az infrastruktúra kiépítése és a feldolgozókapacitás létrehozása egyaránt időigényes.

A gazdaság tehát egyre több rezet igényel, miközben az új bányák megnyitása egyre összetettebb társadalmi és környezetvédelmi kérdéssé válik.

A kohászat: az energetikai átállás rejtett energiafogyasztója

A bányászat csupán az első lépés.

A kitermelt ércekből az ipar számára felhasználható, megfelelő tisztaságú fémeket kell előállítani. Ez gyakran a teljes termelési folyamat egyik legenergiaigényesebb szakasza.

A kohászatban magas hőmérsékletű kemencéket, elektrolízist, savas kioldást és különféle vegyipari eljárásokat alkalmaznak.

Az egyes fémek feldolgozása jelentősen különbözik. A réz, a nikkel, a kobalt és a lítium nem ugyanazon technológiai úton jut el a bányából a késztermékbe. Közös azonban bennük, hogy az energiaellátás, a vegyszerfelhasználás és a hulladékkezelés alapvetően befolyásolja a környezeti mérlegüket.



115. ábra: A kohászat a modern ipar nélkülözhetetlen része, de jelentős energiafelhasználással és megfelelő kezelés nélkül súlyos környezeti terheléssel járhat.

A feldolgozás földrajzi elhelyezkedése legalább olyan fontos, mint a nyersanyag lelőhelye.

Egy ország rendelkezhet hatalmas ásványkincskészlettel, mégis más országban történhet a fém finomítása és a nagy hozzáadott értékű alkatrészek előállítása.

Kína az elmúlt évtizedekben nemcsak a ritkaföldfémek, hanem számos akkumulátor-alapanyag feldolgozásában is meghatározó szerepet szerzett.

A kialakult függőségnek gazdasági és geopolitikai következményei vannak. A nyersanyagellátás zavara vagy az exportkorlátozás az elektromos autók, az energiatárolók és más ipari berendezések gyártását is érintheti.

A korábbi fejezetben tárgyalt ritkaföldfémekhez hasonlóan itt is megjelenik az a jelenség, hogy a fejlett országok a környezetszennyező termelési folyamatok jelentős részét más országokba helyezik át, miközben a késztermékek fogyasztásából származó előnyöket maguk élvezik.

A légkör szempontjából azonban nincs jelentősége annak, hogy a szén-dioxid melyik országban keletkezik.

Amikor a bánya megváltoztatja egy közösség életét

A bányászat társadalmi hatásait nem lehet pusztán gazdasági mutatókkal leírni.

Egy új bánya munkahelyeket teremt, utakat, elektromos hálózatokat és más infrastruktúrát hozhat létre. Adóbevételeket és exportjövedelmet biztosíthat az államnak.

Ugyanakkor megváltoztathatja a környező települések életét.

A bányaterület terjeszkedése mezőgazdasági földeket, legelőket vagy erdőket érinthet. A vízhasználat konfliktusba kerülhet a helyi lakosság igényeivel. A por, a zaj és a teherforgalom ronthatja az életminőséget.

A bányászati térségekben gyakran az is vitatott, hogy ki részesül a kitermelés hasznából, és ki viseli annak terheit.



116. A bányászat egyszerre jelenthet gazdasági lehetőséget, tájhasználati konfliktust és hosszú távú környezeti kockázatot.

A konfliktus különösen súlyos lehet ott, ahol a bányák őslakos közösségek hagyományos területeit érintik.

Ezekben az esetekben a föld nem csupán gazdasági erőforrás. A közösségi identitás, a hagyományok és a kulturális örökség része is.

A környezetvédelmi engedélyezés ezért nem szorítkozhat a kibocsátási határértékek ellenőrzésére. A helyi közösségek bevonása, a vízkészletek védelme, a tisztességes kártalanítás és a bányabezárás utáni helyreállítás ugyanúgy a fenntartható nyersanyag-gazdálkodás része.

Fontos azonban azt is látni, hogy a bányászat teljes elutasítása nem feltétlenül jelent környezetvédelmi megoldást.

Ha a kereslet fennmarad, a kitermelés más országba kerülhet, ahol esetleg gyengébbek a környezetvédelmi előírások és a munkavállalói jogok.

A valódi kérdés ezért nem egyszerűen az, hogy legyen-e bányászat, hanem az, hogy mennyi nyersanyagra van ténylegesen szükség, hol és milyen technológiával történjen a kitermelés, és hogyan osszuk meg annak előnyeit és költségeit.

Valóban környezetbarátabb az elektromos autó?

Az elektromos autók környezeti hatásáról folyó viták egyik leggyakoribb hibája, hogy az összehasonlítás csak a használat közbeni kibocsátásokra korlátozódik.

A belső égésű motoros autó menet közben szén-dioxidot, nitrogén-oxidokat és más szennyező anyagokat bocsát ki.

Az elektromos autónak nincs kipufogógáza, de az előállításához és a működéséhez szükséges villamos energia megtermeléséhez kapcsolódhat környezeti terhelés.

A korrekt összehasonlításhoz a teljes életciklust kell vizsgálni.

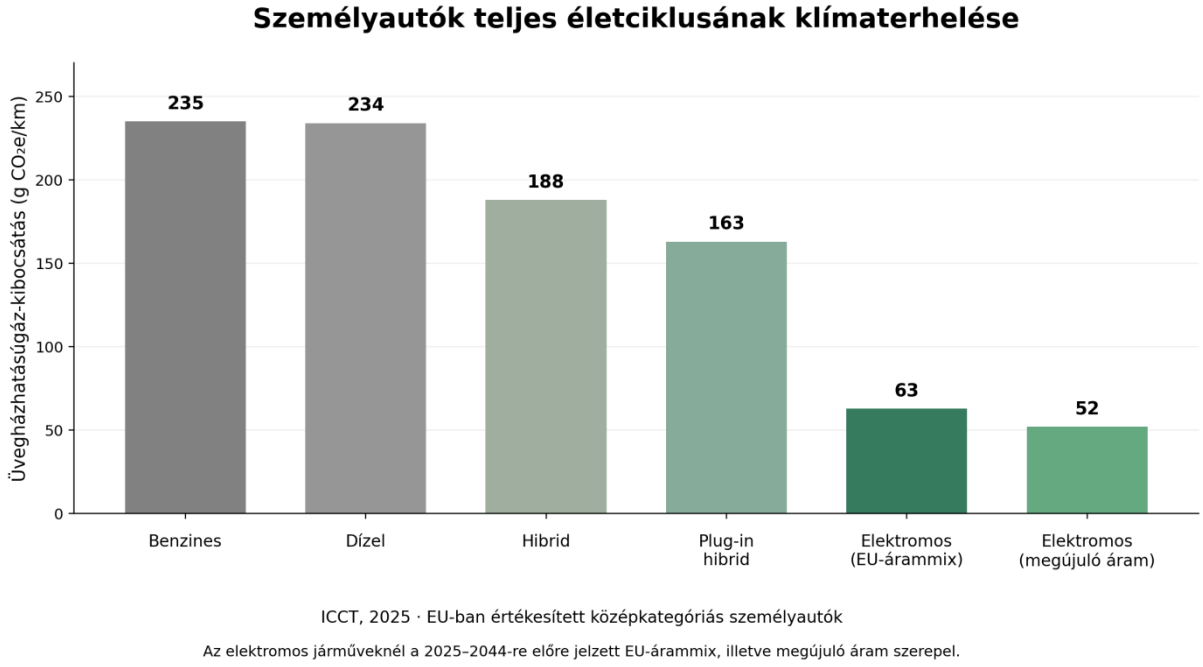
Ez magában foglalja a nyersanyagkitermelést, a feldolgozást, a járműgyártást, az akkumulátor előállítását, a használat során elfogyasztott energiát, a karbantartást és az élettartam végén történő hulladékkezelést vagy újrahasznosítást.

Az eredmény sokakat meglephet.

A Nemzetközi Tiszta Közlekedési Tanács (ICCT) 2025-ben közzétett európai életciklus-elemzése szerint az akkumulátoros elektromos autók teljes életciklusra számított üvegházhatásúgáz-kibocsátása átlagosan körülbelül 73 százalékkal alacsonyabb lehet a benzines autókénál.

A kutatás figyelembe vette az akkumulátorgyártás magasabb kezdeti kibocsátását és az európai villamosenergia-termelés várható változását is.

Személyautók teljes életciklusának becsült üvegházhatásúgáz-kibocsátása



117. ábra: személyautók teljes életciklusának üvegházhatásúgáz-kibocsátása az Európai Unióban. Az elektromos autók életciklusra vetített kibocsátása a vizsgált feltételek mellett 73–78%-kal alacsonyabb a benzines járművekénél. A számítás a gyártás, az energiaellátás, a használat, a karbantartás és az újrahasznosítás hatásait is figyelembe veszi.

Forrás: ICCT, 2025.

Az elektromos autók gyártásának kibocsátása az akkumulátor miatt általában magasabb, mint a hagyományos autóké. Az ICCT vizsgálatában ez a többlet átlagosan körülbelül 17 ezer kilométer megtétele után térült meg a kisebb használati kibocsátás révén.

Ez azonban nem minden országban és minden jármű esetében ugyanannyi.

A nagyobb akkumulátor, a nehezebb gépkocsi, a szénalapú villamosenergia-termelés és a rövid használati élettartam ronthatja az elektromos autó környezeti mérlegét.

Ezzel szemben a kisebb jármű, a hosszú élettartam és az alacsony szén-dioxid-kibocsátású villamos energia jelentősen javíthatja azt.

A klímamérleg ugyanakkor nem azonos a teljes környezeti mérleggel. A bányászat vízhasználatát, az élőhelypusztulást, a helyi levegőszennyezést és a társadalmi hatásokat külön is értékelni kell.

Az elektromos autó tehát nem szennyezésmentes, de a rendelkezésre álló életciklus-vizsgálatok alapján az európai körülmények között lényegesen kisebb üvegházhatásúgáz-kibocsátással járhat, mint a hasonló méretű benzines autó.

A többi tiszta technológia sem anyagmentes

A kérdés természetesen nem korlátozódik az elektromos autókra.

A szélerőművek hatalmas acélszerkezeteket, betonalapokat, rézkábeleket és bizonyos generátortípusoknál ritkaföldfémeket is igényelnek.

A napelemek gyártásához nagy tisztaságú szilíciumra, üvegre, alumíniumra, rézre és egyes technológiákban ezüstre vagy más speciális fémekre van szükség.

Az energiatároló rendszerek akkumulátorokat, teljesítményelektronikát, hűtőberendezéseket és villamos hálózati csatlakozásokat igényelnek.

A villamos hálózatok fejlesztéséhez pedig hatalmas mennyiségű rézre, alumíniumra, acélra és szigetelőanyagra van szükség.



118. ábra: A megújuló energia és az energiatárolás mögött összetett, jelentős anyagfelhasználással működő ipari rendszer áll.

Ezeknek a berendezéseknek azonban fontos közös tulajdonságuk, hogy működésük során nem kell folyamatosan fosszilis tüzelőanyagot elégetniük.

Egy szélerőmű vagy napelemrendszer előállítása jelentős anyag- és energiafelhasználással jár, de több évtizeden keresztül termelhet villamos energiát.

Ezért a környezeti mérlegüket nem pusztán a megépítésükhöz szükséges anyagmennyiség alapján kell megítélni, hanem a teljes élettartamuk alatt megtermelt energiára vetítve.

Egy kilogramm réz felhasználása és egy kilogramm szén elégetése környezeti szempontból nem azonos folyamat. A réz hosszú ideig használható, majd újrahasznosítható; a szén elégetésekor keletkező szén-dioxid viszont a légkörbe kerül.

Az újrahasznosítás: a jövő bányái a mai hulladékban vannak

A fémek egyik legnagyobb előnye a fosszilis tüzelőanyagokkal szemben, hogy jelentős részük újrahasznosítható.

A réz például megfelelő feldolgozással sokszor visszanyerhető és ismét felhasználható. Az akkumulátorokból is visszanyerhető a nikkel, a kobalt, a réz és a lítium jelentős része.

Az akkumulátorok újrahasznosítása azonban nem egyszerű feladat.

Először biztonságosan kezelni kell az elektromos és tűzvédelmi kockázatokat. Ezt követheti a szétszerelés, az aprítás és az anyagok szétválasztása.

A további feldolgozás során pirometallurgiai, hidrometallurgiai vagy újabb, közvetlen újrahasznosítási eljárások alkalmazhatók.



119. Az akkumulátorok és fémhulladékok újrahasznosítása csökkentheti az új bányák iránti igényt, de maga is ipari feldolgozást és energiát igényel.

Az IEA 2025-ös elemzése szerint a kritikus nyersanyagok újrahasznosításának fejlesztése 2040-ig érdemben mérsékelheti az új bányászati kapacitások iránti igényt. A jelentés szerint a visszanyert nikkel, kobalt és lítium előállításának üvegházhatásúgáz-kibocsátása átlagosan mintegy 80 százalékkal alacsonyabb lehet az elsődleges kitermelésből származó anyagokénál.

Az újrahasznosításnak azonban van egy időbeli korlátja.

A ma gyártott elektromos autók akkumulátorai sok évig használatban maradhatnak. A gyorsan növekvő akkumulátorgyártás nyersanyagigényét ezért egyelőre nem lehet teljes egészében a régi akkumulátorokból fedezni.

Az IEA 2026-os jelentése is kiemeli, hogy jelenleg az akkumulátorgyártásból származó hulladék visszaforgatása fontosabb nyersanyagforrás, mint az élettartamuk végét elérő elektromos autók akkumulátorai.

A körforgásos gazdaság tehát nem egyik napról a másikra jön létre. Évtizedek alatt kialakuló anyagkészletekre, gyűjtési rendszerekre és feldolgozóiparra van szükség.

A legzöldebb autó mindig elektromos?

Van egy kérdés, amely gyakran kimarad az elektromos autókról szóló vitákból.

Valóban szükség van-e minden autóra, amelyet legyártunk?

Egy két és fél tonnás elektromos terepjáró lényegesen több nyersanyagot és energiát igényelhet, mint egy kisebb elektromos személyautó.

Ha a járművet évente csak néhány ezer kilométeren használják, az előállítás környezeti terhe hosszabb idő alatt oszlik el.

Egy megfelelő műszaki állapotú, már legyártott autó további használata bizonyos körülmények között kedvezőbb lehet, mint annak idő előtti lecserélése egy új, nagy méretű elektromos járműre. Ez azonban függ a régi autó fogyasztásától, a várható futásteljesítménytől, az új autó gyártási terhétől és az áramtermelés összetételétől.

A kérdés tehát nem dönthető el egyetlen általános szabállyal.

A közösségi közlekedés, a kerékpározás, a gyaloglás és a járművek jobb kihasználása sok esetben még nagyobb környezeti előnyt jelenthet.



120. ábra: A fenntartható közlekedés nem kizárólag a hajtáslánc cseréjét jelenti. A járművek mérete, száma, kihasználtsága és a közlekedési rendszer egészének szerkezete is számít.

A technológiai fejlődés egyik fontos célja ezért nemcsak az lehet, hogy a hagyományos autókat elektromos autókra cseréljük, hanem az is, hogy ugyanazt a közlekedési igényt kevesebb anyag és energia felhasználásával elégítsük ki.

Ez a gondolat messze túlmutat a közlekedésen.

A környezetvédelem szempontjából nem feltétlenül az a legjobb megoldás, ha minden régi berendezést új, energiatakarékos változatra cserélünk. Az élettartam meghosszabbítása, a javíthatóság és a felesleges fogyasztás elkerülése sok esetben legalább ilyen fontos.

A tiszta jövő nem lehet mások szennyezett jelene

Az elektromos átállás szükségességét a fosszilis energiahordozók környezeti és éghajlati hatásai indokolják. A napenergia, a szélenergia és az elektromos közlekedés jelentős lehetőséget kínál az üvegházhatású gázok kibocsátásának csökkentésére.

De az átállásnak is ára van.

Ez az ár nemcsak pénzben mérhető.

Megjelenik a chilei sivatag vízháztartásában, a kongói bányászok munkakörülményeiben, az indonéz erdők pusztulásában, a rézbányák meddőtározóiban és a kohászati üzemek energiafelhasználásában.

A fejlett országok fogyasztói gyakran csak a késztermeket látják: a csendes elektromos autót, a háztetőre szerelt napelemet vagy a távolban forgó szélerőművet.

A mögöttük álló ipari lánc több ezer kilométer hosszú is lehet.

Ezért a környezetvédelem egyik legfontosabb feladata, hogy ne csak a fogyasztás helyén jelentkező környezeti hatásokat vizsgálja, hanem a teljes termelési láncot.

Nem elegendő a kibocsátásokat egyik országból a másikba áthelyezni. Nem elegendő a városok levegőjét megtisztítani, ha közben a nyersanyagtermelő térségek vízkészleteit és élővilágát veszélyeztetjük.

Ugyanakkor az sem volna helyes következtetés, hogy a bányászat környezeti terhei miatt le kell mondanunk a tisztább energiatermelésről.

A fosszilis energiarendszernek is hatalmas bányászati, szállítási, feldolgozási és környezeti terhei vannak, ráadásul a tüzelőanyagokat folyamatosan újra ki kell termelni.

A feladat nem a két rendszer hibáinak egyszerű szembeállítása, hanem az, hogy a teljes életciklusukat összehasonlítva a kisebb környezeti terhelésű megoldásokat válasszuk.

Ehhez jobb bányászati technológiákra, szigorúbb környezetvédelmi ellenőrzésre, tisztább kohászatra, tartósabb termékekre, hatékony újrahasznosításra és takarékosabb anyagfelhasználásra van szükség.

Mindenekelőtt pedig annak felismerésére, hogy a technológia önmagában nem tesz fenntarthatóvá egy társadalmat.

A valódi zöld átállás nem egyszerűen azt jelenti, hogy másfajta gépeket gyártunk. Azt is jelenti, hogy kevesebb erőforrásból, igazságosabban és hosszabb távon gondolkodva elégítjük ki szükségleteinket.

A fejezet főbb szakmai forrásai

- IEA – Global Critical Minerals Outlook 2025. A kritikus ásványi nyersanyagok kereslete, ellátási láncai és újrahasznosítása.
- IEA – Global EV Outlook 2026, Electric vehicle batteries. Akkumulátortechnológiák és újrahasznosítás.
- ICCT – Life-cycle greenhouse gas emissions from passenger cars in the European Union. A járművek teljes életciklusának összehasonlítása.

20. Az energetikai választások közös mérlege

Atomenergia, megújuló energiaforrások, fosszilis erőművek, villamos hálózatok és energiatárolás – melyiknek mi az előnye és az ára?

A modern civilizáció működésének egyik legfontosabb feltétele a megbízható energiaellátás.

Elektromos áramra van szükség a gyárakban, a kórházakban, a közlekedésben, a kommunikációs rendszerekben és otthonainkban. Az egyre nagyobb mértékű villamosítás pedig azt jelenti, hogy korábban más energiahordozókkal működő rendszerek is a villamosenergia-hálózattól függenek.

Az energetikai vitákban mégis gyakran úgy jelennek meg az egyes technológiák, mintha választani kellene közöttük.

Atomenergia vagy megújulók? Napelemek vagy szélerőművek? Földgáz vagy energiatárolás?

A valóság ennél jóval összetettebb.

A villamosenergia-rendszernek minden pillanatban biztosítania kell a fogyasztáshoz szükséges teljesítményt. Nem elegendő, ha éves szinten annyi áramot termelünk, amennyit felhasználunk.

Az áramnak akkor és ott kell rendelkezésre állnia, amikor és ahol szükség van rá.

Egy napos nyári délután jelentős napelemes többlet keletkezhet, miközben egy hideg, borult, szélcsendes téli estén egészen más termelési lehetőségekkel kell számolni.

Az ipar, a közlekedés, az egészségügy és a háztartások energiaigénye pedig nem igazodik automatikusan az időjáráshoz.

Az energetika legfontosabb kérdése ezért nem az, hogy melyik erőmű a legjobb, hanem az, hogyan lehet különböző technológiákból biztonságosan működő, megfizethető és környezetileg elfogadható rendszert kialakítani.

Miért nincs tökéletes energiaforrás?



121. ábra: A különböző energiatermelési módok eltérő természeti erőforrásokat, beruházásokat és infrastruktúrát igényelnek. Környezeti hatásaik és rendszerbeli szerepük sem azonos.

Minden energiatermelési technológiának vannak előnyei és hátrányai.

A szénerőmű jól szabályozható, megfelelő tüzelőanyag-ellátás mellett tartósan üzemeltethető, de jelentős szén-dioxid- és légszennyezőanyag-kibocsátással jár.

A gázerőmű gyorsan képes alkalmazkodni a változó villamosenergia-igényhez, de működése fosszilis tüzelőanyagtól függ, és üvegházhatású gázokat bocsát ki.

A napelem működés közben nem igényel tüzelőanyagot, és viszonylag gyorsan telepíthető, de termelése a napsugárzástól függ.

A szélerőmű szintén nem fogyaszt üzemanyagot, és kedvező helyszínen nagy mennyiségű villamos energiát állíthat elő, de termelése változékony.

A vízerőmű bizonyos típusai jól szabályozhatók és energiatárolásra is alkalmasak, ugyanakkor a duzzasztás és a folyóvízi élőhelyek átalakítása jelentős ökológiai következményekkel járhat.

Az atomerőmű nagy teljesítményű, folyamatos, alacsony szén-dioxid-kibocsátású villamosenergia-termelést biztosíthat, de beruházása költséges és hosszú időt vehet igénybe, valamint különleges biztonsági és hulladékkezelési követelményekkel jár.

A geotermikus energia megbízható hőforrás, villamosenergia-termelésre azonban elsősorban megfelelő földtani adottságok mellett gazdaságos.

A biomassza és a biogáz tárolható energiahordozót biztosíthat, de rendelkezésre állásuk korlátozott, és termelésük földhasználati, légszennyezési vagy ökológiai problémákkal is járhat.

A helyes összehasonlításnak ezért nem egyetlen tulajdonságra, hanem legalább négy alapvető kérdésre kell választ adnia: mennyibe kerül a villamos energia, mennyire megbízható a rendelkezésre állása, milyen környezeti hatásokkal jár, és hogyan illeszkedik a teljes energiarendszerbe?

Mennyi szén-dioxidot bocsátanak ki a különböző technológiák?

A klímaváltozás szempontjából az egyik legfontosabb mutató a villamosenergia-termeléshez kapcsolódó üvegházhatásúgáz-kibocsátás.

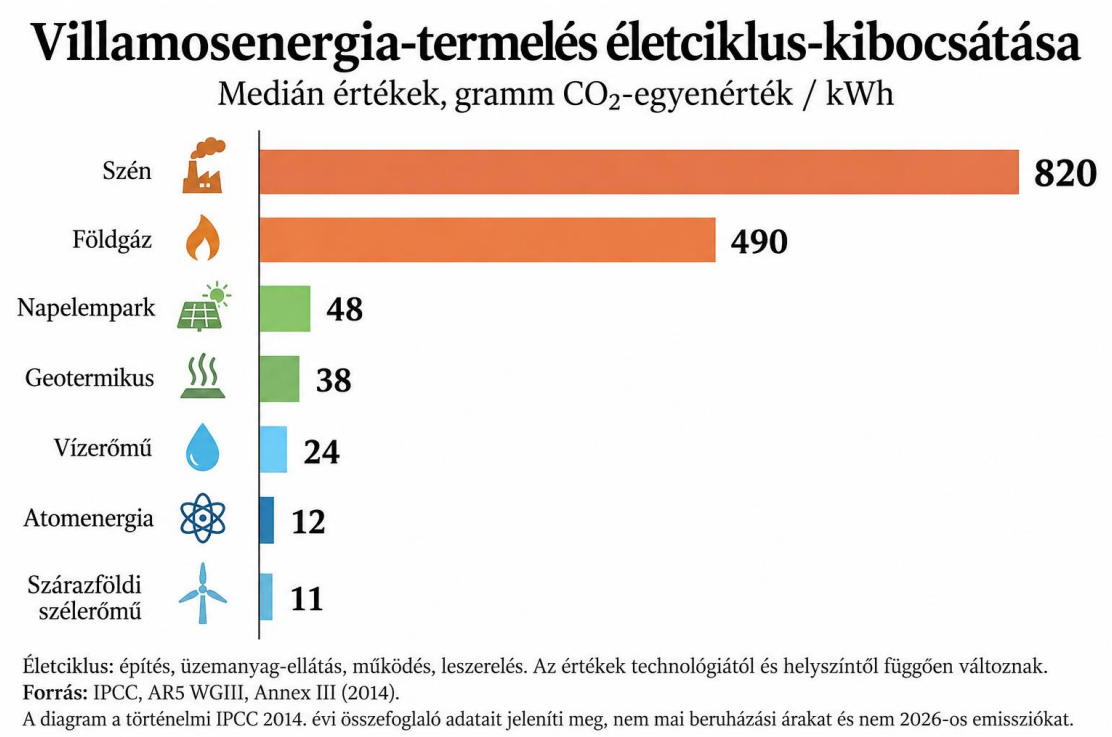
Ezt azonban nem elegendő kizárólag az erőmű működése alatt mérni.

Egy napelem működés közben nem bocsát ki szén-dioxidot, de a panelek és tartószerkezetek előállítása energiát és nyersanyagokat igényel.

Egy atomerőműben a villamosenergia-termelés nem fosszilis tüzelőanyag elégetésével történik, de az uránbányászatnak, a fűtőelemgyártásnak, az építésnek és a leszerelésnek is van környezeti lábnyoma.

A szélerőművek turbináihoz acél, beton, réz és más anyagok szükségesek, az erőművek építésének és lebontásának pedig szintén van energiaigénye.

Ezért alkalmazzák az életciklus-elemzést, amely a teljes működési láncot vizsgálja az alapanyagok kitermelésétől a berendezések leszereléséig.



A különbségek nagyságrendiek.

Az atomenergia, a szélenergia és több más megújulóenergia-technológia teljes életciklusra vetített kibocsátása nagyságrendekkel alacsonyabb lehet, mint a szénalapú villamosenergia-termelésé.

A gázerőmű kibocsátása a szénénél alacsonyabb, de továbbra is jelentős.

Ez az egyik fontos oka annak, hogy a klímaváltozás szempontjából nem helyes az atomenergiát egyszerűen a fosszilis energiaforrásokkal azonos kategóriába sorolni.

Az atomerőművek radioaktív hulladékkezelési és biztonsági kérdései valós problémák, de ezek nem változtatnak azon a tényen, hogy az atomenergia életciklus-kibocsátása alacsony.

A környezeti előnyök és kockázatok különböző természetűek, ezért külön kell őket értékelni.

Az atomenergia: nagy teljesítmény, kevés szén-dioxid – de milyen áron?



122. ábra: Az atomerőművek nagy mennyiségű villamos energiát képesek előállítani viszonylag kis területen. A hűtéshez szükséges víz és a létesítmények biztonsága azonban alapvető tervezési szempont.

Az atomenergia története szorosan összekapcsolódik a 20. század tudományos és technológiai fejlődésével.

A maghasadás során felszabaduló energiát először katonai célokra használták fel, majd fokozatosan megjelent a békés villamosenergia-termelésben is.

A működési elv alapvetően egyszerű: az urán atommagjainak hasadása hőt termel, amelyből gőz, majd a turbinák és generátorok segítségével villamos energia állítható elő.

Az atomerőmű egyik legfontosabb előnye az energiasűrűség.

A nukleáris fűtőanyag kis tömege rendkívül nagy mennyiségű energia előállítását teszi lehetővé. Az erőmű működtetéséhez szükséges fűtőanyag mennyisége ezért összehasonlíthatatlanul kisebb, mint egy hasonló teljesítményű szénerőmű szénigénye.

A másik fontos előny a kiszámítható termelés.

Az atomerőművek jellemzően magas kihasználtsággal, hosszú időn keresztül képesek működni. Termelésük nem függ közvetlenül attól, hogy süt-e a nap vagy fúj-e a szél.

Ez a villamosenergia-rendszer stabilitása szempontjából jelentős értéket képviselhet.

Az atomenergia azonban nem kockázatmentes.

A balesetek ritkák, de következményeik súlyosak lehetnek

Csernobil és Fukusima két eltérő okból bekövetkezett súlyos nukleáris baleset. A következmények értékelésénél külön kell választani a sugárterhelést, a kitelepítést és az egyéb társadalmi károkat.

A csernobili atomerőmű 1986-os balesete és a 2011-es fukusimai katasztrófa máig meghatározza az atomenergiával kapcsolatos társadalmi véleményeket.

Csernobilban súlyos tervezési hiányosságok, kezelési hibák és a biztonsági kultúra problémái együttesen vezettek a reaktor megsemmisüléséhez és jelentős radioaktív kibocsátáshoz.

Fukusimában a földrengést követő cunami megrongálta az erőmű biztonsági szempontból nélkülözhetetlen rendszereit, és súlyos reaktorbaleset alakult ki.

A két esemény különböző, de egyaránt fontos tanulságokat hordoz.

A nukleáris biztonságnak nemcsak az ismert üzemzavarokra, hanem a kis valószínűségű, de súlyos következményekkel járó eseményekre is fel kell készülnie.

Az atomerőművek tervezése, ellenőrzése, üzemeltetése és szükség esetén leszerelése ezért különösen szigorú követelményeket igényel.

A baleseti kockázat megítélésében azonban fontos megkülönböztetni az egyes halálokokat és következményeket. A közvetlen sugárhatás, a hosszú távú egészségügyi kockázatok, a kitelepítések következményei és a gazdasági veszteségek nem ugyanazok a mutatók.

Az atomenergia biztonsági mérlegét sem helyes pusztán a legismertebb balesetek alapján összeállítani, ugyanakkor a súlyos balesetek lehetőségét sem szabad figyelmen kívül hagyni.

A radioaktív hulladék problémája

A kiégett nukleáris fűtőanyag és más radioaktív hulladékok megfelelő kezelése hosszú távú felelősséget jelent.

A hulladék mennyisége a megtermelt energiához viszonyítva kicsi, veszélyessége és az egyes radionuklidok hosszú felezési ideje miatt azonban különleges tárolási és ellenőrzési megoldásokat követel meg.

A kis és közepes aktivitású hulladékok kezelése több országban már bevett technológiákra épül.

A nagy aktivitású hulladékok és a kiégett fűtőelemek végleges elhelyezése összetettebb feladat. A mélységi geológiai tárolók célja, hogy a radioaktív anyagokat hosszú időre elszigeteljék a környezettől.

A műszaki megoldások mellett társadalmi kérdés is felmerül: hogyan lehet olyan rendszert működtetni, amelynek biztonsági követelményei túlmutatnak a jelenlegi társadalmi intézmények szokásos időhorizontján?

Ez a nemzedékek közötti felelősség sajátos példája.

A ma megtermelt villamos energia hasznát a jelenlegi fogyasztók élvezik, a hulladékkezelés egyes feladatai viszont a jövő nemzedékeire is hárulhatnak.

A beruházási idő és a finanszírozás

Az atomenergia gazdasági problémái jelentős részben a beruházás időigényéből és tőkeigényéből adódnak.

Egy nagy atomerőmű létesítése összetett mérnöki és szabályozási projekt. A tervezés, engedélyezés és kivitelezés sok évet vehet igénybe.

A beruházási költségek jelentős részét akkor kell finanszírozni, amikor az erőmű még egyetlen kilowattóra villamos energiát sem termel.

Ezért a finanszírozás költsége alapvetően befolyásolja az új atomerőművek gazdaságosságát.

Az építési késedelem és a költségtúllépés különösen nagy pénzügyi következményekkel járhat.

Ugyanakkor az egyszer már megépített, megfelelő műszaki állapotú atomerőmű hosszú éveken át nagy mennyiségű villamos energiát termelhet, viszonylag alacsony közvetlen tüzelőanyag-költséggel.

Ezért nagyon fontos különválasztani egy már működő erőmű további üzemeltetésének gazdaságosságát és egy teljesen új erőmű megépítésének költségét.

A kettő nem azonos kérdés.

Az is lényeges, hogy az atomenergia nem teljesen független a külkereskedelemtől. Az uránbányászat, a dúsítás, a fűtőelemgyártás és a speciális technológiai szolgáltatások nemzetközi ellátási láncokra épülhetnek.

A nukleáris fűtőanyag ugyanakkor hosszabb időre készletezhető, ami az ellátásbiztonság szempontjából előnyt jelenthet.

Napenergia: gyors telepítés, változó termelés

A napelemes termelés kis háztartási rendszerektől nagy erőműparkokig alkalmazható. A tetőre szerelt rendszerek nem igényelnek új termőföldterületet, a nagy erőműparkok területfelhasználása viszont gondos tervezést igényel.

A napenergia az elmúlt két évtized egyik leggyorsabban fejlődő villamosenergia-termelési technológiája.

A fotovoltaikus panelek közvetlenül alakítják át a napsugárzást villamos energiává. Nincs szükség tüzelőanyagra, a működés helyi légszennyezése minimális, és a rendszerek viszonylag gyorsan telepíthetők.

A technológia további előnye, hogy jól méretezhető.

Egy családi ház tetején néhány kilowattos rendszer működhet, miközben több száz megawattos napelemparkok is építhetők.

A napelemek árának csökkenése jelentősen átalakította a villamosenergia-termelés gazdasági lehetőségeit.

Az IRENA 2026-ban közzétett, 2025-ös beruházásokat vizsgáló jelentése szerint az új közüzemi napelemes rendszerek globális átlagos kiegyenlített energiatermelési költsége mintegy 44 dollár/MWh volt. Az új szárazföldi szélerőműveké 33 dollár/MWh. Ezek a beruházás teljes élettartamára becsült termelési költségek, nem a fogyasztói villanyárak.

A napelem legfontosabb korlátja ugyanakkor a termelés időbeli változása.

Éjszaka nem termel, felhős időben csökken a teljesítménye, télen pedig Magyarországon lényegesen kisebb a rendelkezésre álló napsugárzás, mint nyáron.

Ezért a beépített teljesítményt és a tényleges villamosenergia-termelést nem szabad összekeverni.

Egy 1000 MW névleges teljesítményű napelempark nem jelent 1000 MW folyamatosan rendelkezésre álló erőművi kapacitást.

Éves szinten jelentős energiát termelhet, de a teljesítménye az időjárástól és a napszaktól függ.

A növekvő napelemes részarány ezért előbb-utóbb hálózati, szabályozási és tárolási beruházásokat is igényel.

Az sem mellékes, hová épülnek a rendszerek.

A háztetőkre telepített napelemek jellemzően nem foglalnak el új termőföldet, és a felhasználás helyéhez közel termelik az energiát.

A nagy napelemparkok viszont mezőgazdasági vagy természetvédelmi területekkel kerülhetnek versenybe.

A kérdés nem feltétlenül az, hogy szabad-e napelemparkot építeni.

Hanem az, hogyan lehet a helyszínt úgy megválasztani és a területet úgy használni, hogy a villamosenergia-termelés mellett a talaj, a mezőgazdaság és a biológiai sokféleség szempontjai is érvényesüljenek.

A megújuló energiák területigényéről szóló részbe illeszteném, közvetlenül a szélturbinák és napelemparkok környezeti konfliktusainak tárgyalása után. A svájci példából kiindulva bemutatnám a már beépített területek és infrastruktúrák kettős hasznosításának lehetőségeit is.

A sóba zárt napsütés – régi technológia új szerepben

A megújuló energiaforrások terjedésének egyik legnagyobb akadálya az energiatárolás. A napelemek éjszaka nem termelnek áramot, a szélerőművek teljesítménye pedig a széljárástól

függ. Az energiaigény viszont nem igazodik az időjáráshoz. Ezért egyre nagyobb jelentősége van azoknak a technológiáknak, amelyek a megtermelt energiát órákra vagy akár napokra képesek eltárolni.

Az egyik ilyen megoldás meglepően régi: **a napenergia hő formájában történő tárolása olvadt sóban.**

A koncentrált napenergiát hasznosító erőművekben (CSP – Concentrated Solar Power) nagyméretű, mozgatható tükrök gyűjtik össze a napsugárzást. A koncentrált fény segítségével több száz Celsius-fokra melegítenek fel egy hőhordozó közeget. A hő egy részét közvetlenül villamosenergia-termelésre használják, másik részét pedig hatalmas, hőszigetelt tartályokban tárolják.

A tárolóközeg gyakran nátrium- és kálium-nitrát keveréke, amely magas hőmérsékleten folyékony állapotú. Egyes rendszerekben a sót körülbelül 565 °C-ra hevítik. Amikor lemegy a Nap, a tárolt hő segítségével továbbra is gőzt állíthatnak elő, amely turbinát és generátort hajt meg.

Az ötlet korántsem új. Az Egyesült Államokban már az 1990-es években működött a Solar Two kísérleti naperőmű, amely mintegy 1400 tonna olvadt sóval tárolta az energiát. A spanyol Andasol 1 erőmű 2008-ban 7,5 órás tárolási kapacitással kezdte meg működését. A 2011-ben üzembe helyezett Gemasolar pedig már 15 órán át képes volt villamos energiát termelni a korábban eltárolt hőből, napsütés nélkül is.

A technológia tehát évtizedek óta ismert. Ami megváltozott, az a gazdasági és energetikai környezet.

A nap- és szélerőművek gyors terjedésével egyre gyakoribb, hogy bizonyos órákban villamosenergia-többlet keletkezik, más időszakokban viszont hiány mutatkozik. A hagyományos akkumulátorok különösen a néhány órás tárolásra alkalmasak, de a hosszabb időtartamú, nagy mennyiségű energiatárolás gazdaságossága továbbra is komoly kihívás.

Az olvadéksós rendszerek egyik előnye, hogy viszonylag olcsó, nagy mennyiségben hozzáférhető anyagokat használnak. A tárolókapacitás nagyobb tartályokkal és több tárolóanyaggal növelhető. A korszerű koncentrált naperőművek 6–16 órán keresztül is biztosíthatnak villamosenergia-termelést a napsütés megszűnése után.

Az újabb fejlesztések már nem kizárólag a napsugárzásból származó hő tárolására irányulnak. Olyan rendszerekkel is kísérleteznek, amelyek a napelemek és szélerőművek által termelt fölösleges villamos energiát alakítják hővé, majd szükség esetén ismét villamos energiává. Ezeket a megoldásokat gyakran Carnot-akkumulátoroknak nevezik.

A hőtárolás azonban nem veszteségmentes. Míg a hő viszonylag jó hatásfokkal eltárolható, a villamos energia hővé, majd ismét villamos energiává történő visszaalakítása jelentős energiaveszteséggel jár. A közvetlen napkollektoros hőtermelés és az elektromos energiából történő hőtárolás gazdaságossága ezért külön vizsgálandó.

További korlát, hogy a koncentrált naperőművek elsősorban a nagy közvetlen napsugárzású területeken, például Spanyolországban, Észak-Afrikában vagy a közel-keleti sivatagokban működnek gazdaságosan. A felhős, szórt fényben gazdag éghajlat kevésbé kedvez nekik.

Magyarországon ezért a hagyományos fotovoltaikus napelemek lényegesen alkalmasabbak a napenergia hasznosítására.

Az olvadéksós tárolásnak ugyanakkor környezeti és műszaki hátrányai is vannak. A nagy erőművek jelentős területet foglalnak el, a tárolókat magas hőmérsékleten kell tartani, a só megszilárdulását meg kell akadályozni, és a hőálló szerkezeti anyagok, valamint a korrózió elleni védelem is növelik a beruházási költségeket. Egyes erőművek hűtése jelentős vízfelhasználással járhat, ami éppen a napsütésben gazdag, száraz térségekben jelent problémát.

A technológia jövője ezért valószínűleg nem a hagyományos napelemek vagy akkumulátorok teljes kiváltásában, hanem azok kiegészítésében rejlik. Különösen ígéretes lehet az ipari hőellátásban, ahol a tárolt hőt közvetlenül hasznosíthatják, elkerülve a villamos energiává történő visszaalakítás veszteségeit.

Az olvadéksós energiatárolás története arra emlékeztet, hogy a környezetvédelemben nem minden előrelépés jelent új találmányt. Néha egy évtizedek óta ismert technológia válik igazán értékessé, mert megváltoznak azok a körülmények, amelyek között alkalmazzuk.

A jövő energiarendszerének működését várhatóan nem egyetlen csodatechnológia biztosítja majd, hanem különböző termelési és tárolási megoldások jól összehangolt együttműködése.



123. ábra: Gemasolar Thermosolar Plant In Spain

A 2011-ben üzembe helyezett, közel 20 MW-os naphőerőmű 2650 tükörrel koncentrálja a napsugárzást, és akár 15 órára elegendő hőenergiát képes eltárolni.

Amikor az energiatermelés nem igényel újabb területeket

A napenergia és a szélenergia terjedése jelentősen csökkentheti a villamosenergia-termelés környezeti terhelését, de újabb konfliktusokat is teremt. A nagy napelemparkok mezőgazdasági területeket foglalhatnak el, a szélerőművek elhelyezése pedig tájképi, zajvédelmi és természetvédelmi vitákat válthat ki. A megújuló energiaforrások használata tehát önmagában még nem jelenti azt, hogy minden környezeti probléma megszűnik.

Felmerül azonban egy kézenfekvő kérdés: miért kellene minden új energiatermelő létesítmény számára újabb területet elfoglalni, ha már meglévő építményeket is hasznosíthatunk?

Erre mutat érdekes példát Svájcban a Muttsee víztározó gátjára telepített AlpinSolar naperőmű. A Glarusi-Alpokban, mintegy 2500 méteres magasságban közel 5000 napelemet helyeztek el a hatalmas betonfalon. A 2022-ben teljes üzembe helyezett, 2,2 megawatt beépített teljesítményű rendszer tervezett éves villamosenergia-termelése körülbelül 3,3 millió kilowattóra.



124. ábra: A svájci Muttsee-gát naperőműve. A magashegységi elhelyezkedés télen is kedvező napenergia-termelést biztosíthat, miközben a rendszer egy már meglévő építményt hasznosít.

A megoldás különlegessége nem csupán a magasság. A magashegységi napelemek télen is viszonylag kedvező körülmények között működhetnek. A gyakori völgyi köd fölött több napsugárzás érheti őket, a hó visszaveri a fény egy részét, az alacsony hőmérséklet pedig javíthatja a napelemek elektromos hatásfokát. Az üzemeltető becslése szerint a rendszer éves termelésének hozzávetőleg fele a téli félévre eshet.

Ez különösen értékes Svájcban, ahol a téli villamosenergia-ellátás biztonsága kiemelt kérdés. A napelemek ráadásul egy vízerőműhöz kapcsolódó víztározó gátján kaptak helyet, ami lehetőséget teremthet a különböző energiatermelési és -tárolási technológiák összehangolására.

Természetesen ez sem költségmentes megoldás. A magashegységi építkezés, a szállítás, a karbantartás és a szélsőséges időjárás jelentős műszaki kihívást jelent. A napelemek gyártásához ugyanúgy nyersanyagokra és energiára van szükség, mint más telepítéseknél. Az előny elsősorban az, hogy nem kellett újabb mezőgazdasági vagy természetes területet elfoglalni.

A gondolat azonban messze túlmutat a svájci példán.

Egyre több országban telepítenek napelemeket nagy parkolók fölé. Az ilyen rendszerek egyszerre termelhetnek villamos energiát és árnyékolhatják a parkoló járműveket. A tetőszerkezetek alatt elektromosautó-töltők is kialakíthatók, így az energiatermelés és a közlekedés energiaellátása részben egy helyen valósulhat meg.





125. ábra: Napelemes parkolófedések és ipari épületek tetőfelületei. A meglévő területek kettős hasznosítása csökkentheti az újabb földterületek iránti igényt.

Hasonló lehetőségeket kínálnak a logisztikai központok, gyárak, raktárak és bevásárlóközpontok nagy tetőfelületei. Ezek az épületek gyakran jelentős villamosenergia-fogyasztók, így a helyben megtermelt energia egy részét közvetlenül felhasználhatják. A telepítés természetesen megfelelő tetőszerkezetet, tűzvédelmi kialakítást és hálózati csatlakozást igényel.

Kísérleti és üzemi alkalmazásokban autópályák zajvédő falaira, vasúti infrastruktúrákra, sőt egyes csatornák fölé is szerelnek napelemeket. A csatornák fölötti telepítés egy további lehetőséget is kínálhat: az árnyékolás bizonyos körülmények között mérsékelheti a víz párolgását.

Egy másik ígéretes megoldás az úszó naperőművek alkalmazása. Ezeket mesterséges tavakon, bányatavakon és víztározókon helyezhetik el. A víz hűtőhatása kedvező lehet a panelek működésére, az árnyékolás pedig csökkentheti a párolgást. Ugyanakkor a vízfelszín lefedése

hatással lehet a fényviszonyokra, a vízi élővilágra és a víz oxigénháztartására, ezért az ilyen rendszereket is gondos környezeti vizsgálatnak kell megelőznie.





126. ábra: Úszó naperőmű és csatorna fölé telepített napelemek. Ezek a megoldások többféle hasznosítást tesznek lehetővé ugyanazon a területen, de saját ökológiai és műszaki kockázataik is vannak.

A mezőgazdaságban az úgynevezett agrár-fotovoltaikus rendszerek kínálnak további lehetőséget. A megfelelően megtervezett, magasabban elhelyezett vagy ritkábban telepített panelek alatt bizonyos növényeket továbbra is termeszteni lehet, sőt egyes kultúráknál az árnyékolás mérsékelheti a hő- és vízstresszt. Más növényeknél viszont a csökkent fényellátás termésveszteséget okozhat.

Ezek a megoldások tehát nem szüntetik meg automatikusan a mezőgazdaság és az energiatermelés közötti területhasználati konfliktust, de lehetőséget teremtenek annak mérséklésére.



127. ábra: Az agrár-fotovoltaikus rendszereknél az energiatermelés és a mezőgazdasági hasznosítás ugyanazon a területen történhet. A siker a termesztett növényektől, a helyi éghajlattól és a napelemek elrendezésétől függ.

Mindezek a példák egy fontos szemléletváltásra utalnak.

Az energiatermelés környezeti hatásait nemcsak azzal lehet mérsékelni, hogy tisztább energiaforrásokat alkalmazunk. Az is számít, hogyan illesztjük az energiatermelést a már meglévő gazdasági és természeti környezetbe.

A parkolók, ipari tetők, víztározók, gátak és bizonyos mezőgazdasági területek többféle funkciót is elláthatnak. Ezzel csökkenthető az újabb területek iránti igény, és esetenként az infrastruktúra egy része is közösen használható.

Ez azonban nem jelenti azt, hogy minden ilyen megoldás automatikusan olcsóbb vagy környezetkímélőbb lenne. A telepítés költségeit, az építmények teherbírását, az energia hálózatba juttatását, a karbantartást és az ökológiai következményeket egyaránt vizsgálni kell.

A legjobb megoldás sokszor nem egyetlen technológia kizárólagos alkalmazása, hanem a helyi adottságokhoz igazított rendszerek kialakítása.

A svájci hegyekben a magashegységi napsugárzás és a meglévő vízerőművi infrastruktúra kínál különleges lehetőséget. Egy magyarországi iparterületen a nagy tetőfelületek, egy városi parkolóban az árnyékolás és az elektromosautó-töltés, egy mezőgazdasági térségben pedig a megfelelően kialakított kettős földhasználat lehet előnyös.

A környezetvédelemnek nem feltétlenül az a feladata, hogy egyre több tevékenységről mondjunk le. Sokszor az is jelentős előrelépés, ha ugyanazokat az erőforrásokat és területeket ésszerűbben, több célra és kisebb környezeti terheléssel használjuk fel.

Ez pedig jól mutatja, hogy a technológiai fejlődés és a környezetvédelem nem szükségszerűen egymás ellenfelei. Megfelelő tervezéssel éppen egymást erősíthetik.

Felhasznált források: Axpo – AlpinSolar; U.S. Department of Energy – Agrivoltaics; Environmental Research Letters – Agrivoltaikus rendszerek tervezése.

Szélenergia: olcsó villamos energia, de nem állandó teljesítmény



128. ábra: A szélerőművek mezőgazdasági területekkel együtt is működhetnek. Elhelyezésüknél azonban számolni kell a lakossági zajterheléssel, a tájképi hatással és bizonyos madár- és denevérfajok veszélyeztetésével.

A szélenergia szintén a legfontosabb alacsony kibocsátású villamosenergia-termelési módok közé tartozik.

Kedvező adottságú területeken a szárazföldi szélerőművek beruházási és üzemeltetési költsége versenyképes lehet, működésük során pedig nem igényelnek fosszilis tüzelőanyagot.

Előnyük, hogy bizonyos földrajzi térségekben a téli hónapokban és éjszaka is jelentős energiát termelhetnek, így részben kiegészíthetik a napelemeket.

Együttes alkalmazásuk ezért kedvezőbb lehet, mint ha a villamosenergia-rendszer kizárólag az egyik technológiára támaszkodna.

A szélenergia korlátja azonban az időjárásfüggőség.

A szélerőmű nem feltétlenül akkor termel a legtöbbet, amikor a fogyasztás a legmagasabb.

Egy nagy kiterjedésű, szélcsendes időjárási helyzet több ország termelését is érintheti.

Az ilyen időszakok kezeléséhez más erőművekre, energiatárolásra, nemzetközi hálózati kapcsolatokra vagy fogyasztásoldali rugalmasságra lehet szükség.

A szélerőművek természetvédelmi és társadalmi megítélése sem problémamentes.

A forgólapátok bizonyos helyszíneken veszélyeztethetik a madarakat és denevéreket. A zaj, az árnyékhatás és a tájkép megváltozása pedig lakossági ellenállást válthat ki.

Ezek a problémák megfelelő telepítéssel és üzemeltetéssel sok esetben mérsékelhetők, de nem minden esetben szüntethetők meg teljesen.

A szélenergia tehát környezeti szempontból nem terhelésmentes, hanem a fosszilis energiáktól eltérő típusú terheléssel jár.

A vízenergia: egyszerre erőmű és tárolási lehetőség

A tározós vízerőművek bizonyos esetekben szabályozható termelést biztosítanak, a szivattyús tározós rendszerek pedig energiatárolásra is alkalmasak.

A vízenergia különleges helyet foglal el a villamosenergia-rendszerben.

A folyók és víztározók energiáját hasznosító vízerőművek nem igényelnek fosszilis tüzelőanyagot, és megfelelő adottságok esetén hosszú élettartamúak.

A víztározóval rendelkező erőművek előnye, hogy a termelés bizonyos határok között a fogyasztáshoz igazítható.

A szivattyús tározós erőművek pedig nem pusztán energiatermelők, hanem energiatárolók is.

Amikor a villamosenergia-rendszerben többlettermelés van, vizet szivattyúznak egy magasabban fekvő tározóba. Amikor növekszik az energiaigény, a vizet visszaengedik a turbinákon keresztül.

A rendszer természetesen veszteséggel működik, de nagy mennyiségű energia tárolására alkalmas.

A vízerőművek építése azonban komoly környezeti kérdéseket vethet fel.

A duzzasztógátak akadályozhatják a halak vándorlását, megváltoztathatják az üledékszállítást, az árterek vízellátását és a folyó természetes élőhelyeit.

Nagy víztározók kialakítása lakossági áttelepítést is szükségessé tehet.

Ráadásul a vízenergia sem független az éghajlati viszonyoktól. Tartós aszály esetén a vízhozam csökkenhet, magas hőmérséklet mellett pedig a párolgási veszteségek is növekedhetnek.

A vízenergia tehát értékes rendszerszabályozási lehetőséget kínálhat, de alkalmazása erősen helyszínfüggő.

Földgáz és szén: miért nem lehet egyetlen nap alatt kiváltani őket?

A fosszilis erőművek megbízható és részben rugalmas termelést biztosíthatnak, de üvegházhatású gázok kibocsátásával, légszennyezéssel és folyamatos tüzelőanyag-igénnyel járnak.

A fosszilis tüzelőanyagokra épülő villamosenergia-termelés évtizedeken keresztül a modern gazdaság egyik alapja volt.

A szénerőművek nagy mennyiségű, viszonylag jól tervezhető villamos energiát biztosítottak. A gázerőművek pedig különösen a gyorsabban változó fogyasztás kiszolgálásában játszhatnak fontos szerepet.

A földgáztüzelésű, kombinált ciklusú erőművek hatásfoka kedvező lehet, és egyes gázturbinás berendezések viszonylag gyorsan indíthatók vagy szabályozhatók.

Ezért a földgáz szerepe bizonyos energiarendszerekben átmenetileg fennmaradhat még akkor is, ha a megújuló energiaforrások részaránya gyorsan növekszik.

A gázerőmű azonban nem kibocsátásmentes.

A szén-dioxid-kibocsátás mellett figyelembe kell venni a földgáz kitermelése és szállítása során fellépő metánveszteségeket is.

A szénalapú villamosenergia-termelés környezeti terhei ennél általában még nagyobbak.

A szén-dioxid-kibocsátás mellett a kén-dioxid, a nitrogén-oxidok, a finom részecskék és más szennyezőanyagok kezelését is meg kell oldani.

A modern füstgáztisztítás jelentősen csökkentheti a helyi légszennyezést, a szén-dioxid-kibocsátást azonban önmagában nem szünteti meg.

A fosszilis erőművek további hátránya a tüzelőanyagáraktól és az ellátási láncoktól való függés.

Ha egy ország jelentős mennyiségű földgázt vagy szenet importál, a villamos energia költsége a nemzetközi energiapiaci változásokra is érzékeny lehet.

A gyors bezárás ugyanakkor ellátásbiztonsági problémákat okozhat, ha a helyettesítő kapacitások, a hálózat és az energiatárolás nem állnak időben rendelkezésre.

A kérdés ezért nem egyszerűen az, hogy szükséges-e csökkenteni a fosszilis energiafelhasználást.

Hanem az, hogyan lehet ezt úgy megtenni, hogy közben ne veszélyeztessük az ipari termelést, a lakossági energiaellátást és a gazdaság működését.

Rövid közös mérleg

A különböző energiatermelési módok előnyei és hátrányai az alábbi táblázatban foglalhatók össze.

Technológia	Legfontosabb előny	Legfontosabb hátrány
Atomenergia	Alacsony kibocsátás, nagy és tartós termelés	Drága, hosszú beruházás; hulladék és baleseti kockázat
Napenergia	Gyors telepítés, alacsony működési költség	Napszak- és időjárásfüggő
Szélenergia	Alacsony kibocsátás, kedvező termelési költség	Változó termelés, helyi ökológiai és lakossági konfliktusok
Vízenergia	Egyes típusai szabályozhatók, tárolásra is alkalmas	Folyami ökoszisztémák átalakítása, vízhozamfüggés
Geotermikus energia	Megfelelő helyszínen folyamatos termelés	Földtani korlátok, fúrási költségek
Biomassza és biogáz	Tárolható energiahordozó, szabályozható felhasználás	Földhasználat, légszennyezés és korlátozott fenntartható készlet
Földgáz	Rugalmas termelés, meglévő infrastruktúra	CO_2- és metánkibocsátás, import- és árkockázat
Szén	Meglévő technológia, készletezhető tüzelőanyag	Nagy kibocsátás és jelentős környezeti terhelés

A táblázat nem rangsor.

Az egyes technológiák értéke a helyi földrajzi adottságoktól, a meglévő erőműpark összetételétől, a villamosenergia-igény időbeli alakulásától és a rendelkezésre álló infrastruktúrától függ.

Egy vízenergiában gazdag ország más lehetőségekkel rendelkezik, mint egy síkvidéki, nagyobb vízenergia-potenciál nélküli ország.

A kedvező szélviszonyokkal rendelkező tengerparti térségek más energiaszerkezetet alakíthatnak ki, mint egy olyan ország, ahol a szélenergia lehetőségei korlátozottabbak.

És az is lényeges, hogy egy ország már rendelkezik-e működő atomerőművekkel, vagy teljesen új nukleáris programot kellene elindítania.

A hálózat: az energiarendszer láthatatlan kulcsa

A villamosenergia-termelés bővítése önmagában nem elegendő. A hálózatoknak el kell juttatniuk az energiát a fogyasztókhoz, miközben folyamatosan biztosítani kell az egyensúlyt.

A közbeszédben az energetikai beruházások általában az új erőművekről szólnak.

Kevesebb figyelem jut arra, hogy az elektromos energia szállításához, elosztásához és a rendszer stabil működéséhez ugyanolyan fontos a villamos hálózat.

Egy nagy napelempark felépítése viszonylag gyors lehet, de ha nincs elegendő hálózati csatlakozási kapacitás, nem tudja teljes termelését hasznosítani.

A távoli szélerőművek által előállított energiát szintén el kell juttatni azokba a térségekbe, ahol a fogyasztás jelentkezik.

A hálózat szerepe ezért a megújulóenergia-termelés bővülésével egyre fontosabbá válik.

Az IEA Electricity 2026 jelentése szerint világszerte több mint 2500 GW összesített kapacitású, villamosenergia-hálózati csatlakozásra váró projekt torlódott fel. Ezek között megújulóenergia-termelő, energiatárolási és nagy fogyasztói projektek egyaránt szerepelnek. Az IEA szerint a hálózati beruházásoknak 2030-ig nagyjából 50 százalékkal kellene növekedniük a jelenlegi, évi mintegy 400 milliárd dolláros szintről a várható igények kielégítéséhez.

A hálózatfejlesztés tehát nem mellékes kiegészítője az energetikai átállásnak, hanem annak egyik alapfeltétele.

Az energiatárolás nem energiatermelés

Az akkumulátorok, a szivattyús tározók és más energiatárolási technológiák lehetővé teszik, hogy az energiát ne feltétlenül abban a pillanatban használjuk fel, amikor megtermeltük.

Ennek jelentősége egyre nagyobb.

Az akkumulátoros tárolók gyorsan képesek reagálni a hálózati igényekre, és megfelelő méretezés mellett segíthetnek a nappali napelemes többlet esti felhasználásában.

De egy akkumulátor nem termel energiát.

Csak korábban megtermelt energiát tárol, veszteségek mellett.

A rendszer értékelésekor ezért két különböző mutatót kell figyelembe venni: a teljesítményt és a tárolható energiamennyiséget.

Egy 100 MW teljesítményű, 400 MWh energiatároló például névleges teljesítménnyel körülbelül négy órán át tudna energiát szolgáltatni, ha a teljes megadott kapacitása hasznosítható.

Nem alkalmas azonban arra, hogy változatlan feltételekkel több napon vagy héten keresztül pótolja egy nagy térség hiányzó villamosenergia-termelését.

Ezért fontos megkülönböztetni a rövid idejű és a hosszú idejű energiatárolást.

A néhány órás tárolási feladatokra az akkumulátorok egyre több alkalmazásban versenyképesek.

A többnapos, többhetes vagy szezonális tárolás azonban más műszaki és gazdasági megoldásokat is igényelhet.

A hidrogén például hosszabb időre tárolható energiahordozó lehet, de villamos energiából történő előállítása, tárolása, majd újbóli villamos energiává alakítása jelentős veszteségekkel járhat.

A szivattyús tározók nagy mennyiségű energiát képesek tárolni, de földrajzi adottságaik és környezeti hatásaik korlátozzák telepítésüket.

Az energiatárolás tehát sok problémára megoldást kínál, de nem teszi feleslegessé sem az erőműveket, sem a hálózatokat.

Az energiahatékonyság: a legkevésbé látványos lehetőség

Az energetikai vitákban gyakran a termelési kapacitások bővítése áll a középpontban.

Pedig az energiaellátás biztonságát nemcsak több erőmű építésével lehet javítani.

Fontos lehet az energiaigény csökkentése is, amennyiben ugyanazt a szolgáltatást kisebb energiafelhasználással biztosítjuk.

A korszerű épületszigetelés csökkentheti a fűtési és hűtési igényt.

A hatékonyabb motorok és ipari berendezések mérsékelhetik a villamosenergia-fogyasztást.

Az intelligens szabályozórendszerek pedig segíthetnek abban, hogy bizonyos fogyasztásokat olyan időpontokra helyezzünk át, amikor több olcsó villamos energia áll rendelkezésre.

Ez utóbbit fogyasztásoldali rugalmasságnak nevezik.

Egy elektromos autó töltése például bizonyos korlátok között időzíthető. Egy hőtárolóval rendelkező fűtési rendszer szintén alkalmas lehet arra, hogy ne kizárólag a legnagyobb hálózati terhelés időszakában használjon villamos energiát.

Természetesen nem minden fogyasztás halasztható el.

A kórházak, adatközpontok, közlekedésbiztonsági rendszerek és számos ipari folyamat folyamatos ellátást igényelnek.

De már a fogyasztás egy részének rugalmasabb kezelése is csökkentheti az erőművi tartalékok és hálózati beruházások iránti igényt.

Az energiahatékonyság jelentősége tehát túlmutat a lakossági rezsiköltségeken.

A meg nem termelendő és meg nem szállítandó energia sok esetben elkerülhető beruházást, kisebb nyersanyagigényt és alacsonyabb környezeti terhelést jelent.

Ugyanakkor a hatékonyságjavulás sem garantálja automatikusan az összes energiafogyasztás csökkenését.

Ha egy technológia olcsóbbá és hatékonyabbá válik, az új felhasználásokat is ösztönözhet. Ezt nevezik visszapattanó hatásnak.

Az energetikai mérlegben ezért a fajlagos hatékonyság mellett a teljes energiaigényt is vizsgálni kell.

Az ellátásbiztonság: mi történik a hideg, szélcsendes téli estén?

Az energetikai rendszerek megbízhatóságát nem az éves átlagos termelés alapján lehet eldönteni.

A legnehezebb helyzetek sokszor szélsőséges időjárás idején alakulnak ki.

Egy tartósan hideg, borult, szélcsendes időszakban megnőhet a fűtési villamosenergia-igény, miközben a nap- és szélenergia-termelés alacsony.

Máskor egy nyári hőhullám során a légkondicionálás növelheti meg jelentősen a villamosenergia-fogyasztást.

A szárazság csökkentheti a vízerőművek termelését, a magas folyóvíz-hőmérséklet pedig egyes hűtővízre támaszkodó hőerőművek működését korlátozhatja.

Ez azt jelenti, hogy minden technológia rendelkezik olyan feltételekkel, amelyek mellett a termelése korlátozottá válhat.

A nap- és szélenergia időjárásfüggő.

A vízenergia vízhozamfüggő.

A fosszilis erőművek tüzelőanyag-ellátástól függenek.

Az atomerőművek pedig tervezett karbantartások, váratlan leállások vagy bizonyos hűtési korlátok miatt eshetnek ki.

Ebből következik az energiarendszerek egyik alapvető tervezési elve: a megbízható ellátás nem támaszkodhat korlátlanul egyetlen technológiára vagy egyetlen importforrásra.

El Hierro – Amikor a természet nem olvassa el a beruházási tervet

Tanulságos történet a megújuló energia korlátairól

A Kanári-szigetekhez tartozó El Hierro mintegy 11 ezer lakosú szigetén ambiciózus célt tűztek ki: a villamosenergia-ellátást teljes egészében megújuló forrásokból kívánták biztosítani. Ennek érdekében 2014-ben üzembe helyeztek egy 11,5 MW teljesítményű szélerőműparkot, amelyet szivattyús víztározós energiatárolóval egészítettek ki.

Az elképzelés egyszerűnek tűnt. Ha fúj a szél, a turbinák áramot termelnek, a fölösleges energiával pedig vizet szivattyúznak egy magasabban fekvő tározóba. Szélcsendben a visszaáramló víz hajtja a generátorokat.

A sziget villamosenergia-fogyasztása átlagosan 5–6 MW körüli, tehát a szélerőművek névleges teljesítménye bőségesnek látszott. A rendszer mégsem teljesítette az eredeti célt: 2025-ben a villamosenergia-termelés mindössze mintegy 44 százaléka származott megújuló forrásból. A többit döntően dízelgenerátorok biztosították.

Pedig a tervezők nem dolgoztak vakon. Már egy 2005-ben megjelent tudományos tanulmány négy év szélmérési adataira és a villamosenergia-fogyasztás vizsgálatára épült. Az egyik optimalizált rendszerre mindössze 68,4 százalékos megújuló részarányt számítottak. Ez nem a később megépített rendszer közvetlen előrejelzése volt, de jól jelezte a teljes önellátás nehézségeit.

A probléma ugyanis nem az éves átlagos termeléssel, hanem az időzítéssel jelentkezett. A szél nem feltétlenül akkor fúj, amikor a fogyasztás a legnagyobb. A tároló pedig hosszabb szélcsendes időszakban kimerülhet. A fogyasztási csúcsokat, a széljárás ingadozását és a tároló korlátait együttesen kell figyelembe venni.

A beruházás ugyanakkor jelentős mennyiségű dízelüzemanyagot takarít meg, tehát nem tekinthető haszontalannak. A kitűzött teljes önellátási cél azonban nem valósult meg.

El Hierro története jól mutatja, milyen veszélyes, ha az energetikai célkitűzések és a mérnöki realitások eltávolodnak egymástól. A szél ugyanis nem alkalmazkodik sem az üzleti tervhez, sem a politikai ígéretekhez.

Források: Bueno–Carta (2005), Technical–economic analysis of wind-powered pumped hydrostorage systems; Red Eléctrica; Gorona del Viento, éves termelési adatok.

A változatos erőműpark, a megfelelő tartalékok, az összekapcsolt villamos hálózatok, az energiatárolás és a fogyasztás szabályozhatósága együttesen járulhat hozzá az ellátásbiztonsághoz.

Egy ország számára ezért az energiatermelés költségét nem lehet kizárólag az egyes erőművek által megtermelt kilowattóra árával jellemezni.

Figyelembe kell venni a teljes rendszer költségét is.

Ide tartoznak a hálózati beruházások, az energiatárolók, a tartalékkapacitások, a szabályozási szolgáltatások és a hálózat stabil működtetésének egyéb feltételei.

Egy olcsó villamosenergia-termelő technológia sem feltétlenül jelenti önmagában a legolcsóbb teljes energiarendszert.

De az sem következik ebből, hogy a megújuló energiaforrások magas részaránya szükségszerűen drága vagy megbízhatatlan rendszert eredményezne.

A végső eredmény az alkalmazott technológiák kombinációjától, a hálózati kapcsolatoktól, a rugalmassági lehetőségektől és a helyi adottságoktól függ.

Magyarország különleges helyzete

Magyarország villamosenergia-rendszerében az atomenergia és a napenergia eltérő szerepet tölt be. Az egyik nagy mennyiségű, időjárástól nagyrészt független termelést biztosít, a másik elsősorban a nappali órákban járul hozzá az ellátáshoz.

Magyarország energetikai adottságai jól mutatják, miért nincs minden országra egyformán alkalmazható megoldás.

A Paksi Atomerőmű hosszú idő óta meghatározó szerepet tölt be a hazai villamosenergia-termelésben.

Emellett az elmúlt években gyorsan nőtt a napelemes rendszerek teljesítménye, és jelentősen átalakult a nappali órák termelési szerkezete.

A napelemes termelés bővülése csökkentheti az importigényt és bizonyos időszakokban a fosszilis erőművek termelését.

Ugyanakkor a növekvő nappali termelési csúcsok és az esti fogyasztás közötti különbség egyre fontosabbá teszi a hálózatfejlesztést, a fogyasztásoldali rugalmasságot és az energiatárolást.

Az atomenergia bővítésének kérdése viszont elsősorban hosszú távú beruházási, finanszírozási, műszaki és geopolitikai döntés.

A rendelkezésre álló vízkészletek, a nemzetközi villamosenergia-kapcsolatok és a jövőbeli fogyasztás alakulása szintén befolyásolják a lehetséges megoldásokat.

Magyarország esetében a megújulók és az atomenergia nem feltétlenül egymás kizárólagos alternatívái.

A kérdés inkább az, hogyan lehet a különböző termelési módokat, a hálózatot és a fogyasztást gazdaságosan összehangolni.

Ebben a vitában az atomenergia ellenzőinek éppúgy számolniuk kell a folyamatos villamosenergia-ellátás követelményeivel, mint a megújulók bírálóinak azok alacsony kibocsátásával, fejlődő technológiájával és gyors telepíthetőségével.

A szakmai mérlegelés nem helyettesíthető politikai vagy technológiai elköteleződéssel.

A jövő energiarendszere nem egyetlen erőműtípusból áll

Az IEA adatai szerint 2025-ben a megújuló energiaforrások a világ villamosenergia-termelésének mintegy 34 százalékát biztosították, az atomenergiával együtt számítva pedig az alacsony kibocsátású termelés részaránya 43 százalékot ért el.

A szén ugyanakkor továbbra is a legnagyobb önálló villamosenergia-forrás maradt, mintegy 34 százalékos részaránnyal, a földgáz pedig körülbelül 21 százalékot biztosított.

A világ tehát egyszerre két folyamatot él át.

Gyorsan bővül az alacsony szén-dioxid-kibocsátású villamosenergia-termelés, miközben a fosszilis energiahordozók még mindig meghatározó szerepet töltenek be. A következő évtizedek egyik legnagyobb feladata ennek az aránynak a megváltoztatása úgy, hogy közben a villamosenergia-ellátás megbízható és megfizethető maradjon. Ehhez nem elegendő az erőművek kibocsátását önmagában összehasonlítani. A teljes rendszerben kell gondolkodni. Az atomenergia nagy mennyiségű, időjárástól nagyrészt független villamos energiát termelhet.

A nap- és szélenergia gyorsan bővíthető, alacsony kibocsátású forrás.

A vízenergia és bizonyos más technológiák szabályozhatóságot biztosíthatnak.

Az akkumulátorok és más energiatárolók a termelés és fogyasztás időbeli eltéréseit mérsékelhetik.

A villamos hálózatok összekapcsolják a termelést a fogyasztással, az energiahatékonyság pedig csökkentheti a szükséges kapacitásokat.

A fosszilis erőművek egy része átmenetileg fontos szabályozási szerepet tölthet be, miközben a kibocsátáscsökkentési célok éppen használatuk fokozatos visszaszorítását indokolják.

A megfelelő energiaszerkezet országonként és időszakonként eltérhet.

Ezért a technológiai megoldások közötti választásnak nem általános jelszavakon, hanem összehasonlítható adatokon, hosszú távú rendszertervezésen és az alternatívák valós költségein kell alapulnia.

Ki fizeti meg az energetikai átállás árát?

A könyv alapvető kérdése az energetikában különösen élesen jelenik meg.

Az új erőművek, a villamos hálózatok, az energiatárolók és az energiahatékonysági beruházások jelentős tőkét igényelnek. A finanszírozás származhat vállalatoktól, magánbefektetőktől, állami támogatásokból vagy a fogyasztók által megfizetett díjakból.

A beruházások költsége tehát végső soron valamilyen módon megjelenik a gazdaságban.

Ugyanakkor a beruházások elmaradásának is ára lehet.

Az ellátási zavarok, a magas tüzelőanyagárak, a légszennyezés, az üvegházhatású gázok kibocsátása és a klímaváltozás következményei szintén társadalmi költségeket okoznak.

A döntések ezért nem egyszerűen a drága és az olcsó megoldások közötti választásról szólnak. Sokszor a jelenlegi beruházási költségeket kell összevetni a jövőbeli működési, környezeti és ellátásbiztonsági kockázatokkal. A megfelelő energiapolitika nem feltétlenül azt jelenti, hogy minden ország ugyanazt a technológiai megoldást választja.

Inkább azt, hogy a helyi adottságok alapján olyan rendszert alakít ki, amely hosszú távon biztosítja a szükséges energiát, miközben elfogadható szinten tartja a gazdasági, környezeti és társadalmi terheket.

A legfontosabb tanulság, hogy az energiatermelésnek nincs költségmentes és minden szempontból tökéletes megoldása. A felelős választás nem valamelyik technológia feltétlen támogatása vagy elutasítása, hanem az előnyök és hátrányok együttes mérlegelése.

Mert a villamos energia ára nem csupán a számlán szereplő összeg.

Része a beruházás, a tüzelőanyag, az infrastruktúra, a környezeti terhelés, az ellátásbiztonság és azoknak a döntéseknek a következménye is, amelyeket ma hozunk meg a következő nemzedékek számára.

Források és további olvasmányok

- IPCC: Climate Change 2014 – Mitigation of Climate Change. Az energiatermelési technológiák életciklus-kibocsátásának összehasonlítása, különösen a III. melléklet.
- UNECE (2021): Life Cycle Assessment of Electricity Generation Options. Az energiatermelés környezeti hatásainak szélesebb életciklus-elemzése.
- IEA (2026): Global Energy Review – Electricity Supply. A világ villamosenergia-termelésének 2025-ös összetétele.
- IEA: Electricity 2026. A hálózatok, a rugalmasság és az energiatermelés várható változásai.
- IRENA (2026): Renewable Power Generation Costs in 2025. A megújulóenergia-technológiák beruházási és energiatermelési költségei.
- Nemzetközi Atomenergia-ügynökség (IAEA): Nuclear Power. Az atomenergia működése, műszaki és biztonsági kérdései.

V. Háború, pusztítás és környezeti örökség

21. A háborúk láthatatlan környezeti ára

Amikor háborúról beszélünk, legtöbbször az emberi áldozatokra, a lerombolt városokra, a menekültekre és a gazdasági veszteségekre gondolunk. A hadműveletek azonban a természetben is pusztítanak. Erdők égnek el, folyók szennyeződnek, olajkutak gyulladnak ki, vegyi üzemek semmisülnek meg. A harckocsik, repülőgépek és hadihajók hatalmas mennyiségű üzemanyagot fogyasztanak, a robbanások mérgező anyagokat juttathatnak a környezetbe, a romba dőlt városok újjáépítése pedig újabb energiafelhasználással és kibocsátással jár. A háború környezeti következményei gyakran évtizedekkel a fegyverek elhallgatása után is fennmaradnak.

A háború, amelynek nincs környezetvédelmi mérlege

A modern gazdaságban egyre több tevékenység környezeti hatását próbáljuk számszerűsíteni. A vállalatok jelentik energiafelhasználásukat, az ipari létesítmények kibocsátását ellenőrzik, az autógyártók számára fogyasztási és károsanyag-kibocsátási előírásokat határoznak meg.

A hadseregek működésének környezeti hatásairól azonban sokkal kevesebbet tudunk.

A katonai tevékenységek jelentős részét nemzetbiztonsági okokra hivatkozva titkosítják. Sok országban a katonai üzemanyag-felhasználásra és kibocsátásokra vonatkozó adatok hiányosak, nem egységesek vagy egyáltalán nem nyilvánosak.

A nemzetközi klímavédelmi szabályozás sem biztosít teljes, egységes és minden országra kiterjedő katonai kibocsátási nyilvántartást. A katonai kibocsátások egyes tételei ugyan a nemzeti üvegházhatásúgáz-leltárakban szerepelhetnek, de az adatok részletessége és átláthatósága erősen eltér.

Pedig a hadseregek a világ legnagyobb intézményi energiafogyasztói közé tartoznak.

Egy harckocsi száz kilométeren akár több száz liter üzemanyagot is elfogyaszthat. A sugárhajtású harci repülőgépek óránként több ezer liter kerozint használhatnak fel. A hadihajók, katonai szállítórepülőgépek, logisztikai járművek és katonai támaszpontok folyamatos energiaellátást igényelnek.

És mindez nemcsak háború idején történik.

A kiképzés, a hadgyakorlatok, a fegyverrendszerek tesztelése, a katonai repülések és a békeidőben fenntartott infrastruktúra is jelentős környezeti terheléssel jár.

A Scientists for Global Responsibility és a Conflict and Environment Observatory 2022-es tanulmánya szerint a világ katonai tevékenységeinek teljes szénlábnyoma a globális üvegházhatásúgáz-kibocsátás mintegy 5,5 százalékát is elérheti.

Ez nem közvetlenül mért, pontos adat, hanem jelentős bizonytalanságokkal terhelt becslés. A kutatók 3,3 és 7 százalék közötti tartományt adtak meg.

A világ katonai tevékenységeinek becsült részesedése a globális üvegházhatású gáz-kibocsátásból

5,5%

központi becslés, 2022-es tanulmány

A becslés bizonytalansági tartománya 3,3–7,0%. Nem kizárólag a harcok kibocsátását, hanem a katonai szektorhoz kapcsolódó ellátási láncokat is vizsgálja.

A becslés nagyságrendje figyelemre méltó. Ugyanakkor külön kell választanunk a hadseregek békeidőbeli működését és egy konkrét háború további környezeti terheit.

A háború ugyanis nemcsak a fegyveres erők energiafogyasztását növeli. Olyan pusztítást is okoz, amely a katonai üzemanyag-felhasználási kimutatásokban egyáltalán nem jelenik meg.

A hadműveletek közvetlen kibocsátása

A modern hadviselés rendkívül energiaigényes tevékenység.

Egy páncélos hadosztály mozgatása több ezer jármű üzemanyag-ellátását, karbantartását és utánpótlását igényelheti. Az üzemanyag szállításához további teherautókra, vasúti szerelvényekre vagy tartályhajókra van szükség.

A légierő működése még jelentősebb energiafelhasználással járhat.

Egyetlen katonai repülőgép bevetésének környezeti terhe nemcsak a közvetlen üzemanyag-fogyasztásból származik. A repülőgép gyártása, a fegyverzet előállítása, a repülőtér fenntartása, az üzemanyag finomítása és szállítása mind hozzájárul a teljes életciklus terheléséhez.





129. ábra A modern hadviselés hatalmas üzemanyag- és logisztikai igénnyel jár. A harci járművek mellett az utánpótlási rendszer is jelentős energiafogyasztó.

A fegyvergyártás további környezeti költséget jelent.

Az acél, az alumínium, a titán, a különleges ötvözetek, a műanyagok és az elektronikai alkatrészek előállítása energiát és nyersanyagokat igényel.

A rakéták, robbanóanyagok és lőszerek gyártásához jelentős vegyipari kapacitásra is szükség van.

Egy kilőtt rakéta vagy elhasznált lőszer nem egyszerűen anyagot fogyaszt el. Az előállításához szükséges ipari folyamatok teljes környezeti terhe hozzáadódik a háború mérlegéhez.

A környezet szempontjából ráadásul teljesen mindegy, hogy egy rakéta elérte-e a célját, vagy megsemmisült útközben. Az előállítására fordított energia és nyersanyag már nem nyerhető vissza teljes egészében.

A hadviselésben tehát hatalmas anyag- és energiaáramlások működnek, amelyek közvetlenül nem állítanak elő társadalmilag hasznos javakat, hanem jelentős részben megsemmisülnek, illetve pusztítást okoznak.

Amikor az ipari létesítmény válik célponttá

A modern háborúk egyik legsúlyosabb környezeti veszélye az ipari infrastruktúra pusztulása.

Az olajfinomítók, üzemanyag-tárolók, vegyi gyárak, műtrágyaüzemek, elektromos erőművek, gázvezetékek és víztisztító telepek egyaránt stratégiai jelentőségű létesítmények.

Katonai szempontból megsemmisítésük megbéníthatja az ellenfél gazdaságát, hadseregének üzemanyag-ellátását vagy infrastruktúráját.

Környezetvédelmi szempontból azonban rendkívül veszélyes célpontok.

Egy olajfinomítóban nagy mennyiségű éghető folyadék, gáz, technológiai vegyszer és katalizátor található. Egy találat tüzet, robbanást és mérgező anyagok kibocsátását idézheti elő.

Az égő szénhidrogénekből korom, szén-monoxid, nitrogén-oxidok, kén-dioxid és más szennyező anyagok kerülhetnek a levegőbe. Tökéletlen égés során különféle szerves vegyületek, köztük rákkeltő tulajdonságú anyagok is keletkezhetnek.

A szennyezett oltóvíz, az elfolyt olaj és az ipari vegyszerek a talajba és a felszíni vizekbe kerülhetnek.



130. Egy olajipari létesítmény tüze egyszerre jelent levegőszennyezési, talajszennyezési és vízminőségi kockázatot. A szennyezés hatása a katonai célpont környezetén messze túlterjedhet.

A vegyi üzemeknél a helyzet még összetettebb.

Nemcsak az számít, hogy milyen anyag található az üzemben, hanem az is, hogyan reagál a hőre, a vízre, a levegőre vagy más vegyszerekre.

Bizonyos anyagok égése során az eredetinél mérgezőbb bomlástermékek keletkezhetnek.

Egy raktár vagy gyár megsemmisítésekor a környezetbe kerülő szennyező anyagok mennyiségét gyakran lehetetlen azonnal megállapítani. A műszerek megsemmisülhetnek, a szakemberek elmenekülhetnek, a helyszín pedig katonai okokból hozzáférhetetlenné válhat.

Így a szennyezés sokszor éppen akkor marad mérés nélkül, amikor a legnagyobb.

1991: amikor Kuvait fölött elsötétült az ég

A modern háborúk egyik legismertebb környezeti katasztrófája az 1991-es öbölháború során következett be.

Az Irak által megszállt Kuvait felszabadításakor a visszavonuló iraki erők tömegesen felgyújtották a kuvaiti olajkutakat.

Több mint 600, egyes nyilvántartások szerint körülbelül 700 olajkút égett. A lángok és a sűrű fekete füst hatalmas területeket borítottak be.



131. Égő olajkutak Kuvaitban, 1991-ben. A tüzek hónapokon keresztül rendkívüli mennyiségű kormot és égésterméket juttattak a légkörbe.

A tűzvész olyan méretű volt, hogy az űrből is jól megfigyelhetővé vált.



132. A NASA űrrepülőgépről készült 1991. áprilisi felvételén hatalmas fekete füstcsóvák húzódnak Kuvait fölött. A tűzvész következményei a világűrből is láthatók voltak. Forrás: NASA, STS-37.

A kutakból nemcsak égő olaj tört fel. Sok helyen nagy mennyiségű kőolaj ömlött a felszínre, és olajtavakat képezett.

A sivatagi homok olajjal és égéstermékekkel szennyeződött. A kicsapódó korom és más anyagok lerakódtak a talajon, növényzeten és az épületeken.

A lángok oltása rendkívül nehéz műszaki feladat volt. Nemzetközi tűzoltó- és olajipari szakértőcsoportok dolgoztak a kutak lezárásán. A nagy olajkúttüzeket végül 1991 novemberére sikerült eloltani.

A katasztrófa idején felmerült az a félelem is, hogy a hatalmas füstfelhő globális éghajlati lehűlést okozhat.

A későbbi megfigyelések alapján ez nem következett be. A füst nagy része a légkör alsó rétegeiben maradt, és hatása elsősorban regionálisan jelentkezett.

A kuvaiti tüzek tanulsága ettől még súlyos.

Egy ipari létesítménycsoport szándékos elpusztítása olyan környezeti károkat okozhat, amelyek nem érnek véget a tüzek eloltásával.

Az olajjal szennyezett talaj, az érintett ökoszisztémák és a felszín alatti vizek helyreállítása sokkal tovább tarthat.

A katasztrófa azt is megmutatta, hogy az ipari társadalom környezeti kockázatai háborús körülmények között megsokszorozódhatnak.

Ukrajna: a háború, amely a földet is pusztítja

Az Oroszország által 2022 februárjában megindított teljes körű ukrajnai invázió különösen jól mutatja, milyen összetett egy modern háború környezeti mérlege.

A harcok hatalmas mezőgazdasági területeket, erdőket, ipari központokat, bányavidékeket és sűrűn lakott városokat érintenek.

A környezeti károk több forrásból származnak.

A hadműveletek közvetlen energiafogyasztása mellett jelentős kibocsátást okoznak az olajtárolók és ipari létesítmények tüzei, az erdők és mezőgazdasági területek égése, valamint az épületek és az infrastruktúra pusztulása.

A háború nemcsak Ukrajna területén okoz környezeti károkat. Az oroszországi olajfinomítók és más energetikai létesítmények elleni ukrán támadások is járhatnak tűzzel és szennyezéssel.





133. Az ukrajnai háború környezeti következményei: energetikai létesítmények tüzei, romba dőlt ipari és lakóterületek, valamint súlyosan károsodott erdők.

A háború éghajlati hatásait egy nemzetközi kutatói kezdeményezés, az Initiative on GHG Accounting of War is vizsgálja.

A 2026 februárjában közzétett, az invázió első négy évét feldolgozó értékelés szerint a háborúhoz kapcsolódó összes becsült üvegházhatásúgáz-kibocsátás elérte a 311 millió tonna szén-dioxid-egyenértéket.

Ez nagyságrendileg Franciaország egyéves kibocsátásával vethető össze.

Az ukrajnai háború becsült éghajlati terhe

311 millió tonna CO_2-egyenérték,

2022. február – 2026. február

Forrás: Initiative on GHG Accounting of War. A két adat egymást követő kumulatív becslés, nem két külön kibocsátási időszak.

> A becslés a közvetlen hadműveleteket, a tüzeket és más közvetett hatásokat, valamint a jövőbeli újjáépítés várható kibocsátásának egy részét is tartalmazza. Nem valamennyi kibocsátás keletkezett már meg a vizsgált időszakban.

A kutatók különféle módszerekkel becsülték a katonai járművek üzemanyag-fogyasztását, a tüzek kibocsátását, a polgári légi közlekedés megváltozott útvonalainak hatását és a pusztulás utáni újjáépítés várható szén-dioxid-terhét.

A számítások szükségszerűen bizonytalanok, hiszen háborús körülmények között a pontos üzemanyag-fogyasztás, a megsemmisült anyagok mennyisége és számos más adat nem ellenőrizhető teljes körűen.

Az eredmény mégis megmutatja, hogy egy nagy háború klímahatása önmagában is nemzetgazdasági nagyságrendű lehet.

Az erdők, amelyekben már nem fák állnak

Az ukrajnai háború egyik kevésbé ismert következménye az erdők pusztulása.

A tüzérségi támadások, a rakéták és a felrobbanó lőszerek tüzeket okozhatnak. Az erdőkben kialakított katonai állások, lövészárkok és utak felszabdalják az élőhelyeket.

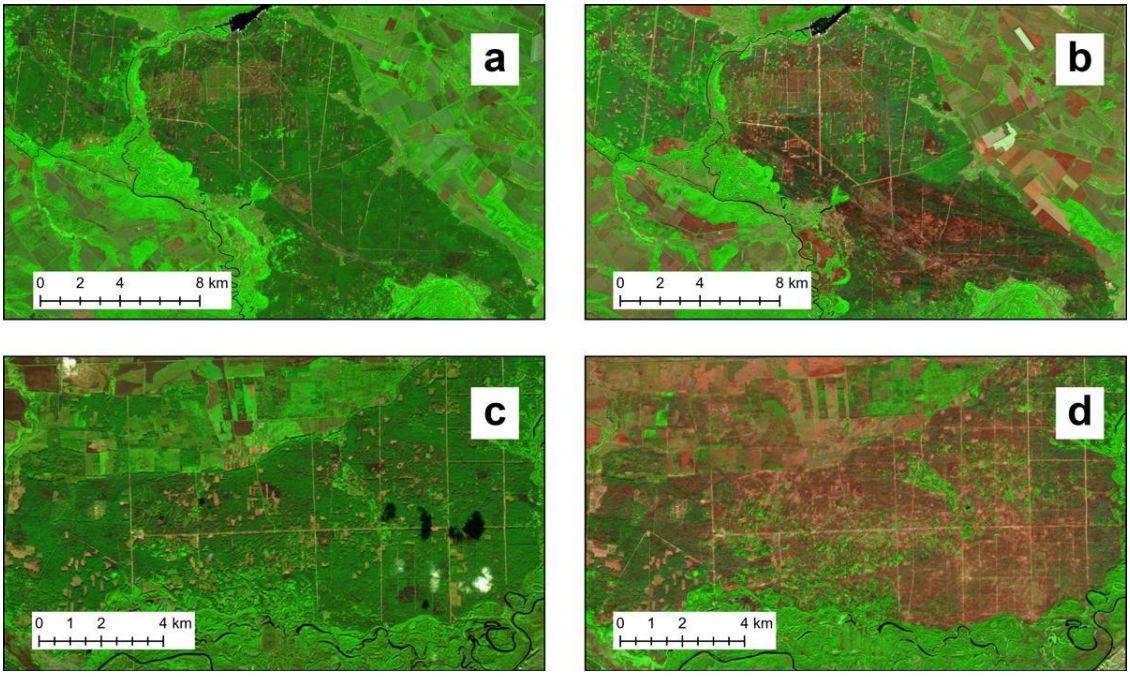
A nehéz harcjárművek tömörítik a talajt, károsítják a növényzetet és megváltoztatják a víz természetes mozgását.

Különösen súlyos a helyzet ott, ahol a harcok hosszú időn keresztül ugyanazon a területen zajlanak.



134. Az ukrajnai Szerebrjanszkij-erdő térségében a hosszan tartó harcok jelentős erdőpusztulást okoztak. A fák pusztulása mellett a talaj és az ökoszisztéma szerkezete is károsodik.

A svéd mezőgazdasági egyetem, az SLU műholdas vizsgálatai is kimutatták a háborús erdőkárok jelentőségét. A harcok és tüzek érintették többek között a Dnyeper menti erdőket, a harkivi és luhanszki térséget, valamint a csernobili zónát.



135. Műholdas megfigyelésekkel feltérképezhető háborús erdőkárok. Az ilyen vizsgálatok különösen fontosak az aknákkal és fel nem robbant lőszerekkel szennyezett, megközelíthetetlen területeken.

Az erdőtüzek szén-dioxidot és kormot juttatnak a légkörbe, miközben csökkentik az erdők jövőbeli szénmegkötő képességét is.

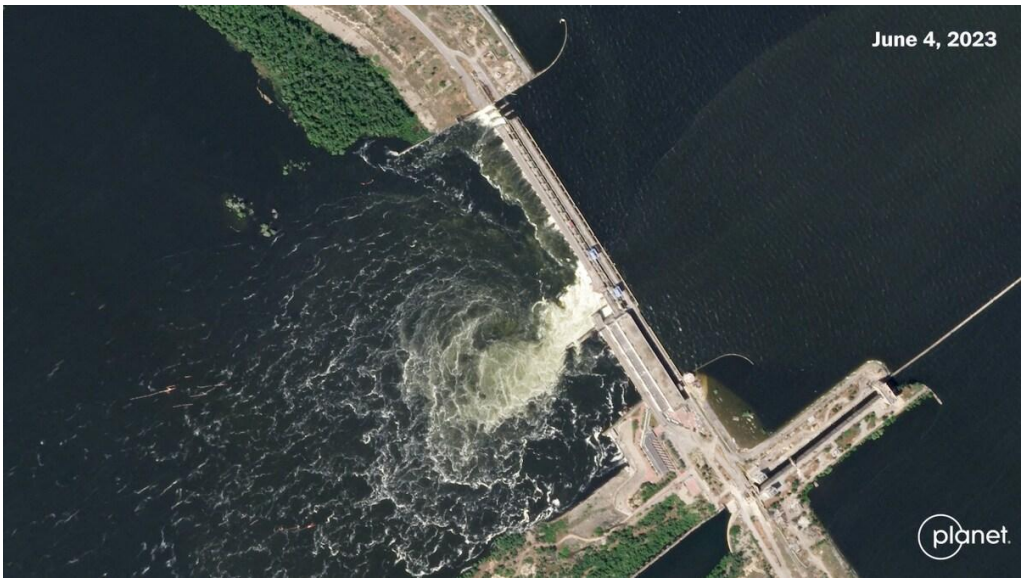
A helyreállítás sok esetben nem kezdődhet meg a háború végével. Előbb aknamentesíteni kell a területet, el kell távolítani a fel nem robbant lőszereket, és meg kell vizsgálni a talaj szennyezettségét.

Előfordulhat, hogy egy erdő természetes regenerációja évtizedekre megszakad.

A kahovkai gát pusztulása

A háború egyik legsúlyosabb környezeti eseménye 2023. június 6-án következett be, amikor átszakadt a Dnyeper folyón található kahovkai víztározó gátja.

A hatalmas mennyiségű kiáramló víz településeket, mezőgazdasági területeket és természetes élőhelyeket öntött el.





136. A kahovkai gát 2023-as pusztulása: az áradás és a víztározó kiürülése egyszerre alakította át a folyó menti környezetet.

Az árvíz szennyvizet, üzemanyagot, mezőgazdasági vegyszereket és más szennyező anyagokat sodorhatott magával.

A víztározó kiürülése ugyanakkor a vízellátást, az öntözőrendszereket és a korábbi vízi élőhelyeket is érintette.

A katasztrófa különösen tanulságos, mert egyszerre mutatta meg a víz túlzott mennyiségéből és a víz hiányából származó környezeti veszélyeket.

Az egyik területen pusztító árvíz keletkezett, a másikon pedig megszűnt a korábban rendelkezésre álló vízkészlet.

A háború így nemcsak épületeket és ipari létesítményeket pusztít el, hanem alapvetően megváltoztathatja egy egész térség vízgazdálkodását.

A Közel-Kelet: amikor az olaj és a víz egyszerre válik fegyverré

A Közel-Kelet háborúinak környezeti következményei különösen súlyosak lehetnek, mert több alapvető sérülékenység találkozik a térségben.

Sok országban rendkívül korlátozottak az édesvízkészletek. A nagyvárosok vízellátása szivattyútelepektől, tengervíz-sótalanító létesítményektől és energiaigényes vízkezelő rendszerektől függ.

Ugyanakkor a térségben található a világ számos legfontosabb olaj- és földgáztermelő létesítménye, kikötője és szállítási útvonala.

Ez azt jelenti, hogy az energiaipari infrastruktúra pusztulása egyszerre válthat ki gazdasági válságot, környezetszennyezést és vízellátási problémákat.

Egy olajterminál vagy finomító elleni támadás során a levegőbe jutó füst sokszor csak a károk leglátványosabb része.

A tengerbe kerülő olaj, az elpusztult vízkezelő berendezések és a szennyezett talaj hosszabb távon is veszélyeztethetik a lakosságot.

Gáza: amikor a romok is környezeti veszéllyé válnak

A Gázai övezetben 2023 októberétől zajló háború környezeti következményeit az ENSZ Környezetvédelmi Programja (UNEP) külön jelentésekben vizsgálta.

A 2025 szeptemberében közzétett értékelés megállapította, hogy a harcok rendkívül súlyos károkat okoztak a vízellátásban, a szennyvízkezelésben, a mezőgazdasági területeken és a települési infrastruktúrában.

A jelentés szerint a háború következtében körülbelül 61 millió tonna törmelék halmozódott fel a Gázai övezetben. A romok között veszélyes anyagok, például azbeszt, nehézfémek, ipari hulladékok és fel nem robbant lőszerek is előfordulhatnak.







137. A Gázai övezetben a települések pusztulása, a víz- és csatornarendszer károsodása, valamint a mezőgazdasági területek elvesztése egymást erősítő környezeti válságot okozott.

A romeltakarítás önmagában is rendkívül összetett feladat.

A beton, tégla és fémhulladék jelentős része elvileg újrahasznosítható volna, de előbb el kell választani a veszélyes anyagoktól és a robbanótestektől.

A romok között emberi maradványok is lehetnek, ami a helyreállítást humanitárius és kegyeleti szempontból is érzékennyé teszi.

Az épületek lerombolásával párhuzamosan a víz- és szennyvízhálózat is súlyosan károsodott.

A tisztítatlan szennyvíz a talajba és a tengerbe juthat, a felszín alatti vizek pedig elszennyeződhetnek.

Az UNEP 2025-ös jelentése szerint Gáza faültetvényeinek mintegy 97 százaléka, cserjés növényzetének 95 százaléka és egynyári növénykultúráinak 82 százaléka károsodott vagy pusztult el a vizsgált időszakban.

A növényzet elvesztése nemcsak az élelmiszer-termelést érinti.

A növényzet védi a talajt az eróziótól, segíti a csapadékvíz beszivárgását és mérsékli a helyi hőterhelést. A pusztulás ezért a vízháztartásra és a helyi éghajlati viszonyokra is hatással lehet.

A háború utáni helyreállítás itt nem egyszerűen építkezést jelent. Egy részben összeomlott ökológiai és közműrendszert kellene újjáépíteni.

Irán és a Perzsa-öböl: a háború visszatér az olajkutakhoz

A 2025-ben kiéleződött izraeli–iráni katonai konfliktus 2026 februárjában újabb, az Egyesült Államok közvetlen részvételével zajló háborúvá szélesedett.

A hadműveletek egyik legsúlyosabb környezeti következménye az energetikai létesítmények elleni támadásokhoz kapcsolódik.

2026 márciusában izraeli csapások érték a Teherán környéki olajtároló és olajipari létesítményeket. Hatalmas fekete füstfelhők emelkedtek a város fölé.

A Reuters március 10-i beszámolója szerint a tüzek mérgező szennyező anyagokat juttattak a levegőbe.



138. ábra: Olajipari létesítmények tüzei Teherán térségében, 2026 márciusában. Az égő szénhidrogénekből származó szennyezés különösen nagy veszélyt jelenthet sűrűn lakott városi területeken.

A helyzetet súlyosbítja, hogy egy nagy olajtűz füstje nem egyszerűen szén-dioxidból áll.

A korom és a finom részecskék mélyen bejuthatnak a légutakba. A különféle kén- és nitrogénvegyületek irritáló és egészségkárosító hatásúak lehetnek. Az égés során keletkező szerves anyagok között mérgező és rákkeltő vegyületek is előfordulhatnak.

Az ENSZ Környezetvédelmi Programja külön figyelmeztetett arra, hogy az Iránban égő olajlétesítmények füstje közvetlen egészségi kockázatot jelent a lakosság számára, miközben a szennyező anyagok a talajba, a vízbe és a táplálékláncba is bekerülhetnek.

A konfliktus környezeti terhei azonban nem korlátozódnak Irán területére.

A Reuters 2026. október 15-i vizsgálata szerint Irán és szövetséges fegyveres szervezetei a háború kezdete óta legalább 84 kritikus infrastrukturális helyszín ellen hajtottak végre támadásokat a Perzsa-öböl térségében.

Az érintett létesítmények között szerepelt az Egyesült Arab Emírségek fudzseirai olajkikötője, Katar Ras Laffan-i LNG-létesítménye és több szaúd-arábiai energiaipari infrastruktúra is.

Különösen veszélyes lenne egy jelentős olajszennyezés a Perzsa-öbölben.

A térség viszonylag sekély, félig zárt tengeri medence, amelynek vízcseréje korlátozott. A part mentén halászati területek, sótalanító üzemek, kikötők és olajipari létesítmények sorakoznak.

Egy nagyobb olajkiömlés ezért egyszerre veszélyeztethetné a tengeri élővilágot, a gazdaságot és több ország ivóvízellátását.

A háború környezeti kockázatai ráadásul nem állnak meg a fosszilis energiahordozóknál. A térség nukleáris létesítményei körüli katonai feszültségek további veszélyeket jelentenek.

Fontos azonban megkülönböztetni a lehetséges kockázatot a ténylegesen bekövetkezett szennyezéstől. Egy nukleáris létesítmény elleni támadás önmagában nem bizonyítja, hogy radioaktív anyag jutott a környezetbe. Ehhez mérések és megfelelő hatósági vizsgálatok szükségesek.

Az iráni konfliktus egyik legfontosabb tanulsága, hogy az energiaellátás stratégiai létesítményei elleni csapások hatásai messze túlnyúlhatnak az adott ország határain.

Egy olajfinomító megsemmisülése helyi környezetszennyezést okozhat, de az energiapiaci zavarokon és a szállítási útvonalak megváltozásán keresztül távoli országok gazdaságát is érintheti.

A háború után a szennyezés még folytatódik

A hadműveletek megszűnése nem jelenti a környezeti károk megszűnését.

A háborús területeken különféle szennyező anyagok halmozódhatnak fel. Az üzemanyagok és kenőanyagok a talajba szivároghatnak, a sérült ipari létesítményekből vegyszerek juthatnak a környezetbe, a törmelékek között pedig veszélyes építőanyagok maradhatnak.

A lövedékek és robbanóanyagok maradványai ugyancsak környezeti kockázatot jelentenek.

A különböző lőszerek fémeket, robbanóanyag-maradványokat és égéstermékeket hagyhatnak maguk után. Ezek közül egyes vegyületek a talajban hosszabb ideig fennmaradhatnak, illetve megfelelő körülmények között a felszín alatti vizekbe kerülhetnek.

A szennyezés mértéke erősen függ a felhasznált lőszer típusától, a robbanás körülményeitől és a talaj tulajdonságaitól.

A fel nem robbant lőszerek még közvetlenebb veszélyt jelentenek.

Laoszban és Vietnámban a több évtizeddel ezelőtti háborúk robbanótestei ma is akadályozzák a mezőgazdasági munkát, az építkezéseket és egyes területek biztonságos használatát.

Magyarországon is rendszeresen kerülnek elő második világháborús bombák és tüzérségi lövedékek, különösen nagyobb földmunkák és építkezések során.







139. ábra: A háborúk robbanóanyag-öröksége évtizedekkel később is jelen lehet. Laoszban, Vietnámban és Magyarországon egyaránt előkerülnek korábbi háborúkból származó robbanótestek.

Az ilyen területeken a természet helyreállítása sem egyszerű.

Egy erdő újratelepítéséhez vagy egy mezőgazdasági terület műveléséhez előbb biztosítani kell a robbanótestektől való mentességet.

Egyes szennyezett területeknél talajcserére, a szennyezett föld kezelésére vagy hosszú távú megfigyelésre is szükség lehet.

A robbanótestek eltávolítása és a vegyi szennyezés felszámolása azonban két külön feladat. A biztonságossá tett terület nem feltétlenül szennyezésmentes.

A múlt háborúi visszatérnek. A Dolomitok olvadó gleccserei több mint száz év után első világháborús lövedékeket hoznak felszínre. A klímaváltozás nemcsak a jövőnket alakítja át, hanem a múlt eltemetett veszélyeit is újra láthatóvá teszi.

A háború környezeti öröksége tehát nemcsak a pusztulás emléke, hanem sok esetben tartósan korlátozza a földhasználatot és a gazdasági fejlődést is.



Az újjáépítés újabb környezeti terhet jelent

Van a háborús pusztításnak egy különös, gyakran figyelmen kívül hagyott következménye.

A lerombolt városokat, hidakat, utakat, gyárakat és közműveket előbb-utóbb újjá kell építeni.

Ehhez hatalmas mennyiségű betonra, acélra, üvegre, rézre, műanyagra és más építőanyagra van szükség.

A cementgyártás önmagában is jelentős szén-dioxid-kibocsátással jár, részben a kemencék energiaigénye, részben a mészkőből történő klinkergyártás kémiai folyamatai miatt.

Az acélgyártás, a téglaégetés, az építőanyagok szállítása és az építőgépek működtetése további energiát igényel.



140. ábra: A háborús újjáépítés két oldala: a romok eltakarítása és az új építőanyagok előállítása. Mindkettő jelentős anyag- és energiafelhasználással jár.

Így egy épület megsemmisülésének környezeti költsége nemcsak a robbanás és a tűz okozta szennyezésből áll.

Elvész a már felhasznált építőanyag és az előállításába fektetett energia jelentős része, majd újabb anyagokra és energiára van szükség a pótlásához.

A korszerűbb, energiatakarékosabb épületek hosszabb távon mérsékelhetik a működési kibocsátásokat. Az újjáépítés kezdeti környezeti terhe azonban így sem kerülhető el teljesen.

A bontási hulladék szakszerű újrahasznosítása, a megmaradt épületszerkezetek felhasználása és az alacsonyabb kibocsátású építőanyagok választása jelentősen csökkentheti ezt a terhet.

A háború okozta többletkibocsátást ugyanakkor körültekintően kell számítani. Nem helyes minden későbbi építkezést automatikusan a háború számlájára írni, hiszen békeidőben is történnek felújítások és épületcserék.

A kérdés az, hogy a háború nélkül milyen anyag- és energiafelhasználás történt volna, és ehhez képest mekkora többletterhet okozott a pusztítás.

A természet nem ismeri az országhatárokat

A háborúk környezeti következményeinek egyik legfontosabb sajátossága, hogy gyakran átlépik a politikai határokat.

A légszennyező anyagokat a szél szállítja, a folyókban oldott vagy lebegő szennyeződéseket a víz továbbítja, a tengeri olajszennyezések pedig az áramlatokkal terjedhetnek.

Egy határ menti ipari létesítmény pusztulása ezért a szomszédos országok környezetét is veszélyeztetheti.

Az élővilág sem igazodik a katonai határokhoz. A vándormadarak, halak és más állatok élőhelyei több ország területére terjedhetnek ki.

A nagy kiterjedésű erdőtüzekből származó füst, a folyók szennyezése és a tengeri élőhelyek pusztulása így a közvetlen hadműveleti térségtől távol is hatást gyakorolhat.

Ez felvet egy alapvető felelősségi kérdést.

Ki viseli a költségeket, ha egy háború környezeti kárai más országok lakosságát is érintik?

A nemzetközi humanitárius jog tartalmazza a természeti környezet védelmére vonatkozó szabályokat, és tiltja például azokat a hadviselési módszereket, amelyek a vonatkozó jogi feltételek szerint kiterjedt, hosszan tartó és súlyos környezeti károkat okoznak.

A szabályok alkalmazása azonban nehéz. A károk bizonyítása, az okozati összefüggések feltárása és a felelősség érvényesítése háborús körülmények között különösen összetett.

A környezeti kár nem mindig jelenik meg azonnal. Egy szennyezett vízbázis, egy károsodott talaj vagy egy elpusztult ökoszisztéma következményei csak évekkel később válhatnak teljesen láthatóvá.

A háborúk környezeti mérlegét is el kellene készíteni

A klímaváltozás elleni küzdelem egyik alapelve, hogy a gazdasági tevékenységek környezeti hatásait mérni és lehetőség szerint csökkenteni kell.

Ezt az elvet a katonai tevékenységekre is következetesebben kellene alkalmazni.

A békeidőbeli katonai infrastruktúra kibocsátásait és energiafelhasználását átláthatóbban lehetne nyilvántartani. A hadműveletek során keletkező környezeti károkat pedig lehetőség szerint független szakértői vizsgálatokkal kellene feltárni.

A műholdas megfigyelések ma már sok esetben lehetővé teszik a tüzek, az erdőpusztulás, az olajszennyezések és az infrastruktúra károsodásának követését.

A távérzékelés azonban nem helyettesíti a helyszíni talaj-, víz- és levegővizsgálatokat.

A tartós helyreállításhoz a szennyezett területek feltérképezésére, az egészségügyi kockázatok értékelésére és hosszú távú környezeti megfigyelésre van szükség.

A legfontosabb feladat természetesen a háborúk megelőzése lenne.

Egy konfliktus környezeti hatását utólag lehet mérsékelni, az elpusztított erdőket újra lehet telepíteni, a szennyezett talajt részben meg lehet tisztítani, a lerombolt infrastruktúrát újjá lehet építeni.

De az eredeti természeti állapot sokszor már nem állítható helyre teljesen.

A pusztítás ára, amely nem szerepel a hadiköltségvetésben

A háborúk gazdasági költségeit rendszerint hatalmas összegekben adják meg. Beszélünk a fegyverek áráról, a katonai kiadásokról, a lerombolt infrastruktúráról és az újjáépítés szükségleteiről.

A természet pusztulásának ára azonban jóval nehezebben számszerűsíthető.

Mennyit ér egy több száz éves erdő? Mennyibe kerül egy elszennyezett vízkészlet helyreállítása? Hogyan fejezhető ki pénzben egy eltűnt élőhely vagy egy évtizedekre használhatatlanná vált mezőgazdasági terület?

Ezekre a kérdésekre nincs egyszerű válasz.

A háború nem csupán az éppen élő emberek életét változtatja meg. Az elpusztított természeti erőforrások és az elhúzódó szennyezések a következő nemzedékek lehetőségeit is korlátozhatják.

Az 1991-es kuvaiti olajkúttüzek, az ukrajnai erdők és vízrendszerek pusztulása, a gázai környezeti válság és a 2026-os iráni háború olajipari tüzei mind ugyanarra figyelmeztetnek.

A modern társadalmak olyan hatalmas és egymással összekapcsolt ipari rendszereket építettek ki, amelyek békeidőben kényelmet és jólétet biztosítanak, háborúban azonban rendkívüli környezeti veszélyforrássá válhatnak.

A háború ezért nemcsak humanitárius, politikai és gazdasági katasztrófa, hanem környezeti válság is.

A béke nem csupán az emberi élet védelmének feltétele. A természeti környezet megóvásának is az egyik legfontosabb előfeltétele.

A fejezet főbb szakmai forrásai

- Scientists for Global Responsibility és CEOBS (2022): Estimating the Military's Global Greenhouse Gas Emissions. A katonai szektor globális kibocsátásának becslése.
- Nature (1991): Environmental effects from burning oil wells in Kuwait. A kuvaiti olajkúttüzek légköri következményei.

- Initiative on GHG Accounting of War (2026): Climate damage caused by Russia's war in Ukraine. Az ukrajnai háború négyéves kibocsátási mérlege.
- UNEP (2025): Environmental damage in Gaza Strip. A gázai víz-, talaj- és infrastruktúrakárok értékelése.
- UNEP (2026): Environmental damage arising from the conflict in the Middle East. A közel-keleti olajipari támadások környezeti és egészségügyi veszélyei.
- Reuters (2026. október 15.): Iran's precision strikes picked apart Gulf infrastructure. A 2026-os háború energetikai infrastruktúrát érintő támadásainak áttekintése.

22. A robbanások után visszamaradó mérgek

Egy bomba felrobban, a füst eloszlik, a por lassan leülepszik. A háborús felvételeken többnyire eddig követjük az eseményeket. Pedig környezeti szempontból a történet gyakran csak ekkor kezdődik. A levegőbe jutott fémrészecskék leülepednek, a robbanóanyagok maradványai a talajba kerülnek, az eső pedig egyes szennyező anyagokat a felszín alatti vizek felé szállíthat. A repeszek korrodálódnak, a fel nem robbant lőszerek pedig évtizedekig veszélyt jelenthetnek. A háború látható pusztítását így egy sokkal lassabb és nehezebben felismerhető folyamat követi: a környezet tartós szennyeződése.





141. ábra A robbanások látható nyomai mellett a talajban robbanóanyag-maradványok, fémtöredékek és más szennyezők is visszamaradhatnak. A károk felméréséhez laboratóriumi vizsgálatok szükségesek.

A robbanás nem tünteti el az anyagot

A robbanás rendkívül gyors kémiai és fizikai folyamat. A robbanóanyagban tárolt kémiai energia rövid idő alatt felszabadul, magas hőmérsékletű gázok keletkeznek, és lökéshullám terjed szét a környezetben.

A katonai robbanások elsődleges célja a rombolás. A folyamat azonban kémiai szempontból is jelentős átalakulással jár.

A robbanóanyag egy része gázokká alakul, más része szilárd vagy folyékony maradványként kerülhet a környezetbe. A robbanás a lőszer burkolatát apró és nagyobb repeszekre szakítja, miközben a környező talajt, építőanyagokat és növényzetet is felapríthatja.

A keletkező por és füst nem kizárólag a robbanóanyag égéstermékeiből áll. Tartalmazhat fémrészecskéket, talajport, koromrészecskéket és a becsapódás helyén található anyagokat is.

Egy ipari területen bekövetkező robbanás ezért más szennyezőanyag-összetétellel járhat, mint ugyanannak a lőszernek a felrobbanása egy mezőgazdasági területen.

A talajban vagy vízben visszamaradó szennyezés mértéke több tényezőtől függ. Fontos a lőszer összetétele, a robbanás teljessége, a talaj tulajdonsága, a csapadék mennyisége és a helyszín korábbi szennyezettsége.

A robbanás tehát nem semmisíti meg az anyagot. Átalakítja, szétszórja, és részben olyan formába hozhatja, amely könnyebben bekerülhet a környezet természetes körforgásaiba.

Mi marad egy lövedék után?

Egy tüzérségi lövedék nem csupán robbanóanyagból áll.

Fém burkolata, robbanótöltete, gyújtószerkezete és egyéb alkatrészei vannak. A kilövéséhez használt hajítótöltet további vegyi anyagokat tartalmazhat.

Robbanáskor a burkolat darabokra szakad, a robbanótöltet nagy része reakcióba lép, és a környezetbe különböző anyagok jutnak.

A visszamaradó szennyezőket három fő csoportba sorolhatjuk:

- Fémek és fémvegyületek: például ólom, réz, cink, antimon, valamint a lőszer anyagától függően más fémek.
- Robbanóanyagok és bomlástermékeik: például TNT, RDX és HMX, illetve az ezekből keletkező vegyületek.
- Égéstermékek és szálló por: korom, különféle gázok és finom részecskék, amelyek összetételét a robbanás környezete is meghatározza.

Nem minden lőszer tartalmazza ugyanazokat az anyagokat. A nagy robbanóerejű tüzérségi gránát, a kézifegyverek lőszere, a rakéta és a páncéltörő fegyver környezeti terhelése eltérő lehet.



142. ábra A repeszek a lőszer burkolatából és más alkatrészeiből származnak. A nagyobb darabok hosszú ideig a talajban maradhatnak, miközben a korrózió során fémek kerülhetnek a környezetükbe.

A fémrepeszek jelentős része acélból készül. Az acél vasat tartalmaz, amely önmagában is természetes alkotóeleme a talajnak.

A környezeti kockázatot nem egyszerűen a fém jelenléte jelenti, hanem az összetétele, koncentrációja, kémiai formája és az, hogy milyen mértékben kerül az élő szervezetek számára felvehető állapotba.

A kisebb részecskék nagyobb fajlagos felületük miatt általában gyorsabban reagálhatnak a környezetükkel, mint a nagyobb fémdarabok.

Ezért a robbanás után keletkező finom fémpor környezeti viselkedése nem azonos a földben maradó nagy repeszekével.

A nehézfémek lassú mérgezése

A lőszerekhez kapcsolódó környezetszennyezés egyik legismertebb formája az ólom felhalmozódása.

Az ólmot régóta használják különböző lőszerekben, különösen kézifegyverek lövedékeiben, egyes lövedékmagokban és régebbi lőszertípusokban.

A lövedék becsapódásakor fémtöredékek keletkezhetnek. Ezek a talajban korróziónak és különféle kémiai folyamatoknak vannak kitéve.

Az ólom egyes vegyületei a talajszemcsékhez kötődhetnek, más formái a vízben is mozgékonyabbá válhatnak.

A talaj savassága, szervesanyag-tartalma és ásványi összetétele alapvetően befolyásolja, mennyi ólom kerül oldható vagy biológiailag hozzáférhető formába.







143. ábra A lőtereken és egykori harctereken felhalmozódó lőszermaradványok fémterhelést okozhatnak. A talajvizsgálatok segítenek meghatározni a szennyezés tényleges mértékét.

Az ólom azért különösen veszélyes, mert az emberi szervezetben nincs ismert hasznos élettani szerepe, és már alacsony expozíció esetén is káros hatásai lehetnek.

Különösen veszélyeztetettek a gyermekek. Az ólom befolyásolhatja az idegrendszer fejlődését, a tanulási képességeket és a viselkedést. Felnőtteknél többek között a veseműködésre, a vérnyomásra és az idegrendszerre lehet káros hatása.

A környezetbe jutó réz és cink szintén figyelmet igényel, bár ezek megfelelő mennyiségben nélkülözhetetlen nyomelemek az élő szervezetek számára.

Nagy koncentrációban azonban károsíthatják a talaj mikroorganizmusait és a vízi élővilágot.

Az antimon egyes lőszeralkatrészekben, például ólomötvözetekben és gyújtókeverékekben fordulhat elő. Bizonyos kémiai formái mérgezőek, és megfelelő környezeti feltételek mellett a vízben is mozgékonnyá válhatnak.

A lényeg tehát nem pusztán a szennyező anyagok felsorolása.

Azt kell megvizsgálni, hogy ezek milyen koncentrációban, milyen kémiai formában és milyen útvonalon jutnak el az emberhez vagy más élő szervezetekhez.

Egy talajminta magas fémtartalma önmagában még nem bizonyít egészségkárosodást. Figyelmeztetés azonban arra, hogy az expozíció lehetőségét részletesen vizsgálni kell.

TNT, RDX és HMX: amikor a robbanóanyag a talajban marad

A katonai robbanóanyagok közül három vegyület különösen fontos a környezetszennyezés vizsgálatában.

A TNT, vagyis a trinitrotoluol hosszú ideje alkalmazott robbanóanyag. Az RDX és a HMX nagy energiájú nitramin típusú robbanóanyagok, amelyek különféle katonai töltetekben fordulnak elő.

Ezek a vegyületek nemcsak a robbanás pillanatában jelentenek veszélyt.

A robbanás során nem minden esetben alakul át a teljes robbanótöltet. Különösen a részleges robbanások, a szétnyílt, de fel nem robbant lőszerek és a lőszerek szakszerűtlen megsemmisítése során maradhat jelentősebb mennyiségű robbanóanyag a talajban.

Az amerikai környezetvédelmi hivatal, az EPA lőtereken végzett kutatásai kimutatták, hogy a TNT, az RDX és a HMX, valamint egyes hajtóanyag-összetevők különféle körülmények között megjelenhetnek a talajban és a felszín alatti vízben.



144. ábra A robbanóanyag-maradványok kimutatásához speciális analitikai módszerek szükségesek. A TNT, az RDX és a HMX környezeti viselkedése jelentősen különbözhet egymástól.

A TNT viszonylag erősen kötődhet bizonyos talajösszetevőkhöz, és különböző biológiai, illetve kémiai átalakulásokon mehet keresztül.

Ezek az átalakulások azonban nem feltétlenül jelentenek teljes ártalmatlanítást. Egyes bomlástermékek szintén mérgezőek lehetnek.

Az RDX más tulajdonságokkal rendelkezik.

Bizonyos talajokban kevésbé kötődik meg, és a csapadékvízzel mélyebb rétegekbe juthat. Az EPA vizsgálatai szerint különösen a jó vízáteresztő képességű talajok esetében fennáll a felszín alatti vizek szennyeződésének veszélye.

A HMX ugyancsak kimutatható katonai lőtereken és robbanóanyagokkal szennyezett területeken, bár oldhatósága és környezeti mozgékonysága eltér az RDX-étől.

A különbségek azért lényegesek, mert nem elegendő egyetlen általános vizsgálattal megállapítani, hogy egy terület robbanóanyagokkal szennyezett-e.

Az egyes vegyületeket és átalakulási termékeiket külön is elemezni kell.

Anyag	Fő környezeti kockázat
TNT	Talajszennyezés, mérgező átalakulási termékek
RDX	Felszín alatti vízbe jutás, idegrendszeri toxicitás
HMX	Tartós helyi szennyezés, vízbe jutás bizonyos körülmények között

Ólom Felhalmozódás a talajban, idegrendszeri károsodás
Réz, cink Magas koncentrációban ökológiai toxicitás
Antimon Egyes vegyületeinek mérgező és vízben mozgékony formái

Ezeknek az anyagoknak a jelenléte nemcsak háborús területeken fordulhat elő.

A katonai gyakorlóterek, lőszergyárak, régi fegyverraktárak és lőszereket megsemmisítő telepek békeidőben is jelentős szennyezési források lehetnek.

Ez különösen tanulságos: a háborúk mérgező öröksége részben már a fegyverek előállításakor és kipróbálásakor elkezdődik.

A levegőszennyezés: amikor a harctér pora belélegezhetővé válik

A robbanás során felszabaduló gázok és finom részecskék közvetlen légszennyezést okoznak.

A robbanóanyag típusától és a körülményektől függően szén-monoxid, nitrogén-oxidok, korom és különféle szerves vegyületek kerülhetnek a levegőbe.

Az egyik legfontosabb veszély azonban maga a por.

A lökéshullám nagy mennyiségű talajt és építési törmeléket emelhet a levegőbe. A finom részecskék között lehetnek fémeket tartalmazó szemcsék, szilícium-dioxid, égéstermékek és az elpusztított épületekből származó veszélyes anyagok.



145. ábra A robbanások után keletkező por összetétele a robbanóanyag mellett a becsapódás helyszínétől is függ. Városi környezetben a sérült épületek anyagai különösen fontos szennyezőforrást jelenthetnek.

Az apró, 2,5 mikrométernél kisebb átmérőjű részecskék, az úgynevezett PM2,5-részecskék mélyen bejuthatnak a tüdőbe. Az expozíció légzőszervi és szív-érrendszeri kockázatokat növelhet.

Ha a robbanás régebbi épületet rombol le, az azbeszttartalmú építőanyagokból veszélyes szálak szabadulhatnak fel. Más épületek festékmaradványokat, szigetelőanyagokat vagy ipari eredetű szennyezőket tartalmazhatnak.

A robbanás pillanatában a környezetbe kerülő anyagok egy része rövid idő alatt leülepszik.

Ez azonban nem jelenti azt, hogy a levegőszennyezés véget ért.

A szennyezett talajról és romokról a szél később újra felkavarhatja a port. A száraz időjárás, az erős szél és a katonai járművek mozgása ismételt porterhelést okozhat.

Így egyetlen robbanásnak is lehetnek elhúzódó következményei, különösen ott, ahol sok becsapódás történik ugyanazon a területen.

A talajból a vízbe: a szennyezés láthatatlan útja

A talaj nem zárt rendszer.

A csapadékvíz beszivárog a talajba, oldott anyagokat szállít, és megfelelő geológiai körülmények között végül elérheti a felszín alatti vízkészleteket.

A szennyezés terjedését számos tényező befolyásolja. A homokos talajon a víz általában gyorsabban mozoghat, mint az agyagos talajban. A szerves anyagok és az agyagásványok egyes vegyületeket megköthetnek, míg mások könnyebben áthaladhatnak a talajrétegeken.

A robbanóanyagok maradványai ezért nem minden helyszínen jelentenek azonos kockázatot.



146. ábra A felszín alatti víz vizsgálata elengedhetetlen a katonai eredetű szennyezések felméréséhez. A veszélyes anyagok akkor is jelen lehetnek, ha a felszínen már nem látszanak a korábbi tevékenység nyomai.

Az Egyesült Államokban, Massachusetts államban található Camp Edwards katonai gyakorlótér különösen tanulságos példa.

A több évtizedes lőgyakorlatok és fegyverkísérletek következtében egyes területeken RDX- és perklorátszennyezést mutattak ki a felszín alatti vizekben.

Az EPA a szennyezett víztestek felmérését, egyes szennyezési források felszámolását, vízkezelési intézkedéseket és hosszú távú ellenőrzést írt elő. A felügyeleti vizsgálatok ugyanakkor nem állapítottak meg minden érintett területen közvetlen ivóvízveszélyt.

Ez a példa azért fontos, mert Camp Edwards nem háborús hadszíntér volt, hanem katonai gyakorlótér.

Ha békeidőben, ellenőrzött körülmények között végzett katonai tevékenység is okozhat ilyen szennyezést, könnyen belátható, hogy egy hosszú, intenzív háború környezeti terheinek felmérése milyen nehéz feladat.

Ukrajna: a világ egyik fontos termőterülete a lövedékek alatt

Ukrajna mezőgazdasági jelentősége messze túlnyúlik az ország határain.

A termékeny csernozjom talajok, a hatalmas gabonatermő területek és az olajos növények termesztése miatt Ukrajna a világ élelmiszer-ellátásának egyik fontos szereplője.

A háború azonban a mezőgazdasági területeket is hadszíntérré változtatta.

A tüzérségi becsapódások felkavarják a talajt, megsemmisítik a növényzetet, és különféle fém- és robbanóanyag-maradványokat hagyhatnak maguk után.

A harckocsik és más nehéz járművek tömörítik a talajt. A robbanások megváltoztatják a talaj szerkezetét, a tűz pedig károsíthatja a talaj élővilágát és szervesanyag-készletét.







147. ábra Ukrajnai mezőgazdasági területek háborús sérülései. A lövedékek okozta talajkárosodás mellett a robbanótestek jelenléte és az esetleges vegyi szennyezés is akadályozhatja a földművelés újraindítását.

Az ukrajnai háború egyik legnehezebb környezetvédelmi kérdése, hogy a termőföld szennyezettsége mennyire befolyásolja majd a mezőgazdasági termelést.

A növények bizonyos fémeket a gyökereiken keresztül felvehetnek, de a felvétel mértéke függ a növényfajtól, a talaj kémiai tulajdonságaitól és a szennyező anyag formájától.

Ebből következik, hogy nem minden lövedékekkel sújtott termőterület válik automatikusan alkalmatlanná az élelmiszer-termelésre.

Az sem állítható azonban vizsgálatok nélkül, hogy az aknamentesítés után a föld biztonságosan művelhető.

A robbanásveszély megszüntetése és a mezőgazdasági talaj környezetvédelmi minősítése két külön feladat.

Az első a közvetlen életveszély elhárítását szolgálja, a második annak megállapítását, hogy a talajban és az előállított élelmiszerekben a szennyező anyagok koncentrációja elfogadható-e.

Ahol a harcok hosszú időn keresztül zajlottak, ott a talaj részletes vizsgálatára és szükség esetén helyreállítására lehet szükség.

Laosz és Vietnám: amikor a háború nem ér véget

A vietnámi háború és az indokínai konfliktusok évtizedekkel ezelőtt befejeződtek, környezeti és humanitárius következményeik azonban ma is jelen vannak.

Laosz különösen súlyos örökséget kapott.

Az Egyesült Államok 1964 és 1973 között rendkívül nagy mennyiségű bombát dobott le az ország területére. A kazettás bombák rengeteg kisebb robbanótestet szórtak szét, amelyek egy része nem robbant fel.

Az ENSZ Fejlesztési Programja (UNDP) szerint a háború során több mint 270 millió ilyen kisebb robbanótestet szórtak le, amelyek közül becslések szerint körülbelül 80 millió nem működött el. Ez történelmi becslés, nem a ma még fel nem kutatott eszközök pontos száma.



148. ábra Fel nem robbant kazettás résztöltet Laoszban. Az évtizedekkel korábban földre került eszközök közvetlen életveszélyt jelentenek, és használhatatlanná tehetik a termőföldeket. A robbanótesteket tilos megérinteni vagy elmozdítani.

Laosz számos vidékén a földművelés, az útépítés és az infrastruktúra-fejlesztés ma is robbanótestekkel kapcsolatos veszélyeket hordoz.

A fel nem robbant lőszerek különösen a vidéki, szegényebb közösségeket sújtják, amelyek megélhetése a mezőgazdaságtól függ.

A probléma azonban nem kizárólag a robbanásveszély.

Az elöregedő lőszerek burkolata korrodálódhat, belső anyagaik pedig bizonyos körülmények között kijuthatnak a talajba. Hogy ez mekkora tényleges vegyi szennyezést okoz, azt azonban helyszíni vizsgálatokkal lehet csak meghatározni.

Vietnámban a háború vegyi öröksége még összetettebb.

A fel nem robbant lőszerek mellett külön figyelmet érdemelnek a lombtalanító vegyszerek és a dioxinszennyezések.

Az Agent Orange nevű lombtalanító szer egyes készítményei gyártási szennyeződésként rendkívül mérgező dioxint, TCDD-t tartalmaztak.

Ezeknek a vegyszereknek a használata a háború különálló, de ugyancsak hosszú távú környezeti következményekkel járó fejezete.





149. ábra Laoszban a robbanótestek eltávolítása, Vietnámban pedig a robbanótest-mentesítés mellett a vegyileg szennyezett területek helyreállítása is több évtizedes feladat.

A két ország példája megmutatja, hogy a háborús környezeti örökség több, egymástól különböző veszélyt jelenthet.

A fel nem robbant bomba balesetet okozhat.

A talajban lévő robbanóanyag-maradvány vegyi szennyezést jelenthet.

A dioxinnal szennyezett terület pedig hosszú távú egészségügyi és ökológiai kockázatot hordozhat.

Ezeket nem szabad összemosni, de valamennyit figyelembe kell venni, amikor egy háború valódi költségeit vizsgáljuk.

Magyarország: a második világháború nyomai a föld alatt

A robbanóanyagok hosszú távú veszélyeihez nem kell távoli háborús térségekbe utaznunk.

Magyarországon ma is rendszeresen kerülnek elő második világháborús bombák, aknák és tüzérségi lövedékek.

Budapesten különösen nagyobb építkezések, mélygarázsok alapozása, közműfejlesztések és folyómedri munkálatok során fedeznek fel régi robbanótesteket.

A Duna medrében is találtak már olyan bombákat, amelyek a második világháború óta feküdtek a víz alatt.



150. ábra A második világháborúból visszamaradt robbanótestek Magyarországon is rendszeresen előkerülnek. Az ilyen tárgyak kezelését kizárólag képzett tűzszerészek végezhetik.

A magyarországi példák elsősorban a robbanásveszély fennmaradását szemléltetik.

A hetven-nyolcvan éves robbanótestek állapota kiszámíthatatlan lehet. A korrózió, a mechanikai sérülés és a belső szerkezeti változások miatt a kezelésük különleges szakértelmet igényel.

Környezeti szempontból ugyanakkor fontos különbséget tenni a robbanótest megtalálása és a környezetszennyezés bizonyítása között.

Egy földben fekvő régi bomba jelenléte önmagában még nem jelenti azt, hogy a környező talajban vagy vízben egészségre veszélyes koncentrációban találhatók mérgező anyagok.

Ehhez mintavétel és laboratóriumi vizsgálat szükséges.

A történelmi harcterek, egykori katonai létesítmények és lőszerraktárak azonban indokolttá tehetik a célzott talaj- és vízvizsgálatokat, különösen a területek újrahasznosítása előtt.

A katonai gyakorlóterek békeidőben is szennyezhetnek

A környezeti kockázat nem kizárólag háborúk során jelentkezik.

A katonai lőtereken, bombázógyakorló területeken és fegyverkísérleti helyszíneken évtizedeken keresztül halmozódhatnak fel lőszer- és robbanóanyag-maradványok.

A kézifegyver-lőtereken elsősorban az ólom és más fémek felhalmozódása jelenthet problémát.

A nagyobb robbanóanyagokat alkalmazó gyakorlótereken TNT-, RDX-, HMX- és egyéb vegyületmaradványok jelenhetnek meg.

A lőszerek és hajítótöltetek egyes összetevői mellett a perklorát is fontos vizsgálandó szennyező lehet.

Az amerikai EPA hangsúlyozza, hogy az egykori katonai gyakorlótereken a lőszermaradványok talaj- és vízszennyezést okozhatnak, amelynek felmérése és kezelése a terület későbbi felhasználásának alapfeltétele.







151. ábra A volt katonai lőterek környezetvédelmi vizsgálata talajmintavételt, felszín alatti vízvizsgálatot és szükség esetén a szennyezett anyagok eltávolítását igényli.

Ezeken a területeken a szennyezés térbeli eloszlása rendkívül egyenetlen lehet.

Egy célterületen, ahol hosszú időn keresztül sok lövedék csapódott be, magas koncentrációban lehetnek jelen a szennyező anyagok, miközben néhány száz méterrel távolabb a talaj alig érintett.

Ezért a véletlenszerű mintavétel könnyen félrevezető eredményt adhat.

A helyszín korábbi használatának feltárása, a lehetséges szennyezési gócpontok azonosítása és a célzott mintavétel elengedhetetlen.

Az ilyen területek helyreállítása gyakran a robbanótestek felkutatásával kezdődik, amelyet a szennyezett talaj és víz vizsgálata, majd szükség esetén kezelése követ.

A mérgező anyagok hatása az élővilágra

A katonai eredetű vegyi szennyezések az ökoszisztémák különböző szintjein fejthetik ki hatásukat.

A talaj mikroorganizmusai alapvető szerepet játszanak a szerves anyagok lebontásában, a tápanyagok körforgásában és a talaj termékenységének fenntartásában.

Egyes fémek és szerves szennyezők magas koncentrációja károsíthatja ezeket a mikroorganizmusokat.

A szennyezett talajban élő giliszták és más talajlakó állatok közvetlenül érintkezhetnek a káros anyagokkal. A szennyezők egy része felhalmozódhat szervezetükben, majd táplálkozási kapcsolatokon keresztül más élőlényekhez is eljuthat.







152. ábra A talajlakó szervezetek, a vízi gerinctelenek és a madarak eltérő módon kerülhetnek kapcsolatba a környezetükben lévő szennyező anyagokkal.

A táplálékláncon keresztüli terjedés azonban nem minden vegyületnél azonos.

Egyes anyagok felhalmozódhatnak a szervezetben, mások lebomlanak vagy kiürülnek. A fémek és a szerves robbanóanyag-maradványok környezeti viselkedése ezért külön vizsgálatot igényel.

A vízi élővilág különösen érzékeny lehet bizonyos szennyezőkre.

A réz például nélkülözhetetlen nyomelem, de magasabb oldott koncentrációban károsíthatja a halakat és egyes vízi gerincteleneket.

Az RDX esetében laboratóriumi vizsgálatok különféle idegrendszeri, viselkedési és szaporodási hatásokat mutattak ki egyes állatfajoknál. Ezekből azonban nem lehet automatikusan minden természetes élőhelyre azonos mértékű károsodást feltételezni.

A hosszú távú ökológiai kockázatok felméréséhez a szennyezőanyag-koncentrációk mellett a helyi élővilág állapotát is vizsgálni kell.

Az emberi egészség: a közvetlen sérüléstől a krónikus terhelésig

A katonai robbanások egészségügyi következményeit általában a közvetlen sérülések alapján ítéljük meg.

A robbanás lökéshulláma, a repeszek és az épületek összeomlása valóban azonnali életveszélyt jelentenek.

A vegyi szennyezések azonban más jellegű kockázatot hordoznak.

A robbanás során keletkező por belégzése légúti irritációt és más egészségügyi problémákat okozhat. A fémekkel vagy robbanóanyag-maradványokkal szennyezett talajjal való rendszeres érintkezés, illetve a szennyezett ivóvíz tartós fogyasztása további kockázatokat jelenthet.

A különböző anyagok hatása eltérő.

Az ólom különösen az idegrendszerre veszélyes. Az RDX nagyobb expozíció esetén idegrendszeri tüneteket, köztük görcsrohamokat is okozhat. Egyes robbanóanyagokhoz kapcsolódó vegyületek májkárosító vagy vérképzőszervi hatásait is vizsgálták.

A hatások mértéke azonban mindig függ a tényleges dózistól és az expozíció időtartamától.

Fontos azt is hangsúlyozni, hogy a háborús térségekben megfigyelt betegségek nem vezethetők vissza automatikusan a robbanóanyagok vegyi maradványaira.

Az alultápláltság, a fertőzések, az egészségügyi ellátás hiánya, a stressz, az ipari szennyezések és a lakhatási körülmények romlása szintén befolyásolják a lakosság egészségi állapotát.

A hosszú távú hatások megértéséhez ezért epidemiológiai vizsgálatokra, környezeti mérésekre és a különböző kockázati tényezők gondos elkülönítésére van szükség.

Hogyan lehet megtisztítani egy egykori harcteret?

A háborús területek környezeti helyreállítása hosszú és költséges folyamat.

Elsőként általában a közvetlen robbanásveszélyt kell megszüntetni.

A fel nem robbant lőszerek, aknák és más robbanótestek felkutatását, eltávolítását vagy biztonságos megsemmisítését erre kiképzett szakemberek végzik.

Csak ezt követően válhat lehetővé a részletes környezetvédelmi vizsgálat.

A talajból és a vízből mintákat kell venni, meg kell határozni a szennyező anyagokat, majd fel kell mérni azok terjedési útvonalait és az érintett élőlényekre gyakorolt lehetséges hatásokat.







153. ábra A helyreállítás különböző szakaszai: robbanótest-mentesítés, környezeti mintavétel és a szennyezett talaj kezelése.

A szennyezés típusától függően többféle megoldás alkalmazható.

Súlyosan szennyezett talajnál szükség lehet a föld kitermelésére és megfelelő kezelésére.

Egyes robbanóanyag-maradványok esetében biológiai eljárások is alkalmazhatók. Bizonyos mikroorganizmusok képesek egyes szerves vegyületek átalakítására vagy lebontására.

Más esetekben aktív szenes vízkezelés, különféle kémiai vagy fizikai eljárások, illetve hosszú távú megfigyelés lehet indokolt.

A fémek esetében különösen fontos különbség, hogy azokat biológiai úton nem lehet elemekre lebontani. A fémek eltávolíthatók, megköthetők vagy kevésbé mozgékony kémiai formába alakíthatók, de maguk az elemek nem tűnnek el.

Ezért egy ólommal vagy más fémmel súlyosan szennyezett terület helyreállítása más megközelítést igényel, mint egy szerves robbanóanyag-maradványokkal szennyezett talajé.

A beavatkozás költsége sokszor attól is függ, hogy milyen későbbi területhasználatot terveznek.

Egy ipari terület, egy lakóövezet és egy élelmiszer-termelésre használt mezőgazdasági terület eltérő expozíciós viszonyokat jelenthet, ezért a helyreállítás célértékei is különbözhetnek.

A helyreállítás akkor tekinthető megalapozottnak, ha nem csupán a látható hulladékot távolították el, hanem a fennmaradó egészségügyi és ökológiai kockázatot is elfogadható szintre csökkentették.

A legveszélyesebb szennyezés néha az, amelyet nem mérnek

A háborús környezetszennyezés egyik legnagyobb problémája az információhiány.

A harcok idején a környezetvédelmi laboratóriumok működése megszakadhat, a mérőállomások megsemmisülhetnek, a szakemberek elmenekülhetnek.

A szennyezett területek sokszor katonai okokból megközelíthetetlenek.

Egyes területeken éppen azért nem történik mintavétel, mert az aknák és a fel nem robbant lőszerek miatt túl veszélyes lenne.

Így könnyen előállhat az a helyzet, hogy a legsúlyosabban érintett térségekről rendelkezünk a legkevesebb megbízható adattal.

A műholdas felvételek segíthetnek azonosítani a bombatölcséreket, a tüzeket, a megsemmisült ipari létesítményeket és az érintett vízfolyásokat.

A műhold azonban nem képes közvetlenül megmondani, mennyi TNT vagy RDX található a talajban, illetve hogy egy kút vize biztonságosan fogyasztható-e.

Ehhez helyszíni mérések szükségesek.

A háború utáni környezetvédelmi helyreállítás ezért nemcsak műszaki, hanem tudományos és intézményi feladat is.

Szükség van megbízható térképekre, laboratóriumokra, hosszú távú megfigyelési programokra és olyan adatrendszerekre, amelyek lehetővé teszik a szennyezések változásának követését.

A lövedék élettartama nem ér véget a robbanással

A modern hadviselés környezeti hatásait gyakran a felhasznált üzemanyag és az elpusztított infrastruktúra alapján próbáljuk megítélni.

A lőszerek közvetlen kémiai és anyagi öröksége ennél kevésbé látványos, mégis jelentős lehet.

A robbanások a környezetbe juttathatnak fémeket, robbanóanyag-maradványokat és veszélyes porrészecskéket. Ezek egy része gyorsan átalakul, más része évekig vagy évtizedekig jelen

maradhat. A szennyezett talaj korlátozhatja a mezőgazdasági termelést. A felszín alatti vízbe jutó vegyületek ivóvízvédelmi problémákat okozhatnak. A fel nem robbant lőszerek pedig hosszú időn keresztül akadályozhatják a területek biztonságos használatát.

A vietnámi és laoszi tapasztalatok megmutatták, hogy a háborúk ilyen következményei több nemzedéket is érinthetnek. Az ukrajnai háború pedig arra figyelmeztet, hogy a probléma nem tartozik kizárólag a történelemhez. A háborúk után újjá lehet építeni a házakat, a hidakat és az utakat. A természeti környezet helyreállítása azonban gyakran sokkal lassabb.

Egy sérült épület néhány év alatt pótolható. A szennyezett talaj megtisztítása, a felszín alatti víz védelme vagy egy elpusztult ökoszisztéma regenerálódása évtizedekig is eltarthat.

És vannak veszteségek, amelyek teljes egészükben soha nem pótolhatók.

A háború nem ér véget akkor, amikor az utolsó lövedék felrobban. A földben maradó mérgek, a fel nem robbant lőszerek és a károsodott ökoszisztémák még hosszú ideig őrzik a pusztítás következményeit.

A fejezet főbb szakmai forrásai

- US EPA – Military Munitions / Unexploded Ordnance. A katonai lőszerekből származó talaj- és vízszennyezések áttekintése.
- US EPA – Site Characterization for Munitions Constituents. Robbanóanyag-maradványok környezeti vizsgálata.
- US EPA – Technical Fact Sheet: RDX. Az RDX egészségügyi és környezeti tulajdonságai.
- US EPA – Camp Edwards groundwater cleanup. Katonai gyakorlótéri vízszennyezés és helyreállítás.
- UNDP (2026) – UXO accidents in Laos. A fel nem robbant lőszerek napjainkban is fennálló társadalmi következményei.

23. A háború, amely nem ér véget a békekötéssel

Egy háború végét általában pontos dátumhoz kötjük. Aláírják a békeszerződést, elhallgatnak a fegyverek, a katonák hazatérnek. A történelemkönyvek új fejezetet nyitnak. A föld alatt azonban nem történik semmi. Az el nem robbant bombák ugyanott maradnak, ahol évtizedekkel korábban becsapódtak. A mezőgazdasági területeken továbbra is veszélyes lehet a szántás, az erdőkben a favágás, a városokban pedig egy új épület alapozása. A háború így akkor is követelhet áldozatokat, amikor az utolsó harcoló katona már régen meghalt.





A béke, amely csak a felszínen kezdődik el

A háborúk emberi és gazdasági veszteségeit általában a harcok befejezésekor próbáljuk számba venni. Hányan haltak meg? Hányan sebesültek meg? Mennyi épület pusztult el? Mekkora összeget igényel az újjáépítés?

Ezek a számítások azonban ritkán tartalmazzák a következő évtizedek valamennyi költségét.

Egy ország területén a háború után milliónyi veszélyes tárgy maradhat. Fel nem robbant bombák, tüzérségi gránátok, aknák, rakéták és kazettás bombák kisebb résztöltetei.

Nem mindegyik robbanótest működött el a becsapódáskor. Egyesek a puha talajba fúródtak, mások a növényzetben vagy az épületromok között akadtak el. A vízbe hullott lőszereket az iszap boríthatja be.

Az idő múlásával a felszíni nyomok eltűnhetnek.

A bombatölcsér feltöltődik, a növényzet visszanő, a romokat eltakarítják. A helyszín akár teljesen békés tájnak is látszhat.

A robbanótest azonban ettől még nem válik ártalmatlanná.

Sőt, a korrózió és a gyújtószerkezetek öregedése miatt egyes régi lőszerek állapota egyre kiszámíthatatlanabb lehet.

Ez a háborús környezeti örökség egyik legkülönösebb sajátossága: a veszély évtizedeken keresztül fennmaradhat, miközben a jelenlétére utaló látható jelek fokozatosan eltűnnek.

Laosz: az ország, ahol a bombák a föld részeivé váltak

Laosz a huszadik század egyik legnagyobb, hosszú távon fennmaradó robbanótest-szennyezését örökölte.

Az indokínai háborúk során, különösen 1964 és 1973 között, az Egyesült Államok légierője rendkívül nagy mennyiségű bombát dobott le Laoszra.

Az ország hivatalosan semleges volt, területén azonban a vietnámi háborúhoz kapcsolódó hadműveletek, utánpótlási útvonalak és fegyveres konfliktusok zajlottak.

A légitámadások során hagyományos bombák mellett nagy mennyiségű kazettás lőszert alkalmaztak.

A kazettás bomba sajátossága, hogy egy nagyobb hordozótest sok kisebb robbanóeszközt szór szét egy kiterjedt területen.

Ezeket a résztölteteket úgy tervezték, hogy a földre érkezéskor felrobbanjanak. A valóságban azonban egy részük nem működik el.

Laoszban a háború során becslések szerint mintegy 270 millió kazettás résztöltetet szórtak szét, amelyek közül körülbelül 80 millió nem robbanhatott fel. Az ENSZ Fejlesztési

Programja által is idézett adat történelmi becslés, nem a jelenleg még földben lévő eszközök pontos száma.



154. ábra A kazettás bombák kisebb résztöltetei. Ezek közül számos nem robbant fel a becsapódáskor, és hosszú ideig veszélyes maradhat.

A számok önmagukban is megdöbbentőek.

De még fontosabb, hogy mit jelentenek a mindennapi életben.

Egy laoszi paraszt számára a termőföld nemcsak megélhetést biztosító vagyon, hanem potenciális veszélyforrás is lehet.

A rizsföldek művelése, egy új öntözőárok kiásása, egy gyümölcsfa elültetése vagy egy ház alapozása során robbanótest kerülhet elő.

A családok gyakran pontosan tudják, mely területek veszélyesek. Máskor azonban az információ hiányos, vagy a robbanótestet hosszú időre betakarja a talaj.




UXO SITE



155. ábra Laosz vidéki térségeiben a mezőgazdasági élet és a robbanótestek veszélye évtizedek óta együtt van jelen. A földek megtisztítása a vidéki gazdaság fejlődésének egyik feltétele.

A következmény nem csupán a balesetek száma.

A veszélyesnek tartott területeket esetenként nem lehet teljes értékűen használni. Elmaradnak az építkezések, késlekednek az utak, a kutak és az öntözőrendszerek létesítése.

Egy termékeny földdarab gazdasági értéke jelentősen csökkenhet, ha a megművelése életveszélyes.

Ez különösen súlyos teher egy olyan országban, ahol a vidéki lakosság jelentős részének megélhetése a mezőgazdaságtól függ.

Mennyi idő alatt lehet megtisztítani egy országot?

Laoszban nemzetközi szervezetek és helyi szakemberek évtizedek óta dolgoznak a robbanótestek felkutatásán és megsemmisítésén.

A feladat hatalmas.

A Mine Action Review 2025-ös jelentése szerint 2024-ben mintegy 71,7 négyzetkilométernyi, kazettás lőszerek maradványaival szennyezett területet sikerült megtisztítani, és a különféle mentesítési műveletek során több mint 71 ezer résztöltetet semmisítettek meg.

Laosz kazettáslőszer-mentesítése, 2024

71,7 km²

Megtisztított, szennyezett terület

71 106

Megsemmisített résztöltet

Forrás: Mine Action Review, Clearing Cluster Munition Remnants 2025. Az eszközök száma a felmérési és eseti megsemmisítési műveletek eredményeit is tartalmazza.

Ezek jelentős eredmények.

Mégsem jelentik azt, hogy néhány év alatt megoldható lenne a probléma.

A teljes szennyezett terület nagysága ugyanis még mindig nem ismert pontosan. A felmérések sokszor újabb veszélyes térségeket azonosítanak.

Ráadásul a mentesítés nem egyenletes sebességű munka.

Egy viszonylag könnyen megközelíthető, sík mezőgazdasági területen gyorsabban haladhatnak a szakemberek. Egy meredek hegyoldalon, sűrű erdőben vagy elöntött területen viszont jóval nehezebb a feladat.

A laoszi tapasztalat megmutatja, hogy egy háború katonai szempontból néhány év alatt lezárulhat, miközben a következmények felszámolása akár egy évszázados feladattá válhat.

Vietnám: a háború után is veszélyes föld

Vietnám 1975-ben újraegyesült. A fegyveres konfliktus befejeződött, de a talajban maradt robbanótestek nem tűntek el.

Különösen súlyosan érintettek az egykori demilitarizált övezet környéki területek, mindenekelőtt Quảng Trị térsége.

A háború során itt rendkívül intenzív tüzérségi és légi hadműveletek zajlottak.

A robbanótestek egy része a rizsföldekbe, erdőkbe, folyómedrekbe és települések környékére került.

A vietnámi Nemzeti Aknamentesítési Központ (VNMAC) 2026-ban közölt adatai szerint országosan mintegy 5,57 millió hektárt tartanak nyilván robbanótestek által érintett területként, ami az ország felszínének több mint 17 százaléka. Ez a robbanótest-veszélyeztetettségre vonatkozó becslés, nem annak bizonyítéka, hogy a teljes terület minden pontján ténylegesen található robbanóeszköz.







156. ábra Quảng Trị térségében a robbanótest-mentesítés és a mezőgazdasági termelés újraindítása szorosan összekapcsolódik. A munkát vietnámi és nemzetközi szervezetek is segítik.

A vietnámi példa a háborúk környezeti következményeinek egy másik fontos oldalát mutatja.

A veszély nem feltétlenül folyamatos és mindenütt azonos. Egy adott földterületet hosszú ideig művelhetnek baleset nélkül, majd egy mélyebb szántás vagy egy új vízelvezető árok létesítése során robbanótest kerülhet elő.

Ez megnehezíti a kockázat megítélését.

A helyi gazdálkodók sok esetben kénytelenek dönteni: vállalják a veszélyt, vagy lemondanak a föld használatáról.

A termőföld azonban a vidéki családok számára nem egyszerűen piaci érték. Az élelmiszer-ellátás és a megélhetés alapja.

A megtisztított föld többet jelent a biztonságnál

Vietnámban több humanitárius program működik a robbanótestek eltávolítására.

A Project RENEW például Quảng Trị térségében végez robbanótest-mentesítést, kockázati oktatást és a helyi közösségeket támogató tevékenységeket.



157. ábra A vietnámi robbanótest-mentesítő szervezetek munkája nemcsak a balesetek megelőzését szolgálja, hanem a mezőgazdasági és településfejlesztési lehetőségek helyreállítását is.

Amikor egy területet megfelelő eljárásokkal megtisztítanak, az közvetlen gazdasági változást indíthat el.

Újra művelhetővé válhat a föld. Lehetőség nyílhat öntözőrendszer építésére, gyümölcsültetvény telepítésére vagy új útszakasz kialakítására.

A biztonságosabb földhasználat növelheti a családok jövedelmét, és csökkentheti annak kockázatát, hogy a gyermekek veszélyes területeken dolgozzanak vagy játszanak.

A mentesítés eredményét ezért nem elegendő a megsemmisített robbanótestek számával mérni.

Legalább ilyen fontos, hogy hány ember életkörülményei javultak, mekkora terület vált valóban használhatóvá, és milyen gazdasági lehetőségek nyíltak meg.

Egyetlen biztonságossá tett földdarab egy család egész jövőjét megváltoztathatja.

Budapest: bombák egy európai nagyváros alatt

Laosz és Vietnám példái első pillantásra távoli történeteknek tűnhetnek.

Pedig Magyarországon is rendszeresen szembesülünk a második világháború máig fennmaradó következményeivel.

Budapestet 1944–1945-ben súlyos légitámadások és hadműveletek érték. A város ostroma során nagy mennyiségű tüzérségi lőszert, aknát és bombát használtak fel.

A robbanótestek egy része nem működött el.

Voltak bombák, amelyek mélyen a földbe fúródtak. Másokat később építési törmelék borított be. A folyókba hullott robbanótestek pedig az iszapban maradhattak.

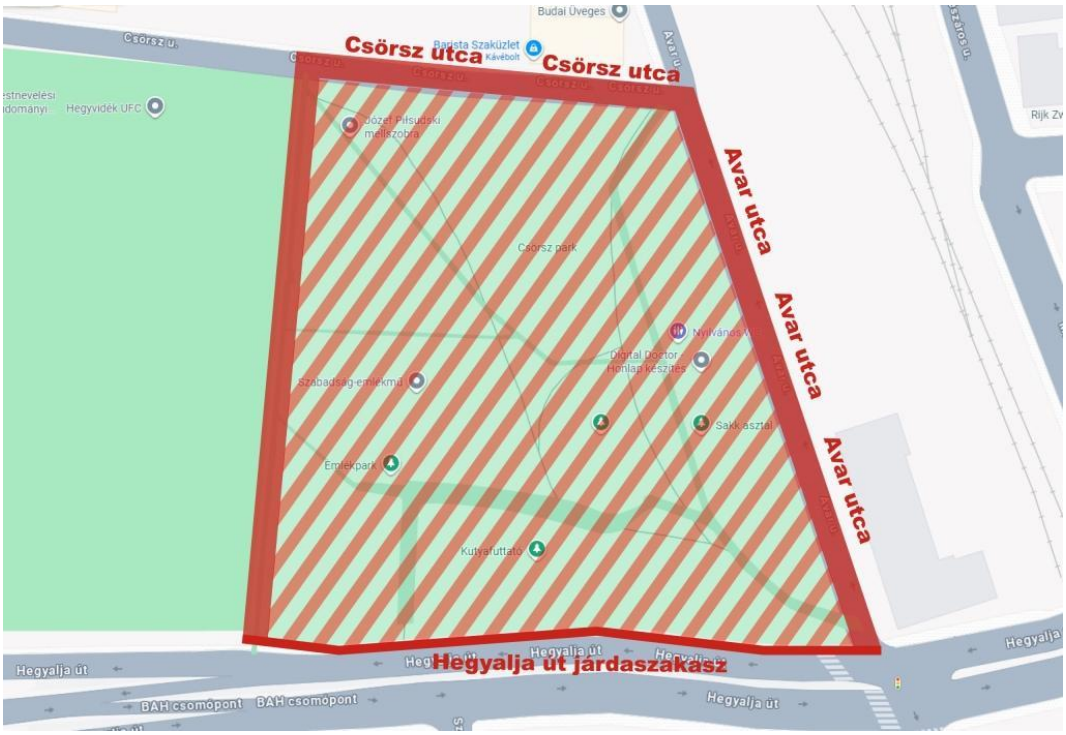
Évtizedeken keresztül házak, utak, vasútvonalak és ipari létesítmények épültek olyan helyeken, ahol időnként ma is előkerülnek háborús robbanóeszközök.

2022 decemberében például a Csepel-sziget közelében, a Duna medrében egy körülbelül 500 kilogrammos, második világháborús amerikai légibombát kellett hatástalanítani és kiemelni.

Az ilyen műveletek gyakran jelentős előkészületet igényelnek.

Le kell zárni az érintett közterületeket, szükség esetén ki kell üríteni az épületeket, korlátozni kell a közlekedést, majd a tűzszerészeknek meg kell határozniuk a robbanótest biztonságos kezelésének módját.





158. ábra A budapesti tűzszerészműveletek nemcsak katonai szakfeladatot jelentenek. Az érintett területek lezárása, az esetleges kitelepítés és a közlekedés átszervezése a város működését is befolyásolja.

Egyetlen bomba miatt órákra leállhat egy forgalmas útszakasz, vasútvonal vagy építkezés.

A szükséges intézkedések költségeit nemcsak a honvédség viseli. Az önkormányzatoknak, a rendőrségnek, a közlekedési vállalatoknak, az építőipari cégeknek és a lakosságnak is feladatokat vagy veszteségeket okozhat a művelet.

Egy háborúból visszamaradt bomba tehát nyolcvan évvel később is gazdasági költséget jelenthet.

2024-ben a Magyar Honvédség tűzszerészei országosan több mint 22 tonna robbanóanyagot tartalmazó és más robbanótestet kezeltek, illetve semmisítettek meg a beszámolók szerint. Ez nem kizárólag Budapestet érintette.

A számok arra figyelmeztetnek, hogy a második világháború robbanótest-örökségének felszámolása még mindig nem tekinthető befejezett feladatnak.

Miért kerülnek elő újabb bombák ennyi idő után?

Felmerülhet a kérdés: hogyan lehetséges, hogy egy nagyvárosban, ahol évtizedek óta intenzív építkezések folynak, még mindig találnak háborús bombákat?

A magyarázat részben a városi területek folyamatos átalakulásában rejlik.

Egy régi épület alapozása nem feltétlenül érte el azt a mélységet, ahová egy bomba évtizedekkel korábban befúródott.

Egy új mélygarázs, metróépítés vagy közműalagút azonban már olyan talajrétegeket is érinthet, amelyeket korábban nem bolygattak meg.

A folyómedrek szintén változnak. A vízmozgás és az üledék átrendeződése miatt korábban betemetett tárgyak később hozzáférhetővé vagy észlelhetővé válhatnak.

Az építkezések növekedésével így nem feltétlenül csökken az előkerülő robbanótestek száma.

Bizonyos időszakokban éppen a nagy beruházások tesznek láthatóvá korábban rejtve maradt veszélyforrásokat.

Ezért a történelmileg érintett területeken az építkezések előzetes robbanótest-kockázati vizsgálata különösen fontos lehet.

Aknamentesítés: centiméterről centiméterre visszafoglalni a földet

A háború utáni robbanótest-mentesítés nem egyszerű takarítás.

A területen hagyott veszélyes eszközök gyakran nem láthatók, és előfordulási helyük csak részben ismert.

A munkát rendszerint a korábbi katonai tevékenységek adatainak, a helyi lakosság beszámolóinak és a már megtalált robbanótestek helyének összegyűjtésével kezdik.

Ezután következhet a veszélyeztetett terület pontosabb felmérése és a szükséges műszeres vizsgálat.

A műszeres kutatás nem olyan egyszerű, mint ahogyan azt a filmek gyakran bemutatják.

A fémdetektor nem tudja minden helyzetben megbízhatóan megkülönböztetni a veszélyes robbanótestet egy ártalmatlan fémdarabtól. Egy korábbi harctéren pedig tömegesen lehetnek jelen szögek, huzalok, repeszek és más fémhulladékok.

A kutatócsoportoknak emiatt sok olyan jelzést is ellenőrizniük kell, amely mögött végül nem találnak robbanóeszközt.







159. ábra A humanitárius aknamentesítés módszerei: kézi műszeres kutatás, pontosan kijelölt munkaterületek és gépi támogatás. A gépek megkönnyíthetik a feladatot, de nem minden terepen és minden robbanótest esetében alkalmazhatók.

A munkát tovább nehezíti, hogy a különböző robbanóeszközök eltérően viselkednek.

A gyalogsági aknák, a harckocsiaknák, a tüzérségi lövedékek és a kazettás résztöltetek felkutatásához, valamint kezeléséhez nem feltétlenül ugyanazok az eszközök és eljárások szükségesek.

A nemzetközi humanitárius mentesítés ezért szigorú eljárásokra, szakmai minősítésre és ellenőrzésre épül.

A munkaterületet dokumentálni kell, az alkalmazott módszert a fenyegetéshez kell igazítani, majd független vagy megfelelően elkülönített minőségbiztosítási eljárásokkal ellenőrizni kell az eredményt.

Az egyik legfontosabb alapelv, hogy a terület biztonságosságát ne pusztán az ott végzett munka mennyiségével mérjék.

Nem az számít, hány órát dolgoztak a szakemberek, hanem hogy a területet a meghatározott célra, az elfogadott követelmények szerint használatba lehet-e venni.

A legjobb módszer néha az, hogy nem ásnak fel mindent

A mentesítési munka egyik legnagyobb költségcsökkentési lehetősége a pontos felmérés.

Régebben sokszor kiterjedt területeket kezeltek veszélyesként, mert nem állt rendelkezésre elegendő információ a robbanótestek tényleges elhelyezkedéséről.

A korszerű megközelítés a bizonyítékokon alapuló területfelszabadítást részesíti előnyben.

A történelmi dokumentumok, a helyi beszámolók, a műszeres felmérések és a korábbi találatok alapján pontosítják, hol indokolt a tényleges fizikai mentesítés.

Ez azért fontos, mert egy olyan terület teljes átvizsgálása, ahol valójában nincs robbanótest, rengeteg időt és pénzt emészthet fel.

Ugyanakkor a terület felszabadítása nem jelenthet bizonyíték nélküli biztonsági nyilatkozatot.

A cél az, hogy a rendelkezésre álló erőforrásokat ott használják fel, ahol a veszély valószínűsége és következménye a legnagyobb.

A felmérés, a mentesítés és az ellenőrzés együttesen teszi lehetővé, hogy a föld ismét használhatóvá váljon.

Mennyibe kerül a háború utáni föld megtisztítása?

Az aknamentesítés és a robbanótestek eltávolítása költséges tevékenység.

Szakembereket kell képezni, védőfelszereléseket és műszereket kell beszerezni, járműveket kell fenntartani, és biztosítani kell a műveletek egészségügyi, logisztikai és adminisztratív hátterét.

Egy nehezen megközelíthető terület megtisztítása jelentős utazási és szállítási költségeket is okozhat.

A folyamatban nemcsak a robbanótestek tényleges eltávolítását kell finanszírozni, hanem az előzetes felmérést, a dokumentációt, az ellenőrzést és a helyi lakosság biztonsági oktatását is.

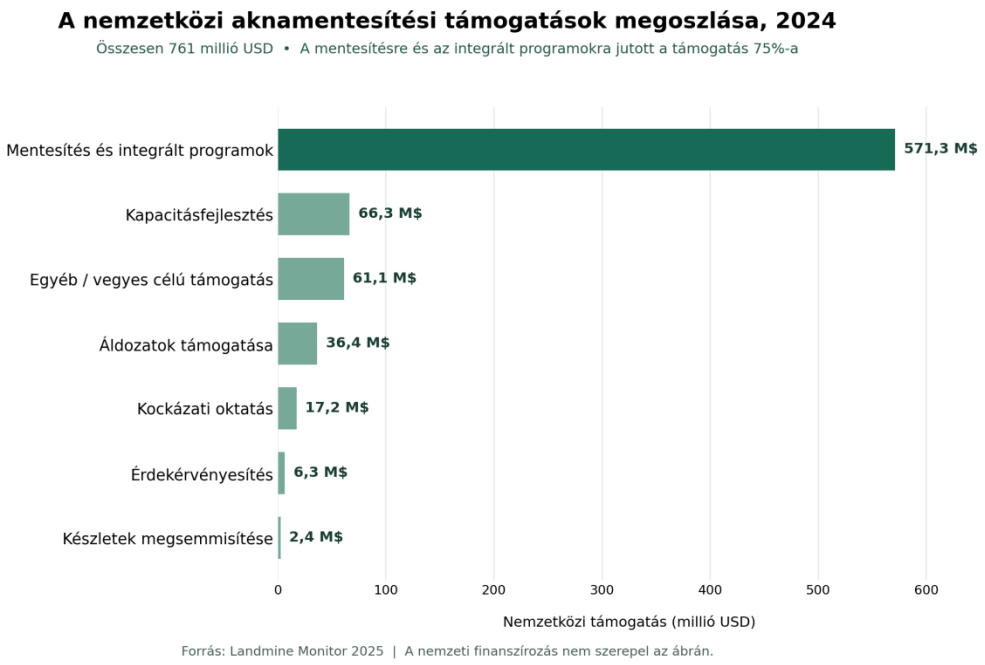
A költségek országonként és területenként nagymértékben eltérnek, ezért nincs olyan általánosan érvényes összeg, amely pontosan megmondaná, mennyibe kerül egy hektár vagy egyetlen robbanótest eltávolítása.

Egy könnyen megközelíthető, enyhén szennyezett terület mentesítése nagyságrendekkel olcsóbb lehet, mint egy sűrű erdőben vagy hegyvidéken végzett művelet.

A globális költségek azonban jól érzékeltetik a feladat méretét.

A Landmine Monitor 2025 jelentése szerint 2024-ben világszerte körülbelül 1,07 milliárd amerikai dollárnyi nemzeti és nemzetközi finanszírozás jutott az aknamentesítéssel és más robbanótest-mentesítési feladatokkal kapcsolatos programokra.

A nemzetközi aknamentesítési támogatások megoszlása, 2024



Forrás: Landmine Monitor 2025. A 761 millió dolláros nemzetközi támogatás megoszlása; a nemzeti finanszírozás nincs benne.

A kiadások döntő része a területek megtisztítására irányult, de a szakemberképzés, a sérültek ellátása és a lakosság oktatása is a teljes feladat része.

Ezek az összegek ráadásul nem tartalmazzák a veszteségek teljes gazdasági és társadalmi értékét.

Nem szerepel bennük minden kiesett mezőgazdasági termés, elmaradt beruházás, le nem épített út vagy nem megvalósult gazdasági lehetőség.

Egy terület elaknásítása katonai szempontból rövid ideig tartó művelet lehet. A későbbi biztonságossá tétele viszont évekig vagy évtizedekig elhúzódhat.

A két folyamat költség- és időigénye között hatalmas különbség lehet.

A termőföld felszabadításának gazdasági értéke

A háború utáni területek megtisztításakor gyakran a mezőgazdasági földeket részesítik előnyben.

Ennek nemcsak humanitárius, hanem gazdasági oka is van.

A földterület biztonságossá tétele közvetlenül növelheti a termelést. Lehetővé válhat a gépesített művelés, az öntözés vagy nagyobb hozamú növényfajták termesztése.


43920
BE





160. ábra A termőföld robbanótest-mentesítése gazdasági beruházás is: biztonságosabb munkát, nagyobb termelést és jobb megélhetést tehet lehetővé.

Képzeljünk el egy falut, amelynek határában száz hektár jó minőségű, de robbanótestek miatt nem biztonságosan használható termőföld található.

Ha a földet sikerül megtisztítani, a gazdálkodók újra használatba vehetik. A föld értéke növekedhet, a termelés bővülhet, és a faluban nagyobb kereslet keletkezhet a mezőgazdasági szolgáltatások iránt.

A tisztítás költsége tehát nem kizárólag kiadásként értelmezhető.

A beruházás jövőbeli gazdasági és társadalmi hasznot is létrehozhat.

Ezért a mentesítési programok hatékonyságát nemcsak az eltávolított robbanótestek száma alapján érdemes értékelni.

Fontos mérni a felszabadított föld tényleges használatát, a mezőgazdasági termelés változását, az új beruházásokat és a lakosság életkörülményeinek javulását is.

Ugyanakkor a legnagyobb gazdasági hasznot ígérő terület nem feltétlenül azonos a legsürgetőbb humanitárius feladattal.

Egy iskola, kórház vagy lakott település környezetének mentesítése akkor is elsőbbséget élvezhet, ha a közvetlen pénzügyi megtérülése nem számítható ki.

A biztonság és az emberi élet értékét nem lehet kizárólag gazdasági mutatókkal meghatározni.

A megtisztított föld valóban tiszta?

Van egy fontos különbség, amelyet a háború utáni helyreállítás során gyakran figyelmen kívül hagynak.

A robbanótestektől mentesített terület nem feltétlenül vegyi szennyeződésektől is mentes.

Az aknamentesítés és a környezeti kármentesítés két különböző feladat.

Az elsődleges cél a robbanásveszély megszüntetése. A második annak megállapítása, hogy a talajban, a felszín alatti vizekben vagy az élővilágban maradtak-e veszélyes koncentrációban szennyező anyagok.

A korábbi fejezetben láthattuk, hogy a lőszerek és robbanóanyagok maradványai ólmot, rezet, antimont és különböző szerves vegyületeket hagyhatnak maguk után.

Ezeket a fémdetektorok nem feltétlenül mutatják ki, a robbanótestek eltávolítása pedig nem szünteti meg automatikusan a vegyi szennyezést.







161. ábra A teljes környezeti helyreállítás a robbanótestek eltávolítása mellett talaj- és vízvizsgálatot, szükség esetén pedig külön vegyi kármentesítést is igényelhet.

Ez különösen fontos, ha a megtisztított területet élelmiszer-termelésre kívánják használni.

A mezőgazdasági alkalmasság megítéléséhez adott esetben nem elég a talaj felső rétegét megvizsgálni. A lehetséges szennyezők mozgását és a termesztett növényekbe történő felvételét is értékelni kell.

A teljes helyreállítás így több lépcsőből állhat: a robbanásveszély felszámolásából, a vegyi szennyezés felméréséből, szükség szerinti kármentesítésből és a későbbi környezeti ellenőrzésből.

Nem minden egykori harctéren szükséges valamennyi beavatkozás. A döntést a tényleges szennyezettség és a tervezett földhasználat alapján kell meghozni.

Ki fizessen a háborúk után?

A háború utáni mentesítés egyik legnehezebb kérdése a finanszírozás.

A robbanótesteket gyakran olyan katonai erők hagyták hátra, amelyek már régen kivonultak. Az eredeti döntéshozók meghaltak, a hadseregek átalakultak, egyes államok megszűntek vagy megváltoztak.

A veszély azonban továbbra is fennáll.

Laosz esetében az Egyesült Államok jelentős támogatást nyújtott és nyújt a háborús robbanótestek eltávolításához. A vietnámi mentesítési programokat is különböző nemzetközi támogatások segítik.

Ezek a források azonban nem feltétlenül fedezik a teljes szükségletet.

Ráadásul a támogatások mértéke politikai és gazdasági döntésektől függ. Egy donorország költségvetési helyzete vagy külpolitikai prioritásainak változása érdemben befolyásolhatja a mentesítési programok működését.

A Landmine Monitor szerint 2024-ben a nemzetközi aknamentesítési támogatások 62 százalékát öt nagy donor biztosította: az Egyesült Államok, Németország, az Európai Unió, Norvégia és Svájc.

Ez jelentős támogatás, de egyúttal pénzügyi függőséget is jelenthet a kedvezményezett országok számára.



162. ábra

A megtisztított területek átadása a helyi közösségeknek. A humanitárius mentesítés egyszerre nemzetközi együttműködés és hosszú távú fejlesztési feladat.

Felmerül a környezetvédelemben jól ismert alapelv: a szennyező fizessen.

De hogyan alkalmazható ez a háborúkra?

A felelősség meghatározása nem mindig egyszerű. Egy területet különböző időszakokban több hadsereg is használhatott, és ugyanott eltérő eredetű robbanótestek maradhattak vissza.

A nemzetközi jog bizonyos helyzetekben előírja a robbanótestek eltávolítását, és szabályozza az érintett államok közötti együttműködést.

Az 1997-es gyalogsági aknák tilalmáról szóló egyezmény és a 2008-as kazettás lőszerekről szóló egyezmény a részes államokra kötelezettségeket ró a tiltott fegyverekkel, a szennyezett területekkel és a nemzetközi segítségnyújtással kapcsolatban.

Ezek az egyezmények azonban nem minden államra vonatkoznak, és nem biztosítanak minden korábbi háborús kárra automatikus kártérítési megoldást.

A költségek ezért gyakran a háború által érintett országok lakosságára és a nemzetközi támogatási rendszerekre hárulnak.

A jövő nemzedékek adóssága

A háborúk hosszú távú környezeti örökségét közgazdasági szempontból is érdemes megvizsgálni.

A háborút kezdeményező vagy vívó nemzedék döntéseinek költségei nem feltétlenül ugyanabban az időszakban jelentkeznek.

A fegyverek előállítását és használatát a hadviselő államok a saját költségvetésükből finanszírozzák.

A fel nem robbant lőszerek eltávolítása, a szennyezett területek megtisztítása és az évtizedekkel későbbi balesetek következményeinek kezelése viszont már a következő nemzedékeket terhelheti.

Ez az időben áthárított költségek egyik különösen súlyos formája.

Egy országban például a háború után született gyermekek olyan földterületek mellett nőhetnek fel, amelyeket már a szüleik és nagyszüleik sem használhattak biztonságosan.

Később ugyanennek a nemzedéknek kell adót fizetnie a mentesítésért, miközben a korlátozott földhasználat miatt kisebb gazdasági lehetőségekből részesül.

A veszteség tehát több formában jelentkezik.

Egyrészt közvetlen állami kiadásként: a robbanótestek eltávolítása, a kármentesítés, az egészségügyi ellátás és az infrastruktúra újjáépítése költséget jelent.

Másrészt elmaradt haszonként: a termőföld, az erdő, a közlekedési útvonal vagy az ipari terület hosszú ideig nem használható teljes értékűen.

Harmadrészt társadalmi következményként: a veszély korlátozhatja az oktatást, a gyermekek biztonságos mozgását, a települések fejlődését és az emberek lakóhelyválasztását.

Egy negyedik, nehezebben számszerűsíthető veszteség is jelentkezik: a bizonytalanság.

Ha egy család nem tudhatja biztosan, hogy a földjén található-e robbanótest, akkor olyan beruházásokat is elhalaszthat, amelyeket egyébként megvalósítana.

A bizonytalanság önmagában is gazdasági teher.







163. ábra A háborús örökség a következő nemzedékek életlehetőségeit is meghatározhatja. A biztonságos földhasználat visszaállítása ezért jóval több egyszerű műszaki feladatnál.

Egy háborús bomba közgazdasági mérlege

Képzeljünk el egy második világháborús bombát, amely 1944-ben nem robbant fel, majd 2026-ban kerül elő egy budapesti építkezés során.

A bombát több mint nyolcvan évvel korábban gyártották és dobták le.

A robbanótest kezelésének költsége viszont 2026-ban jelentkezik.

A tűzszerészeknek ki kell vonulniuk, a rendőrségnek biztosítania kell a területet, szükség esetén a lakosságot ki kell telepíteni, és az építkezés is leállhat.

A költségeket a jelenkori állami és helyi szervek, vállalkozások és lakosok viselik.

Az eredeti katonai művelet pénzügyi elszámolása régen lezárult.

A bomba gazdasági története azonban még nem.

Ez a példa jól mutatja, hogy a háborúk teljes költsége nem határozható meg pusztán az akkori katonai kiadásokból.

A háború tényleges számlájának egy részét olyan emberek fizetik ki, akik a háború idején még meg sem születtek.

Lehet-e gyorsabb és olcsóbb a mentesítés?

A technológiai fejlődés új lehetőségeket nyitott a robbanótestek felkutatásában.

A korszerű fémdetektorok, magnetométerek, talajradarok és más geofizikai mérőberendezések segíthetnek a veszélyes tárgyak azonosításában.

A drónok és a műholdas felvételek a korábbi harci tevékenységek nyomainak feltérképezésében lehetnek hasznosak.

A mesterséges intelligencia alkalmazható a légi felvételek elemzésére, a gyanús területek rangsorolására és a különböző adatforrások összekapcsolására.

Egyes gépi tanulási módszerek a műszeres mérések alapján segíthetnek megkülönböztetni a lehetséges robbanótesteket az ártalmatlan fémtárgyaktól.







164. ábra A mentesítés technológiája fejlődik: drónos felmérés, geofizikai műszerek, adatfeldolgozás és távirányított gépek segíthetik a szakemberek munkáját.

Ezek a módszerek azonban nem helyettesítik teljes egészében a szakszerű helyszíni munkát.

Egy drónfelvétel alapján nem lehet minden föld alatti robbanótestet azonosítani. A talajradar eredményét befolyásolja a talaj nedvessége, szerkezete és a célpont mélysége.

A mesterséges intelligencia pedig téves következtetéseket is levonhat.

A mentesítésnél a tévedések következményei rendkívül súlyosak lehetnek, ezért az automatizált rendszerek eredményeit ellenőrizni kell.

A technológia legfontosabb előnye sokszor nem az, hogy maga távolítja el a veszélyes tárgyakat, hanem hogy pontosabban meghatározza, hol érdemes a szakembereknek dolgozniuk.

Ez csökkentheti a szükségtelen területátvizsgálást, gyorsíthatja a munkát és mérsékelheti a költségeket.

Az újabb háborúk újabb örökséget hagynak hátra

Miközben Laoszban és Vietnámban még mindig több mint fél évszázaddal ezelőtti robbanótesteket távolítanak el, a világ más részein újabb nagy kiterjedésű veszélyeztetett területek keletkeznek.

Ukrajna, Szíria, Irak, Jemen és más konfliktusövezetek példája mutatja, hogy a probléma nem csupán történelmi örökség.

A 2022 óta tartó teljes körű ukrajnai háború következtében jelentős mezőgazdasági területek váltak aknák és más robbanótestek miatt veszélyessé.

A háború alatt a tényleges szennyezettség folyamatosan változhat, ezért a mentesítés teljes időigényét és költségét még nem lehet megbízhatóan meghatározni.



165. ábra Robbanótest-mentesítés Ukrajnában. A korábbi háborúk tapasztalatai ma is alkalmazhatók, de a jelenlegi konfliktus kiterjedése újabb, hosszú távú helyreállítási feladatokat vet fel.

A történelem egyik különös ellentmondása, hogy miközben egyes országok már évtizedek óta takarítják korábbi háborúik maradványait, más országokban újabb veszélyes területek keletkeznek.

A mentesítésre fordított nemzetközi erőforrások ezért nemcsak a történelmi örökség felszámolását szolgálják, hanem az újabb konfliktusok következményeivel is kénytelenek lépést tartani.

Ez felveti a megelőzés fontosságát.

A nemzetközi fegyverzetkorlátozási egyezmények, a polgári lakosság védelme és a háborús robbanótestekre vonatkozó információk megőrzése mind hozzájárulhatnak ahhoz, hogy kevesebb veszély maradjon a következő nemzedékekre.

A robbanótestek későbbi felkutatása szempontjából a pontos adatok is értékesek lehetnek.

A katonai műveletek során keletkezett megbízható helyszíni nyilvántartások megfelelő átadása és felhasználása segítheti a háború utáni mentesítést. Az ilyen információk hiánya viszont évtizedekkel meghosszabbíthatja a veszély fennmaradását.

A béke valódi költsége

Amikor egy országban véget ér egy háború, az újjáépítés rendszerint a leglátványosabb feladatokkal kezdődik.

Helyreállítják a hidakat, az utakat és az elektromos hálózatot. Újjáépítik a lakóházakat, megnyitják az iskolákat és a kórházakat.

A robbanótestek eltávolítása kevésbé látványos munka.

Nem emelkednek új épületek, nem készülnek hatalmas ipari beruházások. A munka eredménye gyakran csak annyi, hogy egy korábban veszélyes mezőn ismét biztonságosan lehet járni.

Pedig ez az újjáépítés egyik legalapvetőbb feltétele.

Egy ország nem tud teljesen helyreállni, ha lakossága nem használhatja biztonságosan a földjét.

A robbanótestektől mentesített terület nem csupán gazdasági értéket képvisel. Visszaadja az embereknek a mozgás, a munkavégzés és a lakóhelyük biztonságos használatának lehetőségét.

Laoszban és Vietnámban a háború után született nemzedékek még mindig az elődeik korából származó robbanótestek következményeivel élnek együtt.

Budapesten egy nyolcvanéves bomba ma is képes megbénítani egy városrész működését.

Ukrajnában pedig már most megkezdődött annak az örökségnek a felhalmozódása, amelynek felszámolása még sokáig feladatot jelenthet.

A háborúk időtartamát rendszerint években mérjük.

Környezeti és társadalmi következményeik időtartamát azonban gyakran évtizedekben, sőt nemzedékekben kell mérnünk.

Ez az egyik legsúlyosabb oka annak, hogy a háborúk valódi költsége messze meghaladja a hadikiadásokat és a közvetlen pusztítás értékét.

A békeszerződés lezárhatja a háborút az államok között. De a föld alatt maradt bombákkal nem lehet békét kötni. Azokat az utódoknak kell megtalálniuk, hatástalanítaniuk és eltávolítaniuk – gyakran sok évtizeddel azután, hogy a háború már csak történelem.

A fejezet főbb szakmai forrásai

- UNDP – Laosz kazettáslőszer-öröksége. A több százmillió szétszórt résztöltet történelmi becslése és az eltávolításuk folyamata.
- Mine Action Review – Clearing Cluster Munition Remnants 2025. A kazettáslőszer-mentesítés nemzetközi eredményei.
- Vietnam National Mine Action Center (VNMAC). A vietnámi robbanótest-veszélyeztetettség és a nemzeti mentesítési program adatai.
- Project RENEW – Vietnám. A Quảng Trị térségében végzett humanitárius robbanótest-mentesítési tevékenység.
- Landmine Monitor 2025. Az aknamentesítés nemzetközi finanszírozása, eredményei és humanitárius következményei.
- Magyar Honvédség. A magyarországi tűzszerészműveletek és második világháborús robbanótestekkel kapcsolatos tájékoztatások.

24. Ki fizeti meg a háborús környezeti károkat?

Egy háború után össze lehet számolni a lerombolt épületeket, a megsemmisült hidakat és a tönkrement gyárakat. A veszteségekhez pénzbeli értéket lehet rendelni, majd megkezdődhet az újjáépítés. De mennyit ér egy elszennyezett folyó? Ki fizet egy elpusztult erdőért, egy használhatatlanná vált termőföldért vagy egy évtizedekre károsodott vízkészletért? És mi történik, ha a szennyezés országhatárokon is átterjed? A háborúk környezeti ára nemcsak természettudományos, hanem jogi, gazdasági és erkölcsi kérdés is. A legnagyobb probléma gyakran nem az, hogy nincs felelős, hanem az, hogy a felelősséget rendkívül nehéz bizonyítani és érvényesíteni.







166. ábra A háborús környezeti károk három formája: olajjal szennyezett föld, megváltoztatott vízrendszer és vegyileg károsodott talaj. A helyreállítás költsége és a jogi felelősség nem feltétlenül esik egybe.

A pusztítás után megérkezik a számla

A korábbi fejezetekben láthattuk, hogy a háborúk környezeti következményei messze túlnyúlnak a közvetlen harcok időszakán.

A katonai járművek üzemanyagot fogyasztanak, az olajipari létesítmények felgyulladhatnak, az erdők elpusztulnak, a talajba robbanóanyag-maradványok kerülhetnek, a fel nem robbant lőszerek pedig évtizedekig veszélyeztethetik a lakosságot.

A környezeti pusztítás felszámolása jelentős erőforrásokat igényel.

A szennyezett talajt ki kell termelni vagy kezelni, a veszélyes hulladékot megfelelő létesítményekben kell ártalmatlanítani, a folyókat és a felszín alatti vízkészleteket meg kell vizsgálni, a sérült erdőket és vizes élőhelyeket lehetőség szerint helyre kell állítani.

Ehhez szakemberekre, műszerekre, laboratóriumokra, munkagépekre és hosszú távú ellenőrzési rendszerekre van szükség.

A környezeti helyreállítás azonban nem ugyanaz, mint egy lerombolt híd újjáépítése.

Egy híd esetében viszonylag pontosan meghatározható, mennyi beton, acél, munkaóra és gépi kapacitás szükséges a pótlásához.

Egy erdő esetében a helyzet sokkal bonyolultabb. Új fákat lehet ültetni, de az eredeti ökoszisztéma összetettségét, talajéletét és élővilágát nem lehet egyszerűen megvásárolni.

Egy felszín alatti vízkészlet megtisztítása évtizedekig tarthat, és bizonyos szennyezések esetében az eredeti állapot teljes helyreállítása műszakilag vagy gazdaságilag nem is lehetséges.

Ezért a háborús környezeti károk értékelésében legalább három különböző kérdés jelenik meg.

Az első: mekkora fizikai és ökológiai károsodás történt?

A második: mennyibe kerül a helyreállítás, és milyen mértékben lehetséges?

A harmadik: ki köteles ezeket a költségeket viselni?

A három kérdés szorosan összefügg, de a válaszuk nem feltétlenül azonos.

Védeni kell a természetet háborúban is?

A nemzetközi humanitárius jog alapvető célja, hogy korlátozza a háborúk során alkalmazható eszközöket és módszereket, valamint védje azokat, akik nem vagy már nem vesznek részt a harcokban.

A szabályok jelentős része a polgári lakosság, a sebesültek, a hadifoglyok és a polgári létesítmények védelmére összpontosít.

A természetes környezet védelme sokáig kevésbé volt hangsúlyos.

Pedig a természet károsodása közvetlenül befolyásolhatja az emberek életét. Ha egy folyó elszennyeződik, a lakosság elveszítheti az ivóvizét. Ha a termőföld használhatatlanná válik, élelmezési válság alakulhat ki. Ha egy erdő elpusztul, annak ökológiai és gazdasági következményei évtizedekig fennmaradhatnak.

Az 1977-es genfi kiegészítő jegyzőkönyv több rendelkezése már kifejezetten foglalkozik a természeti környezet védelmével.

Az I. kiegészítő jegyzőkönyv 35. és 55. cikke a természeti környezetet érintő bizonyos, nagy kiterjedésű, hosszan tartó és súlyos károsodásokkal szemben állít fel tilalmakat.

A Nemzetközi Vöröskereszt (ICRC) 2020-ban részletes iránymutatást adott ki a természeti környezet fegyveres konfliktusok alatti védelméről.



167. ábra A nemzetközi humanitárius jog a fegyveres konfliktusok alatt is korlátozza a környezetet érő károkozást. A természeti környezet védelme összefügg a polgári lakosság életfeltételeinek megőrzésével.

A jogi szabályozás azonban nem jelenti azt, hogy háborúban minden környezeti károkozás automatikusan jogellenes.

A hadviselés során egyes létesítmények jogszerű katonai célpontnak minősülhetnek, ugyanakkor a támadásoknak meg kell felelniük a megkülönböztetés, az arányosság és az elővigyázatosság követelményeinek.

A várható környezeti károkat is figyelembe kell venni ezek alkalmazásakor.

Például egy jelentéktelen katonai előnyt biztosító célpont ellen végrehajtott támadás, amely előreláthatóan súlyos környezeti és polgári károkat okozna, az arányossági szabályokba ütközhet.

Másrészt egy jelentős katonai célpont elleni támadás sem válik automatikusan jogszerűvé, ha a természeti környezet károsodása eléri a külön tiltott mértéket.

A három szó, amelyen sok múlik

A nemzetközi jog egyik legfontosabb, ugyanakkor legnehezebben alkalmazható környezetvédelmi rendelkezése három feltételt említ.

A károsodásnak nagy kiterjedésűnek, hosszan tartónak és súlyosnak kell lennie.

A genfi I. kiegészítő jegyzőkönyv vonatkozó tilalmánál a három feltétel együttes fennállása szükséges. Az 1976-os ENMOD-egyezményben alkalmazott, hasonló megfogalmazás viszont eltérő jogi szabályt tartalmaz: ott a megfelelő feltételek vagylagosak. A két egyezmény ezért nem kezelhető azonosként.

Mit jelent azonban a nagy kiterjedés?

Száz négyzetkilométert? Ezret? Egy teljes folyó vízgyűjtő területét?

Milyen hosszú idő számít tartósnak?

Néhány év, több évtized vagy egy teljes emberöltő?

És hogyan lehet meghatározni, hogy egy ökológiai károsodás mikor válik súlyossá?

Az ICRC értelmezése szerint a kiterjedés több száz négyzetkilométert, a hosszú időtartam éveket, a súlyosság pedig az ökoszisztémák vagy az emberi egészség jelentős károsodását is jelentheti. Ezek azonban értelmezési támpontok, nem minden esetre mechanikusan alkalmazható mérőszámok.

A probléma jól látható.

Egy kisebb területen bekövetkező, de rendkívül mérgező ipari szennyezés esetleg nem éri el a speciális tilalom valamennyi feltételét, miközben a helyi lakosság számára súlyos következményekkel járhat.

Ez nem jelenti azt, hogy az esemény minden más jogi szabály szerint megengedett. A polgári lakosság, a polgári létesítmények és a vízellátás védelmére más szabályok is vonatkozhatnak.

A környezetvédelmi felelősség megállapítása azonban így is összetett jogi vizsgálatot igényel.

Környezetpusztítás mint háborús bűncselekmény?

Az utóbbi években egyre több szó esik az ökocídium, vagyis a rendkívül súlyos környezetpusztítás fogalmáról.

A kifejezés olyan cselekményekre utal, amelyek nagy kiterjedésű vagy tartós természeti károsodást okoznak.

Egyes jogászok és környezetvédelmi szervezetek azt szorgalmazzák, hogy az ökocídium önálló nemzetközi bűncselekményként ismerhető legyen el.

Jelenleg azonban az ökocídium nem szerepel önálló bűncselekményként a Nemzetközi Büntetőbíróság Római Statútumának négy alapbűncselekménye között.

A Római Statútum ugyanakkor meghatározott feltételek mellett már most is háborús bűncselekménynek minősítheti a természeti környezet rendkívül súlyos károsodásával járó támadásokat.

Itt különösen fontos megkülönböztetni az állami kártérítési felelősséget és az egyéni büntetőjogi felelősséget.

Egy állam kötelezhető bizonyos károk megtérítésére, miközben a konkrét katonai vagy politikai döntéshozók büntetőjogi felelősségének megállapítása külön eljárást igényelhet.

Az sem elegendő, hogy utólag súlyos környezeti károsodást állapítanak meg.

A büntetőjogi felelősséghez bizonyítani kell a vonatkozó tényállás további feltételeit, például a szükséges tudati elemeket és a támadás körülményeit.

Ezért a jogsértés bizonyítása gyakran sokkal nehezebb, mint maga a környezeti kár kimutatása.

A katonai kibocsátások: a klímamérleg hiányzó tételei

A környezeti károk egy része helyhez köthető.

Meg lehet állapítani, hol égett le egy erdő, melyik olajtároló gyulladt ki, és melyik folyó szennyeződött el.

A háborúk üvegházhatásúgáz-kibocsátása azonban különleges problémát jelent.

A szén-dioxid a légkörben elkeveredik. A klímaváltozás szempontjából lényegében mindegy, hogy a kibocsátás egy gyárból, egy civil repülőgépből vagy egy katonai járműből származik.

A nemzetközi kibocsátási elszámolásban mégis jelentős különbségek vannak.

Az ENSZ Éghajlatváltozási Keretegyezménye és a Párizsi Megállapodás alapján az országoknak üvegházhatásúgáz-leltárakat kell készíteniük, illetve az alkalmazandó átláthatósági szabályok szerint jelenteniük kell kibocsátásaikat.

A katonai tevékenységek azonban sok esetben nem jelennek meg önálló, átfogó és könnyen ellenőrizhető kategóriaként.

Fontos pontosítani: a katonai kibocsátások nem élveznek általános, teljes mentességet a nemzetközi klímaelszámolás alól.

A belföldi katonai üzemanyag-felhasználás egyes kibocsátásai szerepelhetnek a nemzeti leltárakban. Ausztrália például külön módszertani leírásban számol el katonai járművekhez kapcsolódó üzemanyag-felhasználást.

A probléma az adatok részletességében, a nemzetközi összehasonlíthatóságban és a teljes katonai életciklus elszámolásában rejlik.




1863
737TC



168. ábra A katonai repülés, a szárazföldi logisztika és a haditengerészet jelentős üzemanyag-fogyasztással jár. A teljes környezeti mérleghez az ellátási láncok és a hadiipar kibocsátását is figyelembe kell venni.

Egy hadsereg klímamérlegében többféle kibocsátás jelenhet meg.

A katonai járművek és repülőgépek üzemanyag-fogyasztása közvetlen kibocsátást eredményez.

A fegyverek, járművek, hajók és repülőgépek gyártása a beszállítók ipari kibocsátásához kapcsolódik.

A katonai bázisok építése, fűtése, hűtése és energiaellátása további terhet jelent.

Egy háború pedig rendkívüli kibocsátásokat hozhat létre az ipari tüzek, az erdőpusztulás, a megnövekedett szállítási igény és a későbbi újjáépítés révén.

Ezek nem feltétlenül ugyanabban az országban jelentkeznek.

Egy fegyvert gyárthatnak Európában, elszállíthatják egy másik kontinensre, és felhasználhatják egy harmadik országban.

Az előállítás kibocsátása a gyártó ország leltárában szerepelhet, miközben a hadműveletek következményei máshol jelentkeznek.

Egy teljes háborús klímamérleg összeállításakor ezért az is kérdés, hogyan különítsük el az egymást átfedő kibocsátási tételeket.

A kettős elszámolás elkerülése ugyanúgy fontos, mint a hiányzó kibocsátások feltárása.

Az ukrajnai háború szén-dioxid-számlája

Az ukrajnai háborúval kapcsolatban már történtek kísérletek a teljesebb klímamérleg összeállítására.

Az Initiative on GHG Accounting of War 2026 februárjában közzétett vizsgálata szerint az orosz invázió első négy évéhez kapcsolódó összesített kibocsátás és becsült jövőbeli többletkibocsátás körülbelül 311 millió tonna szén-dioxid-egyenértéket tett ki.

A vizsgálat figyelembe vette a hadműveletek, a tüzek, az energetikai infrastruktúra pusztulása, a közlekedés megváltozása és a várható újjáépítés hatásait is.

Az ukrajnai háború becsült éghajlati terhe

311 millió tonna

CO_2-egyenérték – az első négy háborús évhez kapcsolódó teljes becslés

A szám tartalmaz előrevetített újjáépítési kibocsátást is. Nem kizárólag a 2026 februárjáig ténylegesen a légkörbe jutott mennyiséget jelenti.

Ez olyan nagyságrendű kibocsátás, amely egy közepes vagy nagyobb európai ország éves kibocsátásához mérhető.

De ki felel ezért a klímakárért?

A háborúért nem felelős országok lakossága is viseli a globális felmelegedés következményeinek egy részét.

Egy olyan ország, amely több ezer kilométerre található a hadszíntértől, nem tudja elkerülni a légkörbe került üvegházhatású gázok éghajlati hatását.

A klímakár ezért különösen nehezen illeszthető a hagyományos kártérítési rendszerekbe.

Egy lerombolt épület tulajdonosa azonosítható. Egy elszennyezett tó helyreállítási költsége becsülhető.

De ki és milyen összegben jogosult kártérítésre egy olyan szén-dioxid-kibocsátás miatt, amely a globális felmelegedéshez járult hozzá?

Ez a kérdés a nemzetközi jog egyik még nem megoldott problémája.

Kuvait: amikor az ENSZ benyújtotta a számlát

A háborús környezeti kártérítés történetének egyik legfontosabb esete az 1990–1991-es iraki–kuvaiti háborúhoz kapcsolódik.

Az iraki megszállás és a kuvaiti olajkutak felgyújtása rendkívüli környezeti pusztítást okozott.

Olajtavak keletkeztek a sivatagban, olaj került a tengeri környezetbe, talajok szennyeződtek el, és nagy kiterjedésű élőhelyek károsodtak.

A háború után az ENSZ Biztonsági Tanácsa létrehozta az ENSZ Kártérítési Bizottságát (UNCC).

A bizottság feladata az Irak jogellenes inváziója és kuvaiti megszállása következtében keletkezett veszteségekre vonatkozó kárigények feldolgozása volt.







169. ábra A kuvaiti háború környezeti pusztításának három szakasza: az égő olajkutak, az olajjal borított sivatag és a későbbi talaj-helyreállítás.

A bizottsághoz körülbelül 2,7 millió kárigény érkezett, összesen mintegy 352,5 milliárd dollár értékben.

A jóváhagyott kártérítés végül 52,4 milliárd dollár volt, amelyet körülbelül másfél millió sikeres kérelmező részére ítéltek meg.

A kifizetéseket az iraki olajexport bevételeinek meghatározott részéből finanszírozták. Az utolsó kifizetésre 2022 januárjában került sor, több mint harminc évvel a háború után.

Az iraki–kuvaiti háború nemzetközi kártérítése

Benyújtott igények

352,5 Mrd $

Megítélt és kifizetett

52,4 Mrd $

A megítélt összeg a benyújtott igények értékének mintegy 15%-a volt. A különbség nem egyszerűen kifizetetlen tartozás: számos igényt nem fogadtak el teljes egészében vagy egyáltalán. Forrás: ENSZ Kártérítési Bizottság.

A környezeti kártérítés különösen fontos része volt az eljárásnak.

Az UNCC körülbelül 4,3 milliárd dollárt ítélt meg Kuvait, Irán, Jordánia és Szaúd-Arábia kormányainak kifejezetten környezeti helyreállítási és kármentesítési célokra.

Ebből Kuvait körülbelül 3 milliárd dollárt kapott a környezeti helyreállítást szolgáló programok keretében.

A kuvaiti kármentesítés egyik kiemelkedő feladata a háború után visszamaradt olajjal szennyezett talaj kezelése volt.

Az olajtavak és a szennyezett sivatagi területek helyreállítására az UNCC több mint 2,25 milliárd dollárt ítélt meg, mintegy 114 négyzetkilométernyi érintett területre.

A program nem csupán a szennyezett anyagok eltávolításáról szólt.

A természetes növényzet visszatelepítése, a talaj stabilizálása, a szélerózió mérséklése és a környezeti állapot hosszú távú megfigyelése is része volt a terveknek.

Ez rendkívül fontos felismerést jelentett.

A háborús környezeti kártérítés nemcsak a megsemmisült vagyontárgyak pótlásáról, hanem a természeti erőforrások helyreállításáról is szólhat.

Miért kivételes a kuvaiti példa?

A kuvaiti kártérítési rendszer azonban nem vált automatikusan követhető általános nemzetközi gyakorlattá.

Létrejöttét különleges politikai és jogi körülmények tették lehetővé.

A Biztonsági Tanács döntései biztosították a jogi keretet, a kártérítési alap pedig az iraki olajexport bevételeiből jutott forrásokhoz.

Más háborúk esetében gyakran hiányzik az ilyen nemzetközi megállapodás, a kikényszeríthető döntés vagy a működő finanszírozási mechanizmus.

A kuvaiti példa ezért egyszerre bizonyítja, hogy nagy összegű környezeti kártérítés lehetséges, és azt is, hogy ehhez kivételes nemzetközi együttműködésre és végrehajtási eszközökre lehet szükség.

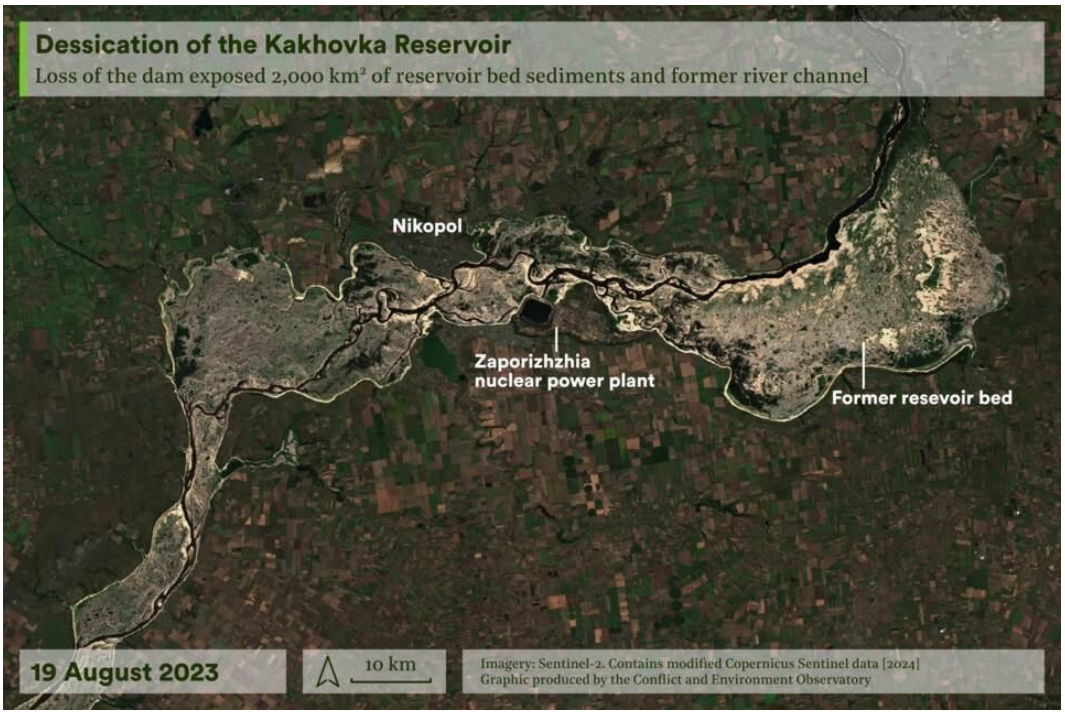
Ukrajna: a károk felmérése már a háború alatt megkezdődött

Az orosz–ukrán háború egyik fontos sajátossága, hogy a környezeti károk dokumentálása már a harcok idején megkezdődött.

A hagyományos módszer sokáig az volt, hogy egy konfliktus befejezése után nemzetközi szakértői csoportok felmérték a pusztítást.

Ukrajnában azonban műholdas megfigyelések, digitális nyilvántartások, térinformatikai rendszerek és helyszíni vizsgálatok segítségével folyamatosan gyűjtenek adatokat.

Az Európa Tanács keretében létrehozott Ukrajnai Kárnyilvántartás (Register of Damage for Ukraine) külön kategóriákat tartalmaz a környezeti károkra, a természeti erőforrások jogellenes elvételére, valamint az aknamentesítés és a fel nem robbant lőszerek eltávolításának költségeire.







170. ábra Az ukrajnai környezeti károk különböző típusai: a vízrendszerek átalakulása, az ipari szennyezés és a termőföldek robbanótest-mentesítése. Mindegyik eltérő vizsgálati és kártérítési módszert igényel.

A nyilvántartás jelentős előrelépés, de fontos megérteni a korlátait.

A kárigények regisztrálása önmagában még nem jelenti a felelősség jogerős megállapítását vagy a kártérítés kifizetését.

A nyilvántartás az igények összegyűjtésére és dokumentálására szolgál. A későbbi értékeléshez, döntésekhez és kifizetésekhez külön jogi és intézményi eljárások szükségesek.

A dokumentálás azonban rendkívül fontos.

A háború után sok bizonyíték eltűnhet. A romokat eltakarítják, a sérült infrastruktúrát kijavítják, a növényzet visszanő, és a szennyező anyagok idővel átalakulhatnak vagy továbbterjedhetnek.

A minél korábbi adatgyűjtés ezért növelheti annak esélyét, hogy később rekonstruálni lehessen a károk okait és nagyságát.

Egy elszennyezett folyó bizonyítási problémája

Képzeljünk el egy folyót, amelynek partján vegyi üzem működik.

A háború során az üzemet találat éri, egy tároló megsérül, és veszélyes vegyi anyag kerülhet a folyóba.

A szennyezés ténye viszonylag könnyen megállapítható lehet, ha a mintavétel időben megtörténik.

A jogi felelősség bizonyítása azonban további kérdéseket vet fel.

Valóban a katonai támadás következtében került az anyag a folyóba? Mekkora szennyezés volt jelen a háború előtt? Pontosan melyik fegyveres fél milyen cselekménye okozta a károsodást? Milyen információk álltak rendelkezésre a támadás előtt?

És ami ugyancsak fontos: mennyit változott volna a folyó állapota akkor is, ha nem következik be a támadás?

A környezetvédelmi kártérítéshez ezért különösen fontos az úgynevezett kiinduló állapot, vagyis annak ismerete, milyen volt a környezet a károkozás előtt.

Ha korábban is működött az ipari létesítmény, és már akkor is szennyezte a folyót, nehezebb elkülöníteni a háború által okozott többletkárt.

A műholdas képek segíthetnek a létesítmény pusztulásának bizonyításában, de a vízbe jutott vegyületek koncentrációját és a teljes ökológiai kárt önmagukban rendszerint nem határozzák meg.



171. ábra Környezeti szakemberek szennyezett talajból vesznek mintákat egy háború által érintett területen. A laboratóriumi eredmények a későbbi helyreállítás és a kárértékelés alapját képezhetik.

A modern környezeti vizsgálatok ezért több tudományterület együttműködését igénylik.

Vegyészek, geológusok, hidrológusok, ökológusok, mérnökök, közgazdászok és jogászok dolgozhatnak ugyanazon kár felmérésén.

A mérési adatok pedig csak akkor használhatók megbízható bizonyítékként, ha ismert a mintavétel helye, ideje, módja, és dokumentált a minták későbbi kezelése.

Mennyit ér egy elpusztult ökoszisztéma?

A háborús környezeti károk pénzbeli értékelése a közgazdaságtan egyik legnehezebb területe.

Egy szennyezett talaj megtisztításának költsége viszonylag jól becsülhető lehet, ha ismert a szennyezés típusa és kiterjedése.

Az elveszett ökológiai szolgáltatások értékének meghatározása már jóval bonyolultabb.

Egy erdő fát termel, szén-dioxidot köt meg, befolyásolja a vízháztartást, védi a talajt, élőhelyet biztosít és rekreációs értékkel is rendelkezik.

Egy vizes élőhely természetes vízszűrési, árvízmérséklési és élőhelyi funkciókat tölthet be.

Ezeket nem lehet teljes egészükben egyetlen piaci árral kifejezni.







172. ábra Az erdők és vizes élőhelyek értéke túlmutat a kitermelhető nyersanyagokon. Egy háborús pusztítás következtében vízgazdálkodási, klímavédelmi és ökológiai funkciók is elveszhetnek.

A közgazdasági értékelés több módszert alkalmazhat.

Megbecsülhető a helyreállítás költsége, a kiesett gazdasági termelés értéke, valamint bizonyos ökoszisztéma-szolgáltatások elvesztéséből származó társadalmi kár.

Ezeket azonban nem lehet korlátlanul összeadni, mert ugyanaz a veszteség több számításban is szerepelhet.

Ha például egy erdő helyreállításának teljes költségét figyelembe vesszük, és emellett minden egyes ökológiai funkció elvesztését külön értékeljük, gondosan ellenőrizni kell az átfedéseket.

Van azonban egy még alapvetőbb kérdés.

Mi történik, ha egy ökoszisztéma nem állítható helyre?

Egy kipusztult helyi populáció, egy megsemmisült különleges élőhely vagy egy tartósan átalakult vízrendszer esetében nem feltétlenül létezik olyan műszaki beavatkozás, amely visszaállítaná az eredeti állapotot.

A pénzbeli kártérítés ilyenkor nem azonos a tényleges helyreállítással.

A természetkárosodás egyes formáinak nincs teljes értékű pénzügyi megfelelője.

Az újjáépítés dilemmája: eredeti állapot vagy jobb rendszer?

A háború után az elsődleges cél rendszerint az életfeltételek helyreállítása.

Ivóvizet kell biztosítani, működőképessé kell tenni az energiarendszert, újra kell indítani a közlekedést és a gazdaságot.

Az újjáépítés ugyanakkor jelentős anyag- és energiafelhasználással jár.







173. ábra A háború utáni újjáépítés egyszerre jelenthet környezeti terhelést és lehetőséget egy korszerűbb, takarékosabb infrastruktúra kialakítására.

Felmerül a kérdés: az újjáépítés során vissza kell-e állítani a korábbi rendszereket, vagy célszerűbb korszerűbb technológiákat alkalmazni?

Egy megsemmisült széntüzelésű erőmű pótlása történhet új fosszilis erőművel, de adott körülmények között más energiaforrások és korszerűbb hálózatok kiépítése is szóba jöhet.

Egy elpusztult épület újjáépíthető eredeti formájában, de jobb szigeteléssel, hatékonyabb fűtéssel és alacsonyabb energiaigénnyel is.

Egy megsérült vízellátó rendszer helyreállításakor csökkenthetők lehetnek a hálózati veszteségek, javítható a vízkezelés és a tartalékkapacitás.

A korszerűbb rendszerek hosszú távon kisebb környezeti terhelést okozhatnak, de a beruházások kezdetben drágábbak lehetnek.

Ez újabb jogi és pénzügyi kérdést vet fel.

Ha egy elpusztult létesítményt korszerűbb és drágább rendszerrel helyettesítenek, a teljes beruházási költség a háborús kár részének tekinthető-e?

Nem feltétlenül.

A hagyományos kártérítési elvek rendszerint a tényleges kár megtérítésére irányulnak, nem pedig arra, hogy a károsult automatikusan egy korábbinál értékesebb létesítményt kapjon.

A környezeti szempontból kívánatos korszerűsítés többletköltsége ezért külön finanszírozási kérdés lehet.

A háborús kártérítést, az újjáépítési támogatást és a hosszú távú fejlesztési beruházásokat célszerű megkülönböztetni.

Ezek eltérő célokat szolgálnak, még akkor is, ha a gyakorlatban ugyanazon beruházás részeiként jelennek meg.

Ki fizet, ha nincs kitől behajtani?

A nemzetközi jog egyik legnagyobb gyakorlati problémája, hogy a kártérítési kötelezettség megállapítása nem azonos a pénz tényleges beszedésével.

Egy államot jogi kötelezettség terhelhet a károk megtérítésére, de előfordulhat, hogy nem ismeri el a felelősségét, nem hajlandó fizetni, vagy gazdaságilag nincs abban a helyzetben, hogy a teljes összeget előteremtse.

A háborúban vesztes ország gazdasága gyakran maga is romokban hever.

Ilyenkor a kártérítési kötelezettség túlzott terhelése a polgári lakosságot is sújthatja.

Más esetekben a fizetésre kötelezhető állam rendelkezik megfelelő erőforrásokkal, de a nemzetközi közösség nem tud vagy nem akar olyan végrehajtási mechanizmust létrehozni, amely a követelést érvényesíthetné.

A befagyasztott külföldi állami vagyon felhasználása például külön jogi kérdéseket vet fel, beleértve az állami immunitást, a tulajdonjogot és a nemzetközi megállapodásokat.

A környezeti károk finanszírozása ezért nem alapozható kizárólag arra a feltételezésre, hogy a felelős fél előbb-utóbb fizetni fog.

A szennyezett ivóvízbázis megtisztítása vagy egy veszélyes hulladéklerakó biztosítása nem várhat feltétlenül évtizedeket egy nemzetközi per lezárására.

A helyreállítást sokszor akkor is meg kell kezdeni, ha a végleges felelősség még vitatott.

Ezért jelentős szerepet kapnak a nemzetközi fejlesztési bankok, az ENSZ-szervezetek, a humanitárius alapok és a donorországok támogatásai.







174. ábra A környezeti helyreállítás sokszor nemzetközi finanszírozással valósul meg. A munkák a sürgős veszélyelhárítástól a talaj helyreállításán át az ökoszisztémák újraélesztéséig terjedhetnek.

Az ENSZ Nemzetközi Jogi Bizottsága 2022-ben 27 elvet fogadott el a környezet fegyveres konfliktusokkal összefüggő védelméről.

Ezek nem alkotnak önmagukban új, minden részletében kötelező nemzetközi egyezményt, de fontos iránymutatást jelentenek.

Különösen figyelemre méltó a 25. elv: amikor a környezeti károsodás okozója nem azonosítható, vagy a jóvátétel nem áll rendelkezésre, az államoknak és az érintett nemzetközi szervezeteknek megfelelő intézkedéseket kellene mérlegelniük, hogy a károk ne maradjanak orvosolatlanul. Ilyen megoldás lehet különleges kártérítési alap létrehozása is.

Ez fontos szemléletváltás.

A károsult környezet helyreállítása nem feltétlenül várhat arra, amíg minden jogi vita lezárul.

A felelősség megállapításának négy akadálya

A háborús környezeti kártérítés gyakorlati nehézségeit négy alapvető probléma foglalja össze.

Az első a bizonyítás. Meg kell határozni a kárt, a károkozó tevékenységet, a kettő közötti kapcsolatot, és azt, hogy a környezet korábban milyen állapotban volt.

A második az idő. Egyes károk azonnal láthatók, mások csak évekkel vagy évtizedekkel később válnak felismerhetővé. A szennyező anyagok terjedhetnek, átalakulhatnak, a bizonyítékok pedig megsemmisülhetnek.

A harmadik a joghatóság. Nem minden állam fogadja el ugyanazoknak a nemzetközi bíróságoknak a hatáskörét. A nemzetközi jogérvényesítéshez sokszor külön megállapodás vagy intézményi mechanizmus szükséges.

A negyedik a végrehajtás. A megítélt kártérítést ténylegesen be is kell szedni, majd biztosítani kell, hogy azt a szükséges helyreállításra fordítsák.

A kuvaiti kártérítési rendszerben például az ENSZ nemcsak a kárigényekről döntött, hanem külön felügyeleti rendszert hozott létre a környezeti helyreállításra megítélt összegek pénzügyi és műszaki felhasználásának követésére.

Ez azért fontos, mert önmagában a kártérítési összeg átutalása még nem biztosítja az ökológiai helyreállítást.

A munkák szakszerűségét és eredményességét is ellenőrizni kell.

A megelőzés olcsóbb lehet, mint a helyreállítás

A környezetvédelemben régóta ismert alapelv, hogy a károk megelőzése gyakran lényegesen olcsóbb, mint a későbbi helyreállítás.

Ez a háborús környezeti károkra különösen igaz lehet.

Egy robbanótest eltávolítása sokszor aránytalanul nagy erőforrást igényel az előállításához képest.

Egy olajtároló megsemmisítése néhány pillanat alatt megtörténhet, a szennyezett talaj megtisztítása viszont évekig tarthat.

Egy víztározó gátjának pusztulása nemcsak közvetlen árvízkárt okozhat, hanem hosszú távon megváltoztathatja egy térség vízellátását és ökoszisztémáit.

A megelőzéshez hozzátartozhat az ipari veszélyforrások előzetes felmérése, az érzékeny természeti területek védelme, a katonai műveletek környezeti kockázatainak értékelése és a nemzetközi humanitárius jog következetes alkalmazása.

Egyes kockázatok háború idején sem kerülhetők el teljesen, de a várható következmények ismerete segítheti a károk mérséklését.

A környezetvédelmi adatok megőrzése is fontos.

Ha egy konfliktus előtt rendelkezésre állnak a talajok, folyók, vízbázisok és ipari létesítmények állapotára vonatkozó mérések, később könnyebb lehet megállapítani a háború által okozott változásokat.

Ezért a környezeti monitoring nem csupán békeidőbeli hatósági feladat, hanem a későbbi felelősségre vonás és helyreállítás egyik előfeltétele is lehet.

Kié a veszteség, és kié a felelősség?

A háborús környezeti károk kérdése végső soron túlmutat a nemzetközi jogon.

A pusztítás költsége nem feltétlenül ott és akkor jelentkezik, ahol és amikor a károkozás történt.

Egy olajtűz légszennyezése más országokat is elérhet. Egy folyó szennyeződése országhatárokon átnyúló vízrendszereket érinthet. Az üvegházhatású gázok kibocsátása pedig az egész Föld éghajlati rendszeréhez adódik hozzá.

A fel nem robbant lőszerek és a talajszennyezések még a háború után született nemzedékeket is veszélyeztethetik.

A háborús környezeti károk tehát térben és időben is szétterjednek.

Ezért a felelősség meghatározásánál nem elegendő kizárólag a közvetlen gazdasági veszteségekkel foglalkozni.

Figyelembe kell venni a természeti erőforrások károsodását, az ökológiai szolgáltatások elvesztését, a hosszú távú egészségügyi kockázatokat és a jövő nemzedékekre hárított terheket is.

A kuvaiti kártérítési rendszer bebizonyította, hogy a környezeti helyreállítás nemzetközi jogi és pénzügyi szempontból is kezelhető.

Az ukrajnai háború pedig újabb kérdéseket vet fel a klímakárok, az ökológiai veszteségek és a digitálisan dokumentált környezeti károk elszámolásával kapcsolatban.

A nemzetközi jog fejlődik, a kártérítési intézmények és a tudományos módszerek egyre kifinomultabbá válnak.

De egy alapvető ellentmondás továbbra is fennáll.

A háborúban a pusztításról gyakran néhány ember vagy szűk döntéshozói kör határoz. A következményeket viszont akár országok egész lakossága, a szomszédos államok és a következő nemzedékek is viselhetik.

A kérdés ezért nemcsak az, hogyan számoljuk ki a háború környezeti árát.

Hanem az is, hogyan lehet megakadályozni, hogy ezt az árat végül azok fizessék meg, akik semmilyen szerepet nem játszottak a károkozásban.

A háborúk valódi költsége nem szerepel egyetlen hadiköltségvetésben sem. A természet pusztulásának árát sokszor még akkor is fizetjük, amikor a fegyverek már régen elhallgattak.

A fejezet főbb szakmai forrásai

- ICRC (2020): Guidelines on the Protection of the Natural Environment in Armed Conflict. A háború alatti környezetvédelem nemzetközi humanitárius jogi szabályai.
- ENSZ Nemzetközi Jogi Bizottság (2022): Protection of the Environment in Relation to Armed Conflicts. A környezet védelmére és a háború utáni helyreállításra vonatkozó 27 elv.
- UNFCCC: National Inventory Submissions 2026. Az országos üvegházhatásúgáz-leltárak nemzetközi elszámolási rendszere.
- United Nations Compensation Commission. Az iraki–kuvaiti háború kártérítési rendszere és annak lezárása.

- UNCC: Follow-up Programme for Environmental Awards. A környezeti kármentesítési összegek és a helyreállítás ellenőrzése.
- Register of Damage for Ukraine – hivatalos dokumentumok. A környezeti károk és az aknamentesítési költségek nyilvántartási kategóriái.
- Initiative on GHG Accounting of War (2026): Climate damage caused by Russia's war in Ukraine. Az ukrajnai háború üvegházhatásúgáz-kibocsátásának becslése.

VI. A környezetvédelem politikai és gazdasági világa

25. Egyetlen szám bűvöletében – a szén-dioxid

Ha ma egy vállalat bizonyítani akarja, hogy környezetbarát, többnyire szén-dioxid-kibocsátásának csökkenését mutatja be. Ha egy ország klímavédelmi eredményeiről beszélünk, rendszerint a kibocsátási adatokat hasonlítjuk össze. Az autók, repülőgépek, épületek és ipari termékek környezeti megítélésében is központi szerepet kapott a CO_2. De hogyan lett egyetlen vegyület a környezetpolitika legfontosabb jelképévé? És mi történik, ha egy összetett problémát egyetlen szám alapján próbálunk kezelni?



175. ábra: Az emberi tevékenység környezeti hatásainak három különböző formája: légköri kibocsátás, tájpusztítás és vízszennyezés. Ezek nem fejezhetők ki egyetlen közös CO_2-adattal.

Hogyan lett a szén-dioxidból a klímavédelem főszereplője?

A szén-dioxid természetes alkotóeleme a légkörnek. Nélküle a földi élet mai formájában nem létezhetne, hiszen a növények a fotoszintézis során felhasználják, és fontos szerepe van a Föld természetes üvegházhatásában.

A probléma nem a szén-dioxid létezése, hanem az, hogy az emberi tevékenység a természetes szénkörforgáshoz képest nagy mennyiségű többletet juttat a légkörbe.

A szén, a kőolaj és a földgáz elégetése olyan szenet alakít szén-dioxiddá, amely korábban évmilliókon keresztül geológiai tárolókban volt elzárva.

A légkör, az óceánok, a növényzet és a talaj ugyan képes a kibocsátott szén-dioxid egy részét elnyelni, de a teljes mennyiséget nem tudja olyan ütemben eltávolítani, amilyen gyorsan az emberiség kibocsátja.

Ennek következtében a légköri szén-dioxid-koncentráció növekszik.

A szén-dioxid üvegházhatásának felismerése nem új keletű. Joseph Fourier már a 19. század elején foglalkozott a légkör hőmérsékletszabályozó szerepével. John Tyndall később laboratóriumi kísérletekkel vizsgálta egyes gázok infravörös sugárzáselnyelését.

Svante Arrhenius 1896-ban számszerű becslést készített arra, miként változhat a Föld hőmérséklete a légköri szén-dioxid-koncentráció megváltozásával.

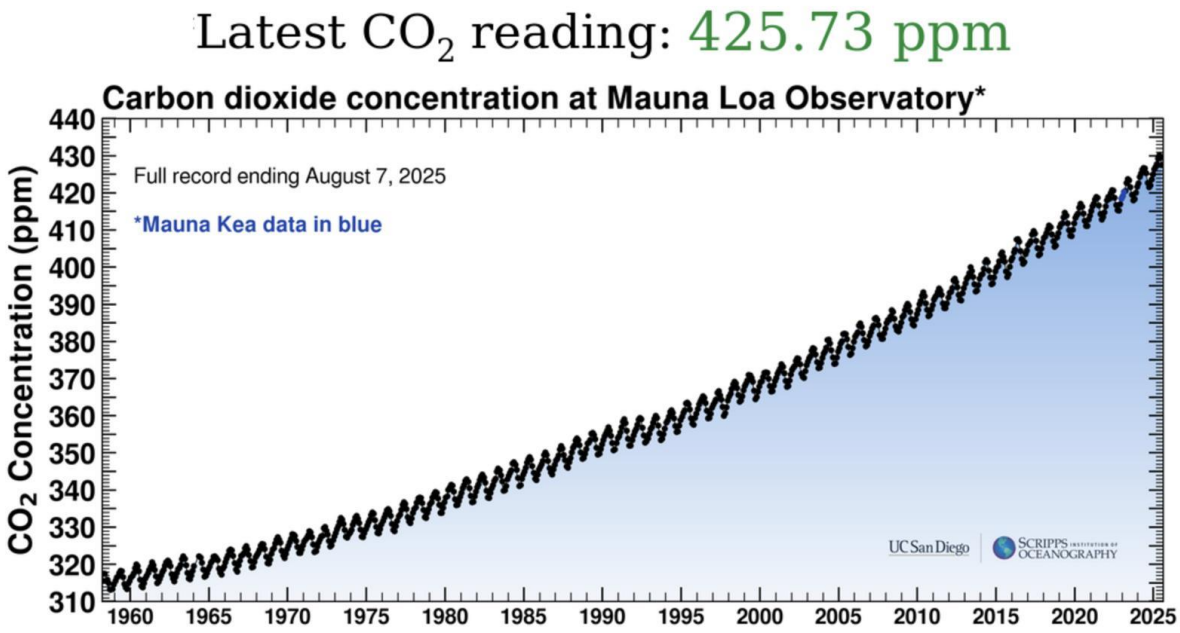
A tudományos felismerést azonban hosszú ideig nem követte jelentős politikai intézkedés.

A fordulat a 20. század második felében következett be, amikor a pontosabb légköri mérések és a számítógépes éghajlati modellek segítségével egyre világosabbá vált az emberi tevékenység és a globális felmelegedés közötti kapcsolat.

A mérés, amely történelmet írt

Charles David Keeling 1958-ban kezdte meg a légköri szén-dioxid rendszeres mérését a hawaii Mauna Loa obszervatóriumban.

A mérési sorozatból született meg a híres Keeling-görbe, amely a légköri CO_2-koncentráció hosszú távú emelkedését mutatja.



176. ábra: A Keeling-görbe a légköri szén-dioxid-koncentráció folyamatos növekedésének egyik legfontosabb tudományos bizonyítéka. Az éves hullámzás elsősorban az északi félteke növényzetének évszakos szén-dioxid-felvételével és -leadásával függ össze. Forrás: Scripps Institution of Oceanography / NOAA.

A görbe jelentősége nem egyszerűen az, hogy a koncentráció növekszik.

A mérések egyértelműen megmutatták, hogy az emberi tevékenység következtében a légkör összetétele tartósan változik.

A szén-dioxid-koncentráció 1958-ban nagyjából 315 ppm volt. A 2020-as évek közepére már meghaladta a 420 ppm-et.

A ppm azt jelenti, hogy egymillió száraz levegőmolekulából hány a szén-dioxid-molekula.

Az adatok alapján a CO_2 idővel a klímaváltozás egyik legjobban mérhető és nyomon követhető mutatójává vált.

Fontos azonban különbséget tenni a légköri koncentráció és az éves kibocsátás között.

Az éves kibocsátás azt mutatja meg, mennyi új szén-dioxid kerül a légkörbe. A koncentráció viszont azt jelzi, hogy a természetes nyelők hatását is figyelembe véve mennyi található ott.

Ez a két adat nem azonos, és a változásuk sem feltétlenül párhuzamos.

Miért éppen a CO_2 lett a központi mutató?

A választ részben a légkör fizikájában, részben a politika és a gazdaság működésében találjuk meg.

A szén-dioxid az ember okozta hosszú távú globális felmelegedés legfontosabb hajtóereje.

Az IPCC hatodik értékelő jelentése szerint a felhalmozódott emberi eredetű szén-dioxid-kibocsátás és az általa okozott globális felmelegedés között közel lineáris összefüggés áll fenn.

A jelentés legjobb becslése szerint minden további ezermilliárd tonna CO_2-kibocsátás körülbelül 0,45 °C globális felmelegedést okoz, jelentős bizonytalansági tartománnyal.

Ez alapvető tudományos felismerés.

A klímaváltozás szempontjából ugyanis nemcsak az számít, mennyi szén-dioxidot bocsátunk ki egy adott évben, hanem az is, hogy összesen mennyit juttattunk a légkörbe.

A szén-dioxid többletének egy része nagyon hosszú időn keresztül befolyásolja a légkör összetételét és a Föld energiamérlegét.

Ezért alakult ki a szén-dioxid-költségvetés fogalma.

A tudósok megbecsülik, mennyi további szén-dioxid bocsátható ki egy meghatározott felmelegedési szinthez tartozó valószínűségi határon belül.

A költségvetés nem pontos fizikai küszöb, amelyet egyetlen tonnával túllépve hirtelen minden megváltozik. Egy tudományosan becsült mennyiség, bizonytalanságokkal és feltételezésekkel.

Mégis rendkívül hasznos politikai eszköz.

A kibocsátási célokat számszerűsíteni lehet, a haladás évente ellenőrizhető, az országok teljesítménye összehasonlítható.

Egy olyan jelenségből, mint a globális felmelegedés, így részben gazdasági és közigazgatási tervezési feladat válik.



177. ábra: A légköri fizika mérőszáma a nemzetközi tárgyalások, a vállalati elszámolások és a gazdaságpolitikai döntések alapjává vált.

A számok politikai előnye

A politika szereti az egyszerűen megfogalmazható célokat.

A gazdasági növekedést a GDP változásával mérjük. Az inflációt fogyasztói árindexszel fejezzük ki. A munkanélküliséget százalékban adjuk meg.

Ezek a mutatók nem írják le a teljes gazdasági valóságot, de lehetővé teszik a változások követését és összehasonlítását.

Hasonló szerepet kapott a szén-dioxid-kibocsátás a klímapolitikában.

A kormányok vállalhatják, hogy meghatározott évre bizonyos százalékkal csökkentik kibocsátásukat.

A vállalatok közzétehetik szén-dioxid-lábnyomukat.

A termékek életciklus-elemzése során kiszámítható az előállításhoz, szállításhoz, használathoz és hulladékkezeléshez kapcsolódó üvegházhatásúgáz-kibocsátás.

A számszerűsíthetőség így elszámoltathatóságot teremthet.

Ha egy ország 40 százalékos kibocsátáscsökkentést vállal, viszonylag egyértelműen ellenőrizhető, hogy a vállalásnak megfelelt-e.

A mutató gazdasági szabályozásra is alkalmas.

Az Európai Unió kibocsátáskereskedelmi rendszere például az érintett ágazatokban felső korlátot határoz meg az elszámolt üvegházhatásúgáz-kibocsátásra, és lehetővé teszi a kibocsátási egységekkel való kereskedést.

Ez piaci ösztönzőt teremthet az alacsonyabb kibocsátású technológiák alkalmazására.

A CO_2 tehát nem véletlenül vált a klímapolitika központi mutatójává.

Valóban fontos fizikai folyamatot jellemez, tudományosan megalapozható, mérhető, és alkalmas gazdasági szabályozási rendszerek kialakítására.

A probléma nem az, hogy a szén-dioxidot mérjük. Hanem az, ha azt gondoljuk, hogy a szén-dioxid mérésével a teljes környezeti problémát is megmértük.

A CO_2 és a CO_2-egyenérték nem ugyanaz

A klímapolitikai kommunikáció egyik gyakori pontatlansága, hogy a szén-dioxidot és a szén-dioxid-egyenértéket azonos fogalomként használják.

Pedig fontos különbség van közöttük.

A szén-dioxid egy konkrét vegyület, a CO_2.

A szén-dioxid-egyenérték viszont számított mutató, amellyel a különböző üvegházhatású gázok éghajlati hatását egy közös skálán fejezzük ki.

A metán, a dinitrogén-oxid és a fluortartalmú ipari üvegházhatású gázok ugyanis eltérő mértékben és eltérő időtávon befolyásolják a Föld energiamérlegét.

A metán például egységnyi tömegre vetítve sokkal erősebb üvegházhatású gáz a szén-dioxidnál, de a légkörben lényegesen rövidebb ideig marad fenn.

A dinitrogén-oxid viszont hosszabb élettartamú, és szintén jelentős éghajlati hatása van.

A különböző gázok összehasonlítására vezették be a globális felmelegedési potenciál, a GWP fogalmát.

A leggyakrabban alkalmazott változat a százéves időtávra számított GWP100.

A szén-dioxid-egyenérték meghatározásakor a kibocsátott gáz tömegét megszorozzák a választott időtávra vonatkozó GWP-értékkel.

Az ENSZ klímaelszámolási rendszerében ez a megközelítés a különféle üvegházhatású gázok közös mérlegbe foglalásának alapja.

Az egyszerűsítésnek azonban ára van.

Egy százéves időtávon számított mutató elfedheti, hogy két gáz éghajlati hatásának időbeli lefutása eltérő.

Gáz	Jellemző tulajdonság	Klímapolitikai jelentőség
Szén-dioxid (CO_2)	Hosszú távon felhalmozódó hatás	A tartós felmelegedés és a szén-dioxid-költségvetés alapja
Metán (CH_4)	Erős, de rövidebb élettartamú üvegházhatás	Csökkentése viszonylag gyorsan mérsékelheti a felmelegedés ütemét
Dinitrogén-oxid (N_2O)	Nagy felmelegedési potenciál, hosszú légköri élettartam	Különösen a mezőgazdaságban és bizonyos ipari folyamatokban fontos
Fluortartalmú gázok	Egyes vegyületek nagyon nagy felmelegedési potenciállal rendelkeznek	Hűtéstechnika és speciális ipari alkalmazások szabályozása

Ha tehát egy vállalat azt állítja, hogy egymillió tonnával csökkentette a kibocsátását, nem mindegy, hogy egymillió tonna CO_2-ről vagy egymillió tonna CO_2-egyenértékről beszél.

És az sem mindegy, hogy milyen számítási módszert alkalmazott.

A közös mutató nélkülözhetetlen, de nem helyettesíti az egyes gázok külön-külön történő vizsgálatát.

A zöldátállás láthatatlan üvegházgázai

A klímaváltozásról szóló viták középpontjában rendszerint a szén-dioxid és a metán áll. Pedig léteznek olyan, jóval kisebb mennyiségben jelen lévő ipari gázok is, amelyek rendkívül erős üvegházhatással rendelkeznek. Különös ellentmondás, hogy némelyikük éppen azokhoz a technológiákhoz kapcsolódik, amelyekkel a fosszilis energiahordozók felhasználását szeretnénk csökkenteni.

Az egyik legmeglepőbb példa a kén-hexafluorid (SF_6). Ez a színtelen, szagtalan, kémiailag rendkívül stabil gáz kiváló elektromos szigetelő és ívoltó tulajdonságokkal rendelkezik. Évtizedek óta alkalmazzák nagy- és középfeszültségű kapcsolóberendezésekben, transzformátorállomások kapcsolótereiben és más villamosenergia-ipari berendezésekben.

A probléma akkor jelentkezik, amikor a gáz a berendezésekből szivárgás, karbantartás vagy szakszerűtlen leszerelés következtében a légkörbe kerül.

Az SF_6 százéves időtávra számított globális felmelegedési potenciálja mintegy **24 300-szorosa a szén-dioxidénak.** Ez azt jelenti, hogy egyetlen kilogramm SF_6 kibocsátásának éghajlati hatása körülbelül 24,3 tonna szén-dioxidénak felel meg. Ráadásul a gáz légköri élettartama meghaladja az ezer évet. Amit ma kibocsátunk, az még sok generáció múlva is hozzájárulhat a felmelegedéshez.

A Meteorológiai Világszervezet (WMO) 2026 októberében közzétett jelentése szerint az SF_6 légköri koncentrációja már három évtizede folyamatosan emelkedik, 2025-ben pedig rekordnagyságú éves növekedést mértek. A szervezet az emelkedést részben a világméretű villamosítással hozza összefüggésbe.

Ez különös helyzetet teremt. Miközben szélerőműveket, naperőműveket és elektromos töltőhálózatokat építünk, a megtermelt energia elosztásához szükséges villamos hálózatokat is bővítenünk kell. Ha ezekben továbbra is SF_6-t tartalmazó berendezéseket használunk, a zöldátállás újabb, kevésbé ismert éghajlati terhelést eredményezhet.

Természetesen az SF_6 teljes globális felmelegítő hatása ma még lényegesen kisebb a szén-dioxidénál. A rendkívül magas, 24 300-szoros érték azonos tömegű gázok összehasonlítására vonatkozik, nem a teljes éghajlati hatásukra. A folyamatos felhalmozódás és a rendkívül hosszú légköri élettartam azonban indokolttá teszi a kibocsátás mielőbbi csökkentését.

Nem ez az egyetlen rejtett probléma.

A hidrogént sokan a jövő egyik tiszta energiahordozójának tekintik. Felhasználása során – például egy üzemanyagcellában – nem keletkezik közvetlen szén-dioxid-kibocsátás. A hidrogén azonban rendkívül könnyen szivárog, előállítása, tárolása és szállítása pedig komoly műszaki kihívást jelent.

Bár a hidrogén önmagában nem közvetlen üvegházhatású gáz, a légkörbe kerülve megváltoztatja annak kémiai folyamatait. Többek között befolyásolja a metán lebomlását, a troposzférikus ózon képződését és a sztratoszféra vízgőztartalmát. Ezeken keresztül közvetett felmelegítő hatást fejt ki.

A WMO adatai szerint a légköri hidrogén koncentrációja 2010 és 2024 között 5,3 százalékkal emelkedett. Ez önmagában még nem bizonyítja, hogy a növekedést a hidrogénalapú energetika okozta, de figyelmeztet arra, hogy a jövő hidrogéngazdaságának környezeti mérlegében a szivárgásokat is figyelembe kell venni.

Hasonló tanulsággal szolgálnak a hűtő- és klímaberendezésekben alkalmazott fluorozott gázok. Egyes hűtőközegek több százszor vagy akár több ezerszer erősebb üvegházhatásúak lehetnek a szén-dioxidnál. A légkondicionálás terjedése ezért nemcsak az áramfogyasztáson keresztül, hanem a hűtőközegek esetleges szivárgása miatt is hozzájárulhat a felmelegedéshez.

A problémát az Európai Unió is felismerte. A 2024-ben elfogadott szabályozás fokozatosan korlátozza a fluorozott üvegházhatású gázok alkalmazását. Az új villamos kapcsolóberendezések egyes kategóriáiban 2026-tól, másokban 2028 és 2032 között lépnek

életbe a tilalmak, meghatározott kivételekkel. Az SF_6 kiváltására már léteznek alternatív technológiák, például vákuumos megszakítók és tiszta levegővel szigetelt kapcsolóberendezések.

Mindez nem kérdőjelezi meg a megújuló energiaforrásokra történő átállás szükségességét. Éppen ellenkezőleg: arra figyelmeztet, hogy a környezetvédelmi eredményeket nem elegendő egyetlen mutató, például az üzemeltetés során kibocsátott szén-dioxid alapján értékelni. A teljes technológiai láncot kell vizsgálni: a nyersanyagok kitermelésétől a gyártáson és az üzemeltetésen át egészen a berendezések leszereléséig és újrahasznosításáig.

A környezetvédelem egyik legfontosabb tanulsága, hogy egy probléma megoldása közben könnyen újabbat teremthetünk, ha nem vizsgáljuk meg döntéseink valamennyi következményét.

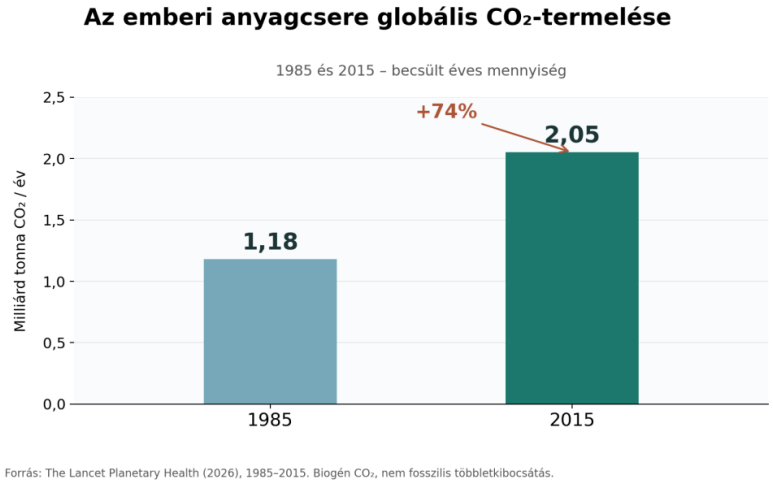
A valódi zöldátállás ezért nem egyszerűen technológiacsere. Olyan rendszerszintű változás, amelyben a környezeti terheket nem eltüntetni vagy máshová helyezni, hanem ténylegesen csökkenteni kell.

Források a fejezethez:

- WMO – Greenhouse gas levels once again reach record high (2026. október 27.) – az SF_6 és a hidrogén légköri változásainak elsődleges forrása.
- Európai Unió – 2024/573 rendelet – a fluorozott üvegházhatású gázok korlátozása.
- Európai Bizottság – F-gázokra vonatkozó szabályozás – a kiváltás és a kibocsátáscsökkentés intézkedései.

Az ember is része a szén körforgásának

Egy 2026 októberében, a The Lancet Planetary Health folyóiratban megjelent tanulmány első alkalommal becsülte meg részletes élettani mérések alapján az emberiség teljes anyagcseréjéből származó szén-dioxid mennyiségét. Az eredmény meglepő: a kutatók szerint 2015-ben az emberi szervezet anyagcsere-folyamatai világszerte mintegy 2,05 milliárd tonna szén-dioxidot termeltek. Ez 74 százalékkal több az 1985-re becsült 1,18 milliárd tonnánál.



178. ábra: Az emberi anyagcsere globális CO_2-termelése

A számításokhoz a Nemzetközi Atomenergia-ügynökség adatbázisát használták, amely 6756 személytől származó 9006 anyagcsere-mérést tartalmazott. Ezeket a világ népességi, korösszetételi és testtömegadataival kapcsolták össze.

A növekedés elsősorban nem azért következett be, mert egy-egy ember sokkal több szén-dioxidot termelne, hanem azért, mert jelentősen megnőtt az emberiség létszáma. A kutatás szerint a népességnövekedés a teljes változás több mint 60 százalékát magyarázza. Kisebb szerepet játszott az átlagos testtömeg növekedése és a népesség korösszetételének változása.

Egy átlagos felnőtt anyagcseréje a 2015-ös becslés szerint évi 346 kilogramm szén-dioxidot termelt, míg gyermekeknél ez az érték átlagosan 245 kilogramm volt. Ez nem kizárólag az egyéni légzés intenzitásától függ, hanem a szervezet teljes energiafelhasználásától.

A kétmilliárd tonnás érték nagyságrendje figyelemre méltó, de ebből nem következik, hogy a légzés éghajlati hatása a fosszilis tüzelőanyagok elégetéséhez hasonlítható.

A kilélegzett szén-dioxid szénatomjai döntően a táplálékkal kerülnek a szervezetbe. A növények ezt a szenet korábban a légkörből kötötték meg fotoszintézissel; az állati eredetű táplálék széntartalma is végső soron ebből a folyamatból származik.

A légzés tehát a gyors biológiai szénkörforgás része. Ezzel szemben a fosszilis energiahordozók elégetése olyan szenet juttat a légkörbe, amely évmilliókig a földkéregben volt elzárva.

A kutatás legfontosabb eredménye ezért nem valamiféle új emberi „szennyezési forrás” felfedezése, hanem a globális szénforgalom pontosabb számszerűsítése. Az emberi anyagcsere jelentős szénáramot képvisel, amelyet a szénkörforgás vizsgálatakor figyelembe kell venni, anélkül hogy fosszilis eredetű többletkibocsátásként számolnánk el.

Az emberi élet és halál szerepe a szén körforgásában

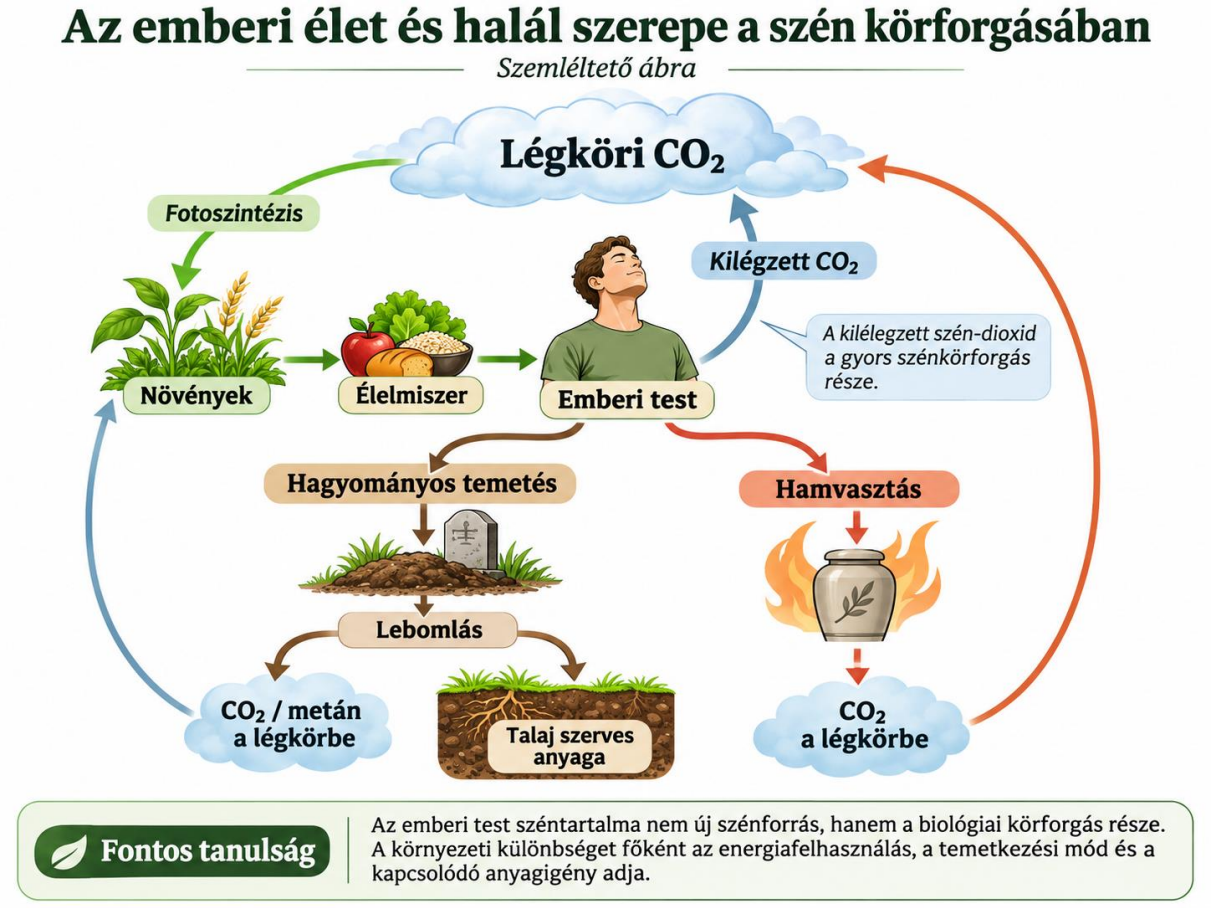
Az emberi szervezet a táplálékkal felvett szén egy részét energiatermelés közben szén-dioxid formájában kilélegzi. Másik része beépül a test szöveteibe: az izmokba, a zsírszövetbe, a csontokba és más szervekbe. A test széntartalma azonban nem marad örökre megkötve. Már életünk során is folyamatos az anyagcsere: a sejtek és szövetek megújulnak, a szerves anyagok lebomlanak, és új anyagok épülnek fel.

A halál után a szén körforgása tovább folytatódik. Hagyományos temetés esetén a test szerves anyagainak jelentős része fokozatosan lebomlik. A szén egy része a talaj szerves anyagába kerül, más része szén-dioxidként, oxigénszegény környezetben esetenként metánként jut vissza a légkörbe. Hamvasztáskor a test szerves széntartalma sokkal gyorsabban alakul szén-dioxiddá. A hamvasztás további kibocsátással is járhat a kemence energiafelhasználása miatt.

Ez azonban nem jelenti automatikusan, hogy a hagyományos temetés környezetkímélőbb. A koporsó, a sírkő, a temető fenntartása, a földhasználat és az alkalmazott anyagok mind befolyásolják a teljes környezeti mérleget.

A természetes, lebomló anyagokat használó temetkezési megoldások ezért új szempontot jelentenek a fenntarthatóságban.

Az emberi test széntartalma életünk során és halálunk után is a biológiai körforgás része marad. Az éghajlat szempontjából nem ennek a természetes folyamatnak a létezése, hanem a hozzá kapcsolódó fosszilis energiafelhasználás és egyéb környezeti terhelések jelentik a fő problémát.



A növények fotoszintézissel megkötik a légköri szén-dioxidot. A táplálékkal felvett szén az emberi anyagcsere során részben visszakerül a légkörbe, részben a testbe épül. Halál után a lebomlás vagy a hamvasztás révén folytatódik a körforgás.

Az eredeti kutatás:

Accounting for global carbon dioxide production from human metabolism between 1985 and 2015: a modelling study – The Lancet Planetary Health, 2026. október 26.

Az egyetem közérthető ismertetése: University of Bath – Human metabolism produces two billion tonnes of CO_2 a year.

Az idő problémája: ma vagy száz év múlva?

A környezetvédelemben az időtáv alapvetően befolyásolja a döntéseinket.

Egyes szennyező anyagok gyorsan lebomlanak, mások évtizedekig vagy évszázadokig fennmaradhatnak.

A szén-dioxid hatása szempontjából a felhalmozódott kibocsátás különösen fontos.

A metán esetében viszont a légköri koncentráció csökkentése viszonylag rövidebb idő alatt jelentős éghajlati hatással járhat.

Ez azt jelenti, hogy a rövid távú felmelegedés mérsékléséhez és a hosszú távú klímastabilizációhoz nem minden esetben ugyanazok az intézkedések kapják a legnagyobb súlyt.

A metánkibocsátás gyors csökkentése fontos lehet a következő évtizedek felmelegedésének mérséklésében.

A szén-dioxid-kibocsátás tartós és mély visszaszorítása viszont elengedhetetlen a hosszú távú felmelegedés megállításához.

Az IPCC szerint a globális felmelegedés stabilizálásához a nettó emberi eredetű szén-dioxid-kibocsátás nullára csökkentése szükséges, más üvegházhatású gázok jelentős mérséklése mellett.

A döntéshozó tehát nem választhat egyszerűen a rövid és a hosszú távú cél között.

Mindkettőt figyelembe kell vennie.

Ugyanakkor a politika gyakran négy-öt éves választási ciklusokban működik, az éghajlatváltozás pedig évtizedes és évszázados folyamat.

Ez önmagában is feszültséget teremt.

Egy beruházás költsége ma jelentkezik, a környezeti előny pedig esetleg csak évtizedek múlva válik teljesen érzékelhetővé.

A politikai döntéshozatal egyik legnagyobb kihívása, hogy miként lehet a hosszú távú társadalmi érdekeket összehangolni a rövid távú gazdasági és választói elvárásokkal.

Az alacsony szén-dioxid-kibocsátás nem jelent automatikusan tiszta környezetet

Térjünk vissza a korábbi fejezetekben tárgyalt elektromos autókra.

Az életciklus-elemzések alapján az elektromos autók üvegházhatásúgáz-kibocsátása megfelelő körülmények között lényegesen alacsonyabb lehet, mint a belső égésű motoros járműveké.

Ez komoly klímavédelmi előny.

Az akkumulátorhoz szükséges lítium, nikkel, kobalt és réz kitermelése azonban helyi környezeti terheléssel járhat.

A bányászat jelentős vízfelhasználást, élőhelypusztulást, talajszennyezést és társadalmi konfliktusokat okozhat.

Ezek a hatások nem jelennek meg közvetlenül a jármű CO_2-egyenértékben megadott klímamérlegében.





179. ábra: Az akkumulátorok klímamérlege nem tartalmazza teljes körűen a bányászat vízgazdálkodási, élőhelyi és társadalmi hatásait. Az alacsonyabb CO_2-kibocsátás fontos előny, de nem teljes környezeti minősítés.

Hasonló ellentmondás figyelhető meg a bioüzemanyagok esetében.

Egy bioüzemanyag kedvezőbb üvegházhatásúgáz-mérleget mutathat bizonyos fosszilis üzemanyagoknál, ha figyelembe vesszük a termesztett növények szén-dioxid-felvételét.

A teljes értékeléshez azonban számolni kell a földhasználat megváltozásával, a műtrágyázással, a vízfelhasználással, a feldolgozással és a szállítással is.

Ha a bioüzemanyag előállítása erdőirtással, tőzeges területek átalakításával vagy élelmiszer-termelés kiszorításával jár, az eredetileg feltételezett környezeti előny csökkenhet, vagy akár el is tűnhet.

Egy másik példa a vízerőmű.

A vízenergia általában alacsony életciklusra vetített üvegházhatásúgáz-kibocsátással termelhet villamos energiát, de egy nagy víztározó jelentősen megváltoztathatja a folyó vízjárását, az üledékszállítást és a vízi élővilágot.

A vándorló halfajok útvonalai megszakadhatnak, értékes élőhelyek kerülhetnek víz alá, a helyi közösségek pedig elveszíthetik korábbi lakóhelyüket vagy termőföldjüket.

A víztározók bizonyos körülmények között metánt is kibocsáthatnak, különösen nagy szervesanyag-tartalmú, meleg éghajlatú rendszerekben.



180. ábra: A vízerőművek alacsony klímaterhelése nem jelenti azt, hogy minden környezeti hatásuk kedvező. A folyó ökológiai rendszerének átalakítása önálló vizsgálatot igényel.

A technológiai megoldásokat ezért nem lehet egyetlen skálán értékelni.

Egy berendezés lehet kedvező az éghajlat szempontjából, miközben más környezeti hatásai jelentősek.

És természetesen a fordítottja is előfordulhat: egy technológia bizonyos helyi környezeti mutatók szerint kedvező, miközben magas az üvegházhatásúgáz-kibocsátása.

A helyes kérdés nem az, hogy az adott technológia „zöld-e”, hanem az, hogy milyen környezeti előnyökkel és terhekkel jár a teljes életciklusa során, és ezek kire hárulnak.

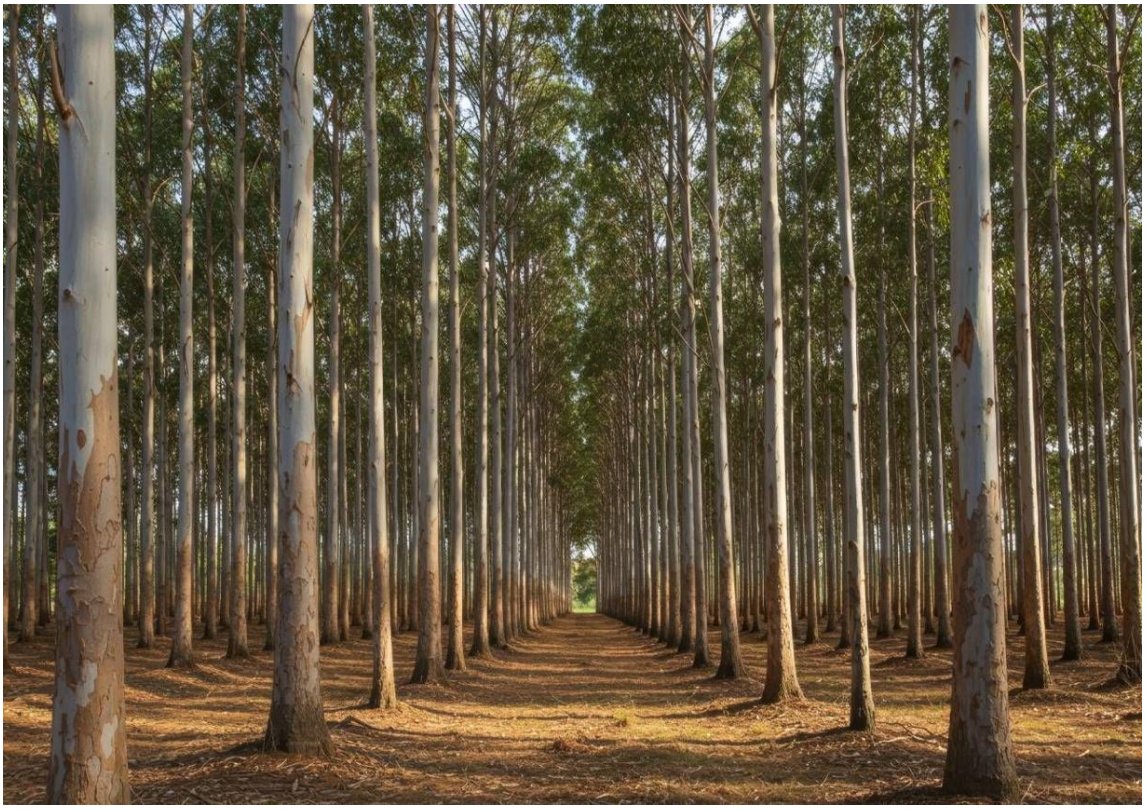
Amit a CO_2 nem mutat meg: a természet pusztulása

A természetes élőhelyek állapotának romlása az emberiség egyik legsúlyosabb környezeti problémája.

Az erdők, vizes élőhelyek, gyepek és tengeri ökoszisztémák nemcsak szén-dioxidot kötnek meg, hanem élőlények sokaságának biztosítanak életfeltételeket.

Egy erdő értékét ezért nem lehet kizárólag a benne tárolt szén mennyiségével meghatározni.

Egy természetes erdő és egy gyors növekedésű, egyetlen fafajból álló ültetvény szénmegkötő képessége bizonyos időtávon akár összehasonlítható is lehet, miközben ökológiai értékük között jelentős különbség lehet.



181. ábra: Természetes erdő, ipari faültetvény és tarvágás. A területek szénmérlege fontos adat, de önmagában nem mutatja meg az élőhelyek változatosságát és ökológiai állapotát. A képen egy telepített erdő látható.

Ha kizárólag a szén-dioxid-megkötést tekintjük célnak, könnyen előfordulhat, hogy a gyorsan növő faültetvényeket ugyanúgy kezeljük, mint az összetett természetes erdőket.

Pedig az utóbbiak sok esetben nagyobb biológiai sokféleséget, változatosabb élőhelyeket és ellenállóbb ökológiai rendszereket biztosítanak.

A különbség nem csupán tudományos részletkérdés.

A támogatási rendszerek és a gazdasági ösztönzők kialakításában is jelentősége van.

Ha egy földtulajdonos elsősorban a szénmegkötésért kap támogatást, akkor a döntéseit is ehhez a mutatóhoz igazíthatja.

Ez nem feltétlenül esik egybe a természetvédelmi szempontból legkedvezőbb megoldással.

Az IPBES, a biológiai sokféleséggel és ökoszisztéma-szolgáltatásokkal foglalkozó kormányközi tudományos testület 2019-es globális értékelése szerint a biológiai sokféleség csökkenésének fő közvetlen okai között a föld- és tengerhasználat változása, az élőlények túlzott hasznosítása, a klímaváltozás, a szennyezés és az idegenhonos inváziós fajok terjedése szerepel.

Az értékelésben a föld- és tengerhasználat változása volt a legjelentősebb közvetlen tényező.

Ez lényeges felismerés.

A természet pusztulásának jelentős részét nem közvetlenül a klímaváltozás, hanem az élőhelyek átalakítása és az erőforrások túlzott használata okozza.

Ha tehát kizárólag a szén-dioxid-kibocsátás csökkentésére összpontosítunk, attól még nem feltétlenül állítjuk meg az élővilág sokféleségének csökkenését.

A tiszta levegő sem csak CO_2-kérdés

A levegőszennyezés klasszikus példája annak, hogy a klímavédelem és a környezetvédelem nem teljesen azonos fogalom.

A szén-dioxid a jelenlegi légköri koncentrációján nem olyan közvetlen egészségkárosító légszennyező, mint például a finom szálló por vagy a nitrogén-dioxid.

Egy város lakosságának egészségét elsősorban a belélegzett szennyező anyagok koncentrációja befolyásolja, nem a helyben keletkező CO_2 mennyisége.

A dízelmotorok például szén-dioxid mellett nitrogén-oxidokat és részecskéket is kibocsáthatnak.

A régebbi dízeljárművek és a rosszul működő kipufogógáz-kezelő rendszerek különösen nagy helyi levegőszennyezést okozhatnak.

A hagyományos tüzelőberendezések, a szilárd tüzelésű háztartási fűtés és egyes ipari létesítmények ugyancsak jelentős részecske- és egyéb szennyezőanyag-kibocsátással járhatnak.



182. ábra: A városi levegőminőség javításához a finom részecskék, nitrogén-oxidok és más szennyező anyagok mérséklése szükséges. A CO_2-csökkentés önmagában nem írja le a lakosság egészségi kockázatát.

A két cél természetesen gyakran együtt jár.

A fosszilis tüzelőanyagok felhasználásának csökkentése sok esetben a szén-dioxid-kibocsátás mellett más légszennyező anyagok mennyiségét is mérsékli.

Ez a klímapolitika egyik fontos járulékos előnye.

Ugyanakkor vannak olyan intézkedések, amelyek a CO_2-kibocsátást csökkenthetik, miközben a helyi levegőminőséget nem javítják megfelelően, vagy egyes körülmények között akár ronthatják is.

Ezért a légszennyezés szabályozásában továbbra is külön kell mérni a finom részecskéket, a nitrogén-oxidokat, az ózont és más egészségkárosító anyagokat.

A tiszta levegőt nem lehet kizárólag szén-dioxid-egyenértékben kifejezni.

A vízszennyezés, amelynek nincs szén-dioxid-mérlege

A vízi környezet állapota talán még szemléletesebb példája annak, milyen korlátai vannak az egyetlen mutatóra épülő szemléletnek.

Egy folyó szennyezését okozhatják nehézfémek, ipari vegyszerek, növényvédő szerek, gyógyszermaradványok vagy nagy mennyiségű szerves anyag.

A mezőgazdasági tápanyagterhelés a tavakban algásodást és oxigénhiányt idézhet elő.

Ezek a problémák nem jellemezhetők megfelelően a kibocsátott szén-dioxid mennyiségével.







183. ábra: A vízszennyezés különböző következményei: algavirágzás, ipari eredetű szennyezés és halpusztulás. A vízi ökoszisztémák állapotához önálló környezeti mutatók szükségesek.

A Balaton példája jól mutatja, hogy a vízminőség javításához elsősorban a helyi szennyezőforrások feltárása és szabályozása szükséges.

A korábbi évtizedek jelentős algásodási problémáit nem a szén-dioxid-kibocsátás csökkentésével, hanem többek között a foszforterhelés mérséklésével, szennyvízkezelési fejlesztésekkel és vízgyűjtő-gazdálkodási intézkedésekkel lehetett kezelni.

A klímaváltozás természetesen a tavak állapotát is befolyásolja. A felmelegedés megváltoztathatja a vízhőmérsékletet, a párolgást és az algák szaporodási feltételeit.

De a helyi vízminőség nem vezethető vissza egyetlen globális éghajlati mutatóra.

Ezért a környezetvédelemben az üvegházhatásúgáz-kibocsátás mellett szükség van vízminőségi, talajvédelmi és ökológiai mutatókra is.

A láthatatlan áthelyezés: tisztább Európa, szennyezettebb termelő országok?

A szén-dioxid-kibocsátás elszámolásának egyik legérdekesebb politikai kérdése, hogy melyik ország számláján jelenjen meg a kibocsátás.

A nemzeti kibocsátási leltárak alapvetően területi megközelítést alkalmaznak.

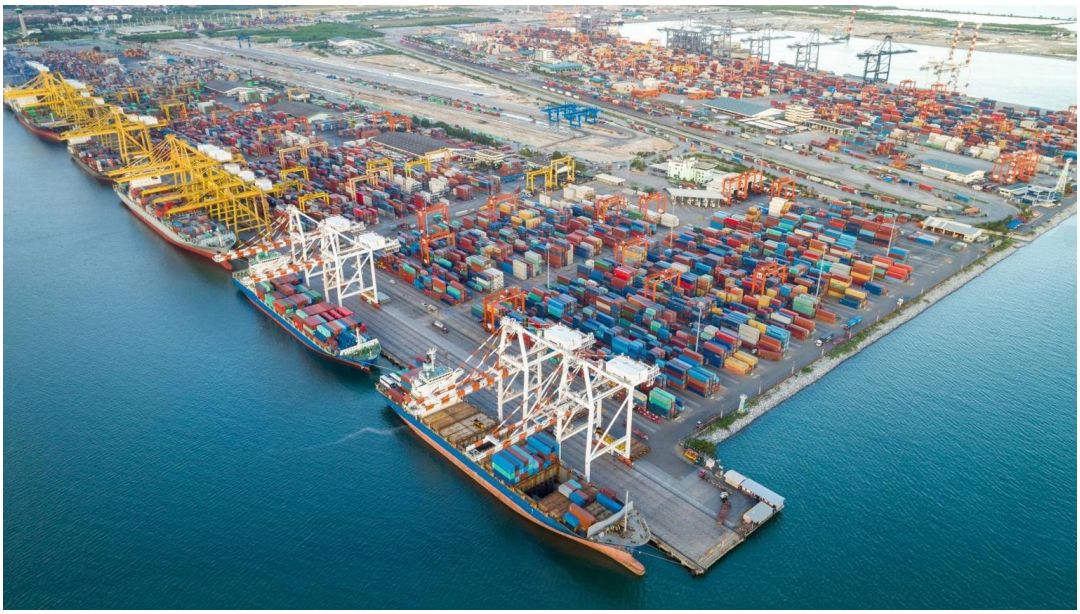
A kibocsátás ott jelenik meg, ahol keletkezik.

Ha egy európai országban bezárnak egy acélművet, és az acélt ezután külföldről importálják, az adott ország területi kibocsátása csökkenhet.

Ez azonban önmagában nem bizonyítja, hogy a globális kibocsátás is csökkent.

A termelés ugyanis más országba helyeződhetett át.





184. ábra: Az ipari termelés, a világkereskedelem és a fogyasztás nem feltétlenül ugyanabban az országban történik. A területi kibocsátási adatok ezért nem mindig mutatják meg egy ország fogyasztásának teljes környezeti hátterét.

Erre a problémára a fogyasztási alapú kibocsátási elszámolás kínál kiegészítő megközelítést.

Ebben az esetben az importált termékek előállításához kapcsolódó kibocsátások is megjelennek a fogyasztó ország mérlegében, miközben az exporthoz kapcsolódó kibocsátásokat elszámolási szempontból levonják.

A két módszer eltérő kérdésre válaszol.

A területi kibocsátás azt mutatja meg, hogy egy ország határain belül mennyi üvegházhatású gáz keletkezik.

A fogyasztási alapú elszámolás pedig azt, hogy a lakosság és a gazdaság végső fogyasztásához mekkora globális kibocsátás kapcsolódik.

Egyik mutató sem helyettesíti a másikat.

A környezetvédelem szempontjából ráadásul a szennyező ipari termelés áthelyezése nemcsak a szén-dioxidról szól.

A bányászat, a kohászat, a vegyipar és a hulladékfeldolgozás helyi környezeti terhei továbbra is a termelő országban jelentkeznek.

A fejlett világ így javíthatja saját környezeti mutatóit, miközben fogyasztása közvetve más országok ökoszisztémáit terheli.

Ez már nem pusztán technológiai kérdés.

A gazdasági előnyök és a környezeti terhek nemzetközi elosztásáról szól.

Amikor a mutató fontosabbá válik a célnál

A gazdaságpolitikában régóta ismert jelenség, hogy ha egy mérőszámot közvetlen teljesítménycéllá alakítanak, az érintettek elkezdik a viselkedésüket a mutatóhoz igazítani.

Ez nem feltétlenül rossz.

Ha a cél valóban megfelelően írja le az elérni kívánt eredményt, az ösztönzés hasznos lehet.

A probléma akkor kezdődik, ha a mutató csak részben jellemzi a valóságot.

Egy vállalat például csökkentheti közvetlen szén-dioxid-kibocsátását úgy, hogy bizonyos energiaigényes termelési tevékenységeket külső beszállítókhoz helyez át.

Ettől a teljes termelési lánc környezeti terhe nem feltétlenül csökken.

Hasonlóan félrevezető lehet, ha egy vállalat kizárólag a saját működéséhez kapcsolódó kibocsátásokat közli, miközben a megvásárolt nyersanyagok és a termékek későbbi használatának hatásait figyelmen kívül hagyja.

A vállalati üvegházhatásúgáz-elszámolás éppen ezért különbözteti meg a közvetlen kibocsátásokat, a vásárolt energiához kapcsolódó közvetett kibocsátásokat és az értéklánc további közvetett kibocsátásait.

De még a teljes szén-dioxid-lábnyom sem azonos a teljes környezeti lábnyommal.

A vállalat lehet alacsony kibocsátású, miközben jelentős vízfelhasználással, hulladéktermeléssel vagy helyi természetkárosítással működik.



185. ábra: A vállalati környezetvédelmi teljesítmény többdimenziós. Az üvegházhatásúgáz-kibocsátás mellett a vízfelhasználás, a szennyezőanyag-kibocsátás, a hulladékkezelés és a természeti erőforrások használata is fontos.

A szén-dioxid-kibocsátás mérését tehát nem elhagyni kell, hanem megfelelően kiegészíteni.

Három környezeti válság, nem egyetlen probléma

A nemzetközi környezetpolitika egyre gyakrabban beszél a Föld három, egymással összekapcsolódó környezeti válságáról.

Ezek a klímaváltozás, a biológiai sokféleség csökkenése és a környezetszennyezés.

A három probléma szorosan összefügg, de nem azonos.

A klímaváltozás befolyásolja az élővilágot, a vízkészleteket és a szélsőséges időjárási események gyakoriságát.

Az erdőpusztulás egyszerre csökkentheti a szénmegkötést és a biológiai sokféleséget.

A környezetszennyezés pedig olyan helyeken is súlyos károkat okozhat, ahol az üvegházhatásúgáz-kibocsátás viszonylag alacsony.

Az OECD 2025-ös, a három környezeti válsággal foglalkozó elemzése hangsúlyozza, hogy az egyes környezetvédelmi célok elszigetelt kezelése nem elegendő. A különböző intézkedések egymást erősíthetik, de konfliktusba is kerülhetnek, ezért összehangolt döntéshozatalra van szükség.

Ez a felismerés a környezetpolitika szemléletének fontos változását jelenti.

Nem elegendő olyan technológiákat támogatni, amelyek kevesebb szén-dioxidot bocsátanak ki.

Azt is vizsgálni kell, hogyan hatnak a vízkészletekre, a talajra, az élővilágra és az érintett társadalmi közösségekre.

Egyetlen szám helyett környezeti műszerfal

Egy autó vezetője nemcsak a sebességmérőt figyeli.

Szüksége van az üzemanyagszintre, a motor hőmérsékletére, a különféle figyelmeztető jelzésekre és a jármű állapotára vonatkozó más információkra is.

Ha kizárólag a sebességmérő működne, attól még nem tudná biztonságosan üzemeltetni az autót.

A környezetpolitika hasonló helyzetben van.

A szén-dioxid-kibocsátás fontos mutató, de önmagában nem elegendő.

Egy lehetséges környezetpolitikai műszerfal

A különböző környezeti célokhoz eltérő mérőszámok szükségesek.

Éghajlat

CO_2e, felmelegedés, kumulatív kibocsátás

Levegő

PM2,5, NO_2, ózon

Víz

Vízminőség, vízfelhasználás, vízkészlet

Élővilág

Élőhelyek állapota, fajok változatossága

Talaj és táj

Talajromlás, területhasználat, szennyezés

Anyagfelhasználás

Nyersanyagigény, hulladék, újrahasznosítás

Szemléltető javaslat, nem hivatalos nemzetközi index. Az egyes mutatókhoz külön célértékekre és ellenőrzési módszerekre lenne szükség.

Egy ilyen rendszer segítségével a döntéshozók nemcsak azt vizsgálhatnák, mennyivel csökken a szén-dioxid-kibocsátás, hanem azt is, hogy az intézkedések összességében javítják-e a környezet állapotát.

A megközelítés természetesen bonyolultabb.

Több adatot kell gyűjteni, a különböző szempontokat össze kell hangolni, és időnként konfliktusokat kell feloldani.

A bonyolultság azonban nem a mérési rendszer hibája, hanem a vizsgált valóság tulajdonsága.

A természet nem egyetlen mutató alapján működik.

A klímavédelem és a környezetvédelem nem lehet egymás versenytársa

A szén-dioxid-központú gondolkodás kritikájából könnyen születhet egy téves következtetés.

Ha a CO_2 nem mutat meg mindent, akkor talán túlzott jelentőséget tulajdonítunk neki, és a kibocsátások csökkentése sem annyira fontos.

Ez azonban nem következik a korábbi érvekből.

A tudományos bizonyítékok alapján az emberi eredetű szén-dioxid-kibocsátás csökkentése alapvető feltétele a globális felmelegedés hosszú távú korlátozásának.

Az éghajlatváltozás ráadásul maga is súlyos természetvédelmi, mezőgazdasági, vízgazdálkodási és társadalmi következményekkel jár.

A CO_2-kibocsátás csökkentése tehát nem önkényes politikai cél, hanem valós természettudományos problémára adott válasz.

A hiba ott kezdődik, amikor ezt a célt a teljes környezetvédelemmel azonosítjuk.

Egy elektromos autó lehet kedvezőbb a klíma szempontjából, miközben előállítása nyersanyagigényes.

Egy vízerőmű termelhet alacsony kibocsátással villamos energiát, miközben megváltoztatja a folyó ökológiai rendszerét.

Egy gyorsan növő faültetvény megköthet szén-dioxidot, miközben ökológiai szempontból szegényebb lehet, mint a helyén korábban létező természetes élőhely.

Ezek nem cáfolják a klímavédelem szükségességét.

Azt bizonyítják, hogy a környezetvédelmi döntéseknek több szempontot kell egyidejűleg mérlegelniük.

Amit egyetlen szám nem tud elmondani

A környezetvédelem történetében a szén-dioxid különleges szerepet kapott.

Olyan mérőszámmá vált, amely képes összekapcsolni a légkör fizikáját, a gazdasági termelést és a nemzetközi politikát.

A mérés lehetővé tette a célok megfogalmazását, a vállalások ellenőrzését és a gazdasági ösztönzők kialakítását.

Ez jelentős eredmény.

De a szén-dioxid-kibocsátás nem mondja meg, hogy mennyire tiszta egy folyó vize, hány faj él egy erdőben, mennyi ólom található egy talajban, vagy milyen árat fizetnek a nyersanyagtermelő országok közösségei a fejlett világ fogyasztásáért.

A környezetvédelemnek ezért nem szabad kizárólag a klímavédelemre szűkülnie.

Egy sikeres környezetpolitika egyszerre mérsékli a globális felmelegedést, védi a természeti erőforrásokat, csökkenti a szennyezést és figyelembe veszi a társadalmi következményeket.

Ez bonyolultabb feladat, mint egyetlen kibocsátási mutató javítása.

De a valóság sem egyszerű.

A korábbi fejezetekben láttuk, hogy a környezeti problémák összekapcsolódnak a nyersanyagigénnyel, a világkereskedelemmel, az ipari termeléssel, a fejlődő országok gazdasági lehetőségeivel és még a háborúkkal is.

Ezek egy részét a szén-dioxid-kibocsátás nagyon jól jellemzi.

Más részét alig vagy egyáltalán nem.

A jövő környezetpolitikájának ezért meg kell őriznie a CO_2-mérleg tudományos jelentőségét, de túl is kell lépnie rajta.

Mert ha mindent egyetlen számmal akarunk mérni, könnyen előfordulhat, hogy a szám javul, miközben a világ, amelyet mérni próbálunk, tovább romlik.

A fejezet főbb szakmai forrásai

- IPCC – Sixth Assessment Synthesis Report (2023). A szén-dioxid felhalmozódása, a karbonköltségvetés és a globális felmelegedés kapcsolata.
- Scripps CO_2 Program – Keeling Curve. A légköri CO_2-koncentráció hosszú távú mérési sorozata.
- UNFCCC – Common Metrics. A szén-dioxid-egyenérték és az üvegházhatású gázok összehasonlításának módszerei.
- IPBES – Global Assessment of Biodiversity and Ecosystem Services (2019). A biológiai sokféleség csökkenésének fő kiváltó tényezői.

- OECD – Environmental Outlook on the Triple Planetary Crisis (2025). A klímaváltozás, a biológiai sokféleség és a szennyezés összekapcsolódása.

26. Mit tehetünk még a kibocsátás csökkentésén kívül?

Az éghajlatváltozás elleni küzdelem középpontjában a szén-dioxid-kibocsátás csökkentése áll. Ez tudományosan indokolt, de önmagában nem elegendő. A légkörben más üvegházhatású gázok is felhalmozódnak, a vízkészletek egyre nagyobb terhelésnek vannak kitéve, a talajok pusztulnak, az erdők állapota romlik, a szélsőséges időjárási események pedig már ma is jelentős károkat okoznak. Vannak intézkedések, amelyek viszonylag gyors eredményt hozhatnak, mások csak évtizedek alatt fejtik ki hatásukat. Egyes beavatkozások még gazdasági megtakarítást is eredményezhetnek, míg mások rendkívül költségesek. A kérdés tehát nem egyszerűen az, hogy mit tehetünk a környezetért, hanem az is, hogy melyik intézkedés hol, mikor és milyen áron hozza a legnagyobb eredményt.



186. ábra: A környezetvédelem különböző beavatkozási területei: metánszivárgások megszüntetése, természetes vízvisszatartás, talajvédelem és erdővédelem. Az intézkedések más-más problémát kezelnek, és eltérő időtávon hoznak eredményt.

Két feladatunk van: megelőzni és alkalmazkodni

A környezetpolitikai vitákban gyakran összekeveredik két alapvetően különböző tevékenység.

Az egyik a káros környezeti változások okainak mérséklése. A klímaváltozás esetében ezt kibocsátáscsökkentésnek, illetve mérséklésnek, nemzetközi szóhasználattal mitigációnak nevezzük.

A másik az alkalmazkodás, vagyis az adaptáció. Ennek célja, hogy a társadalom és a természeti rendszerek jobban elviseljék a már bekövetkező vagy várható változásokat.

A kettő között jelentős különbség van.

Ha csökkentjük a szén-dioxid vagy a metán kibocsátását, a jövőbeli globális felmelegedést mérsékeljük.

Ha árvízvédelmi rendszert építünk, javítjuk a vízgazdálkodást vagy hőséghez alkalmazkodó városokat alakítunk ki, a már jelentkező veszélyek következményeit próbáljuk csökkenteni.

Egy harmadik, ugyancsak fontos tevékenység a már bekövetkezett környezeti károk helyreállítása. Ilyen például egy szennyezett folyó megtisztítása vagy egy lecsapolt vizes élőhely rehabilitációja.

Ezek a tevékenységek gyakran összekapcsolódnak.

Egy erdő helyreállítása növelheti a szénmegkötést, javíthatja a vízháztartást és segítheti az élővilág fennmaradását. A talaj szervesanyag-tartalmának növelése javíthatja a vízvisszatartást, miközben bizonyos feltételek mellett szénmegkötést is eredményezhet.

Az IPCC hatodik értékelő jelentése hangsúlyozza, hogy a kibocsátás mérséklése és az alkalmazkodás együttesen eredményesebb lehet, mint az egymástól elszigetelt intézkedések.

A két cél azonban nem helyettesíti egymást.

Egy magasabb árvízvédelmi töltés nem csökkenti a globális felmelegedést. A kibocsátások csökkentése pedig nem akadályozza meg a már kialakult árvízveszély valamennyi következményét.

A megelőzés és az alkalmazkodás nem egymás alternatívái. Mindkettőre szükség van.

Metán: a viszonylag gyors eredmény lehetősége

A szén-dioxid mellett a metán a másik különösen fontos emberi eredetű üvegházhatású gáz.

A metán a földgáz fő alkotóeleme, de jelentős mennyiségben keletkezik a mezőgazdaságban, a hulladéklerakókban, a szénbányászatban és a kőolajiparban is.

A metán egységnyi tömegre vetítve sokkal erősebb üvegházhatású gáz, mint a szén-dioxid, viszont lényegesen rövidebb ideig marad a légkörben.

A metán légköri élettartama körülbelül egy évtized, míg a szén-dioxid-kibocsátás egy része évszázadokig, sőt tovább is befolyásolhatja a Föld éghajlatát.

Ezért a metánkibocsátás gyors csökkentése viszonylag rövid időn belül mérsékelheti a felmelegedés ütemét.

Az ENSZ Környezetvédelmi Programjának 2021-es globális metánértékelése szerint az ismert technológiai és egyéb intézkedések megfelelő kombinációjával az emberi eredetű metánkibocsátás 2030-ra akár 45 százalékkal is mérsékelhető lett volna a vizsgált forgatókönyvben. Ez a 2040-es évekre közel 0,3 °C felmelegedés elkerüléséhez járulhatna hozzá a referencia-forgatókönyvhöz képest.

Ez rendkívül jelentős hatás.

De a metán csökkentésének talán még érdekesebb tulajdonsága, hogy egyes intézkedések gazdaságilag is előnyösek lehetnek.

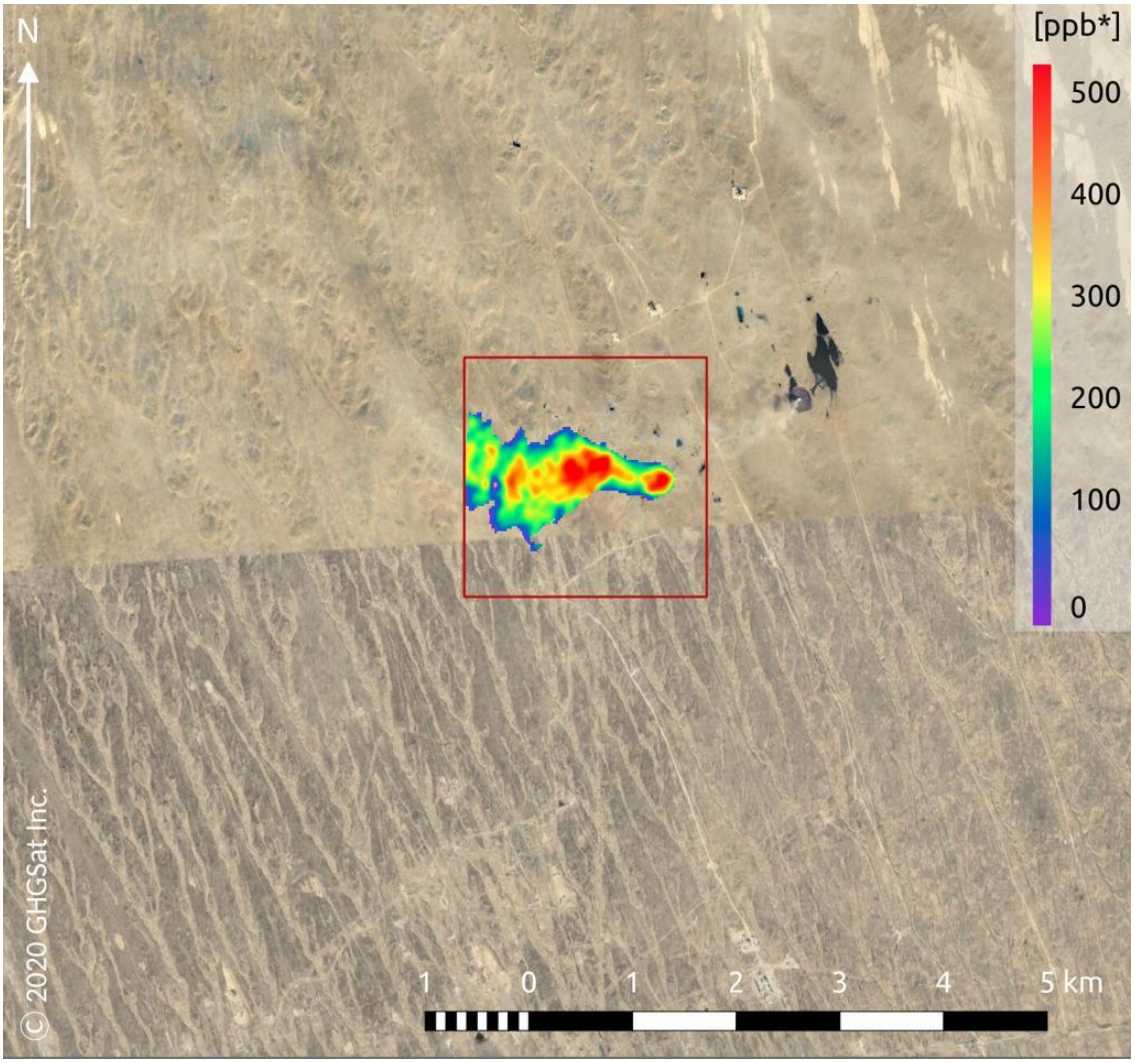
A földgáz, amelyet egyszerűen hagyunk elszökni

A kőolaj- és földgáztermelés során metán szivároghat a vezetékekből, szelepekből, kompresszorokból és más berendezésekből.

Egyes rendszerekben a gázt üzemszerűen is a légkörbe engedhetik.

Ez környezetvédelmi szempontból káros, de gazdasági szempontból is veszteség.

A légkörbe jutó metán ugyanis olyan földgáz, amelyet megfelelő körülmények között értékesíteni vagy hasznosítani lehetne.



187. ábra: Metánszivárgások felkutatása műszeres ellenőrzéssel, földgázipari berendezések és műholdas metánmegfigyelés. A metán láthatatlan gáz, ezért kimutatásához speciális mérési módszerek szükségesek.

A Nemzetközi Energiaügynökség 2026-os Global Methane Tracker jelentése szerint a fosszilis energiahordozók kitermeléséhez és kezeléséhez kapcsolódó metánkibocsátás körülbelül 70 százaléka elkerülhető lenne ma már rendelkezésre álló technológiákkal.

A jelentés szerint a kibocsátások közel 30 százaléka nettó többletköltség nélkül is mérsékelhető lenne a 2025-ös átlagos energiaárak mellett, mert a visszanyert gáz értéke fedezheti a beruházások és az üzemeltetés költségét.

A fosszilisenergia-ipar metánkibocsátásának csökkentési lehetőségei

~70%

A kibocsátásnak ekkora része mérsékelhető ismert technológiákkal az IEA 2026-os becslése szerint.

~30% nettó költség nélkül

~40% további intézkedésekkel

~30% jelenleg nem elhárítható

Forrás: IEA, Global Methane Tracker 2026. A költségek energiaáraktól, földrajzi helytől és technológiától függnek; a százalékok közelítő értékek.

Felmerül a kérdés: ha egy beavatkozás pénzt takaríthat meg, miért nem valósítják meg?

Az okok között szerepelhet a beruházási források hiánya, a rossz ösztönzőrendszer, a tulajdonosi és üzemeltetői érdekek eltérése vagy egyszerűen a szivárgások nem megfelelő ellenőrzése.

A metánveszteség csökkentése ezért nem kizárólag technológiai, hanem gazdaságszervezési és szabályozási kérdés.

Az IEA becslése szerint a fosszilisenergia-ágazat metánkibocsátásának 75 százalékos csökkentéséhez 2035-ig átlagosan évi mintegy 28 milliárd dollár ráfordításra lenne szükség.

Ez jelentős összeg, de a globális energetikai beruházások méretéhez képest nem rendkívüli.

A mezőgazdaság és a hulladék metánja

A metánkibocsátás csökkentése azonban nem merül ki az olaj- és gáziparban.

A kérődző állatok emésztése, a trágyakezelés, a rizstermesztés és a szerves hulladék bomlása ugyancsak jelentős metánforrás.

A mezőgazdasági kibocsátás mérséklése nehezebb lehet, mert sok millió termelőt és nagyon eltérő gazdálkodási rendszereket érint.

A takarmányozás módosítása, a megfelelő trágyakezelés, a biogáztermelés vagy a rizsföldek vízgazdálkodásának változtatása azonban csökkentheti a kibocsátást.





188. ábra: A mezőgazdaság és a hulladékgazdálkodás metánforrásai. A trágyából vagy szerves hulladékból előállított biogáz energiatermelésre használható, de a rendszer szivárgásait is ellenőrizni kell.

A hulladéklerakókban keletkező metán összegyűjthető, majd energetikailag hasznosítható vagy megfelelő berendezésben ártalmatlanítható.

A szerves hulladék elkülönített gyűjtése és kezelése hosszabb távon a metánképződés egy részét is megelőzheti.

Ezeknél az eljárásoknál azonban figyelembe kell venni a teljes rendszer környezeti mérlegét.

A biogázüzem például nem feltétlenül kedvező, ha jelentős metánszivárgásokkal működik, vagy ha az alapanyag-termelés aránytalan földhasználati és környezeti terheket okoz.

A metáncsökkentés legnagyobb előnye tehát a viszonylag gyors éghajlati hatás.

Korlátja viszont az, hogy a rövid élettartamú metán csökkentése nem helyettesíti a hosszú távon felhalmozódó szén-dioxid kibocsátásának visszaszorítását.

Vízgazdálkodás: nemcsak több víz kell, hanem jobban kell bánni vele

Az éghajlatváltozás egyik legközvetlenebb következménye a vízkörforgás átalakulása.

A magasabb hőmérséklet növelheti a párolgást, miközben a csapadék időbeli és térbeli eloszlása is megváltozhat.

Egyes térségekben hosszabb száraz időszakok jelentkezhetnek, másutt hevesebb csapadék és árvizek okozhatnak súlyos károkat.

A két jelenség akár ugyanazon a területen is előfordulhat.

Magyarországon különösen jól ismerjük ezt az ellentmondást.

Tavasszal vagy nyár elején árvízveszély jelentkezhet, néhány hónappal később pedig ugyanaz a térség aszállyal küzdhet.

A vízgazdálkodás egyik legfontosabb kérdése ezért nem egyszerűen az, hogyan vezessük el a fölösleges vizet, hanem az is, hogyan őrizzünk meg minél többet a szárazabb időszakokra.

A víz gyors elvezetésének történelmi öröksége

Európában, így Magyarországon is, a folyószabályozások és lecsapolások évszázadokon át a mezőgazdasági területek növelését, a települések védelmét és a közlekedés javítását szolgálták.

Ezeknek az intézkedéseknek jelentős gazdasági és társadalmi haszna volt.

Ugyanakkor sok helyen csökkent a természetes árterek, mocsarak és vizes élőhelyek kiterjedése.

A folyóktól elzárt árterületek kevesebb vizet tárolhatnak, a gyors vízelvezetés pedig egyes térségekben hozzájárulhat a szárazodáshoz.

Ez nem jelenti azt, hogy minden korábbi folyószabályozási intézkedés hibás lett volna.

Magyarország: amikor már a vízhiány is nemzetgazdasági kockázat

Magyarországon az elmúlt évek aszályai megmutatták, hogy a vízhiány következményei messze túlmutatnak a kiszáradt földeken és az alacsony folyóvízszinteken.

A 2022-es rendkívüli aszály különösen súlyosan érintette a mezőgazdaságot. A Központi Statisztikai Hivatal adatai szerint a kukoricatermés 57 százalékkal, a búzatermés 21 százalékkal, a napraforgótermés pedig 29 százalékkal maradt el az előző évitől. A kiesés jelentős gazdasági veszteséget okozott, miközben az élelmiszer- és takarmányárak emelkedéséhez is hozzájárult.







Az aszály hatásai Magyarországon: kiszáradt termőföldek, alacsony vízállású tavak és visszahúzódó partvonalak.

A tavak helyzete szintén figyelmeztetővé vált. A Velencei-tó vízállása 2022 szeptemberében mindössze 53 centiméterre csökkent az agárdi vízmércén, megdöntve a korábbi negatív rekordot. A Balaton vízgyűjtőjén pedig 2021 és 2026 között jelentős csapadékhiány halmozódott fel. A 2025–2026-os téli feltöltődési időszakban 26 százalékkal kevesebb csapadék érkezett a sokévi átlagnál.

A legmeglepőbb következmény azonban az energiatermelésben jelentkezett.

2026 nyarán a Duna rendkívül alacsony vízállása már a Paksi Atomerőmű működését is közvetlenül korlátozta. Július végén megkezdődtek a teljesítménycsökkentések és a blokkleállítások. Augusztus elején három blokk állt, a negyedik pedig csökkentett teljesítménnyel működött. A probléma nem a reaktorok biztonságos leállításához szükséges hűtés elvesztése volt, hanem az energiatermelés üzemi hűtővízellátásának korlátozottsága.



A Paksi Atomerőmű hűtőrendszere a Dunára támaszkodik. Az alacsony vízállás és a magas vízhőmérséklet eltérő módon korlátozhatja az energiatermelést.

A vízszint csökkenésében nemcsak a csapadékhiány játszik szerepet. A Duna medrének mélyülése, a hordalékszállítás megváltozása és a korábbi folyószabályozási beavatkozások szintén befolyásolják a vízállást.

A kormány 2026 augusztusában mederbeli fenékküszöb építéséről és szükség esetén ideiglenes vízszintemelési beavatkozásokról döntött Paks térségében. A beavatkozások gazdasági előnyeit ugyanakkor össze kell vetni a hajózási, vízügyi és ökológiai következményekkel is.

A hosszabb távú vízgazdálkodás megoldása politikai viták tárgya. Az egyik megközelítés nagyobb vízügyi beruházásokkal, tározással és öntözésfejlesztéssel kívánja növelni a vízbiztonságot. Más szakmai álláspontok a természetes árterek helyreállítását, a táji vízvisszatartást, a talaj vízmegtartó képességének javítását és a fenntartható földhasználatot hangsúlyozzák.

A megoldások nem feltétlenül zárják ki egymást, de eltérő területhasználati, költségvetési és környezeti következményekkel járnak.

A kormány 2026 szeptemberében maga is meghirdette a víz gyors elvezetéséről a helyben történő vízvisszatartásra való fokozatos áttérést. A megvalósítás azonban több ágazat együttműködését, hosszú távú finanszírozást és a földtulajdonosok érdekeinek figyelembevételét igényli.

A magyar aszályhelyzet legfontosabb tanulsága, hogy a víz nem egyszerűen környezetvédelmi kérdés. Egyszerre alapfeltétele a mezőgazdaságnak, az energiatermelésnek, a természet fennmaradásának és a lakosság biztonságának.

A kérdés ma már nem csupán az, hogyan vezessük el a sok vizet, hanem az is: hogyan őrizzük meg akkorra, amikor szükségünk lesz rá?

Ehhez a kereteshez különösen illik a könyv alapgondolata: a vízvisszatartás költségeit gyakran helyben kell vállalni, miközben az előnyök nagyobb térségben és hosszabb idő alatt jelentkeznek. A kérdés itt is ugyanaz: ki fizeti az árát – és ki fizeti meg azt, ha nem cselekszünk?

A történelmi döntéseket az akkori gazdasági, egészségügyi és műszaki körülmények között hozták meg.

A megváltozott éghajlati feltételek azonban újragondolást indokolhatnak.



189. ábra: A vízgazdálkodás három megközelítése: a folyók természetes árterének visszaadása, a táji vízvisszatartás és az öntözés. A megfelelő megoldás a helyi vízviszonyoktól és a földhasználattól függ.

Hollandiában a Room for the River, vagyis „Helyet a folyónak” program szemléletes példája az új megközelítésnek.

A program egyes folyószakaszokon nem kizárólag a töltések magasításával próbálta növelni az árvízbiztonságot, hanem a folyók számára rendelkezésre álló teret is bővítette.

Ahol erre lehetőség nyílt, módosították a töltések helyét, mellékágakat alakítottak ki, és növelték az ártéri vízlevezető kapacitást.

Ez bizonyos helyeken csökkentheti a magas vízállások kockázatát, miközben ökológiai előnyökkel is járhat.

A beavatkozások azonban jelentős beruházást és esetenként területhasználati változtatásokat igényelnek.

A természetes vízvisszatartás tehát nem ingyenes, és nem mindenütt kivitelezhető.

Az öntözés nem csodafegyver

Az aszály elleni védekezés egyik legkézenfekvőbb eszköze az öntözés.

Megfelelő vízkészletek és korszerű technológiák mellett az öntözés jelentősen mérsékelheti a terméskiesést.

De honnan származik az öntözővíz?

Ha folyókból veszik ki, a vízkivétel befolyásolhatja az alvízi területek ellátását és az élővilágot.

Ha felszín alatti készletekből szivattyúzzák, a túlzott kitermelés hosszabb távon a vízszint csökkenéséhez vezethet.

Az öntözés emellett energiát igényel, beruházási és üzemeltetési költségekkel jár, és nem megfelelő alkalmazás esetén a talaj szikesedését is előidézheti.



190. ábra: A korszerű öntözési megoldások: csepegtetés, nagyüzemi öntözés és talajnedvesség-alapú szabályozás. A víztakarékosság önmagában nem bizonyítja a vízhasználat fenntarthatóságát.

A csepegtető öntözés és a talajnedvesség-érzékelők csökkenthetik a növénytermesztéshez szükséges vízmennyiséget.

Ugyanakkor érdekes gazdasági ellentmondás jelentkezhet.

Ha a víztakarékos technológia miatt olcsóbbá válik az öntözés, a gazdálkodók nagyobb területet vonhatnak be a termelésbe, vagy vízigényesebb növénykultúrákra térhetnek át.

Így a fajlagos vízfelhasználás csökkenhet, miközben a teljes vízkivétel nem feltétlenül mérséklődik.

A hatékony technológia tehát önmagában nem helyettesíti a vízkészletek fenntartható szabályozását.

Visszaadni a víznek a helyét

A természetes vízvisszatartás másik fontos eszköze a vizes élőhelyek helyreállítása.

A mocsarak, lápok, árterek és időszakosan vízborított területek képesek vizet tárolni, mérsékelni egyes árhullámok hatását és élőhelyet biztosítani számos fajnak.

A talajba beszivárgó víz egy része a felszín alatti készletek utánpótlásához is hozzájárulhat.



191. ábra: A helyreállított vizes élőhelyek egyszerre szolgálhatják a vízvisszatartást és a természetvédelmet. Hatásuk azonban a domborzattól, a talajtól, a vízellátástól és a terület méretétől függ.

A természetes megoldások előnye, hogy többféle hasznot is biztosíthatnak.

Korlátjuk viszont, hogy helyet igényelnek.

Egy árterület helyreállítása mezőgazdasági területek használatának megváltoztatásával járhat, és megfelelő kártalanítás, gazdasági ösztönzők és társadalmi megállapodások nélkül nehezen valósítható meg.

Itt ismét megjelenik a könyv egyik központi kérdése: ki viseli a környezetvédelmi intézkedés közvetlen költségét, és ki részesül az előnyeiből?

Erdővédelem: a meglévő erdő gyakran többet ér az új telepítésnél

Az erdők fontos szerepet játszanak a szénkörforgásban, a vízháztartásban és a biológiai sokféleség megőrzésében.

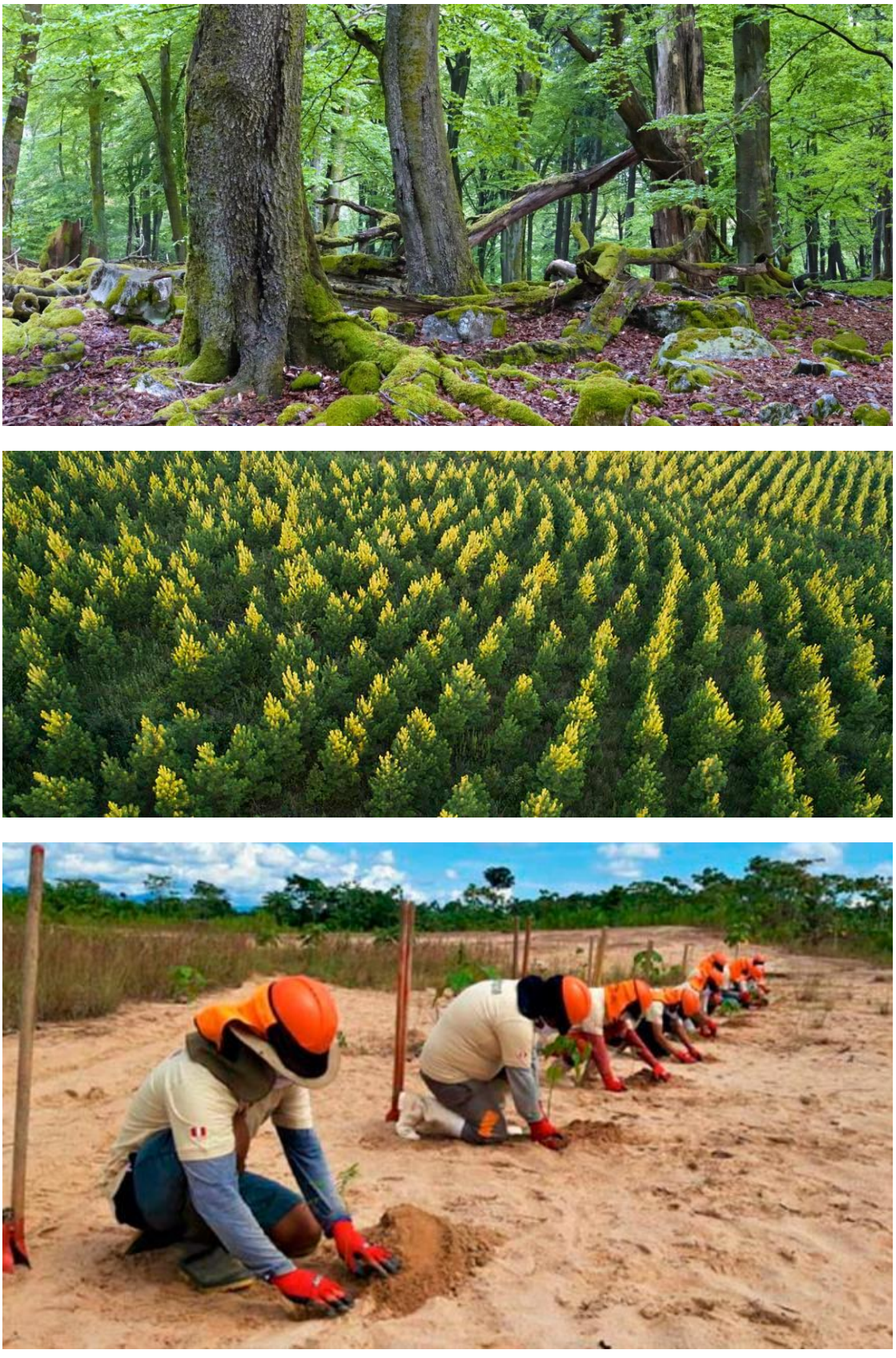
A növények fotoszintézis során szén-dioxidot vesznek fel, és a szenet részben a fában, a gyökerekben, a talajban és más szerves anyagokban tárolják.

Ezért a fásítás és az erdőtelepítés népszerű klímavédelmi intézkedéssé vált.

Csakhogy nem mindegy, milyen erdőt, hol és milyen céllal hozunk létre.

Egy természetes, idős erdő komplex ökológiai rendszer. A fák mellett gombák, mikroorganizmusok, rovarok, madarak és más élőlények sokasága alkotja.

Az ilyen erdő nem helyettesíthető egyszerűen azonos területű fiatal faültetvénnyel.



192. ábra: Idős természetes erdő, ipari faültetvény és fiatal erdőtelepítés. A három állomány szénmérlege, vízigénye, élővilága és ellenálló képessége eltérő lehet.

Az erdőtelepítés hosszú távon jelentős előnyökkel járhat, de a szénmegkötés nem azonnal jelentkezik teljes mértékben.

Egy fiatal erdő növekedéséhez évtizedekre van szükség.

Ha az újonnan telepített erdő később kiszárad, leég vagy elpusztul, a korábban megkötött szén egy része visszajuthat a légkörbe.

A fák vízigényével is számolni kell.

Száraz térségekben a nagy kiterjedésű erdőtelepítés csökkentheti a rendelkezésre álló talajvíz vagy lefolyó víz mennyiségét, különösen nem megfelelő fafajválasztás esetén.

Az erdőtelepítés ezért nem univerzális megoldás minden tájra.

Egy természetes gyep vagy vizes élőhely fásítása akár természetvédelmi károkat is okozhat.

Három kísérlet a természet visszahódítására

Sebastião Salgado: amikor egy erdő újjászületik

A világhírű brazil fotográfus, Sebastião Salgado (1944–2025) életművének egyik legkülönlegesebb alkotása nem fénykép volt, hanem egy valódi erdő.

Feleségével, Lélia Deluiz Wanick Salgadóval 1998-ban elhatározták, hogy helyreállítják a család egykori birtokának pusztuló erdőit a brazíliai Minas Gerais államban, Aimorés közelében.

A korábban erdővel borított terület jelentős részét az évtizedek során legelővé alakították. A talaj állapota leromlott, a természetes növényzet visszaszorult, a táj egyre szárazabbá vált.

A házaspár megalapította az Instituto Terra szervezetet, amely az Atlanti-parti Esőerdő, a Mata Atlântica őshonos növényzetének helyreállítását tűzte ki célul.


ANTES
DEPOIS



Az Instituto Terra helyreállítási programjának tájai: a korábban lepusztult legelő, a megújuló erdő és az őshonos facsemeték nevelése.

A program több évtizedes munkája során 2025 végéig több mint 3,6 millió őshonos facsemetét ültetett, és a szervezet történelmi központjában mintegy 2300 hektárnyi területen zajlik ökológiai helyreállítás. Az eredmények túlmutatnak a faültetésen: az intézet növény- és állatvilágot figyel meg, forrásokat rehabilitál, valamint helyi gazdálkodókkal dolgozik együtt.

A siker egyik kulcsa, hogy nem néhány gyorsan növő fafajból alakítottak ki ültetvényt, hanem az eredeti erdőtársulás változatosságát próbálták helyreállítani.

A program így nem pusztán a szén-dioxid megkötését szolgálja, hanem az ökológiai rendszer újjáépítését is.

A történetnek van egy kevésbé romantikus oldala is: a helyreállításhoz jelentős finanszírozásra, faiskolai kapacitásra, folyamatos gondozásra és hosszú távú intézményi működésre volt szükség. A program támogatói között nagyvállalatok is megjelentek, ami időnként vitákat váltott ki.

A tanulság: egy leromlott terület ökológiai helyreállítása lehetséges, de nem elegendő fákat ültetni. Az új erdőt hosszú távon fenn is kell tartani, és a helyi élővilág regenerálódását is biztosítani kell.

Kína: a Nagy Zöld Fal a porviharok ellen

Kína északi és északnyugati területein a sivatagosodás, a talajerózió és a porviharok régóta komoly problémát jelentenek.

A Góbi és más száraz térségek felől érkező por időnként nagy távolságra jut el, és jelentős területek levegőminőségét rontja.

Kína 1978-ban indította el a Three-North Shelterbelt Program nevű programot, amelyet gyakran kínai Nagy Zöld Falként emlegetnek.

A kezdeményezés célja védőerdők, cserjések és más növényzettel borított területek kialakítása volt, hogy mérsékeljék a szél okozta talajpusztulást, a homokmozgást és a mezőgazdasági területek sérülékenységét.





A kínai Nagy Zöld Fal elemei: védőerdősávok, a mozgó homok megkötésére szolgáló szalmarácsok és a program egyik kiváltó oka, a porviharok.

A vállalkozás mérete rendkívüli.

Egy 2025-ben közölt, több mint tízezer műholdfelvételen és ötvenezer terepi mintaterületen alapuló tudományos értékelés szerint a vizsgált térség erdőborítottsága 1978 és 2022 között 5,05 százalékról 9,69 százalékra nőtt. Ahol a védőerdősávok jól működtek, a mezőgazdasági terméshozam 4,3–9,5 százalékos javulását mutatták ki.

Ugyanez a kutatás azonban a program jelentős korlátaira is rámutatott.

A fásításra kijelölt területeken nem minden telepítés bizonyult sikeresnek, és a védőerdők a mezőgazdasági területeknek csak egy részét védték megfelelően.

A legsúlyosabb probléma a vízhiány.

A fák ugyanis vizet fogyasztanak. Ha olyan száraz térségbe telepítünk nagy vízigényű fafajokat, ahol a természetes körülmények inkább gyepet vagy cserjés növényzetet tennének lehetővé, a telepítés tartós fennmaradása kérdésessé válhat.

Egy 2025-ös kutatás szerint a program területén vizsgált növényzet mintegy 48 százalékánál a zöldülés ellenére csökkent az ökológiai ellenálló képesség, részben a vízkészletek korlátozottsága miatt. Ez nem azonos azzal, hogy a telepített fák fele elpusztult volna, de figyelmeztet a vízháztartási korlátokra.

Ezért Kína egyes térségeiben a fásítás mellett vagy helyett a szárazságtűrő cserjék, őshonos füvek és homokmegkötő módszerek alkalmazása lehet előnyösebb.

A tanulság: a hatalmas állami erdősítési program valóban képes javítani a táj állapotát, de a siker nem mérhető kizárólag az elültetett fák vagy a zölddé vált területek nagyságával. A rendelkezésre álló víz és a hosszú távú fennmaradás döntő feltétel.

Afrika: a Nagy Zöld Fal, amely nem egyszerű fasor

A Szahara déli peremén húzódó Szahel-övezet több országában a lakosság megélhetése közvetlenül függ a termőföld és a legelők állapotától.

Az 1970-es és 1980-as évek súlyos aszályai, a túlhasználat, a talajpusztulás és a növekvő népesség miatt a térség számos területén romlottak a mezőgazdasági feltételek.

Az Afrikai Unió támogatásával 2007-ben indult el a Great Green Wall, azaz Nagy Zöld Fal kezdeményezés.

Az eredeti elképzelést gyakran egy Szenegáltól Dzsibutiig húzódó, körülbelül nyolcezer kilométeres erdősávként mutatták be.

A megvalósítás során azonban nyilvánvalóvá vált, hogy a Szahel eltérő éghajlatú és talajú vidékein nem lehet egyszerűen egy összefüggő erdőt telepíteni.

A program ezért fokozatosan átalakult: ma már inkább egymáshoz kapcsolódó erdő-, gyep-, termőföld- és vízgyűjtő-helyreállítási projektek hálózata.





A Száhel helyreállításának eltérő módszerei: facsemeték telepítése, termőföldön meghagyott és gondozott őshonos fák, valamint a csapadék visszatartását segítő földművek.

A kezdeményezés hosszú távú céljai között 2030-ig százmillió hektár leromlott terület helyreállítása, jelentős szénmegkötés és munkahelyteremtés szerepel.

A program eredményei azonban egyenetlenek. Az országok finanszírozási lehetőségei, intézményei, biztonsági helyzete és társadalmi viszonyai jelentősen különböznek.

A 2026-os UNCCD-értékelés is hangsúlyozza, hogy a program előrehaladásának megítélését hiányos adatszolgáltatás, koordinációs nehézségek és a vállalt finanszírozás tényleges felhasználásának lassúsága nehezíti.

A Száhel egyik legérdekesebb sikertörténete azonban nem a nagy állami faültetési kampányokhoz kapcsolódik.

Nigerben a gazdálkodók az 1980-as évektől egyre nagyobb területen kezdték megőrizni és gondozni a földjükön természetesen megjelenő fák hajtásait.

A módszer neve Farmer Managed Natural Regeneration, azaz gazdálkodók által irányított természetes regeneráció.

Sok száraz vidéken a korábban kivágott fák gyökérzete tovább él a talajban. Ha a gazdálkodók megvédik a kihajtó sarjakat a legeltetéstől és a kivágástól, a fák újra növekedésnek indulhatnak.

Így nem feltétlenül kell minden területre drága faiskolákból származó csemetéket telepíteni.



A természetes regeneráció módszere Nigerben: a meglévő gyökérzetből vagy természetesen kelt magoncokból fejlődő fákat a gazdálkodók védik és metszéssel segítik.

A World Resources Institute szerint Nigerben ezzel a módszerrel mintegy ötmillió hektár mezőgazdasági területen körülbelül 200 millió fa regenerációját segítették elő több évtized alatt. A fák árnyékot, takarmányt, tüzelőanyagot és szervesanyag-utánpótlást biztosítanak, miközben javíthatják a talaj védelmét.

A siker egyik kulcsa a helyi gazdálkodók érdekeltsége volt.

Amikor a földhasználók nagyobb rendelkezési jogot kaptak a földjükön növő fák felett, érdemesebbé vált számukra megőrizni és gondozni azokat.

A módszer ráadásul viszonylag olcsó: ahol a növényzet természetes regenerációjának feltételei adottak, kevesebb csemetére, öntözésre és külső beruházásra lehet szükség.

A termőföld nem válik zárt erdővé. A fák között továbbra is lehet kölest, cirkot és más növényeket termeszteni, miközben a fák az agroerdészeti rendszer részét alkotják.

A tanulság: a sivatagosodás elleni küzdelemben néha nem új erdőt kell létrehozni, hanem lehetővé kell tenni, hogy a meglévő növényzet újra megerősödjön. Ehhez a helyi lakosság együttműködése és gazdasági érdekeltsége gyakran fontosabb, mint az elültetett csemeték száma.

Mit tanulhatunk a három példából?

A három történet nagyon különböző, mégis közös következtetésre vezet.

Program	Megközelítés	Legfontosabb tapasztalat
Brazília – Instituto Terra	Őshonos, fajgazdag erdő helyreállítása	Hosszú távú gondozással a leromlott ökoszisztéma újjáépülhet
Kína – Nagy Zöld Fal	Nagyszabású állami fásítás és talajvédelem	A vízkészletek és a fafajválasztás korlátozhatják a sikert
Szahel – Nagy Zöld Fal és Niger	Tájrehabilitáció és természetes regeneráció	A helyi lakosság érdekeltsége és az olcsó természetes regeneráció döntő lehet

A környezetvédelmi programok eredményességét ezért nem az elültetett fák darabszámával kellene mérni, hanem azzal, hogy hány fa marad életben, javul-e a talaj és a vízháztartás állapota, visszatér-e az élővilág, és részesül-e a helyi lakosság a helyreállítás előnyeiből.

Ez a három példa az erdőgazdálkodási fejezetnek egy másik fontos gondolatát is alátámasztja: nem mindenütt az erdőtelepítés a megfelelő megoldás. Ahol természetes erdő volt, ott érdemes lehet erdőt helyreállítani. Ahol viszont a táj természetes állapota füves vagy cserjés élőhely, ott a fásítás akár újabb környezeti problémákat is okozhat.

Főbb források

- Instituto Terra – 2025. évi eredmények.
- Science China: Life Sciences – A kínai Three-North program 45 éves értékelése (2025).
- Geophysical Research Letters – A vízkészletek szerepe a kínai erdősítések fennmaradásában (2025).
- UNCCD – Az afrikai Nagy Zöld Fal előrehaladása (2026).
- World Resources Institute – Niger természetes regenerációs tapasztalatai.

Miért fontosabb néha az erdőpusztulás megakadályozása?

Egy meglévő erdő megőrzése sok esetben gyorsabb környezeti előnyt biztosíthat, mint egy új erdő telepítése.

A védelem azonnal megőrzi a már felhalmozott szénkészletet, a meglévő élőhelyeket és az ökoszisztéma működését.

Ezzel szemben a telepítés eredményére hosszú ideig várni kell.

Az IPCC értékelése szerint az erdőpusztulás mérséklése, az erdők fenntartható kezelése és az ökoszisztémák helyreállítása fontos éghajlatvédelmi lehetőséget jelent. Különösen jelentős potenciállal rendelkezik a trópusi erdőirtás visszaszorítása.

Ez azonban nem jelenti azt, hogy minden fakitermelés természetkárosítás.

A fenntartható erdőgazdálkodás és a természetes erdők pusztítása nem ugyanaz.

A hosszú élettartamú fatermékekben megkötött szén is tárolódhat, és a fa bizonyos alkalmazásokban nagyobb kibocsátású anyagokat helyettesíthet.

A kérdés mindig a teljes rendszer mérlege, beleértve az erdő újranövekedését, az élőhelyi hatásokat és a helyettesített termékeket.

Az európai erdők új problémája

Európában az elmúlt évszázadok során sok térségben növekedett az erdőterület, de a terület nagysága nem azonos az erdők egészségi állapotával.

A hőhullámok, az aszályok, a kártevők és az erdőtüzek fokozódó kockázata új kihívást jelent.

A lucfenyőállományok például több európai térségben súlyos károkat szenvedtek a szárazság és a szúkárosítás együttes hatásától.







193. ábra: Szúkárosított fenyves, változatos fafajösszetételű erdő és tűzkárt szenvedett erdőterület. Az alkalmazkodó erdőgazdálkodás egyik feladata az állományok sérülékenységének mérséklése.

A változatosabb fafajösszetétel, a megfelelő termőhelyi alkalmazkodás és a természetes regeneráció támogatása javíthatja egyes erdők ellenálló képességét.

Ugyanakkor a vegyes erdő sem garantál teljes védelmet minden kockázattal szemben.

A szélsőséges aszály, a nagy intenzitású tűz vagy az új kártevők a változatos erdőket is károsíthatják.

Az erdővédelem ezért nem egyszeri beruházás, hanem évtizedeken át tartó alkalmazkodási folyamat.

Talajvédelem: a legfontosabb természeti erőforrás, amelyet alig veszünk észre

A talajvédelem ritkábban kerül a környezetpolitikai viták középpontjába, mint a szén-dioxid-kibocsátás vagy az erdőirtás.

Pedig a termékeny talaj az élelmiszer-termelés alapja.

A talaj nem egyszerűen apró kőzetszemcsék keveréke, hanem összetett élő rendszer.

Ásványi anyagokat, szerves vegyületeket, vizet, levegőt, gombákat, baktériumokat és különféle talajlakó állatokat tartalmaz.

A talaj szerkezete alapvetően befolyásolja a víz beszivárgását, tárolását és a növények tápanyagellátását.





194. ábra: Egészséges, gyökerekkel átszőtt termőtalaj, erózióval károsodott szántóföld és növényi takarással védett terület. A talaj állapota közvetlenül befolyásolja a vízgazdálkodást és a mezőgazdasági termelést.

A talajromlásnak több oka lehet.

Az intenzív művelés, a túlzott tömörítés, az erózió, a szervesanyag-veszteség, a szikesedés és a szennyezés különböző módon ronthatja a talaj termőképességét.

A talajromlás egyik legsúlyosabb formája a víz és a szél okozta erózió.

Ha a felső, szerves anyagokban gazdag talajréteg lemosódik vagy elsodródik, a termőképesség jelentősen csökkenhet.

A talajképződés természetes folyamata sok esetben lassú, ezért a vastag termőréteg elvesztése emberi időléptékben nehezen pótolható.

Mit lehet tenni a talaj megőrzéséért?

A talajvédelem egyik fontos eszköze, hogy a földfelszín minél kevesebb ideig maradjon növényi takarás nélkül.

A takarónövények csökkenthetik az eróziót, javíthatják a talaj szerkezetét és hozzájárulhatnak a szervesanyag-utánpótláshoz.

A megfelelő vetésforgó mérsékelheti egyes kártevők és betegségek felhalmozódását, miközben kedvezőbb tápanyag-gazdálkodást tehet lehetővé.

A csökkentett talajbolygatás szintén javíthat bizonyos talajtulajdonságokat.

De itt sem létezik minden körülmények között azonosan eredményes technológia.

A talajművelés csökkentése egyes rendszerekben fokozhatja a gyomirtó szerek iránti igényt. A takarónövények száraz területeken vizet fogyaszthatnak, és kedvezőtlen körülmények között csökkenthetik a következő főnövény számára rendelkezésre álló nedvességet.

A talajban tárolt szén mennyisége sem növelhető korlátlanul.

A szénmegkötés idővel telítődhet, és a korábban felhalmozott szerves anyag egy része későbbi művelési változások, erózió vagy melegedés miatt elveszhet.



195. ábra: A talaj szervesanyag-tartalma és szerkezete fontos szerepet játszik a víz és a tápanyagok megtartásában. A talajvédelmi módszereket azonban a helyi adottságokhoz kell igazítani.

A talajvédelem előnye, hogy több problémára is választ adhat.

Javíthatja a termőképességet, mérsékelheti az eróziót, kedvező hatással lehet a vízvisszatartásra, és bizonyos körülmények között hozzájárulhat a szénmegkötéshez.

Az eredmény azonban általában nem egyik napról a másikra jelentkezik.

A talajszerkezet és a szervesanyag-készlet javulása több évig vagy akár évtizedekig tarthat.

Ez gazdasági nehézséget okozhat, mert a gazdálkodónak a beavatkozás költségét gyakran azonnal viselnie kell, miközben az előny csak később jelentkezik.

A talajvédelmi támogatások ezért nemcsak környezetvédelmi, hanem agrárgazdasági eszközök is lehetnek.

Energiahatékonyság: az energia, amelyet nem kell megtermelni

A környezetvédelem egyik legkevésbé látványos, mégis jelentős lehetősége az energiahatékonyság javítása.

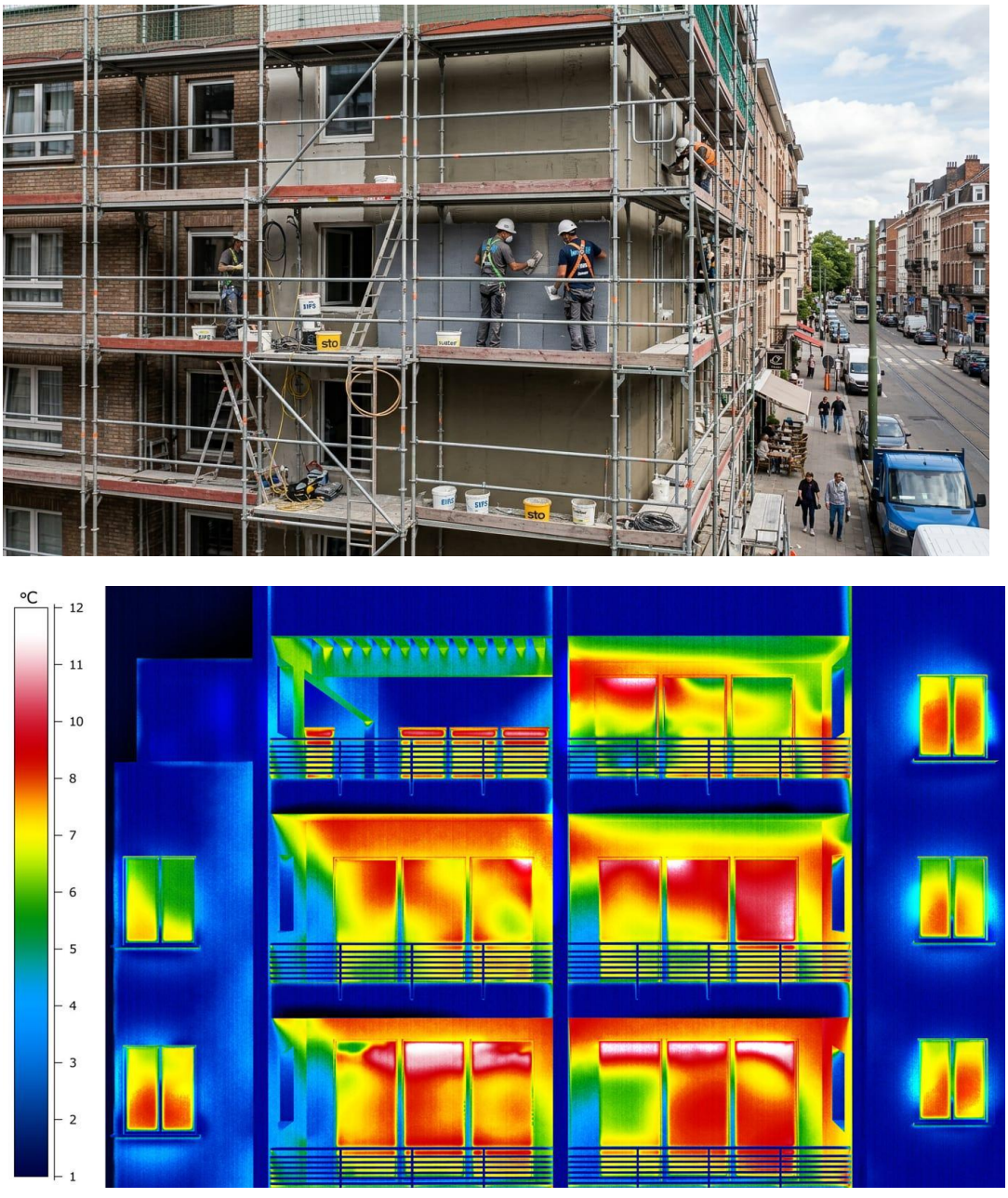
A közbeszéd gyakran arra összpontosít, milyen új erőműveket, napelemeket, szélerőműveket vagy akkumulátorokat kell építeni.

Pedig a legolcsóbb és legkisebb környezeti terhelésű energia sok esetben az, amelyet eleve nem kell felhasználni.

Egy rosszul szigetelt épület fűtéséhez több energia szükséges, mint egy hasonló méretű, megfelelő hőszigeteléssel és korszerű szabályozással működő épületéhez.

Az iparban a hulladékhő hasznosítása, a villamos motorok korszerűsítése és a technológiai folyamatok optimalizálása csökkentheti az energiaigényt.

A közlekedésben a kisebb tömeg, a hatékonyabb hajtás és a járművek jobb kihasználtsága egyaránt megtakarítást eredményezhet.



196. ábra: Épülethőszigetelés, hőkamerás ellenőrzés és ipari hulladékhő-hasznosítás. Az energiahatékonyság javítása gyakran a működési költségeket is csökkenti.

Miért nem szigetel mindenki?

Az energiahatékonysági beruházások megtérülése jelentősen eltérhet.

Egy egyszerű szabályozási beállítás vagy korszerű világítás viszonylag kis befektetést igényelhet.

Egy teljes társasházi energetikai felújítás viszont jelentős összeget emészthet fel.

A beruházás gazdasági eredménye függ az energiaáraktól, az épület állapotától, az alkalmazott technológiától és a használati szokásoktól.

Egy rossz energetikai állapotú, folyamatosan használt épület felújítása sokkal kedvezőbb megtérülést mutathat, mint egy eleve takarékos, ritkán használt ingatlan további korszerűsítése.

A tulajdonosi viszonyok is akadályt jelenthetnek.

Egy bérbe adott lakásban a felújítás költségét a tulajdonos viseli, miközben az alacsonyabb rezsi közvetlen előnyét a bérlő élvezi.

Társasházak esetében a közös döntéshozatal, a finanszírozás és az eltérő lakói érdekek nehezíthetik a beruházást.

Így az energiahatékonyság javítása nem egyszerűen műszaki, hanem pénzügyi és intézményi kérdés is.

A megtakarítás, amelyet részben elköltünk

Az energiahatékonyság egyik érdekes jelensége a visszapattanó hatás, vagyis a rebound effect.

Ha egy technológia olcsóbbá teszi egy szolgáltatás használatát, előfordulhat, hogy többet használunk belőle.

Ha egy lakás fűtése a korszerűsítés után lényegesen olcsóbbá válik, a lakók magasabb belső hőmérsékletet választhatnak.

Ha egy autó kevesebbet fogyaszt, tulajdonosa esetleg többet közlekedik vele.



197. ábra: A korszerű épület jelentősen mérsékelheti a fűtési és hűtési energiaigényt. A tényleges megtakarítás azonban a használati szokásoktól is függ.

Ez nem teszi értelmetlenné az energiahatékonysági beruházásokat.

Arra figyelmeztet, hogy a műszakilag számított megtakarítás nem feltétlenül azonos a ténylegesen elért energiamegtakarítással.

Egy társadalom energiaigénye nemcsak a technológiák hatékonyságától, hanem a fogyasztás szerkezetétől is függ.

Az energiahatékonyság tehát szükséges, de nem feltétlenül elegendő az összes energiafelhasználás mérsékléséhez.

Városok felkészítése a hőségre és a hirtelen esőkre

A klímaváltozáshoz történő alkalmazkodás egyik legfontosabb helyszíne a város.

A sűrűn beépített területeken az aszfalt, a beton és az épületek napközben hőt tárolhatnak, amelyet éjszaka lassan adnak le.

A kevés növényzet és a korlátozott párolgás miatt a városi területek hőmérséklete különösen éjszaka magasabb lehet a környező vidéki területekénél.

A hőhullámok ezért a nagyvárosokban különösen súlyos egészségügyi kockázatot jelentenek.

Az alkalmazkodás egyik eszköze a városi zöldfelületek növelése.

A fák árnyékot adnak, párologtatásukkal pedig megfelelő vízellátás mellett hűthetik környezetüket.

A parkok, fasorok, zöldtetők és áteresztő burkolatok javíthatják a városi mikroklímát és a csapadékvíz kezelését.







198. ábra: A városi alkalmazkodás három eszköze: árnyékot adó fasorok, csapadékvíz-visszatartó esőkertek és zöldtetők. Előnyeik között szerepelhet a hőterhelés és a felszíni lefolyás mérséklése.

A növényzet telepítése azonban nem automatikusan jó megoldás minden városi helyszínen.

A fák megfelelő gyökérteret, talajt és vizet igényelnek.

Egy rosszul megválasztott fafaj a száraz, forró városi környezetben nehezen maradhat fenn, és fenntartása jelentős vízigénnyel járhat.

Az épületek árnyékolása, a természetes szellőzés, a hővédelmi felújítás és a megfelelő hűtési lehetőségek ugyancsak fontosak.

A hőséghez való alkalmazkodásnál különösen figyelembe kell venni az idősek, a kisgyermekek és a krónikus betegséggel élők sérülékenységét.

A városi hővédelmi intézkedések előnye gyakran gyorsan jelentkezik: már a következő hőhullám idején mérsékelhetik a veszélyt.

A városi csapadékvíz-kezelésnél hasonló a helyzet.

Az esőkertek, vízáteresztő burkolatok és kisebb tározók mérsékelhetik a csapadékvíz gyors lefolyását, de rendkívüli felhőszakadás esetén nem helyettesítik teljesen a megfelelő csatornahálózatot és az árvízvédelmi infrastruktúrát.

Az alkalmazkodás eredményessége tehát mindig a várható veszély nagyságától függ.

Melyik beavatkozás éri meg a legjobban?

A különböző környezetvédelmi intézkedések összehasonlításánál három kérdést kell feltennünk.

Mennyibe kerül a beavatkozás? Milyen eredmény várható tőle? És milyen időtávon jelentkezik ez az eredmény?

A válasz nem mindig egyszerű.

Egy metánszivárgás megszüntetése viszonylag gyorsan megvalósítható, és bizonyos esetekben közvetlen gazdasági megtakarítást is hozhat.

Egy erdő helyreállítása viszont évtizedeket igényelhet, miközben a haszna nemcsak a szénmegkötésből, hanem a vízháztartás javulásából és az élővilág gazdagodásából is származhat.

Egy árvízvédelmi beruházás jelentős összeget emészthet fel, de ha egy súlyos katasztrófát sikerül vele megelőzni, a társadalmi haszna sokszorosan meghaladhatja a költségét.

Az alábbi összehasonlítás nem tekinthető általános költséghatékonysági rangsornak, mert a beavatkozások eltérő célokat szolgálnak.

Beavatkozás	Költség jellege	Eredmény időtávja	Fő előny és korlát
Metánszivárgások megszüntetése	Alacsony–közepes; néha megtérül	Hónapok–évek	Gyors klímaelőny; ellenőrzés és beruházás szükséges
Víztakarékos technológiák	Alacsony–magas	Rövid–közép	Kevesebb fajlagos vízigény; a teljes vízkivétel nem feltétlenül csökken
Természetes vízvisszatartás	Közepes–magas	Évek	Árvízi, aszály- és élőhelyi előnyök; jelentős területigény
Meglévő erdők védelme	Változó; folyamatos	Azonnali és hosszú távú	Szénkészlet és élővilág megőrzése; kezelési és használati konfliktusok
Erdőtelepítés	Közepes–magas	Évtizedek	Szénmegkötés, élőhelyteremtés; vízigény és pusztulási kockázat
Talajvédelem	Alacsony–közepes, esetenként magas	Évek–évtizedek	Termőképesség és vízmegtartás; helyspecifikus eredmények

Épületek energiahatékonysága	Alacsony–nagyon magas	Azonnali megtakarítás, hosszú élettartam	Kevesebb energiaigény; tőkeigényes felújítások
Városi hővédelem	Alacsony–magas	Rövid–közép	Hőségkockázat mérséklése; fenntartás és helyigény

A költségkategóriák szemléltető, relatív besorolások; nem pénzösszegek. A tényleges költség és eredmény országonként, technológiánként és helyszínenként jelentősen eltérhet.

Az összehasonlításból egy fontos tanulság következik.

Nem feltétlenül az a legjobb intézkedés, amely egyetlen kiválasztott mutató alapján a legnagyobb eredményt hozza.

Egy erdővédelmi program például mérsékelheti a klímaváltozást, megőrizheti a biológiai sokféleséget és javíthatja a vízháztartást.

Egy metánszivárgás megszüntetése viszont gyorsan csökkentheti az üvegházhatást, miközben gazdasági megtakarítást eredményezhet.

Mindkettő értékes, de eltérő problémára ad választ.

A jó környezetpolitika ezért nem egyetlen megoldásra épít, hanem a beavatkozások megfelelő kombinációját keresi.

Mennyibe kerül az alkalmazkodás, és ki fizeti?

A környezetvédelmi intézkedések gazdasági terhei között különösen nagy különbség van a fejlett és a fejlődő országok helyzetében.

A gazdagabb országok általában több pénzügyi forrással, korszerűbb infrastruktúrával és erősebb intézményi háttérrel rendelkeznek.

A szegényebb országokban viszont gyakran éppen azok a beruházások hiányoznak, amelyek a szélsőséges időjárási események következményeit mérsékelhetnék.

Az ENSZ Környezetvédelmi Programjának 2025-ös Adaptation Gap Report jelentése szerint a fejlődő országok éves alkalmazkodási finanszírozási szükséglete 2035-re 310–365 milliárd dollár lehet, a becslési módszertől függően.

Ezzel szemben a fejlődő országokba irányuló nemzetközi közfinanszírozású alkalmazkodási támogatások összege 2023-ban mindössze 26 milliárd dollár volt.

Az alkalmazkodás finanszírozási szakadéka

Fejlődő országok · milliárd USD/év

Forrás: UNEP, Adaptation Gap Report 2025. A 2023-as finanszírozási adat és a 2035-ös szükséglet eltérő időszakra és eltérő fogalmi körre vonatkozik; az összehasonlítás a finanszírozási hiány nagyságrendjét szemlélteti.

A szükséglet tehát nagyságrendekkel meghaladja a jelenlegi nemzetközi közfinanszírozású támogatásokat.

A pénz hiánya azonban nem az egyetlen akadály.

Szükség van megfelelő tervekre, szakemberekre, intézményekre, jogi szabályozásra és a beruházások fenntartásához szükséges kapacitásra is.

Egy új víztározó például nem oldja meg a vízellátási problémát, ha hiányzik a vízgazdálkodási szabályozás, a karbantartás vagy a víz igazságos elosztása.

A nemzetközi finanszírozás felhasználásánál az is fontos kérdés, hogy támogatásról vagy visszafizetendő hitelről van-e szó.

Ha egy ország a klímaváltozáshoz történő alkalmazkodás érdekében jelentős adósságot vesz fel, a beruházás mellett hosszú távú pénzügyi terhet is vállal.

Ez különösen érzékeny kérdés azokban az országokban, amelyek történelmileg viszonylag kis mértékben járultak hozzá a globális felmelegedéshez, de annak súlyos következményeit viselik.

Az alkalmazkodásnak is vannak határai

Gyakran hallhatjuk, hogy az ember rendkívül alkalmazkodóképes, és a technológiai fejlődés segítségével képes lesz kezelni a klímaváltozás következményeit.

Ez részben igaz.

A modern mérnöki tudás, a meteorológiai előrejelzés, a mezőgazdasági nemesítés, a vízgazdálkodás és az egészségügy valóban jelentősen növelheti a társadalmak ellenálló képességét.

De az alkalmazkodás nem korlátlan.

Egy tengerparti település megvédhető magasabb töltésekkel, de egy bizonyos ponton a védekezés költsége vagy műszaki nehézsége aránytalanná válhat.

Egy mezőgazdasági térség öntözéssel ellenállóbbá tehető az aszállyal szemben, de megfelelő vízkészlet nélkül az öntözés sem jelent megoldást.

Egyes ökoszisztémák pedig olyan gyorsan változhatnak, hogy nem képesek alkalmazkodni az új körülményekhez.



199. ábra: Az alkalmazkodás korlátai: költséges partvédelem, vízhiány és az óceánok melegedésétől károsodó korallzátonyok. Nem minden veszteség előzhető meg műszaki beavatkozásokkal.

Az IPCC szerint a további felmelegedéssel az alkalmazkodási lehetőségek egy része egyre kevésbé lesz hatékony, bizonyos emberi és természeti rendszerek pedig elérhetik alkalmazkodóképességük határát.

Ráadásul egy rosszul megtervezett alkalmazkodási intézkedés akár újabb problémát is okozhat.

Ha például minden hőhullámra kizárólag légkondicionáló berendezések telepítésével válaszolunk, az növelheti a villamosenergia-rendszer csúcsterhelését.

Ha minden aszályra felszín alatti vízkivétellel reagálunk, hosszabb távon veszélybe kerülhetnek a vízkészletek.

Ezt a jelenséget hibás alkalmazkodásnak, nemzetközi szóhasználattal maladaptációnak nevezik.

A valóban eredményes alkalmazkodás nem egyszerűen a mai probléma gyors megoldását keresi, hanem azt is vizsgálja, milyen újabb kockázatokat teremthet a beavatkozás.

A környezetvédelem nem pusztán beruházások kérdése

Az eddigiek alapján könnyen kialakulhat az a benyomás, hogy a környezetvédelem elsősorban technológiai beruházásokból áll.

Jobb szigetelés, korszerűbb öntözés, metánszivárgás-érzékelők, új víztározók, hatékonyabb gépek.

Ezek valóban fontosak.

De a környezeti terhelés nagyságát nemcsak a technológia hatékonysága, hanem a gazdasági és társadalmi igények is meghatározzák.

Egy olyan közlekedési rendszer, amelyben minden családnak több nagy méretű autóra van szüksége, jelentős anyag- és energiaigényt támaszt akkor is, ha a járművek elektromos hajtásúak.

Egy olyan gazdaság, amely rövid élettartamú termékeket gyárt és gyors cserére ösztönzi a fogyasztókat, nagy mennyiségű nyersanyagot és hulladékkezelési kapacitást igényel.

Az élelmiszer-pazarlás csökkentése, a tartósabb és javíthatóbb termékek előállítása, az épületek jobb kihasználása és a közlekedési igények ésszerűbb kielégítése ezért ugyancsak fontos környezetvédelmi lehetőség.


TOM





200. ábra: A fogyasztási rendszer átalakítása is környezetvédelmi eszköz: javítható termékek, hatékony közlekedés és az élelmiszer-veszteség mérséklése csökkentheti a nyersanyag- és energiaigényt.

Itt azonban óvatosan kell bánnunk az egyéni felelősség hangsúlyozásával.

A fogyasztók döntései fontosak, de lehetőségeiket a rendelkezésre álló infrastruktúra, a termékek ára és a gazdasági szabályozás is befolyásolja.

Egy ember nem tud vonatra szállni ott, ahol nincs megfelelő vasúti szolgáltatás.

Nem tud energiatakarékos lakásban élni, ha a korszerűsítés költsége meghaladja az anyagi lehetőségeit.

És nem feltétlenül választhat tartósabb terméket, ha a piacon az olcsó, nehezen javítható eszközök dominálnak.

A környezetvédelmi célok eléréséhez ezért az egyéni döntések mellett a vállalati terméktervezésnek, a közszolgáltatásoknak és a gazdaságpolitikai ösztönzőknek is változniuk kell.

Nem a leglátványosabb megoldás a leghasznosabb

A környezetpolitika egyik visszatérő problémája, hogy a látványos beruházások könnyebben kapnak társadalmi és politikai figyelmet.

Egy új erőmű, egy hatalmas napelempark vagy egy nagyszabású faültetési program jól bemutatható eredmény.

Ezzel szemben egy gázvezeték szivárgásának megszüntetése, egy meglévő erdő megőrzése, a talaj állapotának lassú javítása vagy a régi épületek megfelelő hőszigetelése kevésbé látványos.

Pedig ezek az intézkedések adott körülmények között kifejezetten költséghatékonyak lehetnek.

Az eredményes környezetpolitika ezért nem a beruházások látványossága, hanem a valóban elért környezeti és társadalmi haszon alapján mérlegel.

Ehhez nem elegendő a beruházás költségét ismerni.

Meg kell vizsgálni a várható élettartamot, az üzemeltetési költségeket, a mellékhatásokat, a bizonytalanságokat és azt is, hogy a beavatkozás nélkül milyen károk következnének be.

Egy átgondolt környezetpolitikai döntésnek legalább négy feltételt kellene teljesítenie: mérhető eredményt hoz, gazdaságilag és társadalmilag vállalható, nem okoz aránytalan új környezeti károkat, és hosszú távon is fenntartható.

Ezek a feltételek időnként ütközhetnek egymással.

Éppen ezért a környezetvédelem nem egyszerűen műszaki optimalizálás, hanem társadalmi döntéshozatal is.

A megoldás nem egyetlen csodatechnológia

A környezetvédelem történetében rendszeresen megjelennek a mindent megoldani ígérő technológiák.

Időnként az atomenergiát, máskor a megújuló energiát, az elektromos autót, a hidrogént, a szén-dioxid leválasztását vagy a mesterséges intelligenciát állítják a megoldás középpontjába.

Ezek közül több valóban jelentős szerepet tölthet be.

De egyik sem képes önmagában kezelni a környezeti problémák teljes rendszerét.

A metán csökkentése gyors éghajlati előnyt hozhat, de nem helyettesíti a szén-dioxid-kibocsátás mérséklését.

A vízvisszatartás segíthet az aszályok következményeinek enyhítésében, de nem oldja meg a vízszennyezést.

Az erdők védelme fontos a szénmegkötés és a biológiai sokféleség szempontjából, de nem helyettesítheti az ipari kibocsátások visszaszorítását.

Az energiahatékonyság mérsékelheti az energiaigényt, de önmagában nem akadályozza meg az anyagfelhasználás és a fogyasztás további növekedését.

A talajvédelem javíthatja a mezőgazdaság ellenálló képességét, de nem szünteti meg a szélsőséges időjárás minden következményét.

A környezetvédelem sikere nem egyetlen kiemelkedő technológiától, hanem sok különböző beavatkozás megfelelő összehangolásától függ.

És van még egy fontos szempont.

Nemcsak azt kell vizsgálni, hogy mennyibe kerül a beavatkozás, hanem azt is, mennyibe kerülne, ha nem tennénk semmit.

Egy időben elvégzett épületfelújítás, egy megőrzött vízkészlet vagy egy megelőzött erdőtűz társadalmi haszna sokszor olyan veszteségek elkerüléséből származik, amelyek egyébként csak évekkel később jelentkeznének.

Ez a környezetvédelmi gazdaságtan egyik legnehezebb feladata: a jelenlegi kiadásokat kell összevetnie a jövőben várható, bizonytalan veszteségekkel.

A megfelelő döntéshez ezért nemcsak pontos mérnöki és természettudományos adatokra, hanem hosszú távú gazdasági szemléletre is szükség van.

A környezetvédelem valódi célja nem az, hogy minél több pénzt költsünk zöldnek nevezett beruházásokra.

Hanem az, hogy a lehető legkisebb társadalmi és környezeti áron őrizzük meg azokat a természeti feltételeket, amelyekre az emberi élet és gazdaság épül.

A legjobb környezetvédelmi beruházás sokszor nem az, amely a legnagyobb gépet építi meg, hanem az, amely megelőzi, hogy egyáltalán szükség legyen rá.

A fejezet főbb szakmai forrásai

- IEA – Global Methane Tracker 2026. A metánkibocsátás csökkentési lehetőségei, technológiái és gazdasági költségei.
- UNEP – Global Methane Assessment (2021). A metáncsökkentés rövid és középtávú éghajlati előnyei.
- IPCC – Sixth Assessment Synthesis Report (2023). A kibocsátás mérséklésének, az alkalmazkodásnak és az ökoszisztéma-védelemnek az összefüggései.
- UNEP – Adaptation Gap Report 2025. A fejlődő országok alkalmazkodási költségei és a finanszírozási hiány.
- Room for the River – Holland vízgazdálkodási program. A folyóknak visszaadott térre épülő árvízvédelmi megoldások.

27. Mennyit ér a környezetvédelem?

Ha egy ország rendelkezésére áll egymilliárd euró, mire fordítsa? Építsen árvízvédelmi rendszert, támogassa a lakóépületek hőszigetelését, fejlessze a vasutat, vagy korszerűsítse a kórházakat? Esetleg javítsa az oktatást, biztosítson tiszta ivóvizet a szegényebb térségeknek, vagy támogassa az új, tisztább technológiák kutatását? Mindegyik cél fontos. A pénz azonban véges, így a döntések elkerülhetetlenül lemondásokkal járnak. A környezetpolitika egyik legnehezebb kérdése ezért nem az, hogy fontos-e megvédeni a természetet, hanem az, hogy mennyit érdemes erre költeni, milyen eredményért, és más társadalmi szükségletekhez képest mekkora elsőbbséget adjunk neki.



201. ábra: Árvízvédelem, tiszta ivóvíz, energetikai kutatás és egészségügy. A közpénzek felhasználásáért egymással versengő célok mindegyike jelentős társadalmi hasznot teremthet.

A kérdés, amelyet senki sem szeret feltenni

A környezetvédelemről szóló vitákban gyakran erkölcsi kérdésként jelenik meg a természet védelme.

Megengedhetjük-e magunknak, hogy elpusztítsuk az erdőket, elszennyezzük a folyókat, vagy tovább növeljük az üvegházhatású gázok koncentrációját?

A válasz első pillantásra egyszerűnek tűnik: természetesen nem.

Csakhogy a gazdaságpolitikai döntéshozatal ennél bonyolultabb.

A társadalmak nem rendelkeznek korlátlan pénzügyi forrásokkal, munkaerővel, nyersanyaggal és energiával. Ha egy célra többet fordítanak, más célra általában kevesebb jut, vagy további adókat, hiteleket és más finanszírozási forrásokat kell bevonni.

A környezetvédelmi kiadásoknak ezért ugyanúgy indokolhatónak kell lenniük, mint az egészségügyi, oktatási vagy közlekedési beruházásoknak.

Ez azonban nem jelenti azt, hogy a környezetvédelmet ezekkel szembe kellene állítani.

A tiszta levegő egészségügyi előny. A biztonságos ivóvíz egyszerre környezetvédelmi és népegészségügyi feladat. Az energiatakarékos épület mérsékelheti a háztartások kiadásait.

A különböző célok sokszor erősítik egymást.

Mégis fel kell tennünk egy kényelmetlen kérdést:

Ha ugyanakkora pénzből két különböző intézkedéssel eltérő nagyságú társadalmi hasznot érhetünk el, milyen alapon választunk közöttük?

Ezt a kérdést állította munkássága középpontjába Bjørn Lomborg dán politológus és közéleti szerző.

Bjørn Lomborg: először azt tegyük meg, ami a legtöbb hasznot hozza



202. ábra: Bjørn Lomborg dán politológus, a Copenhagen Consensus Center vezetője. A nemzetközi fejlesztéspolitika és a klímavédelem költségeinek összehasonlításával vált ismertté. Álláspontjai jelentős tudományos és közéleti vitákat váltottak ki.

Lomborg egyik legismertebb műve a 2001-ben megjelent The Skeptical Environmentalist, amelyben azt állította, hogy a környezeti problémákról folytatott közbeszéd gyakran sötétebb képet fest a valóságról, mint amit az adatok indokolnak.

Későbbi munkáiban egyre inkább a gazdasági költségek és a társadalmi hasznok összehasonlítása került előtérbe.

Lomborg nem abból indul ki, hogy a klímaváltozás nem létezik, vagy hogy az emberi tevékenység nem járul hozzá a felmelegedéshez.

Érvelésének központi eleme inkább az, hogy a környezeti problémákra adott válaszokat ugyanazzal a gazdasági mércével kellene értékelni, mint más közpolitikai intézkedéseket.

Ha egy környezetvédelmi program rendkívül drága, de viszonylag csekély eredményt hoz, akkor szerinte érdemes megvizsgálni, hogy az erőforrások más felhasználásával nem lehetne-e nagyobb társadalmi hasznot elérni.

Ez a gondolat önmagában nem különösebben radikális.

A gazdaságpolitikai tervezésben régóta alkalmazzák az alternatív költség fogalmát.

Ha egy adott összeget egy autópálya megépítésére fordítunk, akkor ugyanazt a pénzt nem tudjuk egyidejűleg kórházfejlesztésre felhasználni.

A döntés valódi költsége ezért nemcsak a kifizetett pénz, hanem az a haszon is, amelyről egy másik lehetőség elutasításával lemondunk.

A környezetpolitikában azonban ennek az elvnek az alkalmazása különösen vitatott, mert a költségek és az előnyök egy része nehezen számszerűsíthető.

A Copenhagen Consensus gondolata

A Lomborg által alapított Copenhagen Consensus kezdeményezés azt vizsgálja, hogyan lehetne a rendelkezésre álló fejlesztési forrásokból a lehető legnagyobb társadalmi eredményt elérni.

A különböző területeken dolgozó kutatók gazdasági értékeléseket készítenek, majd megpróbálják összehasonlítani a beavatkozások várható költségeit és hasznait.

Lomborg 2023-as Best Things First című könyve tizenkét kiemelt fejlesztéspolitikai beavatkozást mutat be.

Az egészségügy, a táplálkozás, az oktatás, a kereskedelem és a közigazgatás fejlesztése egyaránt szerepel a javaslatok között.

A Copenhagen Consensus számításai szerint a tizenkét program megvalósítása évente körülbelül 35 milliárd dollár közvetlen kiadást igényelne, miközben további nem pénzügyi költségeket is figyelembe véve a teljes társadalmi költség körülbelül 41 milliárd dollárra tehető.

A szervezet modellje a hasznokat évente mintegy 2100 milliárd dollárra értékeli, beleértve a megelőzhető halálozások pénzben kifejezett társadalmi értékét is.

Ez a számítás körülbelül 52-szeres haszon–költség arányt eredményez.

A Copenhagen Consensus tizenkét kiemelt fejlesztési programjának becsült éves mérlege

41 Mrd $

Teljes becsült társadalmi költség

2100 Mrd $

Becsült monetizált társadalmi haszon

A szervezet becslése szerinti haszon–költség arány: 52 : 1

Forrás: Copenhagen Consensus, Best Things First, 2023. Ezek modellalapú előrejelzések, nem már megvalósult programok igazolt eredményei. A számított haszon jelentős része az elkerült halálozások gazdasági értékeléséből származik.

Az eredmény rendkívül vonzó.

Ki ne szeretne egy dollár ráfordításból ötvenkét dollárnyi társadalmi hasznot létrehozni?

A kérdés azonban az, hogyan keletkeznek ezek a számok, milyen feltételezéseken alapulnak, és mennyire lehet őket más, különösen hosszú távú környezeti beavatkozásokkal összehasonlítani.

A költség–haszon elemzés: amikor a jövőt pénzben próbáljuk kifejezni

A költség–haszon elemzés alapgondolata egyszerű.

Összegyűjtjük egy tervezett intézkedés várható költségeit és előnyeit, lehetőség szerint pénzbeli értéket rendelünk hozzájuk, majd összehasonlítjuk az eredményt.

Egy árvízvédelmi beruházásnál például a költségek közé tartozik az építés, a területvásárlás, a karbantartás és az esetleges környezeti károk értéke.

Az előnyök között szerepelhetnek az elkerült épületkárok, a kisebb mezőgazdasági veszteségek, a közlekedési zavarok mérséklődése és a lakosság nagyobb biztonsága.

Az elemzés akkor válik igazán hasznossá, ha több alternatívát is összehasonlítunk.

Megvizsgálhatjuk például, hogy a töltés magasítása, egy árvízi tározó kialakítása vagy egy természetes ártér részleges helyreállítása biztosít-e kedvezőbb eredményt.







203. ábra: Három árvízvédelmi megközelítés: új folyóág és nagyobb ártér, mérnöki védművek, illetve természetes vízvisszatartás. A gazdasági értékelésnek a beruházás teljes élettartamával és a környezeti mellékhatásokkal is számolnia kell.

A legegyszerűbb változatban a haszon–költség arány a becsült haszon és a ráfordítás hányadosa.

Ha egy beruházás 10 milliárd forintba kerül, és teljes élettartama alatt 30 milliárd forint jelenértékű társadalmi hasznot eredményez, akkor a haszon–költség arány három.

Ez általában kedvező érték.

De a helyes értékeléshez azt is tudnunk kell, hogy milyen időszakra készítettük a számítást, milyen kockázatokat vettünk figyelembe, és hogyan becsültük meg a ritka, de súlyos események következményeit.

Egy árvízvédelmi beruházás ugyanis évtizedeken keresztül haszontalannak tűnhet, ha közben nem következik be jelentős árvíz.

Attól még a beruházás indokolt lehetett.

A haszon éppen abból származik, hogy felkészültünk egy bizonytalan időpontban bekövetkező veszélyre.

A környezetvédelmi beruházások jelentős része hasonló helyzetben van.

Az eredmény gyakran nem egy azonnal kézzelfogható termék, hanem egy későbbi veszteség elkerülése.

A megtérülés nem azonos a nyereséggel

Fontos különbséget tenni egy magánberuházás pénzügyi megtérülése és egy társadalmi beruházás haszna között.

Egy vállalkozás számára az a beruházás vonzó, amely a tulajdonosnak megfelelő pénzügyi eredményt hoz.

A társadalom szempontjából azonban ennél tágabb körben kell vizsgálni a következményeket.

Egy légszennyezést mérséklő technológia javíthatja a lakosság egészségét, csökkentheti a munkából való kiesést és az egészségügyi ellátás költségeit.

Ezeknek az előnyöknek egy része nem a beruházó vállalatnál jelenik meg.

A WHO 2026-os egészségügyi összefoglalója szerint a levegőszennyezés évente körülbelül 6,6 millió halálesettel függ össze világszerte.

Ez érzékelteti, hogy a levegőminőség javítása miért lehet kiemelkedően fontos közpolitikai befektetés.





204. ábra: A légszennyezés csökkentésének haszna nemcsak a környezeti mutatókban, hanem az egészségügyi terhek, a betegségek és a munkából kieső napok mérséklődésében is jelentkezhet.

Ha csak a beruházó pénzügyi mérlegét vizsgáljuk, ezek az előnyök könnyen kimaradnak.

Ezért a társadalmi költség–haszon elemzésnek a közvetett hatásokat is figyelembe kell vennie.

A módszer azonban ezzel együtt sem válik mindenhatóvá.

Egyes értékeket ugyanis rendkívül nehéz pénzben kifejezni.

Mennyit ér egy emberi élet, egy erdő vagy egy kihalt faj?

A költség–haszon elemzések egyik legkényesebb kérdése, hogyan rendelhetünk pénzbeli értéket olyan dolgokhoz, amelyeknek nincs hagyományos piaci ára.

Egy emberi élet nem eladó termék.

A közgazdasági elemzések mégis gyakran pénzben értékelik a halálozási kockázat csökkentését.

Erre különféle módszereket alkalmaznak, például a statisztikai élet értékét vagy az egészséges életévekhez kapcsolódó értékeléseket.

A statisztikai élet értéke nem azt jelenti, hogy egy meghatározott ember életének ennyi az ára.

Azt fejezi ki, hogy a lakosság mekkora összeget hajlandó áldozni a halálozási kockázat kis mértékű csökkentésére, megfelelő módszertani feltételek mellett.

Ez hasznos lehet például a közlekedésbiztonsági beruházások vagy a légszennyezési szabályok értékelésében.

A természet esetében azonban még nagyobb nehézségek jelentkeznek.

Egy erdő kitermelhető faállományának piaci értéke viszonylag könnyen meghatározható.

De mennyit ér az erdő vízmegtartó képessége, élővilága, rekreációs szerepe és kulturális jelentősége?



205. ábra: A természet értékének egy része gazdaságilag becsülhető, más része nehezen számszerűsíthető. Egy őserdő, egy veszélyeztetett faj vagy egy korallzátony elvesztése nem írható le pusztán a közvetlen pénzügyi kárral.

Egy természetes élőhely eltűnésekor olyan ökológiai folyamatok is megszakadhatnak, amelyek működését még nem ismerjük teljesen.

Egy faj kipusztulása végleges lehet.

Nem biztos, hogy létezik olyan pénzösszeg, amelynek kifizetésével a veszteség helyrehozható.

Ilyenkor a költség–haszon elemzés nem ad teljes választ.

Segíthet feltárni a döntés gazdasági következményeit, de nem helyettesítheti a természetvédelmi célok és a társadalmi értékek meghatározását.

A politikának ezért esetenként olyan korlátokat is alkalmaznia kell, amelyek nem vezethetők le kizárólag a pénzbeli haszon maximalizálásából.

Ilyen lehet egy különösen veszélyeztetett faj élőhelyének védelme vagy egy sérülékeny ivóvízbázis szennyezésének tilalma.

Ezekben az esetekben először meghatározhatjuk az elfogadható biztonsági és környezeti követelményeket, majd a költséghatékonysági elemzéssel kiválaszthatjuk a teljesítésükhöz szükséges legkedvezőbb megoldást.

A legfontosabb szám, amelyet alig veszünk észre: a diszkontráta

A hosszú távú környezetvédelmi döntések gazdasági értékelése szempontjából különösen fontos a diszkontálás.

A közgazdaságtanban a jövőben jelentkező pénzügyi összegeket általában jelenértékre számítjuk át.

Ennek több oka van.

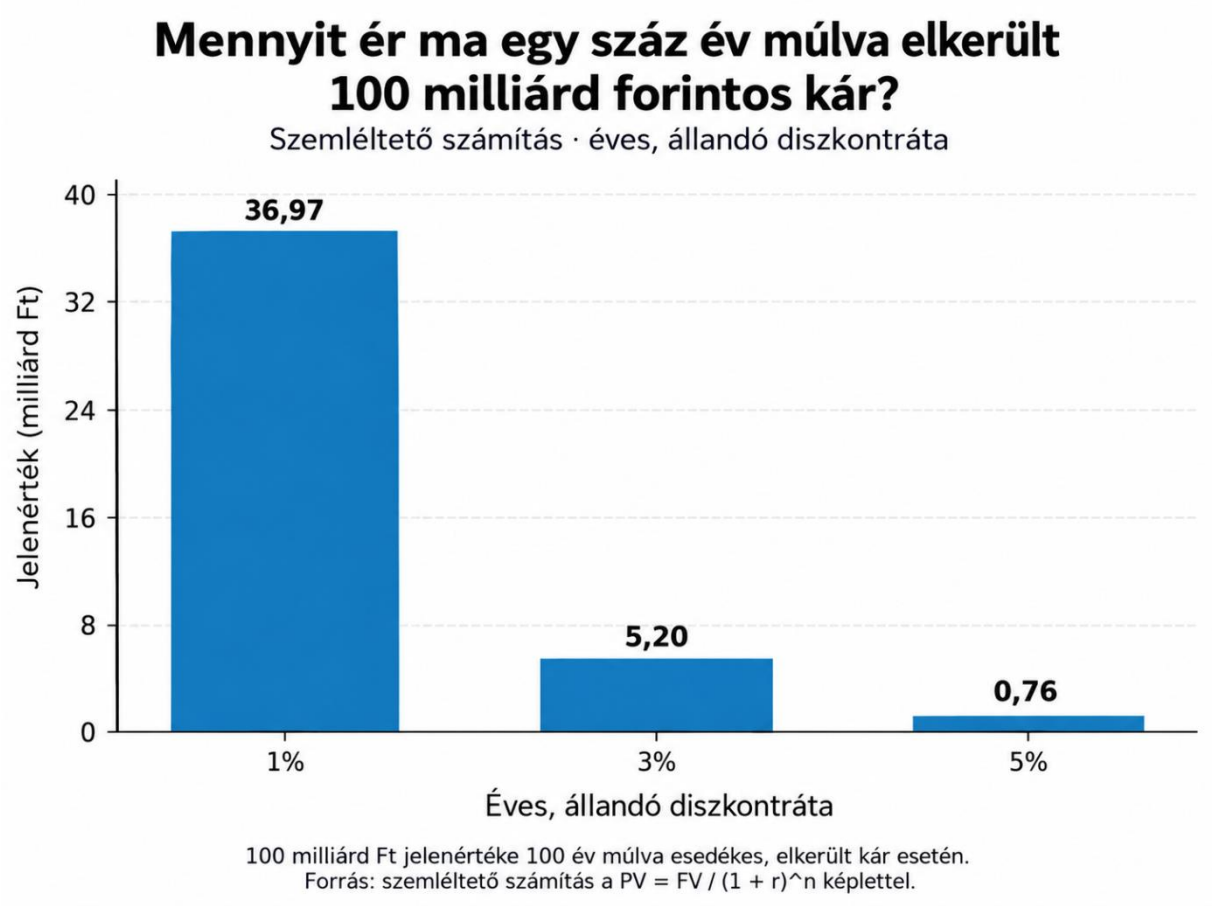
A ma rendelkezésre álló pénzt be lehet fektetni, a jövő bizonytalan, és a gazdasági növekedés következtében a későbbi nemzedékek jövedelmi helyzete eltérhet a jelenlegitől.

A hosszú időtávú környezeti problémáknál azonban a választott diszkontráta drámai mértékben befolyásolja az eredményt.

Vegyünk egy egyszerű példát.

Tegyük fel, hogy egy környezeti intézkedéssel száz év múlva 100 milliárd forint értékű kárt előzhetünk meg.

A jövőbeli kár jelenértéke a választott diszkontrátától függően nagyon eltérően alakul.



206. ábra: Ennyit érne ma ugyanaz a száz év múlva elkerült kár, az adott diszkontrátával számolva.

Az eredmény elgondolkodtató.

Egy száz év múlva bekövetkező, azonos nagyságú veszteség jelenértéke 1 százalékos diszkontrátával körülbelül 37 milliárd forint, 5 százalékos diszkontrátával azonban alig 760 millió forint.

Ez közel ötvenszeres különbség.

Vagyis ugyanaz a környezetvédelmi beruházás az egyik számításban rendkívül kedvezőnek, a másikban gazdaságtalannak bizonyulhat.

A vita tehát nem csupán az éghajlati modellek körül zajlik.

Arról is szól, mekkora súlyt tulajdonítsunk a jövő nemzedékek életfeltételeinek.

A brit Nicholas Stern 2006-os éghajlat-gazdaságtani elemzése nagy hangsúlyt helyezett a jövőbeli károkra, és alacsony társadalmi időpreferenciát alkalmazott.

William Nordhaus amerikai közgazdász ezzel szemben magasabb diszkontálási feltételek mellett dolgozott, és a két megközelítés eltérő következtetésekre vezetett a kibocsátáscsökkentés kívánatos üteméről.

A vita máig alapvető jelentőségű a klímagazdaságtanban.

Gazdasági számítás vagy erkölcsi döntés?

Itt a közgazdaságtan határterületére érkeztünk.

Ha a jövő nemzedékei várhatóan gazdagabbak lesznek, indokolt lehet, hogy bizonyos jövőbeli anyagi veszteségeknek kisebb jelenértéket tulajdonítsunk.

De ebből nem következik automatikusan, hogy a jövő nemzedékei erkölcsi szempontból kevésbé fontosak.

Ráadásul a gazdasági növekedés sem garantált, a környezeti károk eloszlása pedig egyenlőtlen lehet.

Egy gazdagabb jövőbeli társadalom is súlyos veszteséget szenvedhet, ha egyes természeti rendszerek visszafordíthatatlanul károsodnak.

A magasabb diszkontráta ezért nem pusztán technikai választás.

Értékítéletet is tükröz arról, hogy a jelen és a jövő érdekei között milyen súlyozást alkalmazunk.

A Lomborg módszereit elemző 2025-ös tanulmány szintén rámutatott arra, hogy a klímavédelmi költség–haszon számítások eredménye különösen érzékeny a jövőbeli károk pénzbeli értékelésére és a diszkontálás feltételeire.

A gazdasági számítás tehát elengedhetetlen segítség lehet, de a végső társadalmi döntés felelősségét nem veheti át.

Lomborg és a klímapolitika: többet költsünk kutatásra, kevesebbet drága kényszerintézkedésekre?

Lomborg klímapolitikai megközelítésének egyik központi eleme a technológiai innováció.

Érvelése szerint a fosszilis energiahordozókat hosszú távon akkor lehet világszerte igazán sikeresen kiváltani, ha az alacsony kibocsátású technológiák gazdaságilag is versenyképessé válnak.

A gazdag országok szigorú kibocsátási előírásai önmagukban nem feltétlenül eredményeznek globális megoldást, ha a fejlődő országok számára az új technológiák túl drágák.

Lomborg ezért a kutatás-fejlesztés támogatását, a mérsékelt és kiszámítható szén-dioxid-árazást, valamint az éghajlatváltozáshoz történő alkalmazkodást részesíti előnyben egyes általa túl költségesnek tartott kibocsátáscsökkentési politikákkal szemben.

Emellett nagy hangsúlyt helyez a gazdasági fejlődésre, amely szerinte növeli a társadalmak alkalmazkodóképességét.

Ez a megközelítés több fontos felismerést tartalmaz.

Egy olcsóbb energiatároló, hatékonyabb villamos hálózat vagy gazdaságosan gyártható, alacsony kibocsátású ipari technológia valóban sok ország számára teheti elérhetővé a kibocsátások csökkentését.

A technológiai fejlődés különösen fontos ott, ahol jelenleg még kevés költséghatékony megoldás áll rendelkezésre.

Ilyen lehet például a cementgyártás egyes kibocsátásainak mérséklése, a nagy hőmérsékletű ipari folyamatok átalakítása vagy bizonyos hosszú távú energiatárolási feladatok megoldása.





207. ábra: Energiatárolási kutatás, hidrogéntechnológia, korszerű acélgyártás és szén-dioxid-leválasztás. Az ipari kibocsátások csökkentésének egy részéhez további technológiai fejlődésre és költségcsökkenésre van szükség.

A kutatás azonban nem helyettesíti a bevezetést

A technológiai innovációra építő stratégia egyik korlátja, hogy az új megoldások kifejlesztése bizonytalan időt vehet igénybe.

Egy laboratóriumban működő technológia nem feltétlenül válik ipari méretekben is gazdaságossá.

Egy új akkumulátorkémia, reaktortechnológia vagy szén-dioxid-leválasztási eljárás kereskedelmi alkalmazása jelentős további fejlesztést, gyártási tapasztalatot és beruházást igényelhet.

A technológiák ára pedig gyakran nemcsak a kutatás, hanem a nagyüzemi alkalmazás során csökken.

A napelemek és az akkumulátorok története ezt jól szemlélteti.

A kutatás-fejlesztés fontos szerepet játszott teljesítményük javításában, de a tömeggyártás, a beszállítói láncok fejlődése, a termelési tapasztalatok felhalmozódása és a piaci verseny is hozzájárult a költségek csökkenéséhez.



208. ábra: A technológiai innováció és a tömeges alkalmazás kölcsönösen erősítheti egymást. A költségcsökkenéshez a kutatásokon túl gyártókapacitás, piac és működő infrastruktúra is szükséges.

Az innováció tehát nem feltétlenül a szabályozás és a kibocsátás csökkentés alternatívája.

A kutatás támogatása és a tisztább technológiák piacának megteremtése egymást kiegészítő eszközök lehetnek.

A kibocsátás ára ösztönözheti a vállalatokat a fejlesztésre, míg a kutatási támogatás csökkentheti az új technológiák megjelenésének költségét és kockázatát.

Az állami megrendelések, szabványok és infrastruktúra-fejlesztések szintén segíthetik a bevezetést.

A kérdés ezért nem egyszerűen az, hogy innovációra vagy szabályozásra költsünk.

Hanem az, hogyan alakítsuk ki azt a kombinációt, amely a legkisebb társadalmi költséggel eredményez tartós környezeti javulást.

Mennyire megbízhatók Lomborg klímaköltség-számításai?

Lomborg egyik visszatérő állítása, hogy a klímaváltozás gazdasági veszteségei kezelhetők lehetnek, és a túlzottan gyors, drága kibocsátáscsökkentés egyes formái több társadalmi költséggel járhatnak, mint amennyi hasznot hoznak.

Egy 2025 januárjában megjelent írásában például olyan kutatásokra hivatkozott, amelyek háromfokos évszázad végi felmelegedés mellett a globális GDP 1,9–3,1 százalékának megfelelő veszteséget becsültek.

Ez a megközelítés azonban jelentős kritikákat váltott ki.

Az egyik probléma a gazdasági kárfüggvények bizonytalansága.

Ezek a modellek megpróbálják összekapcsolni a globális hőmérséklet emelkedését a gazdasági teljesítmény változásával.

A módszer hasznos, de nehéz megbízhatóan előre jelezni, hogyan hat majd egy több fokkal melegebb világ a mezőgazdaságra, a munka termelékenységére, a tengeri ökoszisztémákra, a lakosság egészségére és a társadalmak politikai stabilitására.

A különböző károk ráadásul nem feltétlenül egymástól függetlenül jelentkeznek.

Egy súlyos aszály egyszerre okozhat mezőgazdasági veszteséget, vízellátási problémát, energiatermelési korlátozást és élelmiszerár-emelkedést.

Ha a modell nem kezeli megfelelően az egymást erősítő következményeket, alulbecsülheti a teljes kárt.

A London School of Economics Grantham Research Institute elemzése kifogásolta, hogy Lomborg egyes korábbi klímagazdasági érveiben túlzottan támaszkodott olyan modellbecslésekre, amelyek nem feltétlenül tükrözik megfelelően a klímaváltozás teljes kockázatát.

Az IPCC hatodik értékelő jelentése ugyanakkor arra jutott, hogy a gazdasági károkat figyelembe vevő modellekben a kétfokos felmelegedés korlátozásának globális előnyei meghaladják a kibocsátáscsökkentés költségeit, kivéve többek között akkor, ha a becsült klímakárok alacsonyak, vagy a jövőbeli károkat magas diszkontrátával értékelik. A jelentés hangsúlyozza az eredmények bizonytalanságait és a nehezen számszerűsíthető hatásokat is.

Ez jól mutatja a vita lényegét.

Nem feltétlenül a légkör fizikájáról vitatkoznak.

A különbség gyakran abból származik, hogyan értékelik a későbbi károkat, milyen gazdasági növekedést feltételeznek, és mekkora jelentőséget tulajdonítanak a ritka, de rendkívül súlyos következményeknek.

A GDP nem mutat meg minden veszteséget

A globális GDP néhány százalékos csökkenése első pillantásra nem feltétlenül tűnik katasztrofálisnak.

De a GDP átlagos mutató.

Egy háromszázalékos globális gazdasági veszteség nem jelenti azt, hogy minden ország és minden társadalmi csoport pontosan három százalékkal lesz szegényebb.

Egyes térségek jóval nagyobb károkat szenvedhetnek, míg mások bizonyos időszakokban akár előnyökhöz is juthatnak.

Ráadásul egy GDP-alapú becslés nem feltétlenül tartalmazza teljes értékén a biológiai sokféleség csökkenését, az ökoszisztémák összeomlásának kockázatát vagy egyes kulturális és társadalmi veszteségeket.



209. ábra: A gazdasági átlagértékek elfedhetik a veszteségek egyenlőtlen eloszlását. Ugyanaz az éghajlati változás nagyon eltérő következményekkel járhat az emberekre és a természeti rendszerekre.

A klímaváltozás költségeinek értékelésénél ezért nem elegendő kizárólag a várható globális GDP-veszteséget megvizsgálni.

A regionális különbségek, a sérülékeny csoportok helyzete és a visszafordíthatatlan károk kockázata szintén fontos.

Lomborg figyelmeztetése a környezetvédelmi kiadások gazdasági értékelésének szükségességére indokolt.

Ebből azonban nem következik automatikusan, hogy a klímavédelmi kiadások jelenlegi vagy javasolt szintje általában túl magas.

Ehhez az egyes intézkedések, a várható klímakárok és a társadalmi hatások megfelelően részletes összehasonlítása szükséges.

Környezetvédelem vagy éhezés elleni küzdelem?

Lomborg egyik legerősebb érve a fejlődő országok helyzetére vonatkozik.

Egy szegény ország kormányának egyszerre kellene javítania az egészségügyi ellátást, az oktatást, az ivóvízellátást, a közlekedést és az energiaellátást.

Ezek közvetlenül befolyásolják a lakosság életminőségét és gazdasági lehetőségeit.

Ha a nemzetközi közösség elsősorban a kibocsátás csökkentést kéri számon rajta, miközben a legalapvetőbb társadalmi szükségletek kielégítéséhez nem biztosít elegendő támogatást, az jogos konfliktust teremthet.

Egy vidéki afrikai közösség számára a megbízható ivóvízellátás megteremtése közvetlen és gyors életminőség-javulást hozhat.

Egy oltási vagy táplálkozási program viszonylag kis költséggel előzhet meg súlyos betegségeket és haláleseteket.

Ezeket a lehetőségeket nem szabad figyelmen kívül hagyni a globális környezetvédelmi célok meghatározásakor.




MEASLES



210. ábra: Tiszta ivóvíz, alapvető egészségügyi ellátás és oktatás. Ezek a beruházások rövid távon is jelentős életminőség-javulást eredményezhetnek, és növelhetik a közösségek ellenálló képességét.

Az alternatív költség gondolata itt kézzelfoghatóvá válik.

Ha egy kormány ugyanabból a szűkös költségvetésből kénytelen finanszírozni a klímavédelmet és az alapvető egészségügyi ellátást, akkor valódi választási kényszerrel szembesül.

De ebből sem következik, hogy a klímavédelem elhalasztása általában előnyös.

A klímaváltozás ugyanis éppen a szegényebb és sérülékenyebb közösségeket sújthatja különösen súlyosan.

Egy aszály tönkreteheti az élelmiszer-termelést. Egy árvíz megsemmisítheti a korábban felépített iskolákat és kórházakat. A tartós hőség csökkentheti a szabadban végzett munka termelékenységét.

A társadalmi fejlődés és az éghajlatvédelem tehát nem feltétlenül egymás versenytársai.

Egy korszerű ivóvízrendszer például lehet egyszerre egészségügyi fejlesztés és az aszályhoz való alkalmazkodás eszköze.

A biztonságosabb épületek, a megfelelő közlekedési infrastruktúra és a megbízható villamosenergia-ellátás szintén növelhetik az alkalmazkodóképességet.

Az igazi feladat ezért nem két cél mesterséges szembeállítása, hanem olyan fejlesztési programok kialakítása, amelyek több problémára adnak egyszerre választ.

Alkalmazkodás vagy megelőzés?

A környezetpolitikai pénzek elosztásának egyik legfontosabb kérdése, mennyit fordítsunk a klímaváltozás mérséklésére, és mennyit az alkalmazkodásra.

A két intézkedéstípus eredménye eltérő időben és földrajzi léptékben jelentkezik.

A kibocsátások csökkentése globális előnyt hoz, amelynek teljes hatása hosszabb idő alatt érvényesül.

Egy konkrét árvízvédelmi, aszálykezelési vagy hővédelmi beruházás viszont helyben és gyakran viszonylag gyorsan csökkenti a károk kockázatát.

Ezért egy ország számára politikailag vonzóbb lehet a közvetlenül érzékelhető alkalmazkodási beruházás.

Ha egy településen rendszeresen elönti a házakat a folyó, a lakosság természetesen nem kizárólag a globális kibocsátáscsökkentés eredményeire szeretne várni.

Árvízvédelmet akar.







211. ábra: Árvízvédelem, part menti természetes védőrendszerek és városi hővédelem. Az alkalmazkodási intézkedések elsősorban az adott térség lakosságának és gazdaságának biztosítanak előnyt.

Az ENSZ Környezetvédelmi Programjának 2025-ös értékelése szerint a fejlődő országok alkalmazkodási finanszírozási szükséglete 2035-re évi 310–365 milliárd dollár lehet.

Ehhez képest a nemzetközi közfinanszírozású alkalmazkodási támogatás 2023-ban 26 milliárd dollár volt.

Ez jelentős hiányra utal.

Az alkalmazkodás azonban nem lehet a kibocsátáscsökkentés helyettesítője.

Ha a felmelegedés tovább növekszik, egyre nagyobb és drágább beavatkozásokra lehet szükség, miközben egyes veszteségek már nem lesznek megelőzhetők.

Egy bizonyos tengerszint-emelkedés felett egyes part menti települések védelme gazdaságilag vagy műszakilag rendkívül nehézzé válhat.

Hasonlóan, a vízkészletek tartós csökkenése esetén az öntözés sem mindenütt biztosíthat megfelelő megoldást.

A megelőzés és az alkalmazkodás ezért kiegészíti egymást.

Az egyik a jövőbeli változás nagyságát mérsékli, a másik a következményekkel szembeni sérülékenységet csökkenti.

Nem mindegy, mikor kezdünk cselekedni

A gazdasági értékelésnél különösen fontos a halogatás ára.

Egy korán megkezdett beruházás drágának tűnhet, de elkerülhet olyan későbbi károkat, amelyek sokkal nagyobb költséget jelentenének.

Más esetekben viszont valóban célszerű lehet kivárni egy technológia fejlődését vagy egy környezeti kockázat pontosabb megismerését.

A két helyzetet nem lehet egyetlen szabállyal kezelni.

Ha például egy város új lakónegyedet épít, a várható árvízi és hőségkockázatokat már a tervezéskor érdemes figyelembe venni.

Később az egész városrész átalakítása sokkal többe kerülhet.

Egy új energiatechnológia megvásárlását viszont bizonyos körülmények között indokolt lehet későbbre halasztani, ha gyors árcsökkenés várható, és a késedelem nem okoz aránytalan környezeti kárt.

A döntéshez a várható költségeket, a technológiai fejlődést és a visszafordíthatatlan károk kockázatát egyaránt vizsgálni kell.

A bizonytalanság nem mindig a halogatás mellett szól

A klímagazdaságtan egyik vitatott kérdése, miként kezeljük a bizonytalan jövőbeli károkat.

Előfordulhat, hogy a várható kár nagysága meglehetősen bizonytalan, de a legsúlyosabb lehetséges következmények rendkívül nagyok.

Ilyenkor a hagyományos várhatóérték-számítás nem feltétlenül ad megfelelő döntési alapot.

Egy atomerőmű biztonsági rendszerének megtervezésekor például nem kizárólag az átlagos üzemi állapotból indulunk ki.

Figyelembe kell venni azokat a ritka, de súlyos következményű eseményeket is, amelyek ellen megfelelő védelmet szükséges kialakítani.

A környezetvédelemben hasonló gondolkodás indokolt lehet bizonyos visszafordíthatatlan károk esetében.

Ha egy ökoszisztéma pusztulása után már nincs lehetőség annak helyreállítására, akkor a későbbi beavatkozás nem feltétlenül pótolja a megelőzést.

Ezért a kockázatelemzésben nemcsak az átlagos várható veszteséget, hanem a súlyos kimenetelek esélyét és következményeit is vizsgálni kell.

A bizonytalanság tehát két irányba hathat.

Bizonyos esetekben indokolttá teheti a további kutatást és a beruházás fokozatos megvalósítását.

Más esetekben éppen a korai elővigyázatosságot támasztja alá.

A helyes döntést a kár visszafordíthatósága, a beavatkozás időigénye és a kockázat nagysága határozza meg.

Ki fizet, és ki kapja a hasznot?

A környezetpolitikai költség–haszon elemzések legnagyobb korlátja talán nem is a számítás pontatlansága, hanem az, hogy az összesített társadalmi haszon nem mutatja meg annak eloszlását.

Képzeljünk el egy beruházást, amely egymilliárd euróba kerül, de kétmilliárd eurónyi társadalmi hasznot eredményez.

Ez gazdaságilag kedvezőnek tűnik.

De mi történik, ha a költségeket néhány ezer földtulajdonos viseli, miközben az előnyöket több millió városlakó élvezi?

Vagy ha a beruházás egy gazdagabb ország lakosságának nyújt előnyt, de a szükséges nyersanyagok kitermelése egy szegényebb ország környezetét károsítja?





212. ábra: Egy beruházás haszna és környezeti terhe gyakran eltérő helyen jelentkezik. Az összesített társadalmi haszon önmagában nem mutatja meg, kik nyernek és kik veszítenek.

Az összesített gazdasági eredmény ilyen helyzetben félrevezető lehet.

Elképzelhető, hogy a társadalmi haszon összességében nagyobb a költségnél, de a veszteséget elszenvedők nem részesülnek megfelelő kompenzációban.

Ezért a költség–haszon elemzés mellett elosztási vizsgálatra is szükség van.

Meg kell határozni, kik viselik a beruházás közvetlen és közvetett terheit, és kik részesülnek az előnyeiből.

A környezetvédelemben ez különösen fontos, mert a károkozás és a következmények térben és időben is elkülönülhetnek.

A kibocsátások döntő része származhat bizonyos gazdasági tevékenységekből, miközben az éghajlatváltozás következményei más térségeket is sújtanak.

A természeti erőforrások kitermelése helyi terheket okozhat, miközben a felhasználás előnyei távoli fogyasztóknál jelentkeznek.

Ezek a szempontok nem mellékes politikai részletkérdések.

A környezetvédelmi intézkedések társadalmi elfogadottsága jelentős részben függ attól, hogy az emberek igazságosnak tartják-e a költségek és az előnyök megoszlását.

Hogyan válasszunk a különböző beavatkozások között?

A Lomborg által hangsúlyozott költség–haszon gondolkodásnak fontos helye lehet a környezetpolitikában.

Nem minden intézkedés egyformán hatékony, és az erőforrásokkal való felelős gazdálkodás megköveteli az alternatívák összehasonlítását.

De a különböző célok nem minden esetben sorolhatók egyetlen, általános gazdasági rangsorba.

Más eszközökkel kell mérni egy metánszivárgás megszüntetését, egy árvízvédelmi beruházást, egy veszélyeztetett faj megőrzését és egy új orvosi kezelési program eredményességét.

Az alábbi összehasonlítás azt mutatja meg, milyen szempontokat érdemes vizsgálni.

Beavatkozás	Várható eredmény	Fő gazdasági szempont	Jelentős korlát
Metánszivárgások megszüntetése	Viszonylag gyors klímaelőny	Egyes beruházások megtérülhetnek	Ellenőrzés és szabályozás szükséges
Épületek energiahatékonysága	Tartós energiamegtakarítás	Energiaárak és beruházási költség	Magas kezdeti tőkeigény
Árvízvédelem	Helyi károk és kockázatok mérséklése	Elkerült várható károk	Ritka események és jövőbeli kockázatok bizonytalansága
Erdők és élőhelyek védelme	Klíma-, vízügyi és természetvédelmi haszon	Elkerült pusztulás és ökoszisztéma-szolgáltatások	A biológiai érték nem teljesen monetizálható
Új energetikai technológiák kutatása	Jövőbeli költségcsökkentési lehetőség	Innovációs haszon és tudásterjedés	Technológiai bizonytalanság
Ivóvíz- és egészségügyi fejlesztések	Közvetlen életminőség- és egészségnyereség	Elkerült betegség, termelékenység	Fenntartás és intézményi kapacitás

Klímaalkalmazkodási beruházások	A már várható veszteségek mérséklése	Elkerült jövőbeli kár	Nem minden károsodás előzhető meg

Egy gazdaságilag megalapozott döntési rendszernek ezért több lépésből kell állnia.

Először meg kell határozni a társadalmilag elfogadható környezeti és biztonsági célokat.

Ezt követően meg kell vizsgálni a célok elérésének különböző módjait, azok költségeit, előnyeit és mellékhatásait.

Végül külön értékelni kell a társadalmi hatásokat, a bizonytalanságokat és a hosszú távú következményeket.

A költség–haszon elemzés így nem a politikai döntés helyettesítője, hanem annak egyik fontos eszköze.

A legolcsóbb megoldás nem mindig a legjobb

A gazdasági hatékonyság szükséges szempont, de önmagában nem mindig elegendő.

Egy veszélyes ipari hulladéklerakó felszámolása például rendkívül költséges lehet.

Ha kizárólag a közvetlen pénzügyi megtérülést vizsgálnánk, előfordulhatna, hogy a beruházás kedvezőtlen eredményt mutat.

A társadalom azonban joggal dönthet úgy, hogy bizonyos egészségügyi vagy környezeti kockázatok nem elfogadhatók.

Ugyanez igaz az ivóvízbázisok védelmére vagy egyes veszélyes anyagok kibocsátásának korlátozására.

Ilyenkor a kérdés nem feltétlenül az, hogy megéri-e egyáltalán foglalkozni a problémával.

Sokkal inkább az, hogy a szükséges biztonsági szintet milyen módszerrel és milyen költséggel lehet elérni.

A környezetvédelmi közgazdaságtan ezért megkülönbözteti a költség–haszon elemzést és a költséghatékonysági elemzést.

Az előbbi a cél elérésének összesített előnyeit és költségeit veti össze.

Az utóbbi adott cél mellett keresi a leggazdaságosabb megoldást.

Például ha egy város meghatározott levegőminőségi követelményt akar teljesíteni, megvizsgálhatja, hogy a közlekedés, a háztartási fűtés vagy az ipar kibocsátásának mely kombinációjú csökkentésével érhető el a cél a legkisebb társadalmi költséggel.

Ez gyakran célszerűbb, mint valamennyi intézkedést egységesen támogatni, függetlenül annak tényleges eredményétől.

A környezetvédelem valódi ára

A könyv korábbi fejezeteiben számos olyan példát láttunk, amikor a gazdasági tevékenység előnyei és környezeti terhei nem ugyanott jelentkeznek.

A fejlett országok olcsóbb termékekhez jutnak, miközben a nyersanyagtermelés és a szennyező ipari folyamatok terhei részben más országokban jelennek meg.

A rövid távú gazdasági növekedés előnyeit a jelenlegi nemzedékek élvezik, miközben a természeti erőforrások károsodásának következményei később jelentkezhetnek.

A háborúk közvetlen katonai költségeit gyakran könnyebb meghatározni, mint az évtizedeken át fennmaradó környezeti örökség értékét.

A környezetvédelem gazdasági értékelése ezért nem korlátozódhat arra, hogy mennyit költünk különféle zöldberuházásokra.

Legalább ilyen fontos, hogy mennyibe kerül a környezeti károk elhárítása, milyen veszteségek maradnak el a megelőzés révén, és milyen természeti erőforrásokat sikerül megőrizni.

A megelőzésre fordított pénz sok esetben nem közvetlen bevételt termel, hanem későbbi kiadásoktól és veszteségektől óv meg bennünket.

Ezért nehezebb politikailag is elismertetni az értékét.

Egy új kórház, út vagy erőmű látványos eredmény. Egy elkerült árvíz, egy meg nem történt járvány vagy egy megőrzött vízkészlet kevésbé látványos.

Pedig a társadalmi haszon gyakran éppen abból származik, hogy nem következett be a baj.

A karbonkvóták kereskedelme – amikor a szennyezésnek ára lesz

A környezetszennyezés egyik alapvető gazdasági problémája, hogy a károk költsége gyakran nem annál jelentkezik, aki a szennyezést okozza.

Egy széntüzelésű erőmű például villamos energiát termel, amelynek árát a fogyasztók megfizetik. Az erőmű szén-dioxid-kibocsátásának hosszú távú éghajlati következményei azonban a társadalom egészét terhelik.

A közgazdaságtan ezt negatív externáliának nevezi.

A kibocsátáskereskedelmi rendszerek célja, hogy a környezeti terhelés legalább egy részének pénzügyi költsége megjelenjen a vállalati döntésekben.

Hogyan működik a rendszer?

Az Európai Unió 2005-ben vezette be az EU ETS (Emissions Trading System) kibocsátáskereskedelmi rendszert.

Működésének alapja a cap and trade, vagyis a kibocsátási felső korlát és a kereskedelem összekapcsolása.

Az Európai Unió

Meghatározza az összes megengedett kibocsátást, és fokozatosan csökkenti a kvóták mennyiségét.

A vállalat

Korszerűsít, csökkenti a kibocsátását, így kvótája maradhat.

Eladhat kvótát

B vállalat

Egyelőre drágán tudná csökkenteni kibocsátását.

Kvótát vásárol

Kereskedelem a vállalatok között

Egy EU ETS-kvóta egy tonna CO_2-egyenérték kibocsátására jogosít. A kvóta átadható, de az összes kvóta mennyisége korlátozott.

European Commission

A rendszer lényeges sajátossága, hogy a vállalatok egymás között kereskedhetnek a kibocsátási jogokkal, az uniós szinten meghatározott összes mennyiség azonban nem növekszik ettől.

Ez különbözteti meg az EU ETS-kvótákat az önkéntes karbonkreditektől, amelyeknél például faültetési vagy más kibocsátáscsökkentő projektek alapján állítanak ki egységeket.

A két piacot gyakran összekeverik, pedig eltérő szabályok és eltérő környezeti garanciák vonatkoznak rájuk.

Egy egyszerű példa

Tegyük fel, hogy két gyár összesen 200 000 tonna szén-dioxidot bocsáthat ki évente.

Az egyik gyár korszerűsítéssel 20 000 tonnával csökkenti kibocsátását. A másik ugyanezt csak sokkal drágábban tudná megoldani.

Az első gyár eladhatja a felszabaduló kvótákat a másodiknak.

A második gyár fizet a többletkibocsátási jogért, az első pedig bevételhez jut, amellyel részben finanszírozhatja beruházását.

A rendszer elméleti előnye, hogy a kibocsátáscsökkentés ott valósulhat meg először, ahol a legolcsóbb.

A környezetvédelmi eredmény azonban elsősorban attól függ, hogy a teljes kibocsátási felső korlát milyen gyorsan csökken.

Ha túl sok kvótát osztanak ki, a rendszer kevés valódi ösztönzést jelent. Ha viszont a kvóták száma folyamatosan csökken, a vállalatok egyre erősebb pénzügyi nyomást éreznek a kibocsátás mérséklésére.

Valóban működött az európai rendszer?

A válasz összességében igen, de fontos fenntartásokkal.

Az EU ETS hatálya alá tartozó helyhez kötött létesítmények kibocsátása

Kibocsátáscsökkenés 2005–2024

2005 = 100; 2024 = 49

025507510020052024

Az Európai Környezetvédelmi Ügynökség adatai alapján az érintett erőművek és ipari létesítmények kibocsátása 51%-kal csökkent. A csökkenéshez a kvótakereskedelem mellett a megújuló energia, a tüzelőanyag-váltás, a hatékonyságjavulás és a gazdasági változások is hozzájárultak.

European Environment Agency (EEA)

Ez jelentős eredmény, de nem szabad automatikusan az egész csökkenést a kvótakereskedelemnek tulajdonítani.

Az európai szénfelhasználás csökkenésében szerepet játszottak a megújuló energiaforrások támogatásai, az energiaárak változásai, egyes iparágak visszaesése és a technológiai fejlődés is.

A rendszer pénzügyi szempontból szintén jelentős: az Európai Bizottság szerint 2013 óta több mint 175 milliárd euró bevételt eredményezett, amelyet többek között energiahatékonysági, innovációs és klímavédelmi célokra fordítanak.

European Commission

A kvótakereskedelem előnyei és hátrányai

Előnyök	Hátrányok és kockázatok
Ösztönzi a tisztább technológiákat	Emelheti az energia és egyes termékek árát
A kibocsátás felső határa szabályozható	A kvótaár ingadozhat

A vállalatokra bízza a legolcsóbb megoldás keresését	A teher végső soron a fogyasztókra hárulhat
Bevételt biztosíthat az államoknak	A bevételek felhasználása politikai döntés
Jutalmazhatja a kibocsátás csökkentését	A termelés az EU-n kívülre helyeződhet
Mérhető és ellenőrizhető rendszert alkot	Rosszul megállapított kvótamennyiség esetén gyenge az ösztönző

Amikor a kvóták túl olcsók

Az európai rendszer első éveiben túl sok kibocsátási jog került a piacra.

A 2008-as pénzügyi válság után az ipari termelés visszaesett, így a vállalatoknak kevesebb kvótára volt szükségük. Nagy többlet alakult ki, a kvótaárak pedig alacsonyak maradtak.

Ebben az időszakban egyes vállalatoknak egyszerűen olcsóbb volt kvótát vásárolni, mint jelentős környezetvédelmi beruházásokat végrehajtani.

Az EU ezért bevezette a piaci stabilitási tartalékot, amely a túlzott kínálat egy részét kivonja a piacról. A szabályozást azóta többször módosították.

European Commission

Amikor a kvóták túl drágák

A másik véglet szintén problémás.

Ha a kvótaár gyorsan emelkedik, az különösen az energiaigényes iparágakat, például a cement-, acél-, vegyipari és műtrágyagyártást érintheti hátrányosan.

A vállalatok a magasabb költségeket beépíthetik az áraikba, ami végső soron a fogyasztókat terheli.

Ez különösen érzékeny kérdés az európai ipar versenyképessége szempontjából, hiszen a világ más részein működő versenytársakra nem feltétlenül vonatkoznak hasonló karbonköltségek.

A kvóták árának ingadozása miatt több uniós tagállam árkorlátozási vagy stabilizációs megoldásokat szorgalmazott 2026-ban.

European Parliament

A legnagyobb ellentmondás: a kibocsátás exportálása

Tegyük fel, hogy egy európai acélgyár bezár, mert a magas energia- és karbonköltségek miatt veszteségessé válik.

A szükséges acélt ezután egy olyan országból importálják, ahol a gyártás széntüzelésű erőművekre támaszkodik, és a szén-dioxid-kibocsátás kevésbé szigorúan szabályozott.

Az európai kibocsátási statisztika javul, a világ összes kibocsátása azonban nem feltétlenül csökken. Akár növekedhet is.

Ezt nevezik karbonszivárgásnak (carbon leakage).

Az EU ennek mérséklésére hozta létre a karbonhatár-kiigazítási mechanizmust (CBAM), amely meghatározott importtermékek esetében a termelésükhöz kapcsolódó kibocsátást is figyelembe veszi.

Ez környezetvédelmi szempontból indokolható, ugyanakkor újabb kereskedelmi és diplomáciai feszültségeket okozhat.

Ki fizeti meg végül?

Itt kapcsolódunk vissza könyvünk alapvető kérdéséhez.

A kibocsátáskereskedelem egyik célja, hogy a szennyező fizessen. Csakhogy a vállalatok által megfizetett többletköltség jelentős részét a fogyasztók is viselhetik.

Nem mindegy ezért, hogy a kvóták értékesítéséből származó állami bevételeket mire fordítják.

Ha azokat épületszigetelésre, korszerű fűtési rendszerek támogatására, hatékonyabb közlekedésre és az alacsonyabb jövedelmű háztartások segítésére használják, akkor a rendszer társadalmilag is elfogadhatóbbá válhat.

Ha azonban a bevételeket nem átlátható módon használják fel, vagy a vállalatok jelentős ingyenes kvótákhoz jutnak anélkül, hogy megfelelő kibocsátáscsökkentést hajtanának végre, a rendszer igazságossága megkérdőjelezhető.

A legfontosabb következtetés tehát az, hogy a karbonkvóták kereskedelme nem önmagában jó vagy rossz megoldás. Hatékonyságát és igazságosságát a kibocsátási korlát, a piaci szabályok, az ellenőrzés és a bevételek felhasználása együttesen határozza meg.

Amikor a környezeti kár megérkezik a családi költségvetésbe

Árvizek, aszályok, biztosítások, ingatlanértékek és a környezeti károk pénzügyi következményei

Egy család húsz évvel ezelőtt házat vásárolt egy folyó közelében. A környék szép volt, a telek viszonylag olcsó, a folyópart kellemes kikapcsolódási lehetőséget kínált. A ház megvásárlásához bankhitelt vettek fel, amelyet hosszú éveken keresztül rendszeresen törlesztettek.

Az első nagyobb árvíz akkor érkezett, amikor már majdnem kifizették a kölcsönt.

A víz elöntötte a földszintet, tönkretette a burkolatokat, a bútorokat és a háztartási gépeket. A falak kiszárítása hónapokig tartott. A biztosító megtérítette a károk egy részét, a fennmaradó összeget a család a megtakarításaiból fizette ki.

Néhány évvel később újabb árvíz következett.

Ezúttal a biztosítás díja is magasabb volt, a ház helyreállítása pedig drágábbnak bizonyult. A család ekkor már elgondolkodott azon, hogy érdemes-e továbbra is ugyanott élni.

De ki venne meg egy rendszeresen elöntött házat?

És mi történne a még fennálló hitellel, ha az ingatlan értéke jelentősen csökkenne?

A család problémája ezzel már nem egyszerűen környezetvédelmi kérdés. Egyszerre válik biztosítási, banki, ingatlanpiaci és szociális problémává.

A történet képzeletbeli, de az alaphelyzet valóságos. Európában és a világ számos más térségében egyre több háztartás szembesülhet azzal, hogy a természeti veszélyek nemcsak az otthonát, hanem egész életének anyagi biztonságát veszélyeztetik.

A környezeti kár ugyanis nem akkor kezd pénzbe kerülni, amikor megérkezik a víz vagy kiszárad a föld. Az ára már jóval korábban megjelenhet a biztosítási díjakban, az ingatlanok értékében, a hitelezési feltételekben és az állami kiadásokban.





213. ábra: A víz visszahúzódásával a veszteség nem ér véget. A helyreállítás hónapokig tarthat, miközben a családnak a mindennapi megélhetését is biztosítania kell.

A katasztrófa ára: ki mennyit fizet?

Amikor árvíz, vihar vagy aszály okoz károkat, a híradások rendszerint a teljes veszteséget emelik ki.

Egy pusztító árvíz után milliárdos vagy akár több tízmilliárdos károkról hallunk. De ez az összeg önmagában keveset árul el arról, hogy ki fogja ténylegesen viselni a veszteséget.

A költségek ugyanis több szereplő között oszlanak meg.

Az ingatlantulajdonos elveszítheti vagyontárgyainak egy részét, fizetnie kell az önrészt, és sok esetben a biztosításból kizárt károkat is.

A biztosító a szerződésnek megfelelő kártérítést fizet, amelyet végső soron a biztosítottak befizetéseiből, tartalékaiból és viszontbiztosítási fedezetéből finanszíroz.

A bank szembesülhet azzal, hogy a hitel fedezetéül szolgáló ingatlan megsérült vagy leértékelődött.

Az önkormányzatnak helyre kell állítania az utakat, közműveket és középületeket.

Az állam a védekezésre, a mentésre, a közlekedési infrastruktúra helyreállítására és esetenként a károsultak támogatására fordít közpénzt.

A vállalkozások bevételt veszíthetnek, a munkavállalók átmenetileg munka nélkül maradhatnak, az állam adóbevételei pedig csökkenhetnek.

A közvetlen kár mellett tehát számos közvetett költség is keletkezik.

Ráadásul az, hogy valakinek a kárát megtérítik, nem jelenti azt, hogy a társadalom egésze megszabadult a veszteségtől.

A biztosítás és az állami támogatás elsősorban elosztja a kár pénzügyi következményeit. Az elveszett vagyontárgyak, a megsemmisült termés és a helyreállítás során felhasznált erőforrások társadalmi költsége ettől még megmarad.

Európa rejtett biztosítási hiánya

Európai természeti katasztrófák · 1980–2024

A gazdasági károk mindössze mintegy negyedét fedezte biztosítás

Az Európai Biztosítás- és Foglalkoztatóinyugdíj-hatóság, az EIOPA 2026 márciusában közzétett elemzése szerint az 1980 és 2024 közötti európai szélsőséges természeti események gazdasági veszteségeinek mindössze körülbelül egynegyedét fedezték biztosítások.

A fennmaradó mintegy háromnegyed nem biztosított veszteségként jelentkezett. Ez nem jelenti azt, hogy az egészet a lakosság viselte volna, hiszen a károk között közösségi infrastruktúra, vállalati vagyon és egyéb veszteség is szerepel.

Ezt a jelenséget biztosítási védelmi résnek (insurance protection gap) nevezik.

A különbség több okból alakulhat ki. Vannak olyan ingatlanok, amelyekre a tulajdonosok nem kötöttek megfelelő biztosítást. Más esetekben a szerződés nem terjed ki az adott eseményre, vagy a biztosítási összeg nem fedezi a tényleges helyreállítási költséget.

Előfordulhat az is, hogy az ingatlan olyan nagy kockázatú területen található, ahol a biztosító csak igen magas díjért, korlátozott fedezettel, vagy egyáltalán nem hajlandó biztosítást vállalni.

Ezek a helyzetek pénzügyileg nagyon különbözők, a károsult szempontjából azonban hasonló következményekkel járhatnak: a veszteség jelentős részét saját forrásból kellene pótolnia.

Amikor a biztosítás már nem jelent megoldást

A biztosítás alapelve viszonylag egyszerű.

Sok ember fizet rendszeresen kisebb összeget azért, hogy ha valamelyiküket súlyos kár éri, ne egyedül kelljen viselnie a teljes veszteséget.

A rendszer akkor működik jól, ha a kockázatok megfelelően becsülhetők, és a biztosított események nem érintenek egyszerre túl sok ügyfelet.

A természeti katasztrófák azonban sajátos problémát jelentenek.

Egy súlyos árvíz egyszerre több ezer ingatlant károsíthat. Egy aszály egész mezőgazdasági térségekben okozhat terméskiesést. Egy nagy vihar ugyanazon a napon sok településen idézhet elő jelentős biztosítási kifizetéseket.

Az ilyen veszélyek erősen összefüggő kockázatokat jelentenek.

A biztosítók ezért viszontbiztosítást vásárolnak, vagyis saját kockázatuk egy részét más pénzügyi szereplőkre hárítják át. Az egész rendszer azonban végső soron a várható károkból és a rendelkezésre álló tőkéből indul ki.

Ha az előre jelzett veszteség növekszik, a biztosítás ára is emelkedhet.

Egy bizonyos ponton pedig kialakulhat az a helyzet, hogy a biztosítás díja már megfizethetetlen a tulajdonos számára.

Az EIOPA szerint a fokozódó természeti kockázatok egyes területeken a biztosítás drágulásához, a fedezetek szűküléséhez vagy akár a biztosíthatatlansághoz is vezethetnek. Ez közvetve a jelzáloghitelek hozzáférhetőségét is érintheti.

Itt azonban fontos különbséget tenni az általános éghajlatváltozás és az egyedi káresetek között.

Nem minden árvíz vagy aszály következik kizárólag az emberi eredetű felmelegedésből. A károk mértékét az is befolyásolja, hány ház épült veszélyeztetett területre, milyen állapotúak a védművek, mekkora az ingatlanok értéke, és mennyit javult vagy romlott a megelőzés.

A biztosítási költségek növekedését ezért nem lehet automatikusan egyetlen okra visszavezetni.

A család számára azonban a végeredmény ugyanaz lehet: a korábban elfogadható biztosítási díj jelentős pénzügyi teherré válik.

És ekkor jelenik meg az első súlyos társadalmi ellentmondás.

Akinek nagyobb a jövedelme, gyakran megengedheti magának a magasabb díjat, az árvízvédelmi beruházást vagy az elköltözést.

Akinek nincs megtakarítása, az éppen a legnagyobb veszélynek kitett ingatlanban maradhat, megfelelő biztosítás nélkül.

A természeti veszély így nemcsak fizikai, hanem társadalmi különbségeket is növelhet.

Egy árvíz, amely kétszer viszi el ugyanazt a megtakarítást





214. ábra: Az ismétlődő árvízkár nem egyszerűen újabb javítási költséget jelent. Felemelésztheti a család korábbi megtakarításait, miközben az ingatlan piaci értéke is romolhat.

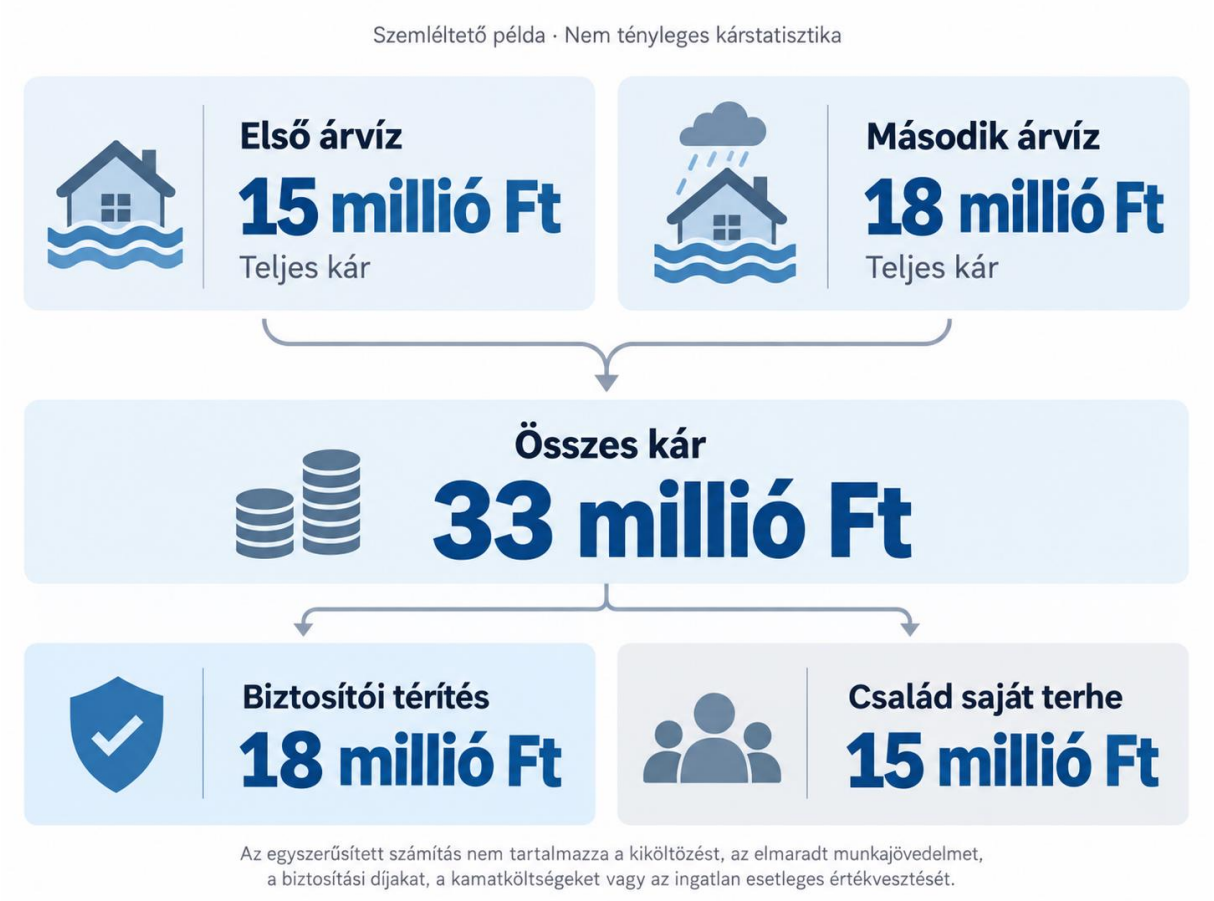
Térjünk vissza a folyóparton élő családhoz.

Tegyük fel, hogy házuk az első árvíz előtt 60 millió forintot ért. Az elöntés 15 millió forintnyi kárt okozott.

A biztosító a szerződés alapján 10 millió forintot fizetett ki, így a családnak saját forrásból kellett előteremtenie a fennmaradó 5 millió forintot.

Az épületet helyreállították, a megtakarításaik azonban nagyrészt elfogytak.

Öt évvel később ismét elöntötte őket a víz. Ezúttal 18 millió forintnyi kár keletkezett, és a biztosítás csak 8 millió forintot térített.



Az egyszerűsített számítás nem tartalmazza a kiköltözést, az elmaradt munkajövedelmet, a biztosítási díjakat, a kamatköltségeket vagy az ingatlan esetleges értékvesztését.

Két esemény következtében a család összesen 15 millió forintot veszített el saját forrásaiból, noha mindkét alkalommal rendelkezett biztosítással.

Ráadásul a korábban 60 millió forintot érő ház piaci értéke is csökkenhetett, mert a lehetséges vevők már ismerik az árvízveszélyt.

Előfordulhat tehát, hogy a család egyszerre veszít a megtakarításából és az ingatlanvagyonából.

A helyzet különösen súlyos, ha még bankhitel is terheli a házat.

A jelzáloghitel ugyanis nem szűnik meg attól, hogy az ingatlan megsérült.

A hitelfelvevőnek továbbra is teljesítenie kell szerződéses kötelezettségeit, hacsak a bankkal külön megállapodás vagy jogszabály másként nem rendelkezik.

A fizikai kár így könnyen elindíthat egy pénzügyi lecsúszást: megtakarítások elvesztése, újabb hitelfelvétel, növekvő havi törlesztés, végül akár fizetési nehézség.

A tulajdonos még akkor is kiszolgáltatott helyzetbe kerülhet, ha a ház műszakilag helyreállítható.

Amikor az ingatlan értéke és a bankhitel szétválik

A jelzáloghitelezésben az ingatlan nemcsak az adós otthona, hanem a bank számára fedezet is.

Amikor valaki lakáshitelt vesz fel, a bank többek között a jövedelmét, meglévő tartozásait és a fedezetül felajánlott ingatlan értékét vizsgálja.

Egy rendszeresen árvíz által veszélyeztetett vagy partomlásnak kitett ingatlan azonban hosszabb távon veszíthet piaci értékéből.

A leértékelődés akkor is bekövetkezhet, ha a következő katasztrófa még nem történt meg.

Elég lehet, ha a lehetséges vevők számolni kezdenek a jövőbeli károkkal, a biztosítás drágulásával és a védekezési költségekkel.

A környezeti kockázat tehát beépülhet az ingatlan árába.

Ez egy ideig lassú folyamat lehet. Máskor egyetlen súlyos esemény vagy új kockázati térkép látványosan megváltoztathatja a piaci megítélést.

Tegyük fel, hogy valaki egy 60 millió forint értékű házra 40 millió forint jelzáloghitelt vett fel.

Ha néhány év múlva az ingatlan piaci értéke a növekvő árvízkockázat miatt 35 millió forintra csökken, miközben a fennálló tartozás még 37 millió forint, akkor a hitel összege meghaladja a fedezet becsült értékét.

Ez az úgynevezett negatív saját tőke vagy negative equity helyzete.

Amikor a hiteltartozás nagyobb, mint a ház értéke

Elméleti példa, millió forintban

Vásárláskor

20 saját tőke, 40 hitel, 60 millió Ft érték

Leértékelődés után

35 ingatlanérték, 37 millió Ft tartozás,

A ház értékesítése önmagában nem feltétlenül fedezné a teljes fennálló tartozást. A hiány ebben a példában 2 millió forint, az értékesítés költségei nélkül.

Szemléltető számítás, nem piaci előrejelzés. A tényleges hitelkövetkezményeket a szerződés és a hatályos jogszabályok határozzák meg.

A bank szempontjából a kockázat nem csupán az, hogy az adós nehezebben tud fizetni.

Hanem az is, hogy fizetésképtelenség esetén a fedezet értékesítése nem biztosítaná a teljes követelés megtérülését.

Ez hosszabb távon szigorúbb hitelezési feltételeket, magasabb önerőkövetelményt vagy bizonyos területeken korlátozott hitelnyújtást eredményezhet.

A környezeti kockázat így a bankrendszerben is megjelenik.

A veszély azonban visszafelé is működik.

Ha egy területen a bankok nehezebben finanszírozzák az ingatlanvásárlást, kevesebb vevő jelenhet meg, ami tovább ronthatja az értékesíthetőséget.

Kialakulhat egy önmagát erősítő folyamat: a nagyobb környezeti veszély csökkenti az ingatlan értékét, az alacsonyabb érték rontja a finanszírozhatóságot, a nehezebb finanszírozás pedig tovább csökkentheti a keresletet.

Ez már nem egyetlen károsult család problémája.

Egy egész település ingatlanpiacát is érintheti.

Nem minden árvíz biztosítási esemény

Magyarországon a lakásbiztosítások kiválasztásánál különösen fontos a szerződési feltételek pontos ismerete.

Az árvíz, a belvíz, a talajvíz-emelkedés és a felhőszakadásból származó vízkár nem feltétlenül ugyanazt jelenti biztosítási szempontból.

Egy biztosítási szerződés például kizárhat bizonyos hullámtéri, nyílt ártéri vagy vízjárta területen bekövetkezett károkat. Más szerződés különbséget tehet a folyó medréből kilépő víz és a csapadékból felgyülemlő belvíz között.

Nem elegendő tehát azt tudni, hogy a biztosításban szerepel az „árvíz” kifejezés.

Azt is meg kell vizsgálni, pontosan milyen eseményekre terjed ki a fedezet, milyen kizárásokat tartalmaz a szerződés, és milyen kifizetési korlátok vonatkoznak rá.

A Magyar Nemzeti Bank fogyasztóvédelmi tájékoztatói is hangsúlyozzák a szerződési feltételek, a biztosítási összegek és a kizárások ellenőrzésének szükségességét. Az alulbiztosítottság miatt a tényleges kárnak csak egy része térülhet meg.

A lakástulajdonos számára ez különösen kellemetlen felismerés lehet a kár bekövetkezése után.

Éveken keresztül fizette a biztosítási díjat, abban a meggyőződésben, hogy otthona védett. A káreseménynél azonban kiderülhet, hogy az adott veszély vagy terület nem tartozott a fedezetbe.

A biztosítás jogi és pénzügyi termék. Nem általános ígéret arra, hogy minden természeti kár után helyreállítható az eredeti állapot.

Ezért is fontos volna, hogy a kockázatok és a kizárások a szerződéskötéskor közérthetően jelenjenek meg.

Amikor nem a víz jön, hanem a víz hiányzik





215. ábra: Az aszály más módon okoz pénzügyi veszteséget, mint az árvíz: gyakran nem a meglévő vagyontárgyakat pusztítja el, hanem a gazdálkodásból várt bevételt csökkenti vagy szünteti meg.

Az árvízkár látványos. Az aszálykár sokszor kevésbé az, gazdasági következményei azonban ugyanilyen súlyosak lehetnek.

Egy gazdálkodó tavasszal megvásárolja a vetőmagot, a műtrágyát és a növényvédő szereket. Kifizeti a gépek üzemanyagát, a munkabéreket, és esetleg hitelt is felvesz a termelés finanszírozásához.

A költségek jelentős része már akkor felmerül, amikor a termés még bizonytalan.

Ha nyáron súlyos aszály következik be, a terméshozam jelentősen visszaeshet.

A gazda tehát nem pusztán jövőbeli nyereséget veszít. Olyan kiadásokat is viselnie kellett, amelyekhez nem keletkezik elegendő bevétel.

Ez különösen veszélyes a hitelből finanszírozott mezőgazdasági termelésben.

A banki törlesztés határideje ugyanis nem változik automatikusan attól, hogy az időjárás kedvezőtlenül alakult.

A kieső bevétel a termelőt, a hitelezőt, a beszállítókat és akár az egész helyi gazdaságot érintheti.

Magyarország 2022-es aszálya jól mutatja a probléma nagyságrendjét.

Az Agrárközgazdasági Intézet adatai szerint a rendkívüli szárazság következtében több mint ötvenezer mezőgazdasági kárbejelentés érkezett.

Az elfogadott kárenyhítési igények összege meghaladta a 63 milliárd forintot, miközben a rendelkezésre álló alap nem tudta teljes egészében fedezni az igényeket.

A kormány több mint 41 milliárd forint többletforrást biztosított, és végül mintegy 50,2 milliárd forint kárenyhítő juttatást fizettek ki. A kifizetés 98,2 százaléka aszálykárhoz kapcsolódott.

A 2022-es magyar mezőgazdasági kárenyhítés

Agrárközgazdasági Intézet · a kifizetések megoszlása

Aszálykárokra

98,2%

Más káreseményekre

1,8%

Forrás: AKI, 2023. A kárenyhítő rendszer kifizetéseinek megoszlása, nem a teljes magyarországi aszálykár értéke.

A kárenyhítés természetesen fontos segítséget jelentett a gazdálkodóknak.

De itt is felmerül a kérdés: valójában ki fizette meg a veszteséget?

A mezőgazdasági kárenyhítési rendszer termelői befizetésekre és állami hozzájárulásra épül. Ez tehát közös kockázatviselést jelent.

A támogatás nem szünteti meg az elpusztult termést. A veszteséget részben áthelyezi a termelőről egy közösen finanszírozott rendszerre.

Ennek lehet társadalmi indoka, különösen akkor, ha egy rendkívüli esemény egyébként működőképes gazdaságok tömegét sodorná csődbe.

A kérdés azonban hosszabb távon bonyolultabb.

Mi történik akkor, ha egy térségben az aszály már nem kivételes esemény, hanem visszatérő termelési kockázat?

Meddig indokolt ugyanazokat a károkat közpénzből megtéríteni?

És mikor volna célszerűbb a termelési szerkezetet, a vízgazdálkodást vagy a földhasználatot megváltoztatni?

A kárenyhítés átmenetileg megvédheti a gazdálkodót, de önmagában nem pótolja az alkalmazkodást.

Ráadásul a mezőgazdasági kockázatok kezelése nem kizárólag a termelők érdeke. Ha egy egész térség mezőgazdasági termelése kerül veszélybe, annak következménye lehet a helyi foglalkoztatás csökkenése, az élelmiszerárak változása és a vidéki települések gazdasági meggyengülése is.

Így az aszály ára végül olyan emberekhez is eljuthat, akiknek nincs termőföldjük.

Az állam mint végső biztosító

A katasztrófák utáni állami segítség szinte magától értetődő társadalmi elvárás.

Ha egy települést elönt az árvíz, a lakosság joggal várja, hogy a hatóságok megszervezzék a mentést, biztosítsák az alapvető ellátást, és segítsék a helyreállítást.

A vita ott kezdődik, amikor a közvetlen életmentés és a közösségi infrastruktúra helyreállítása mellett a magántulajdonban keletkezett károk teljes vagy részleges megtérítése is felmerül.

Itt már nemcsak humanitárius, hanem elosztási döntésről beszélünk.

Ha valaki elveszíti egyetlen otthonát, és nincs elegendő megtakarítása, súlyos méltányossági érvek szólhatnak az állami segítség mellett.

Más lehet azonban egy rendszeresen elöntött területen álló második vagy harmadik ingatlan megítélése, különösen akkor, ha tulajdonosa ismerte a kockázatot.

Az OECD rámutatott, hogy a kormányok sok esetben akkor is a végső kárviselő szerepébe kerülnek, ha erre nincs előzetes jogi kötelezettségük. A társadalmi és politikai elvárások miatt utólag támogatást nyújthatnak a károsultaknak. Ez a költségvetésben előre nem teljesen látható kötelezettséget teremthet.

A segítségnek ugyanakkor lehet nem kívánt következménye is.

Ha a tulajdonosok arra számítanak, hogy az állam minden nagyobb kár után teljes mértékben helyreállítja ingatlanukat, akkor gyengülhet az ösztönzés a megelőzésre vagy a veszélyeztetett területről való elköltözésre.

Ezt a biztosítási és közgazdasági szakirodalom morális kockázatnak nevezi.

A fogalom nem azt jelenti, hogy a károsultak erkölcstelenek.

Egyszerűen arra utal, hogy ha valaki nem viseli döntéseinek valamennyi költségét, az befolyásolhatja a kockázatvállalását.

De az ellenkező véglet sem elfogadható.

Az sem volna igazságos, ha a természeti katasztrófák valamennyi költségét a károsultakra hárítanánk, függetlenül attól, hogy rendelkeztek-e megfelelő információval, volt-e lehetőségük védekezni, vagy egyáltalán képesek lettek volna-e máshová költözni.

Egy idős ember, aki évtizedek óta ugyanabban a házban él, egészen más helyzetben van, mint egy befektető, aki új üdülőházat épít közismerten árvízveszélyes területre.

A közpénzből történő kárrendezés méltányosságának megítélése ezért nem nélkülözheti a személyes körülményeket.

Mikor igazságos közpénzből fizetni?

A teljes állami kártérítés és a teljes magánfelelősség között számos köztes megoldás létezik.

Az egyik lehetőség a rászorultsági alapú támogatás, amely elsősorban a lakhatás elvesztésének elkerülését célozza.

Másik megoldás a biztosítási rendszer közösségi támogatása, amelyben a magánbiztosítók mellett az állam is részt vállalhat a ritka, de rendkívül nagy veszteségek finanszírozásában.

Indokolt lehet olyan támogatás is, amely nem egyszerűen a korábbi állapot visszaállítására, hanem a jövőbeli kockázat csökkentésére irányul.

Egy árvízkárosult ház helyreállításához például előírhatók olyan műszaki követelmények, amelyek mérséklik egy következő elöntés következményeit.

Bizonyos esetekben a lakóépület megemelése, a veszélyeztetett gépészeti berendezések áthelyezése vagy az épület alsó szintjének átalakítása csökkentheti a várható veszteséget.

Más területeken azonban a műszaki védekezés költsége már meghaladhatja az elérhető előnyöket.

Az Európai Központi Bank és az EIOPA 2024 decemberében közös javaslatot tett a természeti katasztrófák pénzügyi kezelésének európai szintű megerősítésére.

A javaslat két egymást kiegészítő elemet tartalmaz: egy közös európai köz- és magánszektorbeli viszontbiztosítási rendszert, valamint egy, a közösségi infrastruktúra helyreállítását támogató katasztrófaalapot. Utóbbi esetében az előzetes kockázatcsökkentő intézkedések teljesítése is feltétel lenne.

A gondolat lényege, hogy a társadalmi szolidaritást össze kell kapcsolni a megelőzés ösztönzésével.

A közpénznek nem kizárólag az újraépítést kellene szolgálnia.

Segítenie kellene abban is, hogy a következő katasztrófa már kisebb kárt okozzon.

Amikor olcsóbb elköltöztetni egy települést, mint újra és újra megvédeni





216. ábra: Egyes ártereken a lakóépületek kiváltása és a terület visszaadása a folyónak hosszabb távon kedvezőbb lehet, mint a folyamatos védekezés és helyreállítás.

A környezeti károk pénzügyi kezelésének egyik legnehezebb kérdése az, hogy mi történjen azokkal a településekkel vagy településrészekkel, amelyek tartósan nagy természeti veszélynek vannak kitéve.

A hagyományos megközelítés szerint a lakóépületeket lehetőség szerint meg kell védeni.

Gátakat építünk, megerősítjük a partfalakat, magasabbra emeljük a töltéseket, korszerűsítjük a vízelvezetést.

Ezek az intézkedések sok esetben indokoltak, és jelentős károkat előzhetnek meg.

De van olyan helyzet, amikor a védekezés egyre drágábbá válik, miközben teljes biztonságot nem képes nyújtani.

Ilyenkor felmerülhet egy nehéz kérdés.

Nem volna-e észszerűbb a legveszélyeztetettebb ingatlanokat kivásárolni, és a lakókat biztonságosabb területre költöztetni?

Ez első hallásra szélsőséges megoldásnak tűnhet.

Pedig Európában már léteznek erre példák.

Az osztrák Eferdinger-medence esete

A Duna menti, Felső-Ausztriában található Eferdinger-medencében a 2002-es és 2013-as nagy árvizek után arra a következtetésre jutottak, hogy egyes területeken a lakóépületek áthelyezése kedvezőbb megoldás, mint a teljes körű műszaki árvízvédelem.

A térség egyes részei fontos természetes árvízi vízvisszatartó területként működnek, ezért a nagyszabású védműépítésnek hidrológiai és gazdasági korlátai is voltak.

A program keretében 154 veszélyeztetett ingatlant azonosítottak, és az érintett tulajdonosok számára önkéntes áthelyezési lehetőséget kínáltak.

A kompenzáció a ház értékének 80 százalékát fedezhette. A program állami és tartományi finanszírozással valósult meg.

Ez azonban nem jelentette azt, hogy minden érintett család automatikusan fedezni tudta volna egy másik, hasonló otthon megvásárlását.

A fennmaradó 20 százalék, az új telek ára, a költözés és az egyéb járulékos kiadások jelentős terhet jelenthettek.

A tulajdonosnak ráadásul nemcsak egy épületet kellett elhagynia.

Elveszíthette megszokott lakókörnyezetét, szomszédsági kapcsolatait és azt a helyet, amelyhez családjának története kötődött.

A gazdasági számítás tehát nem tudja teljes egészében megragadni a társadalmi veszteséget.

Mégis fontos a példa, mert megmutatja, hogy a tartósan veszélyeztetett területeken a helyben maradás nem mindig jelenti a legbiztonságosabb vagy leggazdaságosabb megoldást.

Ki fizesse meg az áttelepítés árát?





217. ábra: A veszélyeztetett házak önkéntes kivásárlása után a terület egyes programokban visszaalakulhat természetes ártérré. A pénzügyi kérdések mellett a lakók személyes és közösségi veszteségeivel is számolni kell.

Egy veszélyeztetett település részleges áttelepítése több szereplő együttműködését igényelheti.

Az állam vagy az önkormányzat finanszírozhatja a tulajdonosok kivásárlását. A bankokkal rendezni kell a fennálló jelzáloghiteleket. Biztosítani kell az új lakóhelyekhez szükséges infrastruktúrát, és gondoskodni kell arról, hogy a kiköltözők ne kerüljenek rosszabb élethelyzetbe.

De mennyit ér egy veszélyeztetett ingatlan?

A kérdés korántsem egyszerű.

Ha a ház piaci értéke az árvízkockázat miatt már jelentősen csökkent, akkor a jelenlegi forgalmi érték alapján számított kártalanítás nem feltétlenül elegendő egy biztonságosabb területen lévő hasonló ingatlan megvásárlására.

Ha viszont az állam az eredeti, kockázat nélküli értéket téríti meg, akkor előfordulhat, hogy a közpénz jelentős magántulajdoni veszteséget vállal át.

Mindkét megoldás mellett és ellen szólnak érvek.

Az Európai Környezetvédelmi Ügynökség Climate-ADAPT alkalmazkodási platformja kifejezetten felhívja a figyelmet arra, hogy a pusztán ingatlanérték-alapú kompenzáció hátrányosan érintheti a sérülékeny, alacsonyabb értékű ingatlanokban élő háztartásokat.

Ez azért fontos, mert egy kis értékű ház tulajdonosa nem feltétlenül kevésbé rászoruló, mint egy nagyobb ingatlanban élő ember.

Sőt, sokszor éppen az ellenkezője igaz.

A szegényebb családok vagyonának jelentős része egyetlen, szerény értékű ingatlanban összpontosulhat.

Ha azt elveszítik, nem marad elegendő tőkéjük az újrakezdéshez.

Ezért az igazságos áttelepítési programnak nemcsak az ingatlan forgalmi értékét kellene figyelembe vennie, hanem a tényleges lakhatási szükségletet is.

Különbséget lehet tenni az elsődleges lakóhelyek és a második otthonok között.

Indokolt lehet nagyobb támogatás azoknak, akiknek nincs más lakhatási lehetőségük.

A kompenzáció tartalmazhat költözési támogatást, hitelrendezési segítséget vagy az új otthonhoz szükséges kiegészítő finanszírozást is.

Egy másik európai megoldás: az olasz Piemonte

Olaszország Piemonte régiójában külön programot dolgoztak ki a jelentős földtani és hidrológiai veszélyeknek kitett ingatlanok önkéntes kivásárlására.

A programban az önkormányzat értékeli az igényt, előkészíti az épület megszüntetését és továbbítja az áttelepítési javaslatot a regionális hatósághoz.

A régió az elfogadott programoknál a költözési támogatás és a bontás költségeit is finanszírozhatja.

A rendszer érdekes eleme, hogy az a jogosult tulajdonos, aki elutasítja a kivásárlási lehetőséget, bizonyos későbbi természeti károkhoz kapcsolódó támogatásokra elveszítheti jogosultságát.

Ennek világos közgazdasági logikája van.

Ha az állam felajánl egy biztonságosabb, támogatott lehetőséget, de a tulajdonos tudatosan vállalja a további kockázatot, nem feltétlenül indokolt, hogy a közösség korlátlanul finanszírozza a későbbi károkat.

Ugyanakkor az ilyen szabályok csak akkor tekinthetők méltányosnak, ha a felajánlott alternatíva valóban elérhető, és az érintetteknek reális lehetőségük van az elfogadására.

A formális választási lehetőség önmagában nem elegendő, ha a család anyagilag képtelen elköltözni.

Mi történik a településsel, ha az emberek egy része elköltözik?

A részleges áttelepítés további problémákat is felvet.

Mi történik az iskolával, ha jelentősen csökken a gyermekek száma?

Ki tartja fenn az utakat, a közvilágítást, a víz- és csatornahálózatot, ha egyre kevesebb ingatlan marad használatban?

Mi lesz a helyi üzletekkel, amelyek vásárlóinak jelentős része elköltözött?

A település költségei nem feltétlenül csökkennek olyan gyorsan, mint a lakossága.

Egy közút vagy vízvezeték fenntartásának jelentős része akkor is szükséges lehet, ha a korábbi háztartásoknak már csak a fele használja.

A fennmaradó lakosságra így aránytalanul nagyobb teher hárulhat.

Ez újabb elköltözési hullámot indíthat el.

A környezeti kockázat tehát nemcsak egyes ingatlanok értékét csökkentheti, hanem az egész település gazdasági életképességét is befolyásolhatja.

Egy jól megtervezett áttelepítési program ezért nem korlátozódhat néhány ház kivásárlására.

Településfejlesztési, közlekedési, közmű- és szociális kérdéseket is kezelnie kell.

Bizonyos esetekben új közösségi infrastruktúrára lehet szükség, máskor a megmaradó településrészek működését kell újraszervezni.

A költségek jelentősek lehetnek.

De ezekkel szemben számításba kell venni a jövőben elkerülhető árvízvédelmi kiadásokat, a helyreállítási költségeket, az életveszély csökkenését és a természeti árterek helyreállításának előnyeit.

A döntést ezért nem célszerű kizárólag a következő költségvetési év alapján meghozni.

Több évtizedes időtávban kell vizsgálni, melyik megoldás eredményezi a legkisebb társadalmi veszteséget.

A biztosítás nem helyettesítheti a megelőzést

A természeti károk kezelésénél különösen fontos felismerni, hogy a biztosítás elsősorban pénzügyi védelem.

Nem akadályozza meg az árvíz kialakulását.

Nem pótolja a kiszáradt talaj vízkészletét.

És nem állítja helyre automatikusan egy elpusztult természetes élőhely működését.

Ezért hosszabb távon a biztosítási és kártérítési rendszereknek célszerű volna ösztönözniük a tényleges kockázatcsökkentést.

Az árvízveszélyes területeken ilyen lehet a megfelelő területrendezés, a természetes árterek helyreállítása, a vízvisszatartás és a védművek rendszeres karbantartása.

Aszályos térségekben a víztakarékosabb mezőgazdasági módszerek, a talaj vízmegtartó képességének javítása, a megfelelő növényválasztás és az átgondolt vízgazdálkodás mérsékelheti a veszteségeket.

Az épületeknél a fizikai alkalmazkodás, például az árvízállóbb szerkezeti kialakítás vagy a veszélyeztetett berendezések magasabbra helyezése csökkentheti a helyreállítás költségeit.

Az ösztönzés azonban csak akkor lehet eredményes, ha az intézkedések anyagilag is elérhetők.

Egy kis jövedelmű család számára hiába jelentene hosszabb távon megtakarítást egy több millió forintos védekezési beruházás, ha a szükséges összeget nem tudja előteremteni.

Ezért a megelőzést szolgáló támogatások bizonyos esetekben hatékonyabbak lehetnek, mint az ismétlődő károk utólagos megtérítése.

Az igazi veszteség gyakran nem jelenik meg a statisztikákban

A természeti katasztrófákról szóló gazdasági jelentések általában a károsodott épületek, utak, mezőgazdasági termények és más vagyontárgyak értékét mérik fel.

De mi történik azokkal a veszteségekkel, amelyeknek nincs egyértelmű piaci ára?

Egy család elveszítheti több nemzedék óta lakott otthonát.

Elpusztulhatnak fényképek, levelek, személyes emlékek.

A költözés megszakíthatja a megszokott emberi kapcsolatokat, és különösen az idősek számára jelenthet súlyos megterhelést.

Az árvíz után hónapokig tartó bizonytalanság, az egészségügyi problémák, a munkából kiesett idő és a családi konfliktusok szintén a katasztrófa következményei lehetnek.

Ezeket a költségeket nem lehet teljes egészében pénzben kifejezni.

Ezért egy áttelepítési program vagy kártérítési rendszer megítélésekor nem elegendő kizárólag a pénzügyi mérleget vizsgálni.

A gazdasági szempontból racionális megoldás nem minden esetben azonos az emberileg legkönnyebben elfogadhatóval.

A környezetpolitikai döntéseknek ezért figyelembe kell venniük a helyi közösségek érdekeit, a személyes élethelyzeteket és a társadalmi igazságosság szempontjait is.

Végül ki fizeti meg az árát?

Az árvíz, az aszály és más természeti veszélyek pénzügyi következményei világosan megmutatják, mennyire összefügg a környezetvédelem a gazdaság működésével.

A veszteség elsőként gyakran egy család vagy vállalkozás vagyonában jelenik meg.

De a következmények hamar továbbterjedhetnek.

A biztosítók kártérítést fizetnek, és módosíthatják díjaikat.

A bankok átértékelhetik fedezeteiket és hitelezési kockázataikat.

Az önkormányzatoknak és az államnak helyreállítási kiadásokat kell vállalniuk.

A gazdasági veszteség végül adókban, biztosítási díjakban, kamatokban, élelmiszerárakban vagy csökkenő közszolgáltatásokban is megjelenhet.

A károk tehát nem feltétlenül maradnak azoknál, akiket közvetlenül érintett a természeti esemény.

A közös kockázatviselés ugyanakkor nem önmagában helytelen.

Éppen a biztosítás és a társadalmi szolidaritás lényege, hogy egy súlyos veszteség ne tegye tönkre teljesen az érintetteket.

A valódi kérdés az, hogyan lehet igazságosan és hosszú távon fenntartható módon megosztani a terheket.

Mikor indokolt a közösségi segítség, és mikor kell nagyobb felelősséget vállalnia a tulajdonosnak?

Hogyan lehet megakadályozni, hogy a gazdagabbak biztosítani tudják magukat, míg a szegényebbek fokozatosan a legveszélyeztetettebb területekre szorulnak?

Milyen feltételekkel támogatható egy megrongálódott ház újjáépítése?

És mikor érdemes végre kimondani, hogy bizonyos helyeken nem az újabb helyreállítás, hanem a biztonságosabb területre költözés jelenti a felelős megoldást?

Ezekre a kérdésekre nincs minden helyzetben egyformán alkalmazható válasz.

De egy elvet érdemes szem előtt tartani.

A természeti károk pénzügyi kezelésének nem szabad csupán az előző katasztrófa veszteségeit rendeznie. Segítenie kell a következő katasztrófa megelőzését vagy következményeinek mérséklését is.

A környezeti kár árát előbb-utóbb mindig meg kell fizetni. A társadalom valódi döntési lehetősége abban áll, hogy ezt az árat előrelátóan, a kockázatokat csökkentve viseli-e, vagy újra és újra a bekövetkezett pusztítás után próbálja előteremteni a szükséges pénzt.

És végül ismét eljutunk a könyv alapvető kérdéséhez.

Ki fizeti meg az árát?

Nem feltétlenül az, aki a veszélyt előidézte. Nem is mindig az, aki tudatosan vállalta a kockázatot.

Sokszor azok, akiknek a legkevesebb beleszólásuk volt a korábbi döntésekbe – és akiknek a legkevesebb lehetőségük van megvédeni magukat azok következményeitől.

Források és további olvasmányok

- EIOPA (2026): Climate insurance protection gaps – a demand-side challenge. Az európai természeti katasztrófák biztosítási hiánya, a díjak emelkedése és a biztosíthatatlanság kockázata.
- EIOPA: Dashboard on insurance protection gap for natural catastrophes. Európai biztosított és nem biztosított károk országonként, eseménytípusonként.
- EIOPA–ECB (2024): Towards a European system for natural catastrophe risk management. Közös biztosítási és katasztrófa-finanszírozási lehetőségek.
- OECD: Building Financial Resilience to Climate Impacts. Az állami költségvetés szerepe és a természeti károkból eredő pénzügyi kötelezettségek.
- Magyar Nemzeti Bank: Biztosítások – fogyasztóvédelmi tájékoztató. Lakásbiztosítások, fedezetek és szerződési feltételek.
- Agrárközgazdasági Intézet (2023): A 2022-es mezőgazdasági kárenyhítés. A magyarországi aszálykárok és az állami kárenyhítés adatai.
- Climate-ADAPT: Az ausztriai Eferdinger-medence áttelepítési programja. A Duna menti árvízkockázat és az önkéntes kivásárlás.
- Climate-ADAPT: A piemonti áttelepítési program. A veszélyeztetett háztartások támogatása és a későbbi kártérítési jogosultság kérdése.

Mennyi az elég?

Végül visszajutunk a fejezet kiinduló kérdéséhez.

Mennyit kellene környezetvédelemre fordítanunk?

Nincs olyan általánosan érvényes százalék, amely minden ország, minden időszak és minden környezeti probléma esetében megfelelő lenne.

A szükséges kiadások függnek a környezet állapotától, az adott társadalom sérülékenységétől, a rendelkezésre álló technológiáktól és az elérhető pénzügyi erőforrásoktól.

Egy árvízveszélyes térségben jelentős vízgazdálkodási beruházások lehetnek indokoltak.

Egy súlyosan szennyezett iparvidéken a kármentesítés és a levegőminőség javítása lehet elsődleges.

Egy szegényebb országban az ivóvízellátás, az egészségügy és az alapvető infrastruktúra fejlesztése különösen sürgető lehet.

A globális klímaváltozás mérséklése azonban mindezek mellett közös, hosszú távú feladat.

Lomborg egyik fontos üzenete, hogy a társadalmi erőforrások felhasználását össze kell hasonlítani, és a költségeket nem szabad figyelmen kívül hagyni.

A vele szemben megfogalmazott kritikák pedig arra figyelmeztetnek, hogy a gazdasági modellek eredményei nem függetlenek a feltételezésektől, különösen a jövőbeli károk, a visszafordíthatatlan veszteségek és a nemzedékek közötti igazságosság értékelésekor.

Mindkét felismerés fontos.

A környezetvédelmet nem lehet kizárólag erkölcsi felháborodásra, hangzatos célokra és korlátlan pénzügyi követelésekre építeni.

De az sem megfelelő megközelítés, ha minden természeti értéket pénzben próbálunk kifejezni, majd kizárólag az így kapott számok alapján döntünk.

A megfelelő környezetpolitika egyszerre igényel természettudományos ismereteket, közgazdasági elemzést, társadalmi igazságosságot és hosszú távú gondolkodást.

A legfontosabb kérdés talán nem az, hogy mennyit ér a környezetvédelem, hanem az, hogy mi mindent veszítünk el, ha nem végezzük el időben.

És itt különösen igaz a könyv címében feltett kérdés:

Ki fizeti az árát?

Nemcsak annak van ára, amit megteszünk.

Annak is, amit elmulasztunk.

A fejezet főbb szakmai forrásai

- Copenhagen Consensus – Best Things First (2023). Lomborg tizenkét kiemelt fejlesztési programjának bemutatása és modellalapú költség–haszon becslései.

- Bjørn Lomborg – False Alarm. Lomborg klímapolitikai érvelése a kutatás-fejlesztésről, az alkalmazkodásról és a szén-dioxid-árazásról.
- Grantham Research Institute – A closer examination of the numbers in Lomborg's book. A Lomborg által felhasznált klímaköltség-becslések kritikai vizsgálata.
- IPCC – Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change. A kibocsátáscsökkentés gazdasági költségei, előnyei és bizonytalanságai.
- William Nordhaus (2007): A Review of the Stern Review on the Economics of Climate Change. A diszkontrátáról és a klímavédelmi intézkedések gazdasági értékeléséről folytatott alapvető vita.
- UNEP – Adaptation Gap Report 2025. Az alkalmazkodási finanszírozás szükségletei és hiányai.
- WHO (2026): Health effects of air pollution. A levegőszennyezés egészségügyi következményei.

28. Amikor a környezetvédelem üzletté válik

Régen a környezetszennyezés elsősorban költséget jelentett a társadalomnak, miközben a szennyező vállalatoknak gyakran alig kellett fizetniük az általuk okozott károkért. Ma már maga a környezetvédelem is hatalmas üzlet. Pénzért lehet kibocsátási egységeket vásárolni, karbonkreditekkel kereskedni, állami támogatást kapni zöldberuházásokra, és fenntarthatónak nevezett befektetési alapokat értékesíteni. A vállalatok környezeti teljesítménye egyre inkább befolyásolja a finanszírozást, a fogyasztói döntéseket és a részvényárfolyamokat. De vajon a zöld gazdaság terjedése valóban tisztább környezetet eredményez? Vagy időnként csak új piacot teremtettünk, amelyen nem a környezet állapota, hanem a környezetbarátság látszata válik eladható termékké?



218. ábra: A környezetvédelem ma már összekapcsolódik az iparral, az energiatermeléssel, a pénzügyi piacokkal és a természet-helyreállítással. A gazdasági ösztönzők jelentős környezeti javulást segíthetnek elő, de önmagukban nem garantálják azt.

Amikor a szennyezésnek ára lesz

A hagyományos gazdaság egyik alapvető problémája, hogy a termelés költségei és annak környezeti következményei nem feltétlenül ugyanott jelentkeznek.

Egy erőmű tüzelőanyagot vásárol, munkásokat foglalkoztat, berendezéseket tart fenn, és villamos energiát termel.

Ezek a költségek megjelennek a vállalat könyvelésében.

De ha a működés következtében romlik a levegő minősége, egészségügyi károk keletkeznek vagy üvegházhatású gázok kerülnek a légkörbe, a következmények egy részét nem feltétlenül a vállalat viseli.

A közgazdaságtan ezt negatív externáliának nevezi.

Az externália olyan hatás, amely egy gazdasági szereplő tevékenységéből származik, de másokra hárul, anélkül hogy annak teljes költsége megjelenne a piaci árban.

A környezetvédelmi szabályozás egyik célja éppen az, hogy ezeket a költségeket legalább részben beépítse a gazdasági döntésekbe.

A szennyezés megadóztatása az egyik lehetséges megoldás.

Ha például egy vállalat minden kibocsátott tonna szén-dioxid után meghatározott összeget fizet, a kibocsátás csökkentése közvetlen gazdasági előnnyé válik.

Másik lehetőség a kibocsátási mennyiség korlátozása és a kibocsátási egységekkel történő kereskedés.

Ez az utóbbi megközelítés az Európai Unió klímapolitikájának egyik legfontosabb eszközévé vált.

Kibocsátási kvóták: amikor a levegő pénzügyi értéket kap

Az Európai Unió 2005-ben indította el kibocsátáskereskedelmi rendszerét, az EU ETS-t.

A rendszer lényege, hogy a szabályozás felső korlátot határoz meg az érintett vállalatok összesített üvegházhatásúgáz-kibocsátására.

A korláton belül kibocsátási egységeket osztanak ki vagy értékesítenek.

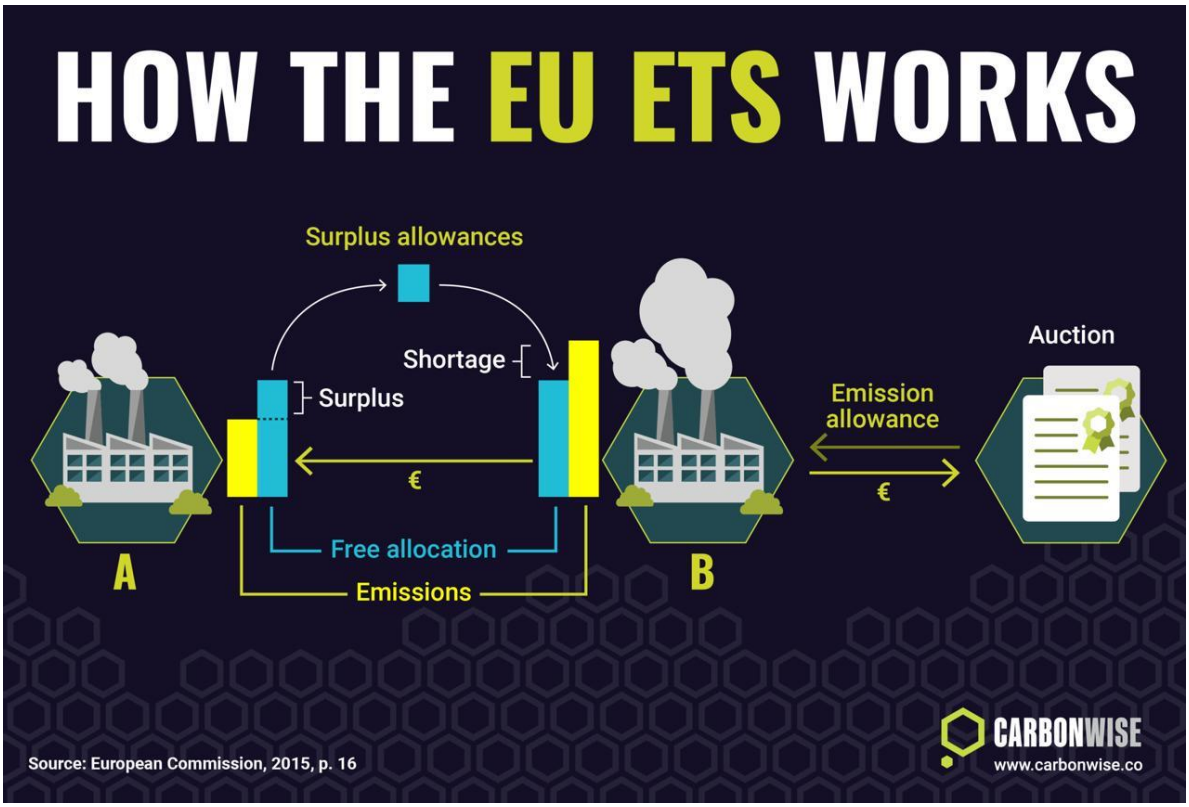
Egy kibocsátási egység egy tonna szén-dioxid-egyenérték kibocsátásának elszámolására jogosít.

Az érintett vállalatoknak minden évben a hitelesített kibocsátásuknak megfelelő számú egységet kell leadniuk.

Ezeket az egységeket megszerezhetik árverésen, más piaci szereplőtől vagy – az arra jogosult ágazatokban – részben ingyenes kiosztás keretében.

A rendelkezésre álló egységek összesített mennyisége fokozatosan csökken.





219. ábra: Az EU kibocsátáskereskedelmi rendszere piaci ösztönzőt teremt a szennyezés mérséklésére. A vállalatoknak pénzügyi érdekük fűződhet az alacsonyabb kibocsátású technológiák alkalmazásához.

Nézzünk egy egyszerű példát.

Két erőmű egyaránt évi egymillió tonna szén-dioxidot bocsát ki.

Az egyik erőmű műszakilag viszonylag olcsón képes csökkenteni a kibocsátását. A másiknál ugyanez sokkal nagyobb beruházást igényelne.

Ha mindkét vállalatnak azonos arányú csökkentést írnánk elő, előfordulhatna, hogy összességében drágábban érnénk el ugyanazt az eredményt.

A kibocsátáskereskedelem lehetővé teszi, hogy a kibocsátását olcsóbban mérséklő vállalat kevesebb egységet használjon fel, és a fölösleges egységeit értékesítse.

A drágábban csökkentő vállalat pedig vásárolhat egységeket, amennyiben azok rendelkezésre állnak.

A teljes rendszer kibocsátását azonban a felső korlát továbbra is korlátozza.

A gazdasági logika szerint így a kibocsátáscsökkentés nagyobb része ott valósulhat meg, ahol a legkevesebbe kerül.

Az elmélet elegáns.

A gyakorlati működés azonban attól függ, hogyan határozzák meg a kibocsátási korlátot, hány egységet osztanak ki ingyenesen, és mennyire megbízható az ellenőrzési rendszer.

Lehet-e pénzért jogot vásárolni a szennyezésre?

A kibocsátáskereskedelem egyik visszatérő kritikája, hogy a vállalatok lényegében pénzért vásárolhatnak jogot a szennyezésre.

Ez a megfogalmazás bizonyos értelemben helytálló: a rendszerben egy kibocsátási egység valóban meghatározott mennyiségű kibocsátás elszámolását teszi lehetővé.

De van egy fontos különbség a korlátlan szennyezés és a korlátozott mennyiségen belüli kereskedés között.

Az EU ETS-ben a teljes kibocsátási keretet jogszabály határozza meg, és azt fokozatosan csökkentik.

Ha a korlát megfelelően szigorú, a vállalatok közötti kereskedés önmagában nem növeli a rendszer teljes megengedett kibocsátását.

A probléma ezért nem az, hogy egyáltalán lehet kereskedni a kibocsátási egységekkel.

Sokkal fontosabb, hogy a megengedett összes kibocsátás mennyire csökken, megfelelő-e a kibocsátásmérés, és nem adnak-e túl sok kedvezményt egyes szereplőknek.

Egy ilyen rendszernek a közgazdasági hatékonyság mellett politikai feltételei is vannak.

A vállalatok ugyanis érdekeltek lehetnek abban, hogy a kibocsátási korlát kevésbé legyen szigorú, vagy több ingyenes egységet kapjanak.

A szabályozás ezért folyamatos érdekegyeztetés tárgya.

Működik-e az európai karbonpiac?

Az EU ETS teljesítményét nem lehet pusztán a kvóták árfolyamából megítélni.

A lényegi kérdés az, hogy az érintett ágazatok tényleges kibocsátása csökken-e.

Az Európai Bizottság 2025 áprilisában közzétett adatai szerint az ETS hatálya alá tartozó kibocsátás 2024-ben további körülbelül 5 százalékkal csökkent, és ekkorra hozzávetőleg 50 százalékkal volt alacsonyabb a 2005-ös szintnél.

A csökkenés legjelentősebb forrása a villamosenergia-termelés átalakulása volt, különösen a szénalapú termelés visszaszorulása és a megújuló energiaforrások térnyerése.

A kibocsátáskereskedelem által lefedett kibocsátások változása

2005 = 100 · közelítő index, a 2025-ben közzétett bizottsági összesítés alapján

Az ETS-ben elszámolt kibocsátás 2024-re körülbelül a felére csökkent a 2005-ös szinthez képest. Az összevetés szemléltető: a szabályozás ágazati és földrajzi hatálya időközben változott. A kibocsátáscsökkenésben az ETS mellett más energiapolitikai, technológiai és gazdasági tényezők is szerepet játszottak. Forrás: Európai Bizottság, 2025. április 4.

A kibocsátáskereskedelem tehát nem csupán papíron létező pénzügyi konstrukció.

Valós gazdasági folyamatokat befolyásol, és hozzájárulhat a kibocsátások csökkentéséhez.

Az eredmények értékelésénél azonban óvatosnak kell lenni.

A széntüzelésű erőművek visszaszorulásában más tényezők is szerepet játszottak: a földgáz és a megújuló energiaforrások versenyképessége, a technológiai fejlődés, a nemzeti energiapolitikák és az energiaárak változása.

Ezért az összes kibocsátáscsökkenést nem lehet kizárólag a karbonpiacnak tulajdonítani.

Ráadásul a területi kibocsátás csökkenése nem feltétlenül mutatja meg, mekkora kibocsátás kapcsolódik az importált termékek előállításához.

Ezzel visszaérkezünk a korábbi fejezetben tárgyalt problémához: a szennyező ipari tevékenység más országokba telepítése javíthatja az európai kibocsátási adatokat anélkül, hogy ugyanilyen mértékű globális csökkenés következne be.

Az EU ezért 2026. január 1-jétől bevezette a karbonvám-mechanizmus, a CBAM végleges szakaszát. Célja, hogy bizonyos importtermékek előállításához kapcsolódó kibocsátások is megfelelő szén-dioxid-árazás alá kerüljenek.

Ez újabb üzleti következményekkel jár.

A szennyezőbb technológiával előállított importtermékek versenyhelyzete megváltozhat, miközben a vállalatok számára egyre fontosabbá válik az ellátási lánc kibocsátásának hiteles dokumentálása.

A karbonpiac tehát nemcsak a szennyezés költségét módosítja.

A nemzetközi kereskedelem és az ipari verseny feltételeit is alakítja.

A kibocsátási egységből állami bevétel lesz

A karbonpiac másik érdekes sajátossága, hogy az államok és az uniós alapok jelentős bevételhez jutnak a kibocsátási egységek árveréséből.

Az Európai Bizottság adatai szerint az EU ETS 2024-ben 38,8 milliárd euró árverési bevételt eredményezett, amelyből 24,4 milliárd euró közvetlenül a tagállamokhoz került.

A fennmaradó összeg jelentős részét uniós finanszírozási eszközök, köztük az Innovációs Alap és a Modernizációs Alap kapták.

Az EU kibocsátási egységeinek árverési bevétele, 2024

38,8 milliárd €

Forrás: Európai Bizottság, az EU ETS árverési bevételeinek 2024-es elszámolása. Az uniós és egyéb bevételek összevont értéke.

A bevételek felhasználása komoly gazdaságpolitikai kérdés.

Egy részük energiahatékonysági beruházásokat finanszírozhat. Más források villamos hálózatok fejlesztését, ipari technológiaváltást, megújuló energiát vagy az alacsonyabb jövedelmű háztartások támogatását szolgálhatják.

Az uniós szabályozás a tagállami árverési bevételek, illetve azokkal egyenértékű összegek klíma- és energiapolitikai felhasználását írja elő.

Itt azonban fontos megkülönböztetni a bevétel beszedését és a tényleges környezeti eredményt.

Önmagában az, hogy egy állam több milliárd eurót fordít zöldnek nevezett programokra, még nem bizonyítja, hogy a beruházások hatékonyak.

A támogatásból megvalósuló projektek költségeit, eredményeit és hosszú távú fenntarthatóságát ugyanúgy ellenőrizni kellene, mint bármely más közpénzből finanszírozott beruházást.

Ingyenes kvóták: védelem vagy versenyelőny?

Az európai kibocsátáskereskedelemben bizonyos iparágak ingyenes kibocsátási egységeket is kapnak.

Ennek egyik indoka az úgynevezett karbonszivárgás veszélye.

Ha egy európai acélműnek jelentős kibocsátási költséget kell fizetnie, miközben egy harmadik országban működő versenytársát nem terheli hasonló költség, az európai vállalat versenyhátrányba kerülhet.

Szélsőséges esetben a termelés egy kevésbé szigorúan szabályozott országba helyeződhet át.

Így az európai kibocsátás csökkenne, de a globális kibocsátás nem feltétlenül.

Az ingyenes egységek kiosztása ezt a kockázatot próbálja mérsékelni.

A rendszer azonban érdekkonfliktusokat is teremt.

Ha egy vállalat túl sok ingyenes egységhez jut, a kvóták piaci értéke számára gazdasági előnnyé válhat.

A korábban ingyenesen kiosztott egységeket ráadásul a vállalatok értékesíthetik, ha a kibocsátásuk a rendelkezésükre álló mennyiségnél kisebb.

Ez önmagában nem szabálytalanság, hanem a rendszer működésének része.

A kérdés inkább az, hogy az ingyenes kiosztás feltételei megfelelően ösztönöznek-e a technológiai korszerűsítésre, vagy egyes vállalatok számára tartós előnyt biztosítanak.

A CBAM bevezetésével párhuzamosan az érintett iparágak ingyenes kvótáinak fokozatos csökkentése 2026-ban megkezdődött.

A környezetvédelem így a szabályozók és a vállalatok közötti folyamatos gazdasági alkufolyamattá is válik.

A kötelező karbonpiac és az önkéntes karbonpiac nem ugyanaz

A környezetvédelmi közbeszédben gyakran összekeverik a kibocsátási kvótákat és a karbonkrediteket.

Pedig a kettő alapvetően különbözik.

Az EU ETS-ben a kibocsátási egység egy szabályozott rendszer keretében meghatározott kibocsátás elszámolására szolgál.

Az önkéntes karbonpiacon ezzel szemben a vállalatok olyan krediteket vásárolhatnak, amelyek mögött elvileg valamely üvegházhatású gáz kibocsátásának elkerülése, csökkentése vagy a légkörből történő eltávolítása áll.

Ilyen projekt lehet például egy metánkibocsátást mérséklő beruházás, egy tőzegláp helyreállítása vagy bizonyos feltételek mellett egy erdővédelmi program.







220. ábra: Az önkéntes karbonpiac projektjei nagyon különbözők lehetnek: erdőtelepítés, tőzegláp-helyreállítás vagy metánkibocsátás mérséklése. A valódi éghajlati eredményt projektenként kell ellenőrizni.

Tegyük fel, hogy egy vállalat évente százezer tonna szén-dioxidot bocsát ki.

A vállalat úgy dönt, hogy saját kibocsátásának csökkentése mellett százezer tonnányi karbonkreditet vásárol.

Ez azonban önmagában nem jelenti azt, hogy a vállalat működéséből származó kibocsátás fizikailag megszűnt.

A szén-dioxid továbbra is a légkörbe került.

A megvásárolt kreditek elvileg másutt megvalósuló kibocsátáscsökkentést vagy szén-dioxid-eltávolítást képviselnek.

A két tevékenység ezért csak megfelelő feltételek teljesülése mellett értelmezhető együtt.

Különösen fontos a különbség a kibocsátás elkerülése és a légkörből történő szén-dioxid-eltávolítás között.

Ha egy beruházással megakadályozzuk, hogy egy erőmű több szenet égessen el, az kibocsátáscsökkentés.

Ha viszont a már légkörben lévő szén-dioxidot eltávolítjuk és tartósan tároljuk, az más típusú éghajlati eredmény.

A két megoldás számviteli és fizikai szempontból nem azonos.

A fa, amelyet kétszer adtak el

Az önkéntes karbonpiac egyik legnehezebb kérdése a projektek tényleges környezeti teljesítményének igazolása.

Képzeljünk el egy erdőt, amelyet egy karbonkredit-program keretében kívánnak megvédeni a kivágástól.

A program szervezői megbecsülik, hogy támogatás nélkül az erdő bizonyos része elpusztulna.

Ezután a megőrzött szénkészlet alapján krediteket értékesítenek.

De hogyan bizonyítható, hogy az erdőt a támogatás nélkül valóban kivágták volna?

Mi történik, ha a fakitermelés eleve nem lett volna gazdaságos?

Vagy ha a kivágás csak áthelyeződik egy szomszédos területre?

Ezek a kérdések a karbonpiaci elszámolás legfontosabb problémái közé tartoznak.

Az egyik az addicionalitás: a projektnek olyan kibocsátáscsökkentést kell eredményeznie, amely a karbonfinanszírozás nélkül nem következett volna be.

A másik a tartósság: a megkötött szén ne jusson rövid időn belül ismét a légkörbe.

Egy harmadik probléma a kettős elszámolás, amikor ugyanazt az éghajlati eredményt több szereplő is saját teljesítményeként kívánja feltüntetni.

Az önkéntes karbonpiac minőségének javítására létrehozott Integrity Council for the Voluntary Carbon Market tíz alapelvet dolgozott ki, amelyek között az addicionalitás, a tartósság, a megbízható számszerűsítés és a kettős elszámolás kizárása is szerepel.

A karbonkredit tehát csak akkor értékes környezetvédelmi eszköz, ha mögötte valódi, ellenőrizhető eredmény áll.

Az ellenőrizhetőség hiányában könnyen előfordulhat, hogy nem a szén-dioxid-kibocsátás csökken, hanem csupán a vállalat környezeti mérlegének papíron kimutatott értéke.

Támogatások és zöldiparágak: a környezetvédelem új gazdasága

A zöld átállás nemcsak a meglévő iparágakat alakítja át, hanem új üzleti lehetőségeket is teremt.

Az akkumulátorgyártás, a napelemes és szélenergiás beruházások, a hőszivattyúk, az energiatárolás, az elektromos hálózatok korszerűsítése és a környezeti mérési szolgáltatások mind növekvő gazdasági jelentőségű területek.

Az energiahatékonysági vállalkozások például épületeket korszerűsítenek, ipari hulladékhőt hasznosítanak vagy automatizált szabályozási rendszereket telepítenek.

A környezeti tanácsadó cégek kibocsátási mérlegeket készítenek, életciklus-elemzéseket végeznek és fenntarthatósági jelentéseket állítanak össze.

A pénzügyi vállalkozások pedig zöldkötvényeket, fenntarthatósági befektetési alapokat és más környezetvédelmi célú pénzügyi termékeket kínálnak.







221. ábra: A környezetvédelem új iparágakat és munkahelyeket teremthet: hőszivattyúk, energiatárolók, szélturbinák és elektromos közlekedési rendszerek gyártása.

A fejlődésnek kézzelfogható előnyei vannak.

A nagyobb gyártási volumen hozzájárulhat a technológiák költségeinek csökkenéséhez. Az ipari verseny felgyorsíthatja a fejlesztéseket, és korábban drága megoldások válhatnak szélesebb körben hozzáférhetővé.

Az új iparágak azonban nem mentesek a hagyományos gazdaság problémáitól.

Versenyeznek az állami támogatásokért, nyersanyagokat használnak fel, területeket foglalnak el, és maguk is környezeti terheléssel járhatnak.

Egy akkumulátorgyár például hozzájárulhat az elektromos közlekedés terjedéséhez, miközben jelentős víz-, energia- és nyersanyagigénye lehet.

A kérdés tehát nem az, hogy az adott vállalat a zöldgazdasághoz tartozik-e.

Hanem az, hogy működése teljes életciklusa során milyen környezeti és társadalmi eredménnyel jár.

Amikor a támogatás maga válik üzleti céllá

Az állami támogatások gazdasági szerepe kettős.

Egyfelől segíthetnek elindítani olyan technológiákat, amelyek hosszabb távon társadalmilag hasznosak, de a kezdeti fejlesztési költségek miatt piaci alapon nehezen valósulnának meg.

Másfelől torzíthatják a versenyt, és ösztönözhetik a vállalatokat arra, hogy elsősorban a támogatási feltételek teljesítésére összpontosítsanak.

Előfordulhat, hogy egy beruházás azért valósul meg, mert jelentős állami forráshoz juthat, nem pedig azért, mert önmagában is a legjobb környezetvédelmi megoldás.

A támogatásoknak ezért célszerű tényleges teljesítményfeltételeket szabni.

Nem elég meghatározni, hány új létesítmény épüljön vagy mekkora összegű beruházás valósuljon meg.

Azt is mérni kellene, hogy mennyi energia takarítható meg, mekkora kibocsátáscsökkentés érhető el, milyen környezeti terhelés keletkezik, és szükséges-e további támogatás a működés fenntartásához.

A támogatott projektek utólagos ellenőrzése ezért ugyanolyan fontos, mint a pályázatok előzetes értékelése.

Ha csak az elköltött összegeket tekintjük eredménynek, a környezetvédelem könnyen a támogatások szétosztásának iparágává válhat.

Greenwashing: amikor a reklám zöldebb a valóságnál

A környezetvédelem üzleti jelentőségének növekedésével egy újfajta verseny is kialakult.

A vállalatok nemcsak abban versenyeznek, hogy termékeik mennyire környezetkímélők, hanem abban is, hogy mennyire sikerül magukat annak bemutatniuk.

A zöld szín, a falevél, az erdő, a tiszta víz és a természetközeli képek a reklámok visszatérő elemeivé váltak.

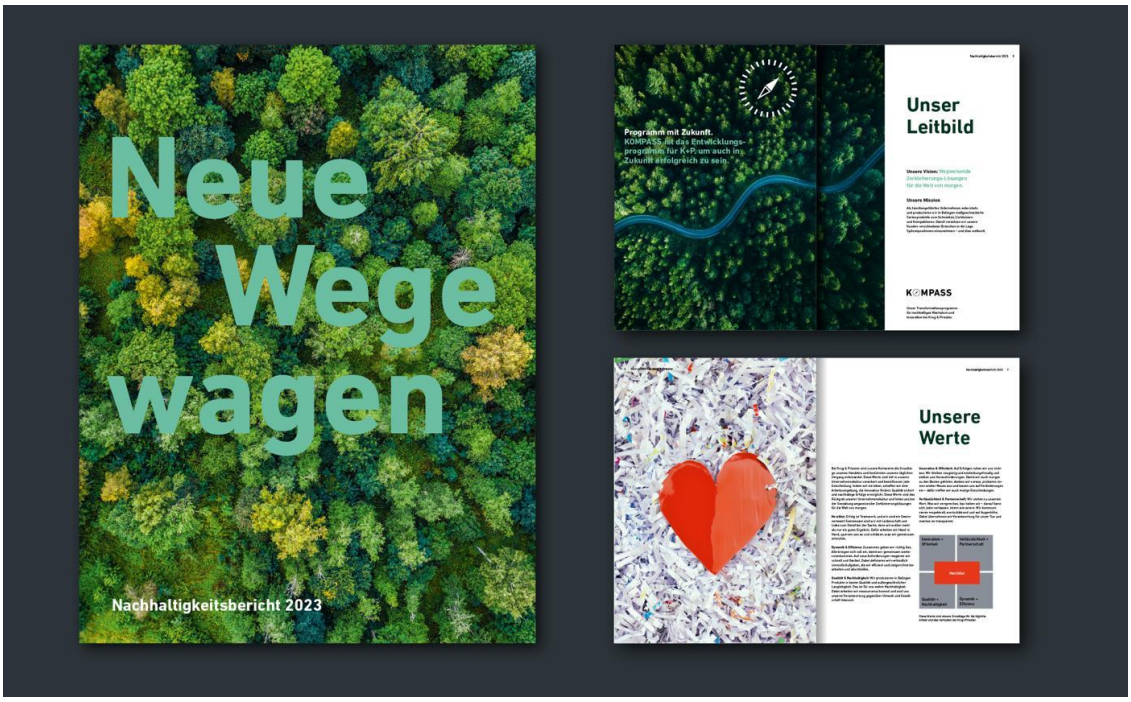
Egy terméket környezetbarátnak nevezni piaci előnyt jelenthet.

De a környezetbarátság nem egyszerűen dizájnelem.

A greenwashing, magyarul zöldre festés vagy zöldrefestés, olyan kommunikációs gyakorlat, amely a vállalat vagy a termék környezeti teljesítményéről a valóságosnál kedvezőbb képet alakít ki.

Ez történhet valótlan állításokkal, lényeges információk elhallgatásával, megtévesztő összehasonlításokkal vagy nehezen ellenőrizhető általános kijelentésekkel.


PLASTIC FREE
PLASTIC FREE
DINNER
OOK ALLE INGREDIËNTEN VOOR EEN GOEDE MAALTIJD ZIJN VERKRIJGBAAR IN DIT BIOMATERIAAL.


Neue Wege wagen
Nachhaltigkeitsbericht 2023
Programm mit Zukunft.
KOMPASS, für das Entwicklungsprogramm für K+P, um auch in Zukunft erfolgreich zu sein.
Unser Leitbild
KOMPASS
Unsere Werte



222. ábra: A fenntarthatóság vizuális jelképei gyakran megjelennek a termékek csomagolásán és a vállalatok kommunikációjában. A zöld szín vagy egy természetfotó önmagában semmit nem bizonyít a termék környezeti teljesítményéről.

Az Európai Bizottság korábbi felmérései szerint az uniós piacon vizsgált környezeti állítások 53 százaléka homályos, félrevezető vagy megalapozatlan információt tartalmazott, 40 százalékuk esetében pedig nem állt rendelkezésre megfelelő alátámasztás. Ezek egy vizsgált állításhalmazra vonatkozó megállapítások, nem azt jelentik, hogy az összes környezetvédelmi termék fele csalás.

A greenwashing különösen akkor lehet hatékony, ha a fogyasztó nem rendelkezik megfelelő információval a termék teljes életciklusáról.

Egy ruhadarab újrahasznosított alapanyagból készülhet, miközben gyártása jelentős vízfelhasználással és vegyszerterheléssel jár.

Egy kozmetikum tartalmazhat természetes összetevőket, miközben csomagolása nehezen újrahasznosítható.

Egy vállalat működtethet néhány látványos megújulóenergia-projektet, miközben teljes energiafelhasználásának jelentős része továbbra is fosszilis forrásokhoz kapcsolódik.

Ezek a tények önmagukban nem feltétlenül teszik megtévesztővé a kommunikációt.

A probléma akkor keletkezik, ha egy részleges eredmény alapján a vállalat egész tevékenységéről indokolatlanul kedvező képet sugall.

A zöldre festés leggyakoribb módszerei

Az egyik módszer a homályos állítás.

A vállalat kijelenti, hogy terméke „zöld”, „természetbarát” vagy „fenntartható”, de nem határozza meg, milyen mérőszám alapján jutott erre a következtetésre.

A másik a szelektív adatközlés.

Kiemelnek egy kedvező tulajdonságot, például az újrahasznosított csomagolást, miközben a termék teljes környezeti hatását nem mutatják be.

Gyakori a távoli jövőre vonatkozó vállalás is.

Egy cég azt ígéri, hogy 2040-re vagy 2050-re klímasemlegessé válik, de nem mutat be részletes, ellenőrizhető köztes célokat.

A negyedik módszer a kompenzáció túlértékelése.

A vállalat karbonkrediteket vásárol, majd úgy kommunikál, mintha a saját működéséből származó kibocsátás fizikailag megszűnt volna.

Az ötödik a félrevezető összehasonlítás.

Egy új terméket a korábbinál húsz százalékkal környezetkímélőbbnek neveznek, de nem derül ki, hogy pontosan melyik mutató javult, és milyen kiinduló értékhez képest.

A greenwashing azért különösen káros, mert a valóban környezetkímélőbb termékeket előállító vállalatok versenyhelyzetét is ronthatja.

Ha mindenki szabadon zöldnek nevezheti magát, a fogyasztó nehezebben tud különbséget tenni a valódi teljesítmény és a reklám között.

A hosszú távú következmény a bizalom elvesztése lehet.

A KLM esete: lehet-e felelősen repülni?

A greenwashing egyik legismertebb európai ügye a holland KLM reklámkampányaihoz kapcsolódik.

A légitársaság több kommunikációs anyagában a repülés környezeti hatásainak mérséklését hangsúlyozta.

A Fly Responsibly kampány a felelősebb repülés gondolatát állította középpontba, és a vállalat különböző kibocsátáscsökkentési, fenntartható repülőüzemanyagokkal kapcsolatos, valamint karbonkompenzációs kezdeményezéseket mutatott be.





223. ábra: A KLM környezetvédelmi kommunikációjában megjelent a felelős repülés, a kibocsátáscsökkentés és a karbonkompenzáció gondolata. A bírósági vita nem a légitársaság valamennyi környezetvédelmi intézkedésének létét, hanem a reklámok összhatását és megalapozottságát érintette.

A kampányokat környezetvédelmi szervezetek kifogásolták, mert szerintük a reklámok azt a benyomást kelthették, hogy a repülés a megjelölt intézkedésekkel környezeti szempontból lényegében fenntarthatóvá válhat.

A vita bíróság elé került.

Az amszterdami bíróság 2024. március 20-án kihirdetett ítéletében a KLM 19 vizsgált reklámállítása közül 15-öt megtévesztőnek és jogellenesnek minősített.

A bíróság szerint egyes reklámok túlságosan általános környezetvédelmi állításokat alkalmaztak, mások pedig túl kedvező képet sugalltak arról, milyen mértékben képesek a fenntartható repülőüzemanyagok vagy a természetalapú kompenzációs programok ellensúlyozni a repülés éghajlati hatásait.

KLM – holland bírósági ítélet, 2024

15 / 19

Ennyi vizsgált reklámállítást talált a bíróság megtévesztőnek és jogellenesnek.

Forrás: Amszterdami Kerületi Bíróság, 2024. március 20., ECLI:NL:RBAMS:2024:1512.

Az ítélet több szempontból is fontos.

A bíróság nem tiltotta meg a KLM számára a repülőjegyek reklámozását.

Azt sem követelte meg, hogy a légitársaság minden reklámban figyelmeztesse a fogyasztókat a repülés jelenlegi fenntarthatatlanságára.

A KLM korábbi, kifogásolt reklámjait már nem használta, ezért az ítélet nem kötelezte azok külön helyreigazítására sem.

A bíróság lényegi megállapítása az volt, hogy ha a vállalat a környezetvédelmi ambícióiról beszél, akkor konkrétan, megfelelően alátámasztva és a valós eredményeket nem eltúlozva kell tájékoztatnia a fogyasztókat.

A fenntartható repülőüzemanyag valóban megoldás?

A KLM ügyének értékelésénél fontos megkülönböztetni a reklám megtévesztő jellegét és a környezetvédelmi technológia tényleges hasznosságát.

A fenntartható repülőüzemanyagok, a SAF-üzemanyagok megfelelő alapanyagból és technológiával előállítva csökkenthetik a repülés életciklusra vetített üvegházhatásúgáz-kibocsátását.

De nem minden SAF azonos környezeti teljesítményű.

A kibocsátáscsökkentés függ az alapanyagtól, a gyártási energiaforrásoktól, a földhasználati hatásoktól és a teljes ellátási lánctól.

Ráadásul a repülőgépből ezek elégetésekor is keletkezik szén-dioxid, és a magaslégköri kibocsátások, valamint a kondenzcsíkok éghajlati hatása sem tűnik el automatikusan.

A repülőüzemanyagok technológiai fejlesztése tehát valós környezetvédelmi feladat.

A megtévesztés ott kezdődhet, amikor egy korlátozott mértékű javulást a teljes tevékenység fenntarthatóságaként tüntetnek fel.



224. ábra: A fenntartható repülőüzemanyagok csökkenthetik az életciklusra vetített kibocsátást, de nem szüntetik meg automatikusan a repülés valamennyi éghajlati hatását.

A KLM ügyének tanulsága ezért nem az, hogy a légiközlekedés környezetvédelmi fejlesztései értelmetlenek.

Sokkal inkább az, hogy a vállalatnak világosan különbséget kell tennie a már elért eredmények, a folyamatban lévő fejlesztések és a jövőbeli remények között.

A környezetvédelmi kommunikáció nem válhat a valóságos teljesítmény helyettesítőjévé.

A DWS esete: amikor a befektetés kap zöld címkét

A greenwashing nemcsak a fogyasztói termékek reklámjában jelent meg, hanem a pénzügyi világban is.

A pénzügyi piacokon az utóbbi években jelentős érdeklődés alakult ki az ESG-befektetések iránt.

Az ESG a környezeti (Environmental), társadalmi (Social) és vállalatirányítási (Governance) szempontok rövidítése.

A befektetési alapok egy része azt ígéri, hogy a hagyományos pénzügyi mutatók mellett ezeket a szempontokat is figyelembe veszi.

Ez nem feltétlenül jelenti azt, hogy kizárólag alacsony környezeti terhelésű vállalatokba fektet.

Egy ESG-alap például értékelheti a vállalatok környezeti kockázatkezelését, munkavállalói gyakorlatát vagy vállalatirányítását, de a módszer súlyozása alaponként eltérhet.

Ez a rugalmasság hasznos lehet, ugyanakkor komoly átláthatósági problémát is teremthet.

A befektető ugyanis nem feltétlenül tudja pontosan, mit jelent a gyakorlatban egy alap ESG-minősítése.





225. ábra: A DWS frankfurti központja, a fenntarthatósági állítások ellen tiltakozó aktivisták és az ESG-befektetések világa. Az ügy középpontjában az állt, hogy a befektetőknek ígért módszertan és a tényleges gyakorlat összhangban volt-e.

A DWS Group a Deutsche Bank vagyonkezelő vállalata.

A DWS ellen 2021-ben indultak jelentős nyilvánosságot kapó vizsgálatok az ESG-befektetésekre vonatkozó állítások miatt.

Az amerikai Értékpapír- és Tőzsdefelügyelet, a SEC 2023. szeptember 25-én közölte, hogy a DWS amerikai vagyonkezelő leányvállalata félrevezető állításokat tett az ESG-szempontok befektetési döntésekbe történő beépítéséről.

A SEC szerint a vállalat bizonyos időszakokban nem megfelelően alkalmazta a nyilvánosan ismertetett saját ESG-eljárásait.

Az eljárás lezárásaként az amerikai leányvállalat 19 millió dolláros bírságot fogadott el az ESG-állításokkal kapcsolatos ügyben, a hatóság megállapításainak elismerése vagy tagadása nélkül.

Ugyanabban a közleményben egy különálló, pénzmosás-megelőzési hiányosságokról szóló eljárásban további 6 millió dolláros bírság szerepelt. A gyakran említett 25 millió dollár tehát a két külön ügy összege, nem kizárólag az ESG-ügyé.

A történet azonban ezzel nem ért véget.

A frankfurti ügyészség hosszabb vizsgálat után 2025 áprilisában 25 millió eurós bírságot szabott ki a DWS-re a fenntarthatósági állításokkal kapcsolatos szabálytalanságok miatt.

A német hatóság gondatlanságból elkövetett szabályszegést állapított meg.

A DWS elfogadta a bírságot, és saját közleményében elismerte, hogy korábbi ESG-dokumentációs, ellenőrzési és marketingfolyamataiban hiányosságok voltak. A vállalat szerint a szükséges belső folyamatok javítását már megkezdte.

A DWS dokumentált hatósági ügyei

USA, 2023 · ESG-ügy

19 millió $

SEC-bírság

Németország, 2025

25 millió €

Frankfurti ügyészségi bírság

Két különböző joghatóság eljárása. Az amerikai 6 millió dolláros, külön pénzmosás-megelőzési bírság nincs az ábrában. Forrás: SEC, 2023; DWS és frankfurti ügyészségi közlések, 2025.

Miért különösen fontos a DWS története?

A pénzügyi intézmények esetében a greenwashing következménye túlmutathat egyetlen termék félrevezető reklámozásán.

A befektetők ugyanis a környezeti minősítések alapján dönthetnek arról, melyik vállalatnak vagy iparágnak biztosítanak tőkét.

Ha egy befektetési alap fenntarthatósági teljesítménye eltér attól, amit a kommunikáció sugall, a befektetők pénze nem feltétlenül az általuk elképzelt célokat szolgálja.

Ráadásul a zöld befektetési termékek piacán a fenntarthatóság maga is értékesítési tulajdonsággá vált.

A vállalatok számára ezért közvetlen üzleti előnyt jelenthet, ha termékeiket környezetileg és társadalmilag felelős befektetésként mutatják be.

A DWS ügye azt mutatta meg, hogy az ESG-módszertan nem maradhat pusztán általános vállalati ígéret.

Ha egy pénzügyi intézmény meghatározott ellenőrzési és befektetési eljárásokat hirdet, azok tényleges alkalmazását dokumentálni és ellenőrizni kell.

Fontos azonban a különbség a módszertan hibás alkalmazása és a befektetési portfólió valamennyi eszközének környezeti megítélése között.

A hatósági megállapításokból nem következik, hogy a DWS összes befektetése környezeti szempontból káros, vagy hogy minden ESG-alap megtévesztő.

A dokumentált probléma a nyilvános állítások, az ígért eljárások és a ténylegesen megvalósult ellenőrzések közötti eltérés volt.

Ez éppen elég súlyos kérdés egy olyan ágazatban, amelynek működése nagymértékben a befektetői bizalomra épül.

Miért nem elég egy zöld befektetési alapnak zöld vállalatokat vásárolnia?

A zöld pénzügyek mögött egy másik, mélyebb probléma is meghúzódik.

Ha egy befektető megvásárolja egy már működő, viszonylag alacsony kibocsátású vállalat részvényeit a tőzsdén, attól önmagában nem feltétlenül keletkezik új környezetvédelmi beruházás.

A befektető gyakran egy másik részvénytulajdonostól vásárolja meg az értékpapírt.

A tranzakció a vállalat tulajdonosi szerkezetét változtatja meg, de nem feltétlenül növeli közvetlenül a tiszta technológiákra fordított forrásokat.

Ez nem jelenti azt, hogy a zöld befektetéseknek nincs jelentőségük.

A növekvő befektetői kereslet javíthatja bizonyos vállalatok finanszírozási feltételeit, csökkentheti a tőkeköltséget, és ösztönözheti a vállalatirányítás változását.

De ez közvetett hatás.

Egy új, kifejezetten környezetvédelmi beruházást finanszírozó kötvény vagy tőkeemelés más módon kapcsolódik a tényleges környezeti eredményhez, mint egy már kibocsátott részvény megvásárlása.







226. ábra: A zöld befektetések környezeti hatása nem automatikus. Különbség van a meglévő értékpapírok kereskedése, az új beruházások finanszírozása és a vállalatok működésének tényleges átalakítása között.

A befektető számára ezért legalább két külön kérdés merül fel.

Az egyik, hogy a befektetési alap portfóliója milyen környezeti tulajdonságokkal rendelkezik.

A másik, hogy maga a befektetési tevékenység milyen további, igazolható környezeti eredményt segít elő.

A kettő nem azonos.

Egy már eleve alacsony kibocsátású vállalat részvényének megvásárlása nem ugyanaz, mint egy energiaintenzív ipari létesítmény tényleges technológiai korszerűsítésének finanszírozása.

A környezetvédelmi eredményt ezért nem lehet kizárólag abból megállapítani, hogy egy pénzügyi termék milyen címkét visel.

Mit ér a zöld minősítés?

A környezeti jelölések eredeti célja az volt, hogy segítsék a fogyasztókat és a befektetőket.

Egy megbízható minősítés csökkentheti az információhiányt, és egyszerűbbé teheti a választást.

A probléma akkor kezdődik, amikor a különböző jelölések és tanúsítványok áttekinthetetlenné válnak.

Az Európai Bizottság összesítése szerint az uniós piacon több száz, eltérő módszertanú fenntarthatósági címke és környezeti jelölés létezik.

Ezek között vannak megbízható, független ellenőrzésre épülő rendszerek, de olyanok is, amelyeknél az ellenőrzés gyenge vagy nehezen áttekinthető.

A helyzet emlékeztethet a pénzügyi termékek minősítésére.

Ha egy címke piaci előnyt jelent, kialakul a kereslet a címke megszerzése iránt.

Megjelennek azok a vállalkozások is, amelyek tanácsadással, auditálással és minősítéssel segítik a cégeket.

Ezzel önmagában nincs probléma.

A független vizsgálat valóban növelheti az átláthatóságot.

De kérdés, hogy az ellenőrzést végző szervezet mennyire független attól a vállalattól, amely a szolgáltatásért fizet.

Ha a tanúsító gazdaságilag erősen függ az általa minősített szereplőktől, érdekkonfliktus keletkezhet.

Ez nem bizonyít automatikus szabálytalanságot, de indokolttá teszi a minősítési szabályok, az akkreditáció és a felügyelet megerősítését.

Az Európai Unió szigorítani kezdett

Az Európai Unió 2024-ben fogadta el a fogyasztók zöld átállásban való szerepvállalását erősítő 2024/825 irányelvet.

Az új szabályok célja többek között a bizonyítatlan, általános környezetvédelmi állítások és a megbízhatatlan fenntarthatósági címkék visszaszorítása.

Az irányelv alkalmazási időpontja 2026. szeptember 27., a tagállami átültetés határideje pedig 2026. március 27. volt.

A szabályozás fontos eleme, hogy a fogyasztók ne pusztán általános környezetvédelmi jelzőkkel találkozzanak, hanem igazolható, konkrét információkkal.

Ezzel párhuzamosan külön uniós jogalkotási folyamat foglalkozik a környezeti állítások részletes alátámasztásával. A Green Claims Directive néven ismert kezdeményezés helyzetét azonban meg kell különböztetni a már elfogadott 2024/825 irányelvtől: az Európai Bizottság által közzétett állapot szerint a külön irányelvjavaslat még nem elfogadott jogszabály.

A szabályozás így egyre nagyobb hangsúlyt helyez az ellenőrizhetőségre.

De önmagában a jogszabály sem oldhat meg minden problémát.

A környezeti adatok gyűjtése, értékelése és ellenőrzése költségekkel jár. A kisebb vállalkozások számára ezek aránytalan adminisztratív terhet is jelenthetnek.

A cél ezért nem lehet a minél több jelentés és tanúsítvány előállítása.

A lényeg az, hogy a rendelkezésre álló adatok valóban segítsék a környezeti teljesítmény megítélését.

Amikor a környezetvédelem érdekrendszerré válik

A zöldgazdaság fejlődése új szereplőket és új érdekeket hoz létre.

A hagyományos energetikai vállalatok mellett megjelennek a megújulóenergia-fejlesztők, az akkumulátorgyártók, a környezetvédelmi tanácsadók, a karbonpiaci közvetítők és a fenntartható pénzügyi szolgáltatók.

Mindegyik szereplőnek gazdasági érdekei vannak.

Ez természetes.

Egy szélenergia-fejlesztő vállalat abban érdekelt, hogy minél több szélerőmű épüljön.

Egy akkumulátorgyártó a villamosenergia-tárolási piac növekedésében érdekelt.

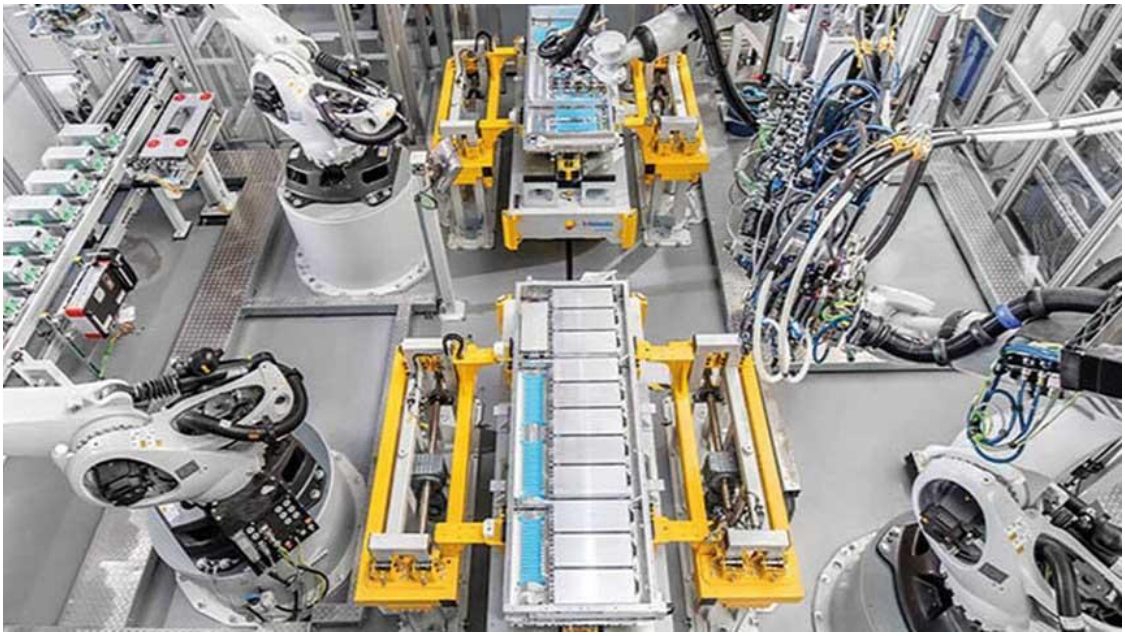
Egy kibocsátáskereskedelmi szolgáltató a karbonpiac megfelelő működéséből és a kereskedési tevékenységből szerezhet bevételt.

Egy környezeti tanácsadó cégnek pedig a vállalatok mérési, jelentési és megfelelési kötelezettségei teremtenek keresletet.

Az érdekek önmagukban nem teszik károssá ezeket a tevékenységeket.

A piac éppen azáltal segítheti a környezetvédelmet, hogy gazdasági előnyt teremt a tisztább technológiák számára.

A probléma ott jelentkezik, ha a szabályozási vagy támogatási rendszer a tényleges környezeti eredmény helyett bizonyos termékek, technológiák vagy szolgáltatások értékesítését jutalmazza.







227. ábra: A zöldgazdaság nem egyetlen iparág. A tiszta energiától a javítható termékeken át a szennyvízkezelésig sokféle technológia járulhat hozzá a környezeti terhelés mérsékléséhez.

A környezetvédelmi szabályozás minősége ezért alapvető gazdasági kérdés is.

Ha egy támogatás kizárólag meghatározott technológia alkalmazásához kötődik, a vállalatok érdekeltek lesznek annak használatában.

Ha viszont a támogatás ellenőrizhető teljesítményhez kapcsolódik, a piaci szereplők többféle megoldással is versenyezhetnek ugyanazon környezetvédelmi cél eléréséért.

Egy kibocsátáscsökkentési program esetében például célszerű lehet azt mérni, hány tonna kibocsátást sikerült valóban elkerülni.

Egy vízgazdálkodási beruházásnál a vízkészletek állapota, az elkerült károk és az ökológiai következmények lehetnek fontosak.

Egy természetvédelmi programnál pedig nem elegendő a telepített fák darabszáma: azt is vizsgálni kell, hogy a növényzet tartósan fennmarad-e, és javul-e a terület ökológiai állapota.

A környezetvédelem eredményességének mérését ezért nem szabad teljesen azoknak a vállalkozásoknak átengedni, amelyek gazdaságilag érdekeltek egy adott eredmény kimutatásában.

Szükség van átlátható módszerekre, független ellenőrzésre és nyilvánosan hozzáférhető adatokra.

A zöld gazdaság valóban lehet jó üzlet

A greenwashing dokumentált ügyei könnyen azt a benyomást kelthetik, hogy a környezetvédelem gazdasági eszközei eleve gyanúsak.

Ez azonban téves következtetés lenne.

A tisztább technológiák fejlesztése, az energiatakarékosság, a hulladékhasznosítás és a szennyezések megelőzése valós gazdasági értéket teremthet.

Egy ipari üzem hulladékhőjének hasznosítása mérsékelheti az energiafelhasználást.

Egy földgázvezeték szivárgásának megszüntetése csökkentheti a metánkibocsátást, miközben értékesíthető gázt takarít meg.

Egy víztakarékos technológia kisebb költséggel és alacsonyabb környezeti terheléssel működhet.

A gazdasági érdek tehát nem feltétlenül a környezetvédelem ellenfele.

Sok esetben éppen a megfelelő ösztönzők teszik lehetővé a környezetvédelmi technológiák gyors elterjedését.

A valódi kérdés az, hogy a vállalat nyeresége mennyire kapcsolódik a tényleges környezeti eredményhez.

Ha a kettő együtt növekszik, a piac a környezetvédelmi célokat is támogathatja.

Ha viszont a nyereség elsősorban a kedvező címkék, a bonyolult pénzügyi konstrukciók vagy a támogatási feltételek kihasználásából származik, a társadalmi haszon bizonytalanabbá válik.

A KLM és a DWS ügye éppen ezért fontos.

Mindkettőben olyan hatósági vagy bírósági megállapítás született, amely a nyilvános fenntarthatósági állítások és a ténylegesen igazolható eredmények, illetve eljárások közötti eltérésre világított rá.

A tanulság nem az, hogy a vállalatoknak hallgatniuk kellene környezetvédelmi törekvéseikről.

Ellenkezőleg.

A valóban elért eredmények részletes és ellenőrizhető bemutatása segítheti a piaci versenyt.

De a jövőbeli ígéret nem azonos a jelenlegi eredménnyel, a részleges javulás nem azonos a teljes fenntarthatósággal, és a karbonkredit nem változtatja meg utólag azt a tényt, hogy a kibocsátás fizikailag megtörtént.

Minden zöld, amit zöldre festenek?

A környezetvédelem gazdasági jelentősége a következő évtizedekben várhatóan továbbra is fontos tényező marad.

A vállalatoknak alkalmazkodniuk kell az új kibocsátási követelményekhez, a nyersanyagok változó elérhetőségéhez és a fogyasztók igényeihez.

A beruházók, bankok és biztosítók számára egyre fontosabb kérdés lehet a környezeti kockázatok értékelése.

A kormányok pedig a támogatásokkal, adókkal, kibocsátási korlátokkal és beruházási programokkal jelentős mértékben befolyásolják a gazdaság szerkezetét.

Mindez valódi lehetőséget teremt a környezet állapotának javítására.

De új visszaélésekre is alkalmat adhat.

Egy vállalat lehet gazdaságilag sikeres azért, mert kevesebb energiát és nyersanyagot használ fel.

De azért is, mert sikeresen értékesít egy jól hangzó környezetvédelmi ígéretet.

A két üzleti modell között alapvető különbség van.

A környezetvédelem valódi teljesítményét ezért nem a reklámok zöld színe, nem a támogatások nagysága, és nem a fenntarthatósági jelentések terjedelme alapján kell megítélni.

A lényeg a tényleges eredmény.

Csökkent-e a kibocsátás?

Kevesebb nyersanyag fogyott?

Javult-e a levegő és a víz minősége?

Megőrződtek-e a természeti élőhelyek?

És ami különösen fontos: a gazdasági előnyök mellett ki viseli a fennmaradó környezeti terheket?

A környezetvédelem akkor válik valóban értékes üzletté, ha a vállalatok nem pusztán a zöldség látszatából, hanem a környezet állapotának tényleges javításából szereznek jövedelmet.

A könyv címében feltett kérdés itt új jelentést kap.

Ki fizeti az árát?

A szennyező, a fogyasztó, az adófizető vagy az a közösség, amely a környezeti károk következményeit elszenvedi?

És ki kapja a környezetvédelemre fordított pénzt?

A kettőre adott válasz együtt mutatja meg, hogy egy zöld gazdasági program valóban a közérdeket szolgálja-e.

A fejezet főbb szakmai forrásai

- Európai Bizottság – Az EU kibocsátáskereskedelmi rendszere. A kibocsátási korlátok és egységek működése.
- Európai Bizottság – A kibocsátási kvótákból származó bevételek. A 2024-es bevételek és felhasználásuk.
- ICVCM – Core Carbon Principles. Az önkéntes karbonpiac minőségi és ellenőrzési követelményei.
- Amszterdami Kerületi Bíróság – KLM-ítélet, 2024. március 20.. A 15 megtévesztő reklámállítás részletes jogi értékelése.
- SEC – DWS, 2023. szeptember 25.. Az amerikai ESG-eljárás és a külön pénzmosás-megelőzési ügy.
- DWS – Közlemény a német ESG-vizsgálat lezárásáról, 2025. A vállalat álláspontja és a megállapított hiányosságok elismerése.
- Európai Bizottság – Green Claims. A megtévesztő környezeti állítások vizsgálata és a szabályozási kezdeményezések.
- Európai Bizottság – A fogyasztók zöld átállását szolgáló új szabályok. A 2024/825 irányelv alapvető követelményei.

29. A politika időszámítása

Egy kormány négy-öt évre tervez. Egy erdő több évtized alatt nő fel. Egy atomerőmű vagy víztározó akár hatvan-nyolcvan évig működik. A légkörbe juttatott szén-dioxid egy része pedig évszázadokon át befolyásolhatja a Föld éghajlatát. A természet és a politika tehát egészen más időszámítás szerint működik. A politikusnak a következő választáson kell eredményt felmutatnia, miközben döntéseinek következményeit gyakran azok az emberek viselik majd, akik ma még meg sem születtek. Hogyan lehet hosszú távú környezetvédelmi politikát folytatni egy olyan világban, ahol néhány évente megváltozhatnak a kormányok, a gazdasági célok és a nemzetközi szövetségek?


United Nations
Climate Change
COP28UAE
DUBAI 2023





228. ábra: Négy különböző időtáv: a klímakonferenciák néhány napos tárgyalásai, a természeti katasztrófák azonnali következményei, az évtizedekre épülő energiainfrastruktúra és a hosszú idő alatt helyreálló ökoszisztémák.

A politikusnak négy éve van, a természetnek nincs határideje

A demokratikus politikai rendszer egyik legfontosabb sajátossága, hogy a választók rendszeresen értékelhetik a kormányok teljesítményét.

Ez alapvető előny. Lehetővé teszi a döntéshozók leváltását, a hibák korrigálását és a társadalmi elvárások változásának megjelenítését.

A rendszernek azonban van egy kevésbé kedvező tulajdonsága is.

A politikusok számára különösen fontosak azok az intézkedések, amelyek eredménye még a következő választás előtt érzékelhető.

Egy új út, egy kórházfelújítás, egy adócsökkentés vagy egy közvetlen lakossági támogatás gyorsan bemutatható.

Ezzel szemben egy vízgyűjtő terület helyreállításának, egy erdő szerkezetének átalakításának vagy az üvegházhatású gázok csökkentésének teljes előnye sokkal később jelentkezhet.

A költségek viszont többnyire azonnal felmerülnek.

Ha például egy kormány jelentős összeget fordít az árvízvédelmi rendszerek korszerűsítésére, könnyen előfordulhat, hogy a beruházás valódi értéke csak húsz év múlva válik nyilvánvalóvá, amikor sikerül elkerülni egy súlyos katasztrófát.

A beruházást elindító kormány addigra rég távozhatott.

A politikai hasznot esetleg már egy másik kormány aratja le.

Sőt, ha a katasztrófa elmarad, a választók egy része akár azt is gondolhatja, hogy a beruházás fölösleges volt.

Ez a megelőzés sajátos politikai hátránya: ha sikeres, akkor gyakran éppen az nem történik meg, amitől védeni akartuk magunkat.

A látványos beruházás és a láthatatlan megelőzés

A közpénzek felhasználásában ezért nem feltétlenül azok a projektek élveznek előnyt, amelyek a legnagyobb hosszú távú társadalmi hasznot hozzák.

Egy új létesítmény átadható, lefényképezhető és ünnepélyesen felavatható.

A talajerózió lassú mérséklése vagy a felszín alatti vízkészletek megőrzése jóval kevésbé látványos.







229. ábra: Az új beruházások gyakran azonnal láthatók. A megelőző környezetvédelmi intézkedések eredményét sokszor csak az évek múlásával, esetleg egy elmaradt katasztrófa révén lehet megítélni.

Ugyanez az ellentmondás figyelhető meg a közegészségügyben is.

Egy új kórházi épület látványos fejlesztés. Egy sikeres megelőzési program, amelynek következtében kevesebb ember betegszik meg, kevésbé feltűnő.

Pedig a két intézkedés hosszú távú társadalmi értéke nem feltétlenül áll arányban a láthatóságával.

A környezetpolitikában a probléma különösen súlyos, mert a természet egyes változásai visszafordíthatatlanok vagy csak nagyon hosszú idő alatt korrigálhatók.

Egy erdő tarvágás után újranőhet, de az eredeti ökoszisztéma teljes helyreállítása nem garantált.

Egy elszennyezett vízbázis megtisztítása hosszú évtizedeket igényelhet.

Egy kihalt faj pedig nem állítható vissza egy következő kormány beruházási programjával.

A politikai döntések ezért olyan folyamatokat indíthatnak el, amelyek jóval túlélik magukat a döntéshozókat.

A rövid távú haszon és a hosszú távú költség

A politika időbeli ellentmondását közgazdasági szempontból is érdemes megvizsgálni.

Sok környezetvédelmi intézkedés jelenlegi költségeket és jövőbeli hasznokat eredményez.

Egy széntüzelésű erőmű bezárása például rövid távon munkahelyeket érinthet, beruházási igényt teremthet, és megváltoztathatja a villamosenergia-termelés költségeit.

Az alacsonyabb kibocsátás előnyei azonban hosszabb idő alatt, részben globális szinten jelentkeznek.

Hasonlóan, egy túlhasznált vízkészlet kitermelésének korlátozása azonnali gazdasági veszteséget okozhat bizonyos felhasználóknak, miközben a cél a vízbázis hosszú távú megőrzése.

A politikai döntéshozó tehát gyakran nehéz helyzetbe kerül.

Ha ma korlátozza a fogyasztást vagy a termelést, az érintettek azonnal érzik a változást.

Ha viszont elhalasztja a beavatkozást, annak költségei esetleg csak később válnak nyilvánvalóvá.

A halogatás ezért politikailag vonzó lehet, még akkor is, ha hosszú távon drágább megoldáshoz vezet.

A korábbi fejezetben láthattuk, hogy a gazdasági értékelésekben alkalmazott diszkontráta nagymértékben befolyásolja a jövőbeli károk jelenértékét.

A politikában azonban létezik egy másik, kevésbé formális diszkontálás is.

A következő választás előtt jelentkező problémák nagyobb figyelmet kapnak, mint az évtizedekkel később bekövetkező következmények.

Ez természetesen nem minden politikusra vagy kormányra igaz azonos mértékben.

A hosszú távú intézmények, a társadalmi elvárások és a gazdasági érdekek mérsékelhetik a választási ciklusok hatását.

A feszültség azonban magából a politikai rendszer időbeli működéséből következik.

Amikor a beruházások hosszabb életűek, mint a kormányok

A környezetpolitika különösen fontos területe az infrastruktúra.

Az erőművek, villamos hálózatok, vasutak, közművek, víztározók és ipari létesítmények gyakran több évtizedre készülnek.

Egy ország energiarendszerét nem lehet négyévente teljesen átalakítani.

Egy új villamos hálózati vezeték megépítése éveket vehet igénybe.

Egy jelentős vasútfejlesztés tervezése, engedélyezése és megvalósítása több kormányzati cikluson is átnyúlhat.

A nagy ipari beruházások megtérülése pedig gyakran húsz-harminc évre vagy még hosszabb időre épül.







230. ábra: A villamos hálózatok, vasutak, erőművek és vízgazdálkodási létesítmények hosszú élettartamú beruházások. Gazdasági működésüket több kormányzati ciklus döntései befolyásolhatják.

A vállalatok ezért kiszámítható szabályozási környezetet igényelnek.

Ha egy ország egyik kormánya jelentős támogatást ígér egy új energetikai technológiának, a következő pedig megszünteti azt, a beruházók bizalma megrendülhet.

Ha egy iparág hosszú távú kibocsátási követelményekhez igazítja beruházásait, majd a követelmények néhány év múlva alapvetően megváltoznak, a korábbi beruházások gazdasági értéke is módosulhat.

A kiszámíthatatlanság önmagában is költség.

A vállalatok magasabb megtérülést várhatnak el, óvatosabban ruházhatnak be, vagy elhalaszthatják döntéseiket.

Ez a környezetpolitikában különösen kedvezőtlen lehet, hiszen a technológiai átállás jelentős tőkét igényel.

A szabályozásnak ezért egyszerre kell elegendően stabilnak és kellően rugalmasnak lennie.

A túl gyakori irányváltás bizonytalanságot okoz.

A teljesen változtathatatlan szabályozás viszont akadályozhatja az alkalmazkodást az új tudományos ismeretekhez és technológiai lehetőségekhez.

A jó intézményi megoldás nem az, hogy soha semmit nem módosítunk.

Hanem az, hogy a hosszú távú célok kiszámíthatók maradnak, miközben a megvalósítás eszközei indokolt esetben változhatnak.

Klímakonferenciák: a világ évente újratárgyalja a jövőjét

A nemzetközi klímapolitika történetében különleges szerepet játszanak az ENSZ éghajlatváltozási konferenciái, az úgynevezett COP-találkozók.

A COP a Conference of the Parties, vagyis a részes felek konferenciájának rövidítése.

Az 1992-ben elfogadott ENSZ Éghajlatváltozási Keretegyezménye hozta létre azt a nemzetközi jogi keretet, amelyben az országok együttműködhetnek az éghajlatváltozás kezelésében.

A konferenciákon kormányzati delegációk, nemzetközi szervezetek, tudományos intézmények, civil szereplők és különféle gazdasági érdekcsoportok képviselői vesznek részt.

A klímakonferenciák látványos események.

Államfők beszélnek, miniszterek tárgyalnak, új nyilatkozatokat fogadnak el, és a sajtó beszámol a történelmi jelentőségűnek nevezett megállapodásokról.


Paris, Fran
PRESIDENT
SECRET


United Nations
Climate Change
COP29
Baku
Azerbaijan
United Nations
Climate Change
COP29
Baku
Azerbaijan



231. ábra: A párizsi megállapodás 2015-ös elfogadása, a 2024-es bakui és a 2025-ös belémi klímakonferencia. Az évente ismétlődő tárgyalások lehetővé teszik az együttműködést, de a döntések végrehajtása jóval hosszabb folyamat.

A konferenciák azonban különleges intézményi ellentmondással működnek.

A tárgyalások néhány hétig tartanak, miközben az elfogadott célok gyakran 2030-ra, 2040-re vagy 2050-re vonatkoznak.

A politikai siker mércéje rövid távon az, sikerül-e megállapodást elfogadni.

A környezetvédelmi siker mércéje viszont az lenne, hogy a megállapodás következtében ténylegesen csökkennek-e a kibocsátások, javul-e a környezet állapota, és mérséklődnek-e a jövőbeli kockázatok.

A két eredmény között sok év telhet el.

Kiotó: amikor a nagy kibocsátó kívül marad

Az 1997-ben elfogadott Kiotói Jegyzőkönyv jelentős előrelépést jelentett, mert a részes fejlett országok egy részére jogilag kötelező kibocsátáscsökkentési vállalásokat határozott meg.

A megállapodás egyik legnagyobb problémája azonban a nemzetközi részvétel volt.

Az Egyesült Államok aláírta a jegyzőkönyvet, de soha nem ratifikálta.

George W. Bush elnök 2001-ben jelezte, hogy kormánya nem kíván csatlakozni a rendszerhez. Az amerikai érvelés egyik központi eleme az volt, hogy a megállapodás nem rótt

hasonló kötelező kibocsátáscsökkentési követelményeket minden jelentős fejlődő országbeli kibocsátóra, miközben az amerikai gazdaságnak költségeket okozott volna.

A vita rámutatott egy alapvető nehézségre.

Az éghajlatváltozás globális probléma, de a kibocsátáscsökkentés költségei országonként eltérnek.

Egy ország attól tarthat, hogy ha saját iparágaira szigorú követelményeket vezet be, miközben versenytársai ezt nem teszik meg, gazdasági hátrányba kerül.

Más országok viszont arra hivatkozhatnak, hogy történelmileg jóval kevesebb üvegházhatású gázt bocsátottak ki, és a gazdasági felzárkózásukhoz továbbra is energiára és ipari fejlődésre van szükségük.

Ez a fejlett és fejlődő országok közötti feszültség azóta is meghatározza a klímatárgyalásokat.

Párizs: a nagy kompromisszum

A 2015. december 12-én elfogadott Párizsi Klímamegállapodás új megközelítést vezetett be.

A megállapodás célja, hogy a globális átlaghőmérséklet növekedése jóval 2 °C alatt maradjon az iparosodás előtti szinthez képest, miközben az országok erőfeszítéseket tesznek az 1,5 °C-os korlátozás érdekében.

A korábbi rendszertől eltérően a párizsi megállapodás nem minden ország számára azonos módon meghatározott, nemzetközileg kiosztott kibocsátási kvótákra épül.

Az államok saját, nemzetileg meghatározott hozzájárulásokat, úgynevezett NDC-ket nyújtanak be.

Ezeket rendszeresen frissíteniük kell, és a későbbi vállalásoknak előrelépést kell jelenteniük.

Az egyezmény jogilag kötelező nemzetközi szerződés, de a nemzetileg vállalt konkrét kibocsátási cél teljesítésének elmaradása nem jár automatikusan pénzbírsággal vagy hagyományos szankcióval.

A rendszer politikai szempontból rendkívül érdekes.

Az országok széles körű részvételét az tette lehetővé, hogy jelentős mozgásteret kaptak saját céljaik meghatározásában.

Az alkalmazkodás a különböző nemzeti körülményekhez könnyebbé vált.

A kompromisszum ára viszont az, hogy az összes vállalás együtt sem feltétlenül elegendő a globális hőmérsékleti célok teljesítéséhez.

Ez a párizsi rendszer alapvető gyengesége és egyben működési logikája.

A nemzetközi megállapodás meghatározza a közös irányt, de a tényleges eredmény az egyes országok döntéseitől függ.

Miért éppen ötévente?

A párizsi megállapodás ötéves felülvizsgálati és vállalásfrissítési ciklusokra épül.

Ez kompromisszum a politikai és a környezeti időtáv között.

Az öt év elég hosszú ahhoz, hogy egyes beruházások és szabályozási változások megkezdődjenek, de elég rövid ahhoz is, hogy az új tudományos eredmények és gazdasági feltételek alapján módosítani lehessen a célokat.

A megállapodásnak van azonban egy fontos korlátja.

Egy állam öt év múlva ambiciózusabb célt jelenthet be, de az előző öt évben elmaradt kibocsátás csökkentést nem feltétlenül tudja utólag pótolni.

A szén-dioxid felhalmozódó hatása miatt a késlekedés nem semleges.

Ha egy ország tíz évvel később kezdi meg ugyanazt a kibocsátás csökkentést, időközben több szén-dioxid kerülhetett a légkörbe.

A későbbi azonos éves kibocsátási szint nem törli automatikusan a korábbi többletet.

Ezért a klímapolitikában a cél elérésének időpontja mellett az odavezető teljes kibocsátási pálya is számít.

A konferenciák eredményei és a valóság

A párizsi megállapodás után a COP-konferenciák egyre több területen próbáltak konkrét megoldásokat találni.

A 2023-as dubaji COP28 egyik fontos eredménye az volt, hogy a zárómegállapodás először fogalmazta meg a fosszilis energiahordozóktól történő igazságos, rendezett és méltányos átmenet szükségességét az energiarendszerekben.

Ez jelentős diplomáciai változás volt, bár nem jelentett jogilag kikényszeríthető, egységes nemzetközi határidőt a fosszilis energiahordozók használatának megszüntetésére.

A 2024-es bakui COP29 fő kérdése a klímafinanszírozás lett.

A résztvevők megállapodtak abban, hogy 2035-re évente legalább 300 milliárd dollárnyi támogatást és mozgósított finanszírozást kell biztosítani a fejlődő országok klímavédelmi tevékenységéhez, a fejlett országok vezető szerepével.

Ezzel párhuzamosan egy szélesebb, évi 1300 milliárd dolláros finanszírozási cél elérésére is felhívtak minden szereplőt.

A 2025-ös belémi COP30 az alkalmazkodási finanszírozás növelését és a végrehajtás felgyorsítását helyezte előtérbe.

A konferencia zárómegállapodása a fejlődő országok számára rendelkezésre álló alkalmazkodási finanszírozás 2035-ig történő megháromszorozását szorgalmazta.

A fosszilis energiahordozóktól való átmenet részletes, minden ország által elfogadott ütemtervéről azonban nem született megállapodás. A brazil konferenciaelnökség ezért külön folytatta az átmeneti ütemtervek előkészítését.





232. ábra: Dubai, Baku és Belém: három egymást követő klímakonferencia, három fontos politikai hangsúly. A fosszilis energiáról való átmenet, a klímafinanszírozás és a megállapodások végrehajtása egymással összefüggő feladatok.

A konferenciák eredményeit könnyű két szélsőséges módon értékelni.

Az egyik megközelítés szerint minden újabb megállapodás történelmi siker.

A másik szerint a konferenciák csupán drága és eredménytelen diplomáciai események.

A valóság ennél összetettebb.

A nemzetközi tárgyalások nélkül sokkal nehezebb lenne közös kibocsátási célokat, pénzügyi intézményeket, mérési szabályokat és elszámolási rendszereket kialakítani.

Ugyanakkor a konferenciákon elfogadott nyilatkozatok önmagukban nem csökkentik a kibocsátást.

Ahhoz nemzeti jogszabályokra, beruházásokra, technológiai változásokra és működő intézményekre van szükség.

A diplomáciai eredmény tehát szükséges lehet, de nem feltétlenül elegendő.

Az Egyesült Államok: klímapolitika egyik elnöktől a másikig

A politikai időtávok ütközésének egyik legszemléletesebb példája az Egyesült Államok klímapolitikája.

Az ország a világ egyik legnagyobb gazdasága, jelentős energiafogyasztója és történelmi szén-dioxid-kibocsátója.

Technológiai, pénzügyi és diplomáciai szerepe miatt az amerikai döntések jóval az országhatárokon túl is hatnak.

Az elmúlt három évtizedben azonban az amerikai szövetségi klímapolitika iránya többször jelentősen megváltozott.

Ez nem azt jelenti, hogy a különböző kormányok minden környezetvédelmi kérdésben teljesen ellentétesen gondolkodtak.

De a globális klíma megállapodásokhoz való viszony, a fosszilis energiahordozók szabályozása és az állami támogatások rendszere között alapvető különbségek alakultak ki.





233. ábra: Az amerikai klímapolitika egyszerre érinti a hagyományos energetikát, az új energiatechnológiákat, a szövetségi szabályozást és az állami beruházásokat.

Bill Clinton és George W. Bush: Kiotó kétféle megítélése

Bill Clinton kormányzása idején az Egyesült Államok 1998-ban aláírta a Kiotói Jegyzőkönyvet.

A Szenátus azonban nem ratifikálta a megállapodást.

Az amerikai politikában széles körű ellenállás mutatkozott az olyan nemzetközi kötelezettségekkel szemben, amelyek az amerikai iparnak jelentős költségeket okozhattak, miközben a fejlődő országokra nem ugyanazok az előírások vonatkoztak.

George W. Bush 2001-ben elutasította a jegyzőkönyvhöz történő csatlakozást.

Egyetlen kormányváltás tehát alapvetően megváltoztatta az Egyesült Államok részvételét a nemzetközi klímavédelmi rendszerben.

Barack Obama: visszatérés a nemzetközi együttműködéshez

Barack Obama kormányzása idején az Egyesült Államok ismét aktív szerepet vállalt a nemzetközi klímapolitikában.

Az amerikai diplomácia fontos szerepet játszott a 2015-ös párizsi megállapodás létrejöttében.

A kormányzat a szövetségi környezetvédelmi szabályozás erősítésével és a tisztább energetikai technológiák támogatásával is foglalkozott.

Az Obama-kormány 2009-ben a környezetvédelmi hatóság, az EPA révén olyan tudományos és jogi megállapítást fogadott el, amely az üvegházhatású gázok közegészségügyi és környezeti veszélyeire alapozta egyes későbbi szabályozások jogi lehetőségét.

Ez az úgynevezett Endangerment Finding különösen jelentős volt az autók és más közúti járművek kibocsátási szabályozása szempontjából.

Donald Trump első kormányzása: kilépés Párizsból

Donald Trump 2017. június 1-jén bejelentette, hogy az Egyesült Államok kilép a párizsi klímamegállapodásból.

A kilépés a szerződés előírásainak megfelelően 2020. november 4-én lépett hatályba.

A kormányzat érvelése szerint a megállapodás kedvezőtlen gazdasági terheket rótt volna az Egyesült Államokra, és méltánytalanul kezelte a különböző országok kötelezettségeit.

A döntés támogatói az amerikai ipar versenyképességét és az energiaköltségeket hangsúlyozták.

Bírálói szerint viszont a kilépés gyengítette a nemzetközi együttműködést és csökkentette az Egyesült Államok befolyását a klímavédelmi szabályok kialakításában.

Az eset jól mutatta, hogy egy hosszú távú nemzetközi megállapodásban való részvétel is függhet egy ország belpolitikai változásaitól.

Joe Biden: visszalépés és támogatási programok

Joe Biden 2021. január 20-án, hivatalba lépése napján intézkedett az Egyesült Államok visszatéréséről a párizsi megállapodásba.

A csatlakozás 2021. február 19-én lépett hatályba.

A Biden-kormányzat ezt követően jelentős hangsúlyt helyezett a tisztább energetikai technológiák támogatására és az ipar átalakítására.

A 2022-ben elfogadott Inflation Reduction Act jelentős adókedvezményeket és ösztönzőket vezetett be többek között a megújuló energia, az elektromos közlekedés és a tisztább ipari technológiák területén.

Ezek nemcsak klímavédelmi eszközök voltak, hanem iparpolitikai intézkedések is.

A támogatások célja az amerikai gyártókapacitások és új technológiai ágazatok fejlődésének ösztönzése is volt.

Ez különösen fontos.

A klímapolitika egyre inkább összekapcsolódott a gazdasági versennyel, a technológiai önállósággal és az ellátási láncok biztonságával.

Donald Trump második kormányzása: ismét irányváltás

Donald Trump 2025. január 20-án újra hivatalba lépett, és még aznap elrendelte az Egyesült Államok újabb kilépését a párizsi megállapodásból.

A kilépés a nemzetközi szerződés előírásai szerint 2026. január 27-én vált hatályossá.

A 2025-ben elfogadott szövetségi költségvetési és adótörvény több, a 2022-es törvényben létrehozott energetikai adókedvezményt megszüntetett vagy módosított.

Az amerikai Kongresszusi Költségvetési Hivatal 2026-os értékelése szerint a szél- és napenergia, valamint az elektromos járművek támogatásának visszavonása vagy csökkentése mérsékelheti az érintett beruházásokat.

A második Trump-kormányzat 2026. február 12-én az EPA révén visszavonta a 2009-es, üvegházhatású gázokkal kapcsolatos Endangerment Finding megállapítást, és ezzel együtt megszüntette a vonatkozó szövetségi közúti járműves üvegházhatásúgáz-kibocsátási szabványokat.

A kormányzat indoklása szerint a korábbi szabályozási alap meghaladta a hatóság törvényes felhatalmazását, és a szabályok visszavonása jelentős gazdasági megtakarítást eredményez.

A kritikusok ezzel szemben azt hangsúlyozzák, hogy az intézkedés gyengíti a kibocsátáscsökkentést, és hosszabb távon környezeti és egészségügyi károkat okozhat. A döntés jogi vitákat is kiváltott.

Huszonöt év irányváltásai

Időszak	Elnök	Jelentős klímapolitikai döntés
1997–1998	Bill Clinton	A Kiotói Jegyzőkönyv aláírása, ratifikáció nélkül
2001	George W. Bush	A Kiotói Jegyzőkönyvhöz való csatlakozás elutasítása
2015–2016	Barack Obama	Párizsi megállapodás elfogadása és amerikai csatlakozás
2017–2020	Donald Trump	A kilépés bejelentése, majd hatálybalépése
2021–2022	Joe Biden	Visszacsatlakozás; tisztaenergia-támogatások
2025–2026	Donald Trump	Újabb kilépés; több támogatás és szabályozás visszavonása

A történet tanulsága nem pusztán az, hogy a demokraták és a republikánusok eltérően ítélik meg a klímapolitikát.

A lényeg az, hogy a több évtizedes beruházási és környezetvédelmi folyamatokat néhány évente változó szövetségi politikai feltételek között kell megvalósítani.

Egy nagy energetikai beruházás tervezése akár hosszabb ideig tarthat, mint egy teljes elnöki ciklus.

A szabályozás és a támogatási rendszer jelentős módosulása pedig nemcsak a környezetvédelmi célokat érinti, hanem a magánvállalatok beruházási döntéseit is.

Az Egyesült Államok nem egyetlen szereplő

Az amerikai helyzet értékelésénél azt sem szabad figyelmen kívül hagyni, hogy a szövetségi kormány nem irányítja közvetlenül a gazdaság minden szereplőjét.

Az egyes államok saját energetikai és környezetvédelmi szabályokat alkothatnak a szövetségi jog keretein belül.

Kalifornia például hosszú ideje önálló és szigorú környezetpolitikai kezdeményezéseket folytatott.

Más államok a fosszilis energiahordozók kitermelésében, a hagyományos ipar támogatásában vagy az energiaköltségek csökkentésében helyeznek nagyobb hangsúlyt bizonyos célokra.

A vállalati beruházásokat emellett a technológiai költségek, a piaci kereslet és a nemzetközi verseny is befolyásolja.

Ezért a szövetségi klímapolitika irányváltása nem feltétlenül jelenti azt, hogy az összes korábbi tisztaenergia-beruházás megszűnik.

A különböző kormányzati szintek és a piac működése részben mérsékelheti, részben pedig tovább bonyolíthatja az országos politikai változások hatását.

A nemzetközi klímapolitika alapkérdése: ki vállaljon többet?

A klímatárgyalások egyik legnehezebb kérdése az országok közötti teherviselés.

A fejlett ipari országok történelmileg nagy mennyiségű szén-dioxidot bocsátottak ki.

Az iparosodás, a közlekedési rendszerek, a városok és a fogyasztói társadalom kialakulása jelentős mértékben fosszilis energiára épült.

Sok fejlődő ország azonban csak később indult el az iparosodás útján.

Lakosságuk egy részének ma is az alapvető energiához, tiszta vízhez, egészségügyi ellátáshoz és megfelelő lakhatáshoz való hozzáférés a legfontosabb problémája.

A fejlett országok ezért gyakran a történelmi felelősség alapján kerülnek előtérbe a nemzetközi klímafinanszírozásban.

A gyorsan fejlődő országok viszont arra hivatkozhatnak, hogy gazdasági felzárkózásukhoz további energiára és ipari kapacitásra van szükségük.

A helyzetet tovább bonyolítja, hogy egyes fejlődő országok ma már a világ legnagyobb éves kibocsátói közé tartoznak.

Így a történelmi kibocsátás, a jelenlegi kibocsátás, az egy főre jutó kibocsátás és a gazdasági teljesítőképesség eltérő képet adhat a felelősség megoszlásáról.





234. ábra: A nemzetközi klímapolitika egyszerre foglalkozik a történelmi ipari kibocsátással, a jelenlegi gazdasági fejlődéssel és a sérülékeny országok alkalmazkodási szükségleteivel.

A vita ezért nem oldható meg egyetlen mutatóval.

Ha kizárólag a jelenlegi éves kibocsátást nézzük, nem vesszük teljesen figyelembe a múltbeli felhalmozódást.

Ha kizárólag a történelmi kibocsátást vizsgáljuk, háttérbe szorulhat a jelenlegi és jövőbeli kibocsátások növekedésének problémája.

Ha pedig az egy főre jutó kibocsátás alapján hasonlítunk össze országokat, a teljes kibocsátás nagyságát és a gazdasági lehetőségeket sem szabad figyelmen kívül hagyni.

Ezek mind fontos, de eltérő kérdésre válaszoló mutatók.

A nemzetközi megállapodások éppen azért nehezek, mert az országok eltérő gazdasági helyzetből és történelmi tapasztalatokból indulnak ki.

A kompromisszum nem pusztán tudományos számítás eredménye, hanem gazdasági és politikai érdekegyeztetés is.

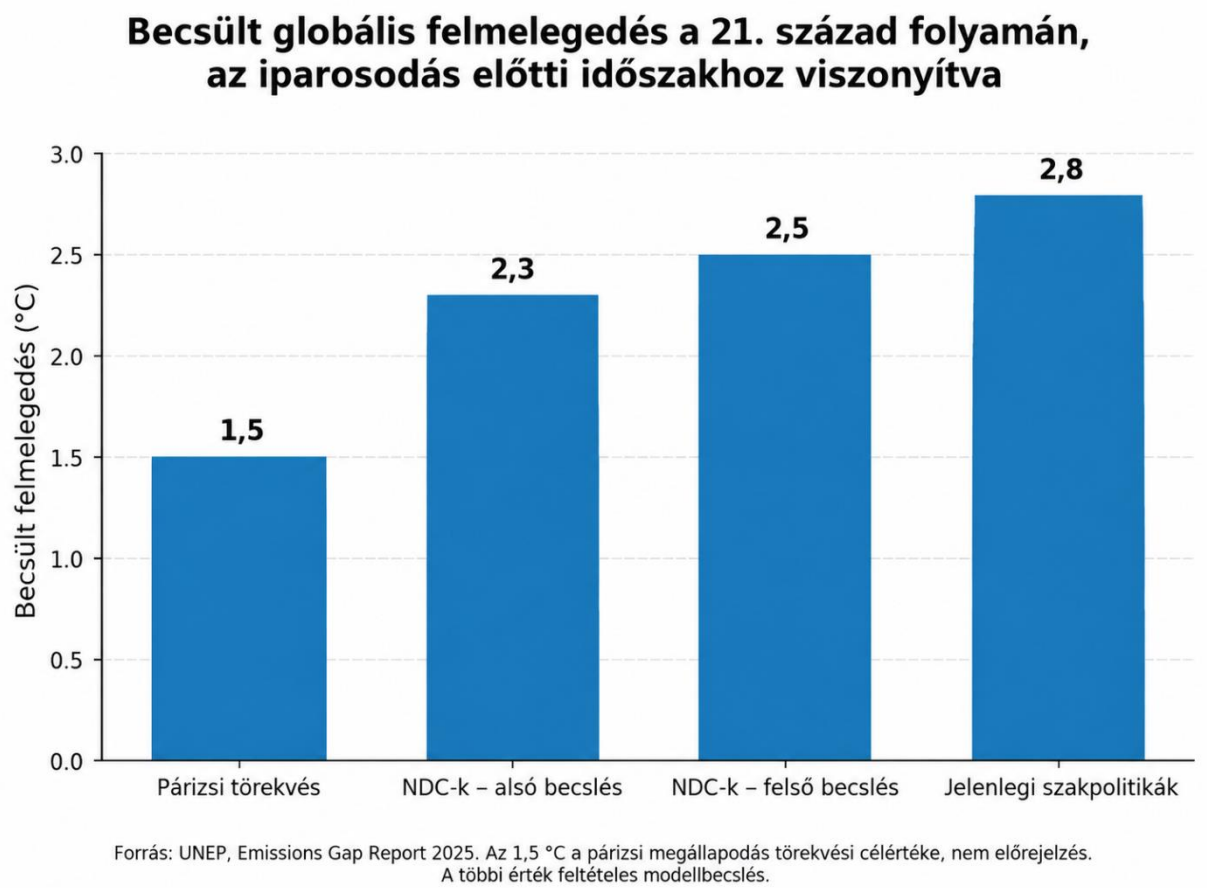
A 2,8 °C-os figyelmeztetés: a vállalások és a valóság különbsége

A politikai időszámítás egyik legfontosabb következménye a bejelentett célok és a tényleges intézkedések közötti eltérés.

A 2025 novemberében megjelent ENSZ Emissions Gap Report szerint a század folyamán a jelenlegi szakpolitikák fennmaradása mellett körülbelül 2,8 °C-os globális felmelegedés következhet be.

Ha az országok maradéktalanul teljesítenék a jelentésben figyelembe vett nemzetileg meghatározott kibocsátási vállalásokat, a becsült felmelegedés 2,3–2,5 °C közé csökkenhetne.

Mit jelentenek a jelenlegi klímapolitikai pályák?



A különbség jól érzékelteti a problémát.

Az országok politikailag vállalhatnak ambiciózus célokat, de az azokhoz szükséges intézkedések megvalósítása sokkal nehezebb.

A célok közzététele nem jelent automatikus beruházást.

A kibocsátási vállalás nem helyettesíti a villamos hálózat fejlesztését, az energiahatékonysági beruházásokat vagy az ipari technológiaváltást.

Ráadásul a bejelentett célokat időnként olyan kormányoknak kellene végrehajtaniuk, amelyek a vállalások elfogadásakor még hatalmon sem voltak.

Ez különösen fontos a 2035-re, 2040-re és 2050-re vonatkozó céloknál.

A politikai nyilatkozat gyakran a jelenlegi kormányé, de a tényleges feladat jelentős része már a következő kormányokra hárul.

A vállalás nem ugyanaz, mint a teljesítés

A nemzetközi klímapolitikában ezért három különböző szintet kell megkülönböztetni.

Az első a politikai cél, amely megmutatja, milyen eredményt kíván elérni az adott ország.

A második a konkrét szakpolitikai intézkedés, amely a cél eléréséhez szükséges szabályozási és beruházási kereteket teremti meg.

A harmadik a tényleges környezeti eredmény, amelyet mérni és ellenőrizni lehet.

A három szint közötti különbség egyáltalán nem elméleti.

Egy ország kijelentheti, hogy 2050-re klímasemlegessé szeretne válni.

Ehhez azonban át kell alakítania energiarendszerét, iparát, közlekedését és épületállományának jelentős részét.

Ha a szükséges beruházásokat elhalasztja, a céldátum közeledtével egyre nagyobb és gyorsabb változtatások válhatnak szükségessé.

Ezek gazdasági és társadalmi költsége magasabb lehet, mint egy előre tervezett, fokozatos átállásé.

A politikai halogatás ezért könnyen a következő kormányok és nemzedékek problémájává válhat.

Európa: meg lehet-e kötni a jövő kormányainak kezét?

Az Európai Unió az elmúlt években megpróbálta jogszabályokkal rögzíteni hosszú távú klímavédelmi céljait.

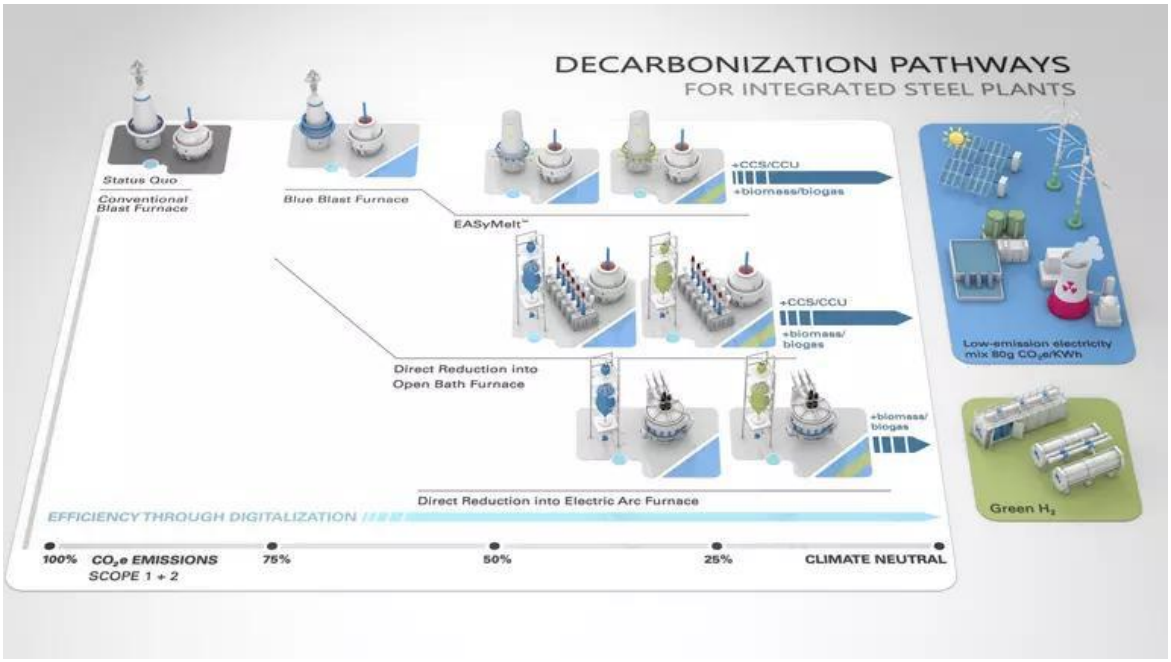
Az európai klímatörvény 2050-re jogilag kötelező klímasemlegességi célt határoz meg.

A 2030-as cél legalább 55 százalékos nettó üvegházhatásúgáz-kibocsátáscsökkentés az 1990-es szinthez képest.

2026 márciusában az Európai Unió jogilag kötelező, 2040-re vonatkozó köztes célról is döntött: a nettó kibocsátást 90 százalékkal kell mérsékelni az 1990-es szinthez képest. A szabályozás meghatározott keretek között nemzetközi karbonkreditek beszámítását is lehetővé teszi.







235. ábra: Az Európai Unió hosszú távú céljai jogi keretet adnak a klímapolitikának. A tényleges megvalósításhoz azonban ipari beruházások, energiaellátási fejlesztések és tagállami intézkedések szükségesek.

A jogi kötelezettség nagyobb kiszámíthatóságot teremthet a beruházók és az állampolgárok számára.

Egy vállalat hosszabb időtávra tervezhet, ha tudja, hogy a kibocsátáscsökkentési célokat nem pusztán egyetlen kormány politikai programja tartalmazza.

De a jogszabály sem változtathatatlan.

A későbbi parlamentek a megfelelő eljárások keretében módosíthatják a törvényeket.

A célok gyakorlati megvalósítása pedig továbbra is a gazdasági körülményektől, a társadalmi támogatottságtól és a technológiai lehetőségektől függ.

A hosszú távú klímatörvény ezért fontos intézményi eszköz lehet, de nem biztosíték arra, hogy valamennyi vállalást automatikusan teljesíteni fognak.

A politikai ellenállás mögött gyakran valódi költségek vannak

A környezetpolitikai viták egyik visszatérő hibája, hogy a szigorúbb intézkedéseket ellenző szereplőket egyszerűen tájékozatlannak vagy felelőtlennek tekintik.

Pedig sok esetben valódi gazdasági és társadalmi problémák állnak az ellenállás mögött.

Egy bányavidéken a fosszilisenergia-termelés visszaszorulása munkahelyeket veszélyeztethet.

Egy energiaintenzív ipari vállalat számára a gyors technológiaváltás jelentős beruházási költséget okozhat.

Egy alacsony jövedelmű háztartás pedig különösen érzékeny lehet a fűtési és közlekedési költségek növekedésére.

Az érintettek számára a hosszú távú globális klímaelőny kevésbé kézzelfogható, mint a következő havi energiaszámla vagy a munkahelyük bizonytalansága.

Ezért a környezetvédelmi intézkedések társadalmi elfogadottsága nem kizárólag a tudományos bizonyítékokon múlik.

Fontos az is, hogy az átalakulás költségeit hogyan osztják el.

Ha egy szabályozás aránytalanul sújt bizonyos társadalmi csoportokat, politikai ellenállást válthat ki akkor is, ha hosszú távon környezeti szempontból indokolt.







236. ábra: A technológiai átállás közvetlenül érintheti az ipari munkahelyeket, a háztartási kiadásokat és az új szakmák iránti keresletet. A társadalmi következmények figyelmen kívül hagyása politikailag is veszélyeztetheti a környezetvédelmi célokat.

A megoldás ezért nem feltétlenül a környezetvédelmi cél feladása.

Sokkal inkább a költségek megfelelő ütemezése, a munkavállalók támogatása, a szükséges átképzés és a sérülékeny háztartások védelme lehet.

A hosszú távú környezetpolitika akkor maradhat fenn több választási cikluson keresztül, ha a társadalom jelentős része elfogadhatónak tartja annak közvetlen következményeit.

Egy kizárólag felülről meghirdetett cél nem feltétlenül elegendő.

A megvalósításhoz tartós társadalmi és gazdasági támogatásra is szükség van.

Hogyan lehet hosszú távon gondolkodásra késztetni a politikát?

A választási ciklusok problémáját nem lehet megszüntetni anélkül, hogy magát a demokratikus rendszert változtatnánk meg.

Erre azonban nincs is szükség.

A választások és a politikai verseny fontos társadalmi ellenőrzési eszközök.

A kérdés inkább az, hogyan lehet olyan intézményeket kialakítani, amelyek a kormányváltások ellenére is biztosítják a hosszú távú környezeti célok követését.

Az egyik lehetőség a jogszabályban rögzített, több évtizedre szóló célrendszer.

A másik a független tudományos és szakmai ellenőrzés.

Egy klímavédelmi tanács vagy más, megfelelően független intézmény rendszeresen értékelheti, hogy az ország valóban a meghirdetett célok felé halad-e.

Fontos, hogy ezek az intézmények ne csak a politikai vállalásokat vizsgálják, hanem a tényleges kibocsátási, vízgazdálkodási és természetvédelmi adatokat is.

A harmadik lehetőség a többéves költségvetési és beruházási tervezés.

Egy erdővédelmi vagy vízgazdálkodási program nem válhat működésképtelenné pusztán azért, mert egy adott évben megváltoznak a költségvetési prioritások.

A negyedik a szélesebb társadalmi egyeztetés.

Ha a környezetpolitika kizárólag egyetlen politikai oldal ügyévé válik, a következő kormányváltáskor nagyobb eséllyel kerülhet sor alapvető irányváltásra.

A széles körben elfogadott, átlátható célok viszont nagyobb eséllyel maradhatnak fenn.

Ezek az eszközök nem szüntetik meg az érdekkonfliktusokat, de mérsékelhetik a politikai bizonytalanságot.

A természet nem tud részt venni a választásokon

A környezetpolitika időbeli problémájának van egy mélyebb, erkölcsi oldala is.

A jelenlegi választók dönthetnek arról, hogy milyen kormány irányítsa az országot.

A jövő nemzedékei azonban nem tudnak beleszólni azokba a döntésekbe, amelyek évtizedekkel később befolyásolják életfeltételeiket.

A ma megszülető gyermekek nem tudják megakadályozni, hogy egy jelenlegi döntés következtében később használhatatlanná váljon egy vízkészlet vagy elpusztuljon egy értékes természeti terület.

A még meg sem született nemzedékek pedig egyáltalán nem rendelkeznek politikai képviselettel a szó hagyományos értelmében.

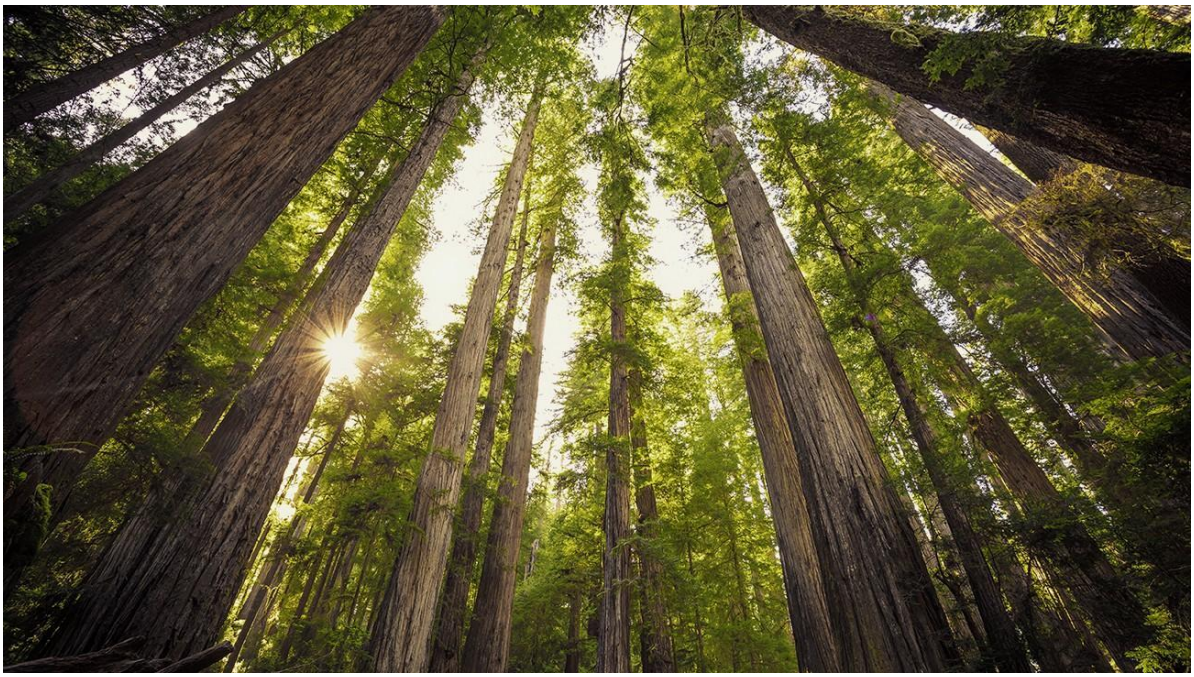
A természet maga sem vesz részt a választásokon.

Az erdők, folyók és élőhelyek nem tudnak szavazni saját fennmaradásukról.

Érdekeik képviselete ezért közvetett módon, a jelenlegi társadalom intézményein keresztül történik.







237. ábra: A környezetpolitikai döntések következményei a következő nemzedékek életfeltételeit is meghatározhatják. A természeti erőforrások megőrzése ezért nemcsak jelenlegi gazdasági, hanem nemzedékek közötti felelősségi kérdés.

Ez a helyzet a demokrácia egyik sajátos korlátjára világít rá.

A döntésekben elsősorban a jelenlegi választók érdekei jelennek meg, miközben a következmények egy része olyanokra hárul, akik még nem vehetnek részt a döntéshozatalban.

A hosszú távú környezetvédelmi intézmények részben ezt az időbeli képviseleti hiányt próbálják mérsékelni.

De a probléma teljes egészében nem oldható meg jogszabályokkal.

A jelenlegi társadalomnak kell eldöntenie, mekkora felelősséget vállal azokért, akik később élnek majd ugyanazon a bolygón.

A környezetvédelemnek hosszabb emlékezetre van szüksége

A politikai rendszerben természetes, hogy változnak a kormányok és a gazdasági prioritások.

Az éghajlatváltozás, a talajromlás, a vízkészletek fogyása és a biológiai sokféleség csökkenése azonban nem igazodik ezekhez a változásokhoz.

A légkör nem kezdi újra a szén-dioxid elszámolását egy választás után.

A kiszáradt talaj nem válik ismét termékennyé attól, hogy új kormányprogramot fogadnak el.

A korábban elpusztult erdő helyreállítása pedig akkor is hosszú időt igényel, ha közben többször kicserélődik az ország politikai vezetése.

Ezért a környezetpolitika egyik legfontosabb feladata a folytonosság biztosítása.

Nem feltétlenül ugyanazon technológiákhoz, támogatásokhoz vagy szabályozási eszközökhöz kell ragaszkodni.

A környezetvédelemben is szükség van a hibák kijavítására, az új ismeretek figyelembevételére és a gazdasági lehetőségek változásához történő alkalmazkodásra.

De a célokat és a mérési rendszereket nem célszerű néhány évente teljesen új alapokra helyezni.

A hosszú távú környezetpolitikának ezért egyszerre kell tudományosan megalapozottnak, gazdaságilag megvalósíthatónak és társadalmilag elfogadhatónak lennie.

A politika rövid időtávját csak olyan intézmények és megállapodások tudják ellensúlyozni, amelyek túlélhetnek egyetlen kormányzati ciklust.

A nemzetközi klímakonferenciák ebben szerepet játszhatnak.

Az államok hosszú távú törvényei és stratégiái ugyancsak segíthetnek.

De végül minden cél csak annyit ér, amennyi a tényleges megvalósításából következik.

A környezetvédelem története nem a konferenciák zárónyilatkozataiban íródik.

Hanem a légkör összetételében, a folyók vízszintjében, az erdők állapotában és a következő nemzedékek életfeltételeiben.

A politikus a következő választásig számolja az időt. A természet a következő évszázadokig. A kettő közötti különbség árát pedig azok is megfizethetik, akik a döntések meghozatalakor még meg sem születtek.

A fejezet főbb szakmai forrásai

- UNFCCC – The Paris Agreement. A párizsi megállapodás céljai, működése és az ötéves vállalási rendszer.
- ENSZ – COP28, Dubai, 2023. A fosszilis energiahordozóktól történő átmenetre vonatkozó megállapodás.
- UNFCCC – COP29, Baku, 2024. A 2035-re kitűzött klímafinanszírozási célok.
- ENSZ – COP30, Belém, 2025. Az alkalmazkodás, a finanszírozás és a végrehajtás kérdései.
- Congressional Research Service – Az Egyesült Államok kilépése a párizsi megállapodásból. Az amerikai döntés jogi és történeti háttere.
- UNFCCC – Az Egyesült Államok hivatalos szerződéses státusza. A 2026. január 27-i kilépés dátuma.
- US EPA – Az Endangerment Finding 2026-os visszavonása. Az amerikai járműves kibocsátási szabályozás változása.
- Európai Unió Tanácsa – A 2040-es klímacél elfogadása, 2026. A jogilag kötelező 90 százalékos csökkentési cél.
- UNEP – Emissions Gap Report 2025. A jelenlegi szakpolitikák és a nemzetközi vállalások alapján becsült felmelegedési pályák.

30. A gazdasági lobbik ereje

Energiaipar, autógyártás, mezőgazdaság és zöldipar. Vállalati érdekképviselet, kutatásfinanszírozás és politikai befolyás. Milyen mozgástere van az egyénnek a nagy gazdasági szereplőkhöz képest?

A környezetvédelemről szóló vitákban gyakran az egyén felelőssége kerül előtérbe. Használjunk kevesebb energiát, vásároljunk takarékosabb autót, fogyasszunk kevesebb húst, szelektáljuk a hulladékot, és lehetőleg ne repüljünk. Ezek a tanácsok önmagukban többnyire ésszerűek. Csakhogy van egy alapvető aránytalanság: miközben az állampolgároktól életmódjuk megváltoztatását várják, a gazdaság működésének alapvető feltételeit néhány nagy iparág, multinacionális vállalat, pénzügyi intézmény és politikai döntéshozó alakítja.

Egy háztartás eldöntheti, hogy lekapcsolja-e a világítást, de azt már nem, hogy az ország villamos energiáját szénből, földgázból, atomerőműből vagy megújuló forrásokból állítják elő. Megválaszthatja az autóját, de nem dönthet az üzemanyagok adóztatásáról, a töltőhálózat kiépítéséről vagy a vasúti közlekedés fejlesztéséről. A vásárló választhat a boltok polcain, de az áruk termelési körülményeiről és környezeti terheléséről gyakran csak annyit tud, amennyit a gyártó közölni kíván.

A környezetpolitika ezért nem csupán tudományos és erkölcsi kérdés. Gazdasági érdekek ütközésének terepe is, ahol a résztvevők befolyása korántsem egyforma.

Akik a legtöbbet szennyeznek, és akik a legtöbbet veszítenek

A klímaváltozás egyik legnagyobb igazságtalansága, hogy a környezeti károk és az azok előidézéséért viselt felelősség rendkívül egyenlőtlenül oszlik meg.

Az Oxfam nemzetközi segélyszervezet 2026 októberében közzétett jelentése szerint a világ leggazdagabb 0,1 százalékának szén-dioxid-kibocsátása meghaladja a legszegényebb 3,5 milliárd ember együttes kibocsátását.

A különbségek nem csupán a magánrepülőgépek, luxusjachtok és nagy fogyasztású ingatlanok használatából származnak. A legvagyonosabbak befektetéseihez kapcsolódó vállalati kibocsátások is szerepet játszanak abban, hogy az egyes társadalmi rétegekhez mekkora környezeti terhelés rendelhető.

A jelentés egy további összefüggésre is felhívja a figyelmet. A klímaváltozás következményei általában azoknak az embereknek és országoknak okozzák a legsúlyosabb károkat, amelyek viszonylag kis mértékben járultak hozzá a globális felmelegedéshez.

A gazdagabb társadalmi csoportok könnyebben vásárolhatnak védelmet: biztosítást köthetnek, korszerűsíthetik lakóépületeiket, légkondicionálást alkalmazhatnak, vagy szükség esetén biztonságosabb helyre költözhetnek.

Ezzel szemben a szegényebb országokban egy aszály, árvíz vagy hőhullám nemcsak átmeneti kényelmetlenséget, hanem a megélhetés elvesztését, élelmiszerhiányt vagy súlyos egészségügyi következményeket is jelenthet.

Az Oxfam modellezése szerint a világ leggazdagabb 1 százalékának egyetlen évnyi kibocsátása hosszabb időtávon mintegy 1,9 millió hőséghez kapcsolódó többlethalálesethez járulhat hozzá. Ez nem már bekövetkezett halálesetek száma, hanem az alkalmazott éghajlati és egészségügyi modellekből származó hosszú távú becslés.

A jelentés új szempontot is felvet. A magas kibocsátású gazdasági tevékenységekben érdekelt befektetők egy része olyan vállalkozásokból is részesedhet, amelyek a klímaváltozás következményeinek kezeléséből szereznek bevételt. Ilyenek lehetnek a katasztrófavédelmi, helyreállítási, biztosítási és alkalmazkodási szolgáltatások.

A helyreállítás természetesen nélkülözhetetlen gazdasági tevékenység. A probléma nem az, hogy az árvízvédelmi rendszereket vagy hűtőberendezéseket előállító vállalatok nyereségesen működnek, hanem az, ha a szennyezés költségeit mások viselik, miközben a kibocsátást okozó tevékenység és a károk felszámolása egyaránt üzleti bevételt teremt.

A tanulmány készítői ezért a magas kibocsátású luxusfogyasztás és a nagy vagyonok fokozott adóztatását, valamint a klímaváltozáshoz való alkalmazkodás nemzetközi finanszírozásának bővítését javasolják. Ezek szakpolitikai javaslatok, amelyek hatékonyságát, gazdasági következményeit és megvalósíthatóságát külön is mérlegelni kell.

A legfontosabb tanulság azonban túlmutat az adópolitikai vitákon.

A környezeti költségek igazságosabb elosztásához nem elegendő mindenkinek ugyanazokat az áldozatokat kérni. Figyelembe kell venni, ki mekkora kibocsátásért felelős, mennyire képes alkalmazkodni a következményekhez, és milyen anyagi lehetőségekkel rendelkezik.

A klímaváltozás közös probléma, de sem az előidézésében viselt felelősség, sem a következményeinek ára nem oszlik meg egyenlően.

Források: Oxfam – Disaster Divide, teljes jelentés és módszertan; CE Delft – Carbon Capital Levy, 2026; Telex – 2026. október 27-i cikk.

Az energiaipar: a múlt beruházásai és a jövő érdekei





238. ábra: Az energiaátmenet nem egyszerű technológiacsere: hatalmas beruházások, vállalati vagyonok és egész gazdasági térségek jövőjéről szól.

Az energiaipar különleges helyet foglal el a gazdaságban. Szinte minden más ágazat működése függ tőle. A villamos energia, a földgáz és a kőolaj ára befolyásolja a termelési költségeket, a közlekedést, a mezőgazdaságot és végső soron a lakosság megélhetését.

Az olaj- és gázipari vállalatok évtizedeken keresztül rendkívül tőkeigényes infrastruktúrát építettek ki. Fúrótornyok, vezetékek, finomítók, kikötők és tárolók hálózata jött létre. Ezeknek a beruházásoknak a megtérülését gyakran több évtizedre tervezték.

Amikor a környezetpolitika a fosszilis energiahordozók felhasználásának visszaszorítását sürgeti, nem pusztán egy termék piacát veszélyezteti. Olyan vagyonelemek jövőbeli jövedelemtermelő képességét kérdőjelezi meg, amelyekbe korábban óriási összegeket fektettek.

Érthető tehát, hogy az érintett vállalatok igyekeznek befolyásolni az átmenet ütemét és feltételeit. Ez azonban nem jelenti automatikusan azt, hogy minden beavatkozásuk a környezetvédelem ellen irányul.

Az energiaipar érdekei sem egységesek. A széntermelők, az olajvállalatok, a földgázszolgáltatók, az atomenergia-ipar és a megújuló energiaforrások fejlesztői gyakran egymással is versenyeznek. Egy földgázipari vállalat például támogathatja a szén kivezetését, miközben a gáz hosszú távú használatának fenntartásában érdekelt. Egy megújulóenergia-vállalat pedig olyan támogatási és hálózati szabályokat szorgalmazhat, amelyek saját beruházásainak kedveznek.

A politika számára mindez nehéz helyzetet teremt. A túl gyors átállás ellátásbiztonsági problémákat, munkahelyvesztést és áremelkedést okozhat. A túl lassú átállás viszont növelheti a hosszú távú környezeti és éghajlati károkat.

A kérdés tehát nem egyszerűen az, hogy melyik iparág győz. Hanem az, hogy ki viseli az átmenet költségeit, ki részesül a hasznából, és ki határozhatja meg a változás sebességét.

Amikor a tudomány gazdasági érdekké válik

A gazdasági befolyás egyik legérzékenyebb területe a tudományos kutatás finanszírozása.

A modern kutatás költséges. Laboratóriumokra, műszerekre, számítógépekre, kutatókra és hosszú távú finanszírozásra van szükség. A vállalatok szerepvállalása ezért sok esetben nélkülözhetetlen, és számos fontos technológiai eredmény született ipari támogatással.

A probléma ott kezdődik, amikor a finanszírozó nemcsak a kutatás költségeit fedezi, hanem közvetlenül vagy közvetve befolyásolja a vizsgált kérdéseket, az eredmények közzétételét vagy azok társadalmi értelmezését.

A tudományos befolyásolásnak több formája lehet. Nem feltétlenül szükséges hamis adatokat gyártani. Elég lehet olyan kérdéseket előnyben részesíteni, amelyek a vállalat számára kedvező eredményeket ígérnek, vagy hangsúlyozni a bizonytalanságokat akkor is, amikor a bizonyítékok összessége már meglehetősen egyértelmű.

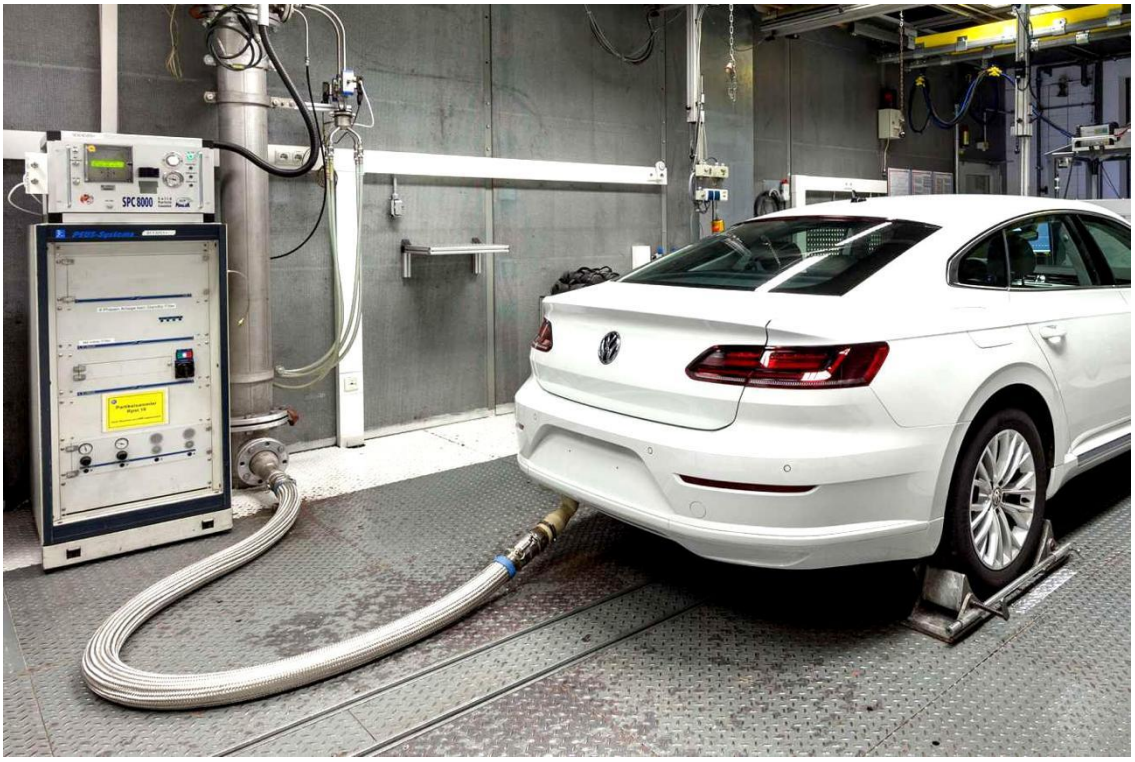
Az olajipar történetéből ismert példa az Exxon és elődvállalatainak éghajlatkutatási tevékenysége. A vállalat kutatói már az 1970-es és 1980-as években foglalkoztak a fosszilis energiahordozók elégetése és a globális felmelegedés kapcsolatával. Egy 2023-ban, a Science folyóiratban megjelent elemzés szerint a belső előrejelzések jelentős része figyelemre méltó pontossággal becsülte meg a később megfigyelt felmelegedést.

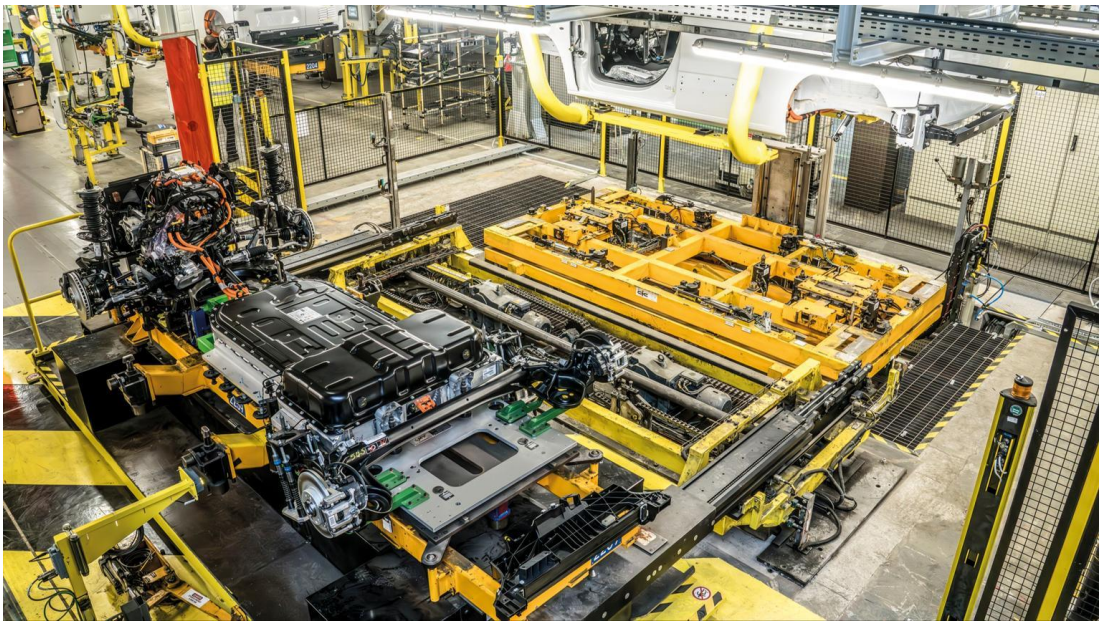
Miközben a vállalaton belül komoly tudományos munka folyt, a későbbi nyilvános kommunikáció egyes elemei a klímatudomány bizonytalanságát hangsúlyozták. Ez a kettősség fontos tanulsággal szolgál: egy szervezet birtokában lehet megbízható tudásnak, miközben gazdasági érdekei másfajta nyilvános álláspontot ösztönöznek.

A tudományos eredmények hitelessége ezért nem kizárólag a kutatók szakértelmén múlik. Fontos a finanszírozás átláthatósága, az adatok hozzáférhetősége, a független ellenőrzés és az egymástól független kutatócsoportok eredményeinek összevetése is.

A vállalati finanszírozás önmagában nem tesz érvénytelenné egy kutatást. Az állami finanszírozás pedig önmagában nem garantálja a függetlenséget. A döntő kérdés az, hogy a kutatás módszerei és eredményei ellenőrizhetők-e, és az érdekellentétek nyilvánosságra kerülnek-e.

Az autóipar: amikor a szabályozás üzleti modellbe ütközik







239. ábra: A dízelmotorok kibocsátásának ellenőrzése és az elektromos autógyártás: két példa arra, hogyan alakítják a környezetvédelmi előírások az iparág technológiai döntéseit.

Az autóipar jól mutatja, hogy a környezetvédelmi szabályozás és a vállalati érdekek milyen szorosan összefonódnak.

Az autógyártók hatalmas összegeket fordítanak motorok, gyártósorok és beszállítói hálózatok fejlesztésére. Egy új környezetvédelmi követelmény nem csupán egy műszaki paraméter módosítását jelentheti, hanem teljes gyártási rendszerek átalakítását.

Az európai autóipar hosszú időn keresztül a dízelmotorok fejlesztésében látott jelentős lehetőséget. A dízelmotorok kedvezőbb üzemanyag-fogyasztása és általában alacsonyabb kilométerenkénti szén-dioxid-kibocsátása fontos érv volt mellettük. A nitrogén-oxidok és egyéb légszennyező anyagok kibocsátása azonban komoly problémát jelentett.

A 2015-ben kirobbant Volkswagen-dízelbotrány megmutatta, hogy a gazdasági nyomás milyen súlyos szabályszegésekhez vezethet. A vállalat bizonyos dízelautóiban olyan szoftvert alkalmazott, amely felismerte a laboratóriumi kibocsátásvizsgálat körülményeit, és a teszt során másként működtette a motor szabályozását, mint a hétköznapi közlekedésben.

Ez nem egyszerű műszaki hiba volt, hanem a hatósági ellenőrzés tudatos kijátszása.

Az eset tanulsága túlmutat az autóiparon. Ha a szabályozás ellenőrzése kiszámítható, a szabályok megkerülésének gazdasági ösztönzője pedig jelentős, akkor a vállalatok egy része megpróbálhat alkalmazkodás helyett kibújni a követelmények alól.

Az elektromos autózás elterjedése új érdekkonfliktusokat hozott létre. A hagyományos motorgyártásban erős vállalatoknak új technológiákba kell beruházniuk, miközben az akkumulátorgyártók, nyersanyag-kitermelők és töltőhálózat-üzemeltetők új gazdasági pozíciókhoz jutnak.

Az elektromos autó környezeti előnyeit sem lehet egyetlen számmal jellemezni. Számít az akkumulátor gyártása, az alapanyagok kitermelése, a villamos energia előállítása, a jármű mérete és teljes élettartama. A legtöbb vizsgált körülmény között az elektromos személyautók életciklusuk során kevesebb üvegházhatású gázt bocsátanak ki, mint a hasonló belső égésű motoros járművek, de az előny mértéke országonként és használati körülményenként eltér.

Az autóipari lobbi ezért nem egyszerűen az elektromos és a hagyományos autók közötti küzdelem. Az egyes vállalatok azért is versenyeznek, hogy mely technológiák részesüljenek támogatásban, milyen gyorsan lépjenek életbe az előírások, és ki fizessen az infrastruktúra fejlesztéséért.

A mezőgazdaság: élelmiszer, megélhetés és környezetvédelem







240. ábra: A mezőgazdaság egyszerre biztosít élelmiszert és megélhetést, miközben jelentős hatással van a talajra, a vízkészletekre és az élővilágra.

A mezőgazdaságban a környezetvédelmi szabályozás különösen érzékeny társadalmi kérdés. Az élelmiszer-termelés nélkülözhetetlen, a termelők jövedelme pedig sokszor bizonytalan. Az időjárás, a világpiaci árak, az energia és a műtrágya költségei egyaránt befolyásolják a gazdaságok fennmaradását.

A mezőgazdasági érdekképviseletek ezért rendszeresen fellépnek a növényvédő szerek, a műtrágyahasználat, az állattartás és a földhasználat szabályozásával kapcsolatban.

Ezek a szervezetek azonban nem feltétlenül képviselnek egységes érdeket. Egy néhány hektáros családi gazdaság és egy több ezer hektáron termelő mezőgazdasági vállalat gazdasági helyzete alapvetően különbözik.

A nagyüzemi termelés előnye lehet a hatékonyság, a gépesítés és az egy termékre jutó költségek csökkentése. Ugyanakkor az intenzív művelés kedvezőtlen hatással lehet a talaj állapotára, a vízminőségre és a biológiai sokféleségre, különösen akkor, ha a termelési rendszer nem fordít elegendő figyelmet ezek megőrzésére.

A környezetvédelmi előírások szigorítása rövid távon növelheti a termelők költségeit. Ha a piac nem fizeti meg a környezetkímélőbb termelés többletköltségét, akkor a gazdálkodó versenyhátrányba kerülhet.

Ebből sajátos ellentmondás keletkezik. A társadalom tisztább vizet, egészségesebb talajt és gazdagabb élővilágot szeretne, de a fogyasztók jelentős része az olcsóbb élelmiszert választja.

A politikusok egyszerre próbálnak megfelelni a gazdálkodóknak, a fogyasztóknak, a környezetvédelmi szervezeteknek és az élelmiszeriparnak.

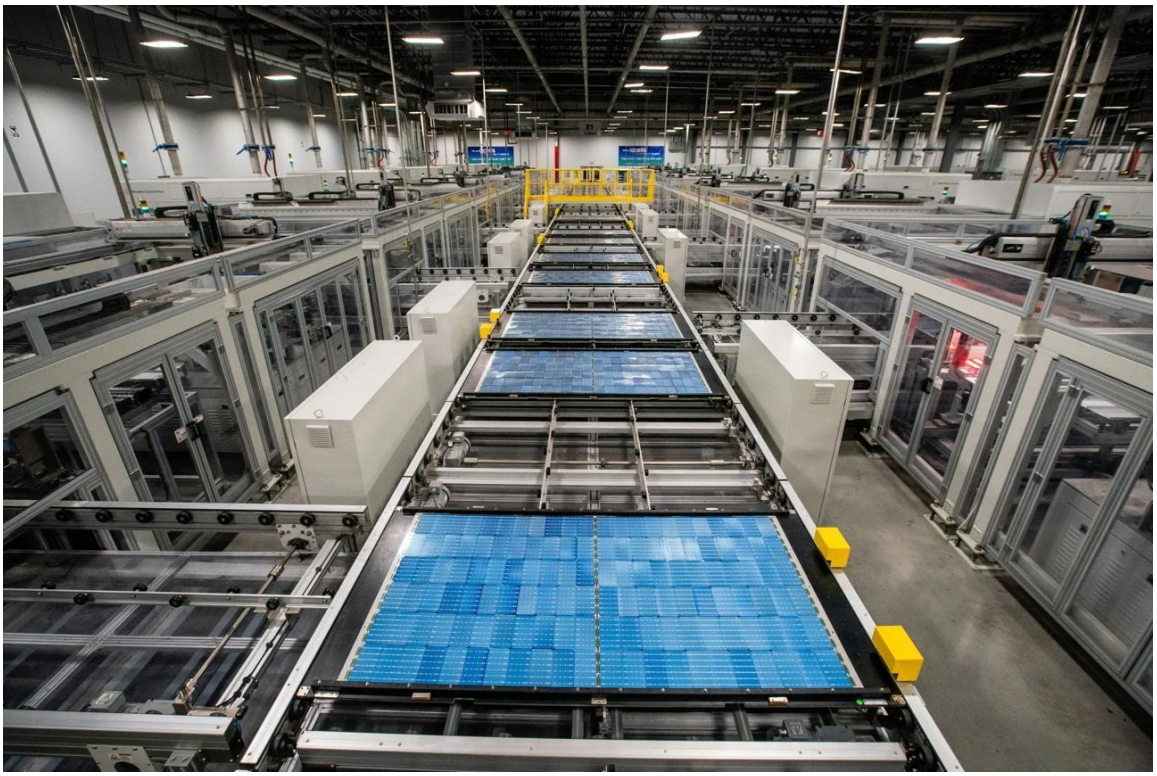
Az Európai Unió közös agrárpolitikája jól szemlélteti ezt a helyzetet. A támogatások céljai között szerepel a mezőgazdasági jövedelmek stabilizálása, az élelmiszer-ellátás biztosítása és a környezeti fenntarthatóság elősegítése. Ezek a célok azonban a gyakorlatban gyakran ütköznek egymással.

Különösen fontos kérdés, hogy a támogatásokból kik részesülnek. A területalapú támogatások jelentős részét természetüknél fogva a nagyobb földterülettel rendelkező gazdaságok kaphatják, bár az újraelosztó és egyéb támogatási elemek ezt módosíthatják.

A mezőgazdasági lobbi tehát nem pusztán a környezetvédelmi követelmények ellen fellépő erő. Sokszor annak eldöntéséről szól, hogy az élelmiszer-termelés társadalmi és környezeti költségeiből mennyit viseljen a termelő, a fogyasztó és az adófizető.

A zöldipar is rendelkezik lobbierővel





241. ábra: A zöldátmenet új iparágakat és új gazdasági érdekcsoportokat hoz létre. A környezetkímélő technológiák előállítása sem mentes az anyag- és energiaigénytől.

A közbeszédben gyakran úgy jelenik meg a helyzet, mintha az egyik oldalon a környezetszennyező nagyvállalatok, a másikon pedig a környezet védelméért küzdő új technológiák állnának. A valóság ennél összetettebb.

A megújulóenergia-ipar, az akkumulátorgyártás, az elektromosautó-gyártás, a hidrogéntechnológia és a szén-dioxid-leválasztás egyaránt jelentős üzleti lehetőségeket kínál. Az ezekben érdekelt vállalatok ugyanúgy igyekeznek befolyásolni az állami támogatásokat, a szabványokat és a beruházási feltételeket, mint a hagyományos iparágak.

A napelemgyártók érdekeltek lehetnek a napenergia támogatásában, az akkumulátorgyártók az elektromos közlekedés ösztönzésében, a hidrogéntechnológiai vállalatok pedig a hidrogén felhasználásának szélesítésében.

Ez önmagában nem kifogásolható. A gazdasági fejlődés egyik hajtóereje éppen az, hogy a vállalatok új piacokat keresnek, és technológiai megoldásokat fejlesztenek.

A probléma akkor jelentkezik, ha a támogatások nem a tényleges környezeti eredményeket, hanem egyes technológiák piaci pozícióját jutalmazzák.

A hidrogén jó példa erre. Felhasználása egyes iparágakban, például bizonyos vegyipari folyamatokban és a nehezen villamosítható termelésben fontos szerepet kaphat. Ugyanakkor a hidrogén előállítása és felhasználása jelentős energiaveszteséggel járhat. Ha a villamos energiát közvetlenül is hatékonyan fel lehet használni, a hidrogén közbeiktatása sok esetben gazdaságtalanabb megoldás.

Mégis erős gazdasági érdekek ösztönözhetik a hidrogén minél szélesebb alkalmazását, hiszen új beruházásokra, támogatásokra és infrastruktúrára nyílik lehetőség.

Hasonló kérdések merülnek fel a bioüzemanyagokkal, az akkumulátorokkal és a szén-dioxid-leválasztással kapcsolatban is. Mindegyik technológiának lehet létjogosultsága, de egyik sem tekinthető minden körülmények között környezetbarátnak.

A zöldipar nem azonos a környezetvédelemmel. A zöldipar gazdasági tevékenység, amely hozzájárulhat a környezeti problémák megoldásához, de saját üzleti érdekei is vannak.

Ezért a támogatások és szabályozások értékelésekor nem az a legfontosabb kérdés, hogy egy technológiát zöldnek neveznek-e, hanem az, hogy teljes életciklusa során milyen mérhető környezeti eredményt hoz, és milyen költséggel.

A lobbizás: érdekképviselet vagy befolyásvásárlás?

A lobbizás fogalma sokak számára a korrupcióval kapcsolódik össze. Pedig a két jelenség nem azonos.

A demokratikus döntéshozatalban természetes, hogy a különböző társadalmi és gazdasági csoportok megpróbálják képviselni érdekeiket. Egy új környezetvédelmi szabály kidolgozásakor a döntéshozóknak szükségük lehet az érintett iparágak műszaki és gazdasági ismereteire.

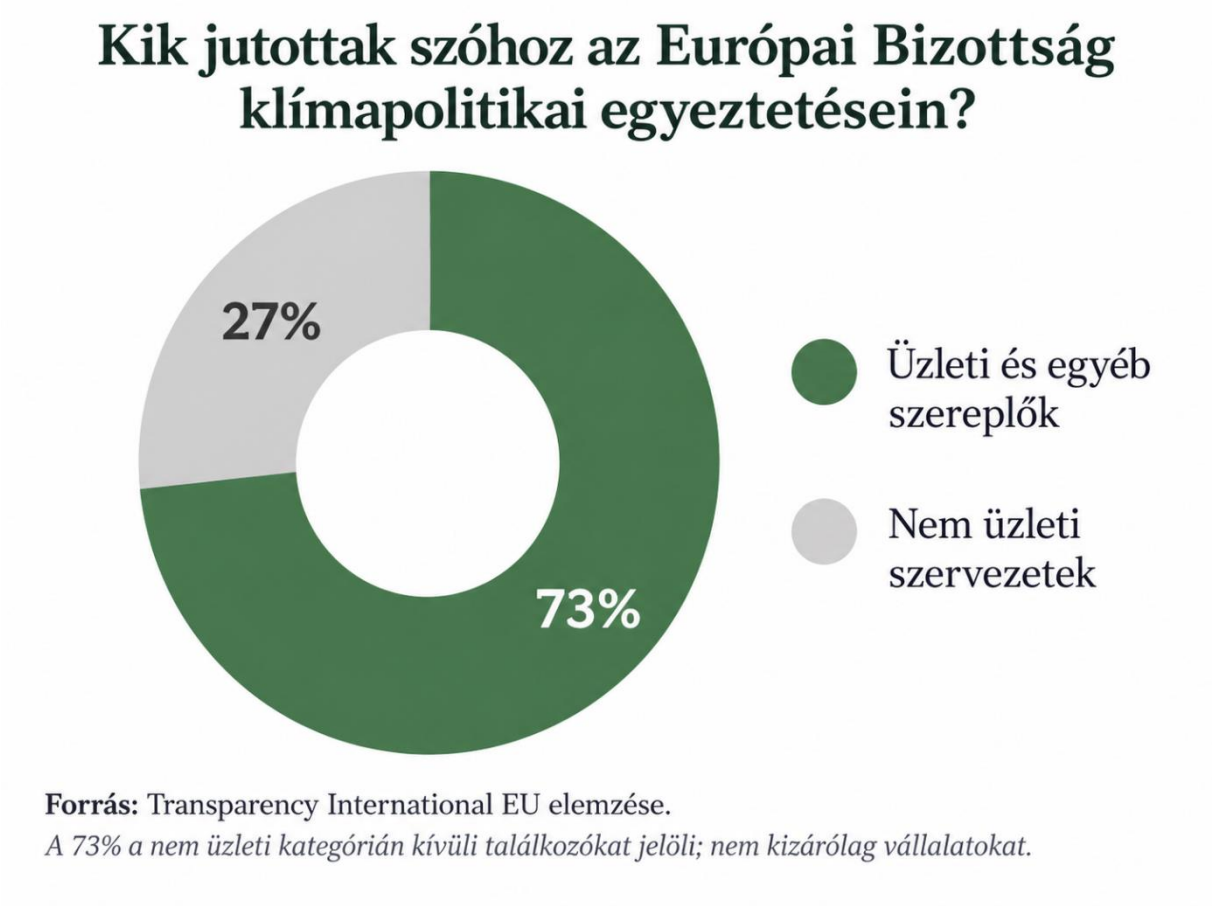
Egy autógyártó például pontosabban ismerheti egy új kibocsátási követelmény teljesítésének technológiai akadályait, mint egy politikus. Egy mezőgazdasági érdekképviselet pedig fontos információkat szolgáltathat arról, hogy egy növényvédőszer korlátozása milyen következményekkel járhat a termelésben.

A lobbizás tehát önmagában a demokratikus döntéshozatal része lehet.

A probléma az erőforrások egyenlőtlen eloszlásából következik. Egy multinacionális vállalat állandó brüsszeli képviseletet, jogászokat, közgazdászokat, kommunikációs szakértőket és kutatóintézeteket finanszírozhat. Egy helyi lakossági közösség vagy kisebb környezetvédelmi szervezet erre rendszerint nem képes.

Így nemcsak az számít, hogy kinek van igaza, hanem az is, hogy kinek van elegendő pénze és kapcsolatrendszere álláspontja folyamatos képviseletére.

A Transparency International egyik, az európai zöldmegállapodáshoz kapcsolódó elemzése szerint az Európai Bizottság klímapolitikai témájú, vizsgált lobbitalálkozóinak mindössze 27 százaléka zajlott nem üzleti szervezetekkel. A találkozók nagyobb része vállalati érdekeket képviselő szereplőkhöz kapcsolódott. Ez nem bizonyítja, hogy a döntések is ilyen arányban szolgálták a vállalatok érdekeit, de jól mutatja a hozzáférés egyenlőtlenségét.



Az Európai Unió ezért hozta létre az átláthatósági nyilvántartást, amelyben az uniós döntéshozatalt befolyásolni kívánó szervezetekről, képviselt érdekeikről és lobbitevékenységükre fordított erőforrásaikról lehet tájékozódni. A rendszer fontos előrelépés, de nem tesz minden informális kapcsolatot láthatóvá.

A korrupció ott kezdődik, ahol a döntéshozatal befolyásolása tiltott ellenszolgáltatással, vesztegetéssel vagy más jogellenes előnnyel párosul. A jogszerű lobbizás azonban akkor is okozhat demokratikus problémát, ha bizonyos érdekcsoportok aránytalanul nagy hozzáférést kapnak a döntéshozókhoz.

A támogatásokért folyó verseny

A környezetpolitika egyik legnagyobb gazdasági hatású eszköze az állami támogatás.

Az állam adókedvezményekkel, közvetlen támogatásokkal, kedvezményes hitelekkel és közbeszerzésekkel képes elősegíteni bizonyos technológiák elterjedését.

A támogatás indokolható, ha olyan társadalmi előnyöket segít létrehozni, amelyeket a piac önmagában nem fizetne meg. Ilyen lehet a légszennyezés csökkentése, az energiaellátás biztonságának javítása vagy egy új technológia kezdeti fejlesztési költségeinek mérséklése.

Ugyanakkor minden támogatás versenyelőnyt is teremt.

Ha az állam az elektromos autók vásárlását támogatja, azzal nemcsak a kibocsátáscsökkentést ösztönzi, hanem az autógyártók és az akkumulátorgyártók piacát is bővíti. Ha a lakossági napelemek telepítését támogatja, a napelemgyártók és kivitelezők is új megrendelésekhez jutnak.

Ez nem feltétlenül baj. De a támogatási rendszer kialakításakor fel kell tenni a kérdést: valóban a leghatékonyabb környezeti megoldást finanszírozzuk, vagy azt, amelynek képviselői sikeresebben tudták érvényesíteni érdekeiket?

A támogatásoknak további sajátosságuk, hogy a haszon gyakran jól azonosítható vállalatoknál és fogyasztói csoportoknál jelentkezik, miközben a költségeket az adófizetők összessége viseli.

A gazdasági érdekcsoportok számára ezért érdemes lehet jelentős összegeket fordítani a támogatások megszerzésére. A társadalom számára viszont egy-egy támogatási döntés egy főre jutó költsége olyan kicsi lehet, hogy az állampolgárok nem fordítanak különösebb figyelmet rá.

Ez az egyik oka annak, hogy a szervezett gazdasági érdekek sokszor hatékonyabban érvényesülnek, mint a szétszórt társadalmi érdekek.

Amikor a szabályozó és a szabályozott túl közel kerül egymáshoz

A gazdasági befolyás egyik különösen nehezen felismerhető formája az úgynevezett szabályozói foglyul ejtés (regulatory capture).

Ez akkor következhet be, amikor egy iparág ellenőrzésére létrehozott intézmény működését fokozatosan olyan mértékben befolyásolják az ellenőrzött vállalatok érdekei, hogy az intézmény már nem képes kellő függetlenséggel képviselni a közérdeket.

Ehhez nem feltétlenül szükséges korrupció.

Elég lehet, ha a hatóság szakértői túlságosan függnek az iparág által szolgáltatott adatoktól, ha a döntéshozók és a vállalatvezetők ugyanabból a szűk szakmai körből kerülnek ki, vagy ha a hatósági munka után jól fizető vállalati állások várják őket.

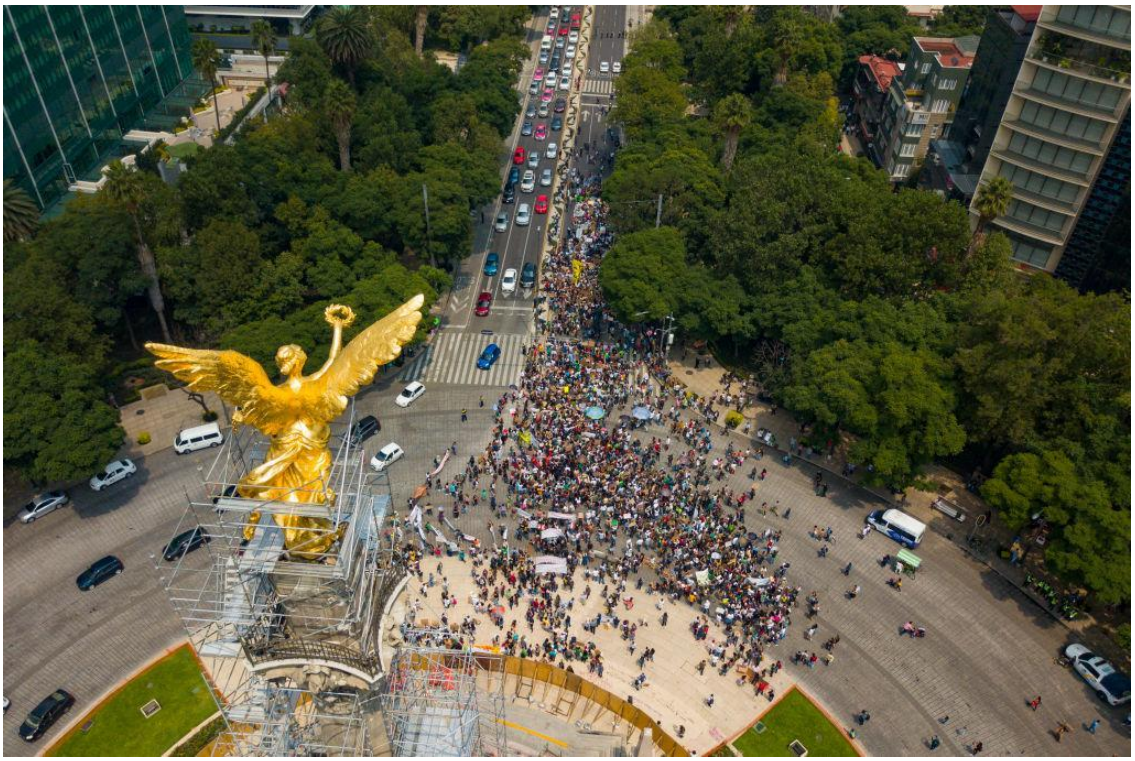
A jelenség fordított irányban is működhet: a vállalatok korábbi politikusokat, hatósági vezetőket vagy minisztériumi szakértőket alkalmazhatnak kapcsolataik és szabályozási ismereteik miatt. Ezt nevezik forgóajtójelenségnek.

Természetesen a szakemberek munkahelyváltása önmagában nem kifogásolható. A probléma akkor jelentkezik, ha az új vagy korábbi munkáltatóhoz fűződő érdekek befolyásolják a közfeladatok ellátását.

A környezetvédelemben különösen nagy a kockázat, mert a szabályozás gyakran rendkívül összetett műszaki kérdéseket érint. Egy vegyipari üzem kibocsátási határértékei, egy atomerőmű biztonsági követelményei vagy egy akkumulátorgyár vízfelhasználása olyan szakértelmet igényel, amelynek jelentős része maguknál az iparági szereplőknél található.

A független hatósági szakértelem fenntartása ezért nem adminisztratív luxus, hanem a környezetvédelem egyik alapfeltétele.

A láthatatlan befolyás: amikor a közvéleményt alakítják







242. ábra: A közvélemény befolyásolásáért folytatott versenyben a társadalmi mozgalmak, a vállalatok és a politikai szereplők egyaránt részt vesznek, de nagyon eltérő erőforrásokkal.

A vállalati befolyásolás nem korlátozódik a politikusokkal folytatott tárgyalásokra. Legalább ilyen fontos a közvélemény alakítása.

A környezetvédelmi intézkedések ugyanis politikailag csak akkor tarthatók fenn, ha elegendő társadalmi támogatást élveznek. Ha a lakosság egy szabályozást igazságtalannak, túl költségesnek vagy értelmetlennek tart, a politikusok könnyebben visszavonhatják vagy felpuhíthatják.

A vállalatok ezért kommunikációs kampányokkal, szakértői nyilatkozatokkal, tanulmányokkal és médiamegjelenésekkel is igyekezhetnek befolyásolni a közgondolkodást.

Az egyik módszer a problémák egyéni felelősséggé alakítása.

A szénlábnyom fogalma például hasznos eszköz lehet az emberi tevékenység környezeti hatásának becslésére. Ugyanakkor az egyéni szénlábnyom népszerűsítése elterelheti a figyelmet arról, hogy az emberek fogyasztási lehetőségeit nagyrészt a gazdasági infrastruktúra határozza meg.

Ha egy településen nincs megfelelő tömegközlekedés, az autóhasználat nem pusztán személyes döntés. Ha egy ország villamosenergia-termelése nagyrészt fosszilis energiahordozókra épül, akkor a háztartások villamosenergia-fogyasztásának kibocsátását elsősorban az energiarendszer határozza meg.

Az egyéni döntések fontosak, de nem helyettesíthetik a rendszerszintű változásokat.

A másik kommunikációs módszer a környezetvédelmi célok gazdasági következményeinek szelektív bemutatása. Egy új szabályozás ellenzői hangsúlyozhatják a munkahelyek megszűnését és az áremelkedést, miközben háttérbe szorulnak a hosszú távú egészségügyi és környezeti előnyök.

A támogatók viszont túlhangsúlyozhatják a várható előnyöket, és elhallgathatják az átállás tényleges költségeit vagy a technológiai korlátokat.

Mindkét esetben ugyanaz a probléma: a társadalom nem teljes képet kap, hanem egy érdekcsoport számára kedvező válogatást a tényekből.

A jó környezetpolitika nem épülhet kizárólag sem a vállalati kommunikációra, sem a környezetvédelmi mozgalmak állításaira. Az érveket ellenőrizhető adatok, független kutatások és a várható következmények átfogó elemzése alapján kell értékelni.

Mekkora mozgástere marad az egyénnek?

A környezetvédelmi viták egyik legfontosabb kérdése, hogy mekkora felelősség terhelhető az állampolgárokra.

Egy átlagos fogyasztó nem rendelkezik azzal az információval és gazdasági erővel, amellyel egy nagyvállalat vagy állam. Vásárláskor az ár, a hozzáférhetőség, a minőség és a megszokás alapján dönt. A termék teljes környezeti hatásának feltárására rendszerint nincs lehetősége.

Mégis gyakran azt várják tőle, hogy vásárlási döntéseivel oldja meg a környezeti problémákat.

Ez csak korlátozottan működhet.

A fogyasztói kereslet természetesen képes befolyásolni a piacot. Ha elegendő ember választ energiatakarékosabb berendezéseket, kisebb fogyasztású járműveket vagy tartósabb termékeket, a gyártók ehhez alkalmazkodhatnak.

Csakhogy a fogyasztói döntések hatása függ az elérhető alternatíváktól és a jövedelmi viszonyoktól.

Egy magas jövedelmű háztartás könnyebben beruházhat napelembe, hőszivattyúba vagy elektromos autóba. Egy alacsony jövedelmű család számára viszont a környezetkímélőbb választás akár megfizethetetlen is lehet.

Ráadásul a környezetvédelmi intézkedések költségei gyakran nem egyenletesen oszlanak el. Az energiaárak növekedése például nagyobb terhet jelenthet az alacsonyabb jövedelmű háztartásoknak, mert jövedelmük nagyobb részét fordítják alapvető szükségletekre.

Ezért a környezetpolitika társadalmi elfogadottsága szorosan összefügg az igazságossággal.

A lakosság ellenállása nem feltétlenül jelenti a környezetvédelmi célok elutasítását. Sokszor inkább annak a következménye, hogy az emberek aránytalannak érzik a rájuk háruló költségeket.

Az egyén legnagyobb mozgástere ezért nem feltétlenül a vásárlásban, hanem a közösségi és politikai cselekvésben van. Egy fogyasztó kevés befolyással rendelkezik egy nemzetközi vállalat működésére. Több ezer fogyasztó, választópolgár vagy egy helyi közösség azonban már képes lehet napirendre tűzni olyan problémákat, amelyeket a gazdasági szereplők szívesebben hagynának figyelmen kívül.

A gazdasági érdekek és a társadalmi érdek közötti egyensúly

A nagyvállalatok gazdasági befolyását nem lehet és nem is szükséges teljesen megszüntetni.

A modern gazdaság működéséhez beruházásokra, szakértelemre, technológiai fejlesztésekre és vállalkozói kockázatvállalásra van szükség. A környezeti problémák jelentős részének megoldása sem képzelhető el az ipar aktív közreműködése nélkül.

A kérdés az, hogy milyen szabályok között érvényesülhetnek a gazdasági érdekek.

Az egyik alapfeltétel az átláthatóság. A társadalomnak joga van tudni, hogy egy környezetvédelmi szabályozás kidolgozásában mely vállalatok és érdekképviseletek vettek részt, milyen álláspontot képviseltek, és milyen pénzügyi kapcsolatban állnak az érintett kutatókkal vagy tanácsadókkal.

A másik feltétel a független ellenőrzés. A környezeti hatásvizsgálatok, kibocsátásmérések és tudományos értékelések nem alapulhatnak kizárólag az ellenőrzött vállalatok által rendelkezésre bocsátott információkon.

A harmadik feltétel a költségek és hasznok méltányos elosztása. Ha egy vállalat gazdasági tevékenysége környezeti kárt okoz, annak költsége nem hárítható korlátlanul a társadalomra. Ugyanakkor a környezetvédelmi átállás terheit sem lehet egyszerűen a fogyasztókra és a legkisebb jövedelmű háztartásokra átterhelni.

Végül szükség van a szabályozás eredményességének rendszeres vizsgálatára. Egy környezetvédelmi intézkedés sikerét nem a ráfordított támogatások nagyságával, a létrehozott programok számával vagy a politikai nyilatkozatokkal kell mérni, hanem a tényleges környezeti eredményekkel.

Ha egy támogatás nem hozza a várt eredményt, módosítani kell, függetlenül attól, hogy mely iparág részesül belőle.

Kié végül a döntés?




HOMER
TWP
1836



243. ábra: A gazdasági szereplők és az állampolgárok közötti érdekellentétek feloldásának végső fóruma a demokratikus döntéshozatal lehet – feltéve, hogy a részvétel és az ellenőrzés valóban működik.

A környezetvédelem története azt mutatja, hogy a jelentős változások ritkán következnek be pusztán a vállalatok önkéntes elhatározásából. A tisztább levegő, a biztonságosabb ivóvíz, a veszélyes anyagok korlátozása és a hulladékkezelés fejlődése mögött rendszerint társadalmi nyomás, tudományos bizonyítékok, jogszabályok és technológiai újítások együttes hatása állt.

Ugyanakkor az ipar sem kizárólag akadályozója a fejlődésnek. A szigorúbb környezetvédelmi követelmények sok esetben éppen a vállalatokat ösztönözték olyan technológiák kidolgozására, amelyek később gazdaságilag is versenyképesnek bizonyultak.

A gazdasági érdek tehát nem feltétlenül ellentéte a környezetvédelemnek. A kettő megfelelő szabályozás mellett erősítheti is egymást.

A veszély akkor jelentkezik, amikor a gazdasági szereplők nemcsak alkalmazkodnak a társadalom által meghatározott szabályokhoz, hanem aránytalan befolyásukkal magukat a szabályokat is saját érdekeik szerint alakítják.

A demokratikus állam feladata nem az, hogy megszüntesse a különböző érdekeket, hanem az, hogy megakadályozza a közérdek tartós alárendelését a legerősebb szereplők gazdasági érdekeinek.

A környezetvédelemben ezért nem elegendő a technológiai fejlődés. Legalább ilyen fontos az intézmények függetlensége, a tudomány hitelessége, a döntések átláthatósága és a társadalmi részvétel.

Mert miközben az egyéntől azt kérik, hogy változtasson az életmódján, jogosan teheti fel a kérdést: vajon azok is arányos felelősséget vállalnak-e, akik a gazdaság működésének feltételeit meghatározzák?

A környezetvédelem egyik legnagyobb kihívása nem az, hogy rávegyük az embereket néhány személyes szokásuk megváltoztatására, hanem az, hogy a gazdasági döntésekben a hosszú távú társadalmi érdek legalább akkora súlyt kapjon, mint a rövid távú vállalati nyereség.

Források és további olvasmányok

- Supran, G., Rahmstorf, S., Oreskes, N. (2023): Assessing ExxonMobil's global warming projections. Science, 379. Tanulmány.
- Transparency International EU: Green Deal imbalance unveiled: who's accessing the EU institutions? Elemzés.
- Európai Számvevőszék (2024): EU transparency register – Useful but limited information on lobbying activities. Jelentés.
- Európai Parlament (2026): Capping and degressivity of direct payments. A mezőgazdasági támogatások koncentrációjának vizsgálata.
- Az Európai Unió nyilvános lobbi-nyilvántartása.

31. A turizmus két arca

Amikor a világ megismerése és megóvása ellentmondásba kerül egymással



244. ábra: Antarktis Klassisch: vom 3. Jan 28 bis 13. Jan 28 | PONANT Deutschland

de.ponant.com

Az utazás az emberiség egyik legrégebbi és legtermészetesebb törekvése. Az emberek mindig kíváncsiak voltak arra, mi található a következő hegy mögött, hogyan élnek más népek, és milyen természeti csodákat rejt a világ. A kereskedők, felfedezők, zarándokok és tudósok útjai évszázadokon át hozzájárultak a civilizációk közötti kapcsolatok kialakulásához.

A modern turizmus azonban alapvetően megváltoztatta az utazás szerepét és méreteit. Ami egykor csak a kiváltságosok számára volt elérhető, ma emberek százmillióinak természetes

életformájává vált. Repülőgépekkel néhány óra alatt más kontinensre juthatunk, óceánjáró hajókon a világ legtávolabbi tengereit fedezhetjük fel, autóval pedig szinte bárhová elindulhatunk.

Az utazás kétségtelenül gazdagítja az ember életét. Megismertet más kultúrákkal, természeti környezetekkel, történelmi emlékekkel. Segít megérteni, milyen sokszínű a világ, és milyen különböző módon alkalmazkodtak az emberek a természeti feltételekhez.

A turizmus gazdasági jelentősége is óriási. Munkahelyeket teremt, vállalkozásoknak biztosít megélhetést, fejleszti az infrastruktúrát, és olyan térségek számára is jövedelmet hozhat, ahol kevés más gazdasági lehetőség kínálkozik.

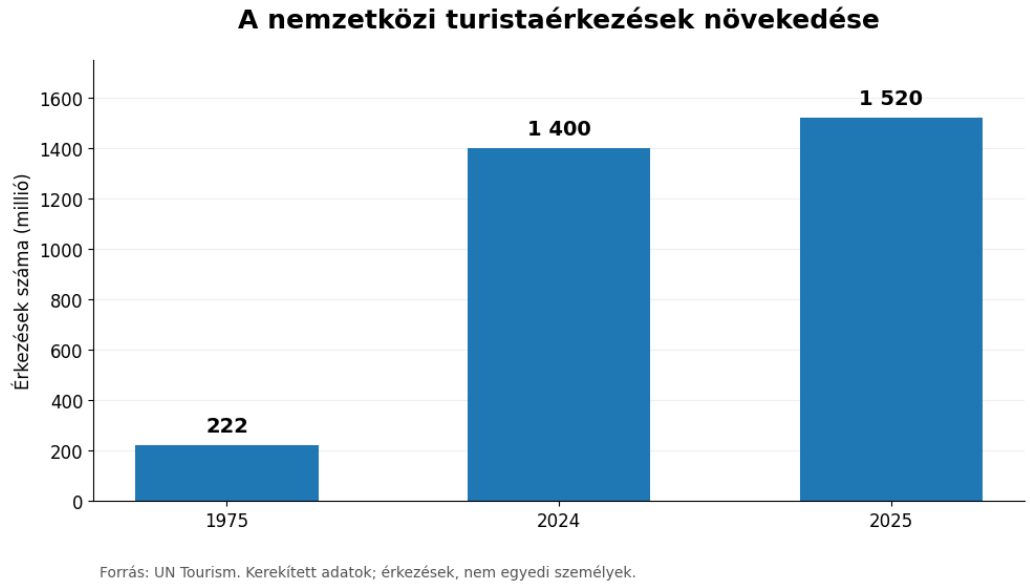
Csakhogy az utazásnak van egy másik arca is.

A turisták közlekednek, energiát és vizet fogyasztanak, hulladékot termelnek, szállásokat és utakat igényelnek. Minél többen keresnek fel egy természeti vagy történelmi értéket, annál nagyobb terhelés éri azt. Így alakul ki a modern turizmus egyik legnagyobb ellentmondása: azért utazunk el valahová, hogy megcsodáljuk, de ha elegen tesszük ugyanezt, könnyen tönkretehetjük azt, amiért útnak indultunk.

A turizmus világgazdasági jelentősége

A második világháború után a turizmus fejlődése különösen felgyorsult. A növekvő életszínvonal, a fizetett szabadság elterjedése, a személygépkocsik és a repülés fejlődése egyre szélesebb rétegek számára tette lehetővé az utazást.

A folyamatot az olcsó repülőjáratok, az internetes szállásfoglalás és a nemzetközi utazási szolgáltatások megjelenése tovább erősítette.



245. ábra: A nemzetközi turistaérkezések számának növekedése

Forrás: UN Tourism. A 2024-es szám a korábban publikált, kerekített becslés. Az adatok nem egyedi utazókat, hanem nemzetközi turistaérkezéseket jelentenek.

A turizmus ma már a világgazdaság egyik meghatározó ágazata. A Világbank adatai szerint a turizmus közvetlen és közvetett gazdasági hozzájárulása 2025-ben megközelítette a 11,6 billió dollárt, és világszerte mintegy 366 millió munkahelyet támogatott.

Ez a gazdasági jelentőség különösen fontos a fejlődő országok, a szigetállamok és a vidéki térségek számára. Egy jól működő turisztikai ágazat jövedelmet biztosíthat a helyi lakosságnak anélkül, hogy feltétlenül bányákat, nehézipari üzemeket vagy nagy energiaigényű létesítményeket kellene építeni.

Az idegenforgalomból származó bevételek a történelmi épületek fenntartását, a nemzeti parkok működését és a veszélyeztetett élőhelyek megőrzését is segíthetik.

A turizmus tehát önmagában nem környezetellenes tevékenység. Megfelelő szabályozással akár a természetvédelem egyik gazdasági alapja is lehet.

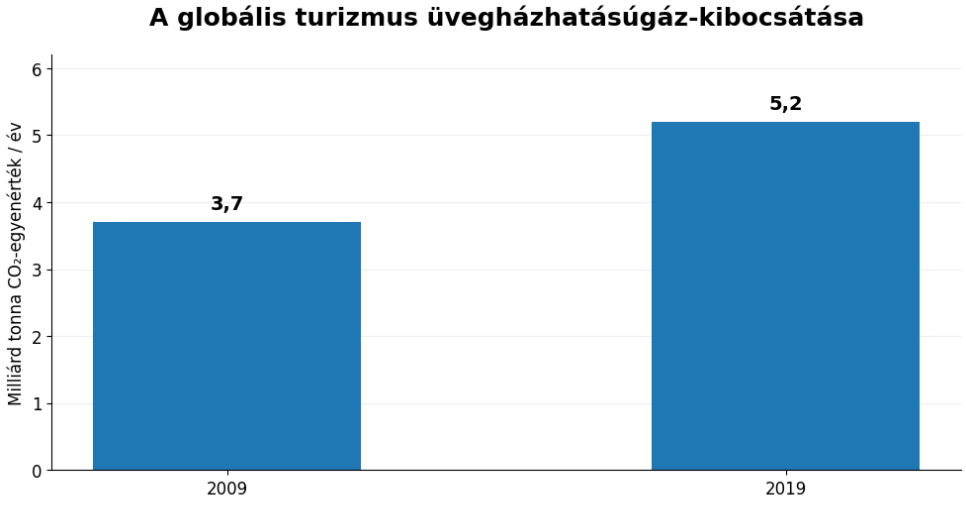
A probléma akkor kezdődik, amikor a látogatók száma, fogyasztása vagy viselkedése meghaladja egy adott terület környezeti és társadalmi teherbíró képességét.

A turizmus láthatatlan környezeti lábnyoma

Az utazások környezeti terhelésének leginkább ismert eleme a közlekedésből származó szén-dioxid-kibocsátás. A teljes kép azonban ennél sokkal összetettebb.

A repülőgépek és gépjárművek üzemanyag-fogyasztásán kívül figyelembe kell venni a szállodák fűtését és hűtését, az étkeztetést, a szabadidős szolgáltatásokat, az épületek és infrastruktúra létrehozását, valamint az utazáshoz kapcsolódó termékek előállítását is.

A Nature Communications folyóiratban 2024 decemberében megjelent átfogó kutatás szerint a turizmus 2019-ben mintegy 5,2 milliárd tonna szén-dioxid-egyenértékű üvegházhatásúgáz-kibocsátásért volt felelős. Ez a globális emberi eredetű kibocsátás körülbelül 8,8 százalékát jelentette.



Forrás: Sun és munkatársai, Nature Communications (2024).

246. ábra: A globális turizmus üvegházhatásúgáz-kibocsátása

2009–2019 közötti változás. Forrás: Sun és munkatársai, Nature Communications, 2024. A kibocsátás a teljes turisztikai ellátási lánc számos elemét tartalmazza.

A kutatás egyik fontos megállapítása, hogy a turizmushoz kapcsolódó kibocsátás 2009 és 2019 között évente átlagosan 3,5 százalékkal növekedett. Ezzel szemben az egységnyi turisztikai költésre jutó kibocsátás évente mindössze 0,3 százalékkal csökkent.

Ez jól példázza a környezetgazdaságtan egyik ismert jelenségét, a visszapattanó hatást. Hiába válnak a járművek, épületek és szolgáltatások energiahatékonyabbá, ha a fogyasztás gyorsabban növekszik, mint amennyit a technológiai fejlődés megtakarít.

A turizmus esetében pontosan ez történt.

A repülés és a hajózás különleges szerepe





247. ábra: Daftar Bandara Aktif di Indonesia Lengkap 2026

Un mare di piaceri - la Repubblica

A légi közlekedés jelentős szerepet játszik a turizmus környezeti terhelésében, különösen a nagy távolságú utazások esetén.

A korszerű utasszállító repülőgépek egy utaskilométerre jutó üzemanyag-fogyasztása jelentősen csökkent az elmúlt évtizedekben. A légitársaságok azonban egyre több utast szállítanak, és a hosszú távú utazások iránti kereslet is növekszik.

A repülés éghajlati hatása ráadásul nem korlátozódik a szén-dioxid-kibocsátásra. A nagy magasságban kibocsátott nitrogén-oxidok, a vízgőz, valamint a megfelelő körülmények között kialakuló kondenzcsíkok és az ezekből létrejövő felhők is befolyásolják a Föld sugárzási mérlegét.

A repülés teljes éghajlati hatása ezért nagyobb lehet, mint amit önmagában az elégetett üzemanyagból származó szén-dioxid mutat.

A tengeri hajózás más jellegű problémákat vet fel. A nagy üdülőhajók lényegében úszó városok, amelyek több ezer utast és jelentős személyzetet szállítanak. Szállodai szolgáltatásokat, éttermeket, medencéket és szórakoztató létesítményeket működtetnek, miközben a hajó mozgatása is energiát igényel.

A légszennyezés mellett problémát jelenthet a szennyvíz, a hulladék, a víz alatti zaj és a kikötővárosokra nehezedő időszakos terhelés.

A különböző közlekedési eszközök környezeti összehasonlítása ugyanakkor nem mindig egyszerű. Egy vonat, autóbusz, személygépkocsi, repülőgép vagy üdülőhajó egy utasra jutó terhelése függ a kihasználtságtól, a megtett távolságtól, az energiaforrástól és a nyújtott szolgáltatásoktól.

Önmagában tehát az a megállapítás, hogy valamely közlekedési mód mindig környezetbarátabb egy másiknál, könnyen félrevezető lehet.

A tömegturizmus: amikor egy város már nem a lakóié



248. ábra: Veneza implementa taxa para turistas de bate-volta e busca turismo sustentável euitaliano.com.br

A turizmus problémái nem kizárólag természeti területeken jelentkeznek. Egyre több történelmi város szembesül azzal, hogy a látogatók tömege alapvetően átalakítja a helyi életet.

Velence talán a legismertebb példa.

A város történelmi értékei, különleges építészete és csatornahálózata világszerte vonzza a látogatókat. A turisták jelenléte jelentős bevételt hoz, ugyanakkor a vendéglátásra és rövid távú szálláskiadásra épülő gazdaság fokozatosan háttérbe szoríthatja a helyi lakosság mindennapi szükségleteit.

A lakásokból apartmanok lesznek, a hagyományos üzletek helyét szuvenírboltok foglalják el, a közterületeket pedig egyre inkább a turistaforgalom igényei határozzák meg.

A folyamat nemcsak környezeti, hanem társadalmi probléma is. Ha egy város lakói számára az élet egyre drágábbá és nehezebbé válik, végül maga az az élő városi kultúra is sérülhet, amely eredetileg vonzóvá tette a helyet.

Velence ezért kísérleti jelleggel belépési hozzájárulást vezetett be bizonyos napokon az egynapos látogatók számára. A rendszer 2026-ban is működött, kiválasztott tavaszi és nyári napokon 5 vagy 10 eurós díjjal.

Hasonló nehézségekkel küzd Barcelona, Dubrovnik és több népszerű európai város.

A tömegturizmus azonban nem szükségszerűen a turisták abszolút számától függ. Egy nagyváros több millió látogatót is képes lehet fogadni, ha a forgalom időben és térben megfelelően oszlik el. Egy kis történelmi település vagy természeti terület viszont már néhány ezer látogatóval is túlterhelődhet.

A döntő kérdés tehát nem pusztán az, hogy hányan érkeznek, hanem az, hogy hol, mikor és milyen módon veszik igénybe a helyi erőforrásokat.

Az utolsó esély turizmusa



249. ábra: National Geographic-Lindblad Expeditions Unveils 2027–28 Deployment | Travel Agent Central

travelagentcentral.com

A modern turizmus egyik különös jelensége az úgynevezett last-chance tourism, magyarul utolsó esély turizmusa.

Lényege, hogy az emberek olyan természeti értékeket szeretnének felkeresni, amelyek a klímaváltozás vagy más környezeti folyamatok következtében veszélybe kerültek, esetleg belátható időn belül jelentősen átalakulhatnak.

Ide tartoznak a visszahúzódó gleccserek, a korallfehéredés miatt károsodó zátonyok, a sarkvidéki jégvilág és bizonyos veszélyeztetett állatfajok élőhelyei.

Az utazó indítéka sokszor érthető: szeretné még saját szemével látni azt, amit a következő nemzedékek talán már nem láthatnak ugyanabban az állapotban.

Csakhogy az utazásokkal járó kibocsátás és helyi környezeti terhelés maga is hozzájárulhat a veszélyeztetett természeti értékek pusztulásához.

Ürge-Vorsatz Diana klímakutató, az IPCC alelnöke egy 2026 novemberében megjelent interjúban éppen erre az ellentmondásra hívta fel a figyelmet. Véleménye szerint a Föld különösen sérülékeny természeti területeinek megőrzése nem egyeztethető össze azzal az elképzeléssel, hogy minden ember korlátozás nélkül felkereshesse valamennyit.

Az Antarktisz különösen szemléletes példa.

A kontinens sokáig szinte kizárólag tudományos expedíciók és rendkívül nehéz felfedezőutak célpontja volt. Ma már szervezett hajóutakkal turisták tízezrei keresik fel évente.

A Nemzetközi Antarktiszi Utazásszervezők Szövetsége (IAATO) a 2025–2026-os szezonra több mint 85 ezer partraszállással járó látogatást, továbbá mintegy 27 ezer, partraszállás nélküli hajóutas látogatást közölt.

A látogatások többsége az Antarktiszi-félsziget viszonylag kis térségében koncentrálódik. Ez azért jelent problémát, mert az ottani ökoszisztémák rendkívül érzékenyek, a növényzet regenerációja lassú, az állatvilág pedig sajátos környezeti feltételekhez alkalmazkodott.

A turisták és a hajók jelenléte megzavarhatja az állatok viselkedését, növelheti az idegen fajok vagy kórokozók behurcolásának kockázatát, és szennyezéssel is járhat.

A szabályozott turizmus természetesen nem azonos a korlátlan tömegturizmussal. Az Antarktiszon működnek látogatási szabályok, de ezek betartása önmagában nem teszi környezeti hatás nélkülivé az utazást.

Gleccserek, korallzátonyok és hegycsúcsok



250. ábra: Tourists in the ice grotto inside Rhone Glacier, Switzerland



251. ábra: Mount Everest has gotten so crowded that climbers are perishing in the traffic jams - The Washington Post



252. ábra: Quicksilver Cruises | Tours | Queensland

Az Alpok gleccserei az elmúlt évtizedekben látványosan visszahúzódtak. A magashegységi tájak átalakulása olyan gyors, hogy egyes helyeken már néhány évtized alatt is feltűnő különbség tapasztalható.

A gleccserek megközelítését utak, felvonók, parkolók és látogatóközpontok segítik. A turizmus így egyrészt lehetőséget ad a klímaváltozás közvetlen megtapasztalására, másrészt további infrastruktúrát hoz a sérülékeny magashegységi környezetbe.

A Himalájában más jellegű problémák is jelentkeznek. A Mount Everest megmászása a hegymászás egyik legnagyobb teljesítményéből részben kereskedelmi szolgáltatássá alakult. A szervezett expedíciók megjelenésével egyre több ember számára vált elérhetővé a csúcs meghódításának lehetősége.

Az eredmény bizonyos időszakokban zsúfoltság, jelentős mennyiségű hátrahagyott felszerelés, oxigénpalack, hulladék és emberi eredetű szennyezés.

A korallzátonyok esetében különösen összetett a helyzet. A búvárturizmus jelentős jövedelmet biztosíthat a part menti közösségeknek, és érdekeltté teheti őket a zátonyok megőrzésében. Ugyanakkor a hajóforgalom, a horgonyzás, a nem megfelelő búvártevékenység és a parti fejlesztések károsíthatják az élővilágot.

A korallzátonyokat fenyegető legnagyobb veszélyek között azonban továbbra is a tengervíz felmelegedése, a tengeri hőhullámok és más nagy léptékű környezeti hatások szerepelnek. A helyi turizmus szabályozása ezeket önmagában nem tudja megszüntetni.

Éppen ezért fontos különbséget tenni a turizmus által közvetlenül okozott károk és azok között a globális folyamatok között, amelyekhez a turizmus csak egyike a hozzájáruló tényezőknek.

A turizmus víz- és területigénye

A turizmus környezeti terheléséről szóló vitákban a szén-dioxid-kibocsátás gyakran háttérbe szorítja a vízfogyasztás és a területfoglalás problémáját.

Pedig sok népszerű üdülőterület éppen olyan vidéken található, ahol a víz eleve szűkös erőforrás.

A mediterrán térség, számos trópusi sziget és egyes sivatagi üdülőközpontok különösen érzékenyek erre.

A turisztikai szolgáltatások jelentős mennyiségű vizet igényelhetnek. A szállodai fürdőszobák, úszómedencék, gondozott kertek, golfpályák, éttermek és mosodák mind növelik a fogyasztást.

Ráadásul a turisztikai szezon sok helyen éppen a legmelegebb és legszárazabb időszakra esik, amikor a helyi lakosság és a mezőgazdaság vízigénye is magas.



253. ábra: JW Marriott Phoenix Desert Ridge Resort & Spa in Phoenix, the United States from $243: Deals, Reviews, Photos | momondo

momondo.com

A probléma nem csupán a víz mennyisége. A megfelelő szennyvízkezelés hiánya a part menti vizek eutrofizációját, a talajvíz szennyezését és a tengeri élővilág károsodását is okozhatja.

A turizmus területigénye szintén jelentős lehet. Szállodák, nyaralótelepek, utak, repülőterek és kikötők épülnek olyan helyeken, ahol korábban természetes élőhelyek vagy mezőgazdasági területek voltak.

A tengerpartok beépítése megszüntetheti a természetes dűnéket, mocsarakat és más parti ökoszisztémákat, amelyek egyébként védelmet nyújtanának a hullámzás, a vihardagályok és a partpusztulás ellen.

A természetes partvidék átalakítása ezért hosszabb távon a turisztikai létesítményeket is sérülékenyebbé teheti.

Az ENSZ Környezetvédelmi Programja (UNEP) külön figyelmeztet arra, hogy a turizmus növekedésével együtt az energia-, víz- és anyagfelhasználás, valamint a hulladékképződés is emelkedik, ha nem történik érdemi változás a működési modellekben.

UNEP - UN Environment Programme

Magyarország: a Balatontól a természetvédelmi területekig



254. ábra: Ezek a legjobb balatoni strandok 2021-ben a Kék Hullám pontszámai szerint | 74nullanulla.hu magazin



255. ábra: Siti Patrimonio dell'Umanità UNESCO in Ungheria: 8 luoghi da esplorare - The Wom Travel



256. ábra: 5 varázslatos túra a belvárostól egy órára: vonattal vagy busszal is megközelíthetők - Utazás | Femina

Magyarországon a turizmus környezeti hatásai kisebb földrajzi léptékben, de hasonló módon jelentkeznek.

A Balaton térsége különösen jól mutatja az idegenforgalom gazdasági előnyeinek és környezeti terheinek együttélését.

A turizmus jelentős bevételt biztosít a helyi vállalkozásoknak, munkahelyeket teremt, és hozzájárul a települések infrastruktúrájának fejlődéséhez.

Ugyanakkor a nyári hónapokban a vízfogyasztás, a szennyvíztermelés, a közúti forgalom és a hulladék mennyisége nagymértékben megnőhet.

A part menti beépítések és a természetes nádasok visszaszorulása csökkentheti a tópart ökológiai értékét. A nagy burkolt felületek pedig növelhetik a nyári hőterhelést, és akadályozhatják a csapadék természetes beszivárgását.

A Balaton vízminőségének védelme ugyanakkor azt is bizonyítja, hogy a környezetvédelmi beruházások eredményesek lehetnek. A szennyvízelvezetés és -tisztítás fejlesztése, valamint a tápanyagterhelés mérséklése jelentős szerepet játszott a vízminőség korábbi romlásának visszafordításában.

Hasonló kettősség figyelhető meg a nemzeti parkokban és a népszerű kirándulóhelyeken.

A természetjárás általában jóval kisebb környezeti terhelést jelent, mint egy nagy távolságú repülőút. Ha azonban a látogatók tömegesen letérnek a kijelölt utakról, parkolókat alakítanak ki érzékeny élőhelyeken, vagy zavarják az állatvilágot, a helyi károk jelentősek lehetnek.

A jól kialakított turistaút-hálózat, a megfelelő tömegközlekedés, a látogatószám szabályozása és a természetvédelmi tájékoztatás azonban hatékonyan mérsékelheti ezeket a problémákat.

A magyar példák azért fontosak, mert rámutatnak: a fenntartható turizmus nem kizárólag távoli szigetek vagy egzotikus természeti területek problémája.

Ugyanazok a kérdések felmerülnek a Balatonnál, a Dunakanyarban, a Mátrában vagy a Bükkben is.

Amikor a turizmus a természetvédelem szolgálatába áll



257. ábra:Ekim ayında Tanzanya Safari

jaynevytours.com

A turizmus környezeti hatásainak bemutatása nem lenne teljes a pozitív példák nélkül.

A természetvédelmi területek fenntartása pénzbe kerül. Szükség van természetvédelmi őrökre, tudományos kutatásokra, élőhely-rekonstrukcióra, az illegális vadászat és fakitermelés visszaszorítására, valamint a látogatók megfelelő tájékoztatására.

Ezek költségeinek egy részét a turizmusból származó bevételek fedezhetik.

Afrikában például több ország természetvédelmi területein a szabályozott szafariturizmus jelentős szerepet játszik a nemzeti parkok finanszírozásában. A vadon élő állatok megőrzése gazdasági értékké válhat a helyi közösségek számára, ami hozzájárulhat az élőhelyek fennmaradásához.

Ez azonban csak akkor működik megfelelően, ha a bevételekből a helyi lakosság is részesedik, és nem kizárólag távoli befektetők vagy nemzetközi utazásszervezők profitálnak.

A turizmus természetvédelmi jelentőségét az is növeli, hogy személyes élményeken keresztül képes szemléletformálásra.

Egy korallzátony élővilágának megismerése, egy gleccser visszahúzódásának saját szemmel történő megtapasztalása vagy egy természetvédelmi területen eltöltött néhány nap olyan benyomást kelthet, amelyet könyvekből és filmekből nehezebb megszerezni.

Ugyanakkor az élmény önmagában nem garantálja a környezettudatosabb viselkedést. A természetvédelmi ismeretek átadása, a megfelelő programok és a látogatók bevonása nélkül a kirándulás könnyen egyszerű fogyasztási élménnyé válhat.

A természetvédelmi turizmus tehát nem automatikusan fenntartható. Eredményessége attól függ, hogy a gazdasági bevételek, az ökológiai korlátok és a helyi közösségek érdekei között sikerül-e megfelelő egyensúlyt teremteni.

Ki jogosult utazni?

A turizmus korlátozásának kérdése nemcsak környezetvédelmi, hanem társadalmi igazságossági problémákat is felvet.

Ha egy természeti terület látogatóinak számát csökkenteni kell, hogyan történjen a kiválasztás?

A magas belépődíjak egyszerű megoldásnak tűnhetnek. Csakhogy ezek elsősorban az alacsonyabb jövedelműeket szorítják ki. A leggazdagabbak számára az ár kevésbé jelent akadályt, így a természeti értékek megismerése újra a kiváltságosok lehetőségévé válhat.

A pusztán érkezési sorrenden alapuló korlátozás sem feltétlenül igazságos. Előnyt élvezhetnek azok, akik rugalmasabban tudják megtervezni utazásukat, vagy könnyebben férnek hozzá a foglalási rendszerekhez.

Lehetséges megoldás az előzetes regisztráció, az időpontfoglalás, a látogatási kvóták alkalmazása vagy az érzékeny területek időszakos lezárása.

Egyes helyeken indokolt lehet az idegenforgalmi bevételek egy részének közvetlen visszaforgatása a természetvédelembe és a helyi infrastruktúrába.

A turizmus igazságosságának azonban van egy másik oldala is.

A globális idegenforgalom környezeti terhelése rendkívül egyenlőtlenül oszlik el. A magas jövedelmű országok lakói lényegesen gyakrabban és messzebbre utazhatnak, miközben a legérzékenyebb természeti területek közül sok olyan országokban található, amelyek viszonylag kevéssé járultak hozzá a globális felmelegedéshez.

A 2024-es, turisztikai kibocsátásokat vizsgáló tanulmány szerint a húsz legnagyobb kibocsátású ország a turizmus globális karbonlábnyomának mintegy háromnegyedéért felelős.

Ez újra felveti a kérdést: ki élvezi az utazás előnyeit, és ki viseli a környezeti következményeket?

Létezik fenntartható turizmus?

A fenntartható turizmus nem feltétlenül az utazások számának általános csökkentését jelenti. Sokkal inkább azt, hogy a turizmus működését a természeti és társadalmi feltételekhez igazítsuk.

Ennek egyik lehetséges módja, hogy a látogatók hosszabb időt töltenek egy-egy úti célon, és kevesebb, egymástól távoli helyszínt keresnek fel rövid idő alatt.

Egy többhetes utazás során a közlekedésből származó kibocsátás egy napra vetítve kisebb lehet, mint amikor valaki évente több alkalommal repül rövid időre távoli városokba. Ez természetesen nem jelenti automatikusan, hogy a hosszabb utazás teljes környezeti terhelése is alacsonyabb.

A közlekedési eszköz megválasztása szintén lényeges. A vasút és a jól kihasznált autóbusz sok útvonalon kedvezőbb lehet a repülésnél vagy az egyéni autózásnál, különösen akkor, ha alacsony kibocsátású villamos energiával működik.

Fontos szerepe lehet a szálláshelyek energiahatékonyságának, a víztakarékos megoldásoknak, a hulladékcsökkentésnek és a helyi termékek előnyben részesítésének.

A technológiai fejlesztések azonban önmagukban nem elegendők.

Ha egy népszerű természeti terület ökológiai teherbíró képessége korlátozott, akkor a látogatók számát is korlátozni kellhet. Nincs olyan környezetbarát közlekedési eszköz vagy szálláshely, amely korlátlan számú turistát tenne lehetővé egy sérülékeny élőhelyen.



258. ábra: Croatia Travel Guide | Skyscanner

skyscanner.net

A horvátországi Plitvicei-tavaknál a kijelölt sétautak segítenek a látogatók mozgását a természetvédelmi szempontokhoz igazítani.

A fenntarthatóság megvalósításában ezért nemcsak az utazóknak, hanem az államoknak, önkormányzatoknak és turisztikai vállalkozásoknak is jelentős szerepük van.

A megfelelő infrastruktúra kialakítása, a környezeti hatások mérése, a látogatási korlátok és a természetvédelmi szabályok betartatása mind olyan feladat, amely nem hárítható kizárólag az egyéni fogyasztókra.

A turizmus jövőjében a mennyiségi növekedés helyett egyre nagyobb jelentőséget kaphat a minőség: az, hogy egy-egy látogató mennyi helyi gazdasági és társadalmi értéket teremt, és ehhez mekkora környezeti terhelés társul.

A világ megismerése és megőrzése

A turizmus története bizonyos értelemben az emberi fejlődés története is.

A korábbi nemzedékek számára elképzelhetetlen lehetőségek váltak mindennapossá. Ma olyan helyeket kereshetünk fel, amelyekről elődeink legfeljebb útleírásokból és fényképekből szerezhettek tudomást.

A személyes tapasztalat értéke nehezen helyettesíthető. Aki látott már magashegységi gleccsert, trópusi esőerdőt, korallzátonyt vagy történelmi városokat, az pontosan tudja, hogy egy helyszín közvetlen megtapasztalása egészen más élményt jelent, mint a róla készült képek megtekintése.

Éppen ezért nem lenne helyes az utazást pusztán környezetkárosító tevékenységként kezelni.

Ugyanakkor az sem tartható fenn hosszú távon, hogy a világ legértékesebb és legsérülékenyebb helyszíneit korlátlanul növekvő számú látogató keresse fel.

A két szempont összeegyeztetése nem egyszerű.

Bizonyos területeken elegendő lehet a környezetkímélő közlekedés fejlesztése, a hulladékkezelés javítása vagy a látogatások időbeli elosztása. Másutt viszont valódi korlátozásokra lesz szükség.

A cél nem az, hogy az emberek lemondjanak a világ megismeréséről, hanem az, hogy ennek lehetősége a következő nemzedékek számára is fennmaradjon.

A turizmus gazdasági értéke ugyanis végső soron magukból a természeti és kulturális értékekből származik. Ha ezek elpusztulnak, az idegenforgalom saját alapját számolja fel.

A turizmus két arca tehát nem két külön világ. Ugyanannak az emberi tevékenységnek a két oldala: az egyik gazdagítja életünket, a másik veszélyeztetheti azt, amit értékesnek tartunk.

A feladat nem az egyik oldal megtagadása, hanem a kettő közötti egyensúly megtalálása.

A természet megismerése fontos emberi érték, de nem jelent korlátlan jogot minden terület birtokbavételére. Ahogyan az emberiség kulturális örökségének egy részét különleges védelemben részesítjük, ugyanúgy szükség lenne olyan nagy, összefüggő természeti területekre, ahol az élővilág megőrzése minden turisztikai és gazdasági érdeket megelőz.

Az Antarktisz különösen alkalmas lenne erre. A kontinens nem egyetlen ország tulajdona, hanem nemzetközi együttműködés keretében védett terület.

A világot nemcsak azért érdemes megismerni, mert szép és érdekes, hanem azért is, hogy felismerjük: megőrzése közös felelősségünk.

A fejezet főbb forrásai

- Sun, Y.-Y. és munkatársai (2024): Drivers of global tourism carbon emissions. Nature Communications.
- UN Tourism (2026): International tourist arrivals up 4% in 2025.
- UNEP: Tourism – environmental impacts and sustainability.
- IAATO: Antarctic tourism statistics.
- Ürge-Vorsatz Diana interjúja (2026. november 4.): Az utazásainkkal is pusztítunk. Nők Lapja / 24.hu.

VII. Az ember, a társadalom és a környezeti vita

32. Miért éppen én kezdjem?

Az elektromos autó és az egyéni áldozatvállalás kérdése. Hajózás, repülés, magánrepülőgépek és politikai példamutatás. A potyautas-probléma és a társadalmi igazságosság.

A környezetvédelemről szóló vitákban előbb-utóbb elhangzik egy egyszerű, mégis nehezen megválaszolható kérdés: miért éppen nekem kellene megváltoztatnom az életmódomat?

Miért vegyek drágább elektromos autót, amikor a világ másik felén továbbra is széntüzelésű erőművek épülnek? Miért mondjak le a repülésről, amikor a gazdagok magánrepülőgépekkel utaznak? Miért fizessek többet az energiáért, miközben a nagy ipari vállalatok kedvezményeket és állami támogatásokat kapnak?

Ezeket a kérdéseket könnyű önzésnek vagy felelőtlenségnek minősíteni. Pedig valós társadalmi ellentmondásokat fejeznek ki.

A környezetvédelmi intézkedések költségei és hasznai ugyanis nem egyformán oszlanak el. Egyeseknek elegendő egy másik terméket választaniuk, másoknak viszont alapvető életkörülményeiket kellene megváltoztatniuk. Van, akinek az elektromos autó kényelmes és gazdaságos megoldás, másnak elérhetetlen luxus. Van, aki évente többször repül nyaralni, másnak egész életében nem adódik ilyen lehetősége.

Mindeközben a klímaváltozás következményei sem feltétlenül azokat sújtják legerősebben, akik a legtöbb üvegházhatású gázt bocsátják ki.

Az egyéni felelősség kérdését ezért nem lehet elválasztani a gazdasági lehetőségektől, a társadalmi igazságosságtól és a politikai döntésektől.

A környezetvédelem egyik legnehezebb dilemmája az, hogyan lehet közös cselekvést elvárni olyan emberektől, akik nagyon különböző mértékben járulnak hozzá a problémához, és nagyon eltérő áldozatokat kellene vállalniuk a megoldásért.

Két tonna gép nyolcvan kiló emberért

A modern közlekedés egyik legkülönösebb ellentmondása, hogy miközben egyre nagyobb figyelmet fordítunk az energiahatékonyságra és a károsanyag-kibocsátás csökkentésére, mind nehezebb és erősebb személyautókat gyártunk. Ma már az 500–600 lóerős autók sem számítanak ritkaságnak, miközben a városokban sok helyen 30 km/órás, az autópályákon pedig jellemzően 120–130 km/órás sebességhatárok korlátozzák a közlekedést.

De vajon mennyi energia szükséges ahhoz, hogy egyetlen embert eljuttassunk A pontból B pontba?

Vegyünk egy 1700 kilogrammos személyautót és egy 80 kilogrammos vezetőt. A teljes mozgatott tömeg 1780 kilogramm, amelyből az utas mindössze 4,5 százalékot képvisel. Amikor az autó álló helyzetből 50 km/órára gyorsul, a mozgási energia 95,5 százaléka magának a járműnek a felgyorsításához szükséges. A következő piros lámpánál ennek az energiának a jelentős része hővé alakul a fékekben.



259. ábra: Két tonna gép, 80 kg emberért

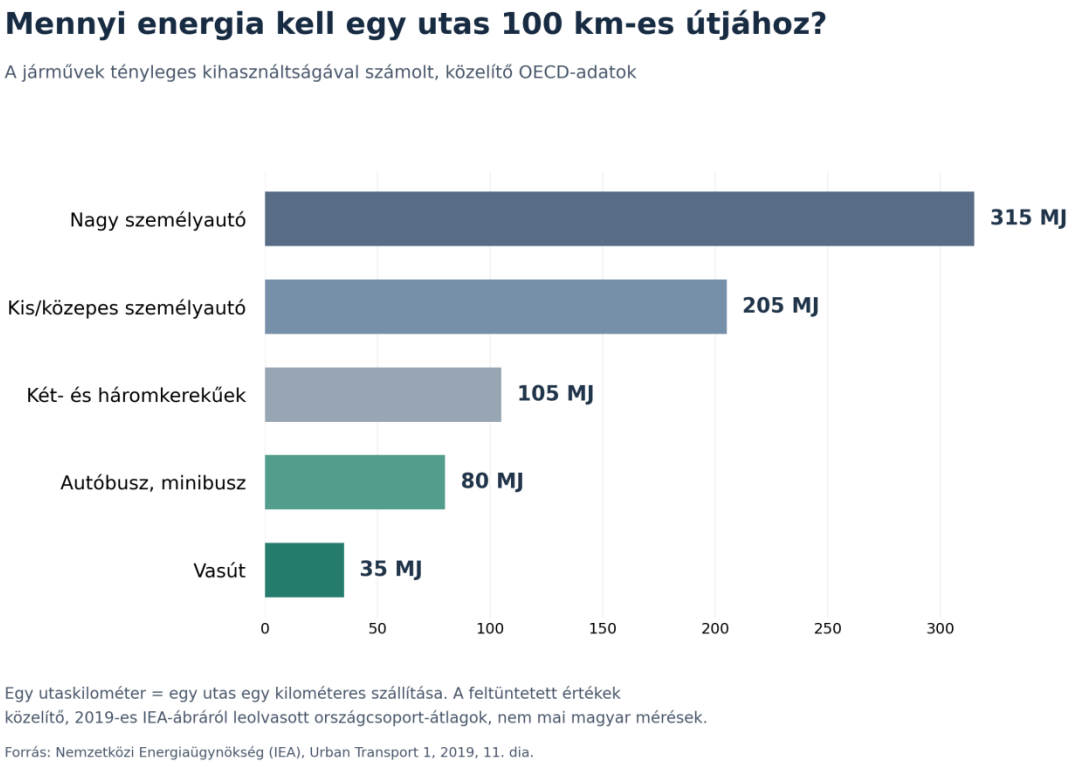
Ez természetesen nem jelenti azt, hogy az üzemanyag 95,5 százalékát az autó fogyasztja el. A tényleges energiafelhasználásban a légellenállás, a gördülési ellenállás, a motor és a hajtáslánc veszteségei is szerepet játszanak. A példa mégis jól érzékelteti az alapvető aránytalanságot.

A személyautó tömege részben indokolt. A karosszéria védi utasait, a jármű kényelmet, fűtést, légkondicionálást, csomagteret és biztonsági rendszereket biztosít. Ugyanakkor mindezt akkor is magunkkal visszük, amikor egyedül indulunk el néhány kilométeres útra.

Az elektromos hajtás javít az energetikai mérlegen. A villanymotor hatásfoka magasabb, és a fékezési energia egy része visszanyerhető. A nagy akkumulátorok gyártása azonban jelentős nyersanyag- és energiafelhasználással jár, a járművek tömege pedig gyakran tovább növekszik.

A technikai fejlődés újabb ellentmondása, hogy a hatékonyabb motorokkal elért energiamegtakarítás egy részét nagyobb, nehezebb és erősebb járművekre fordítjuk. Miközben egyre takarékosabban tudnánk közlekedni, gyakran inkább egyre több technikát mozgatunk ugyanannak az embernek az elszállításához.

Mindez nem jelenti azt, hogy az autózás örömét vagy a nagy teljesítményű motorok műszaki értékét tagadnunk kellene. A vezetés élménye valós emberi igény, a gépjármű pedig sok élethelyzetben nélkülözhetetlen.



260. ábra: Energia igény 100 utaskilométerre vetítve, az IEA 2019-es OECD-adatai alapján.

A közlekedés energiaigényét nem önmagában a motor teljesítménye vagy a jármű fogyasztása határozza meg, hanem az is, hogy mekkora tömeget mozgatunk és hány embert szállítunk vele (2019-es adatok).

A környezetvédelmi kérdés azonban megmarad: **valóban az jelenti a fejlődést, ha egyre nagyobb teljesítményű gépekkel szállítjuk ugyanazt az embert, vagy az, ha ugyanazt a közlekedési feladatot egyre kevesebb energiával és nyersanyaggal oldjuk meg?**

Lehet, hogy a jövő autóiparának nem az újabb száz lóerőkkel, hanem a megtakarított száz kilogrammokkal kellene büszkélkednie.

Az elektromos autó: környezetvédelem vagy anyagi áldozat?



261. ábra: Az elektromos autózás előnyei és költségei nem mindenki számára azonosak. A választási lehetőségeket a jövedelem, a lakóhely, a töltőhálózat és a közlekedési igények is meghatározzák.

Az elektromos autó az egyéni környezetvédelmi döntések egyik leggyakrabban emlegetett példája.

A technológia előnyei valósak. Az elektromos motor hatásfoka lényegesen jobb a belső égésű motorénál, a jármű használata közben nincs kipufogógáz-kibocsátás, és az üzemeltetésből származó szén-dioxid-kibocsátás a villamosenergia-termelés összetételétől függően jelentősen csökkenthető.

A teljes környezeti mérleghez azonban figyelembe kell venni az akkumulátor előállítását, a nyersanyagok kitermelését, a jármű gyártását és az élettartam végi feldolgozást is.

Az International Council on Clean Transportation (ICCT) 2025-ben közzétett, európai viszonyokra vonatkozó életciklus-elemzése szerint az újonnan értékesített, középkategóriás akkumulátoros elektromos személyautók becsült teljes életciklusra vetített üvegházgáz-kibocsátása körülbelül 73 százalékkal alacsonyabb a hasonló benzines autókénál. A vizsgálat az európai áramtermelés 2025 és 2044 között várható összetételével számolt.

Ez jelentős különbség. De ebből nem következik automatikusan, hogy minden autótulajdonosnak azonnal elektromos autóra kellene váltania.

Egy már meglévő, megfelelő állapotú gépkocsi lecserélése újabb jármű gyártását igényli. A csere tényleges környezeti előnye ezért függ attól is, mennyit használják az autót, milyen fogyasztású a régi jármű, és mi történik vele a lecserélés után.

Az sem mindegy, hogy valaki családi házban él, ahol saját töltési lehetőséget alakíthat ki, vagy egy társasházban, ahol kizárólag nyilvános töltőkre támaszkodhat.

Egy hosszú távokat rendszeresen megtevő autósnak mások az igényei, mint annak, aki naponta húsz kilométert közlekedik egy városon belül.

És természetesen meghatározó az ár.

A magasabb jövedelmű háztartások könnyebben vállalhatják egy új technológia kezdeti többletköltségét. Az alacsonyabb jövedelműek viszont sokszor használt autót vásárolnak, és számukra a jármű üzembiztonsága, javíthatósága és vételára fontosabb szempont, mint egy hosszú távú környezeti számítás.

A környezetpolitika akkor kerül nehéz helyzetbe, amikor egy műszakilag indokolható átállást mindenkitől azonos ütemben vár el.

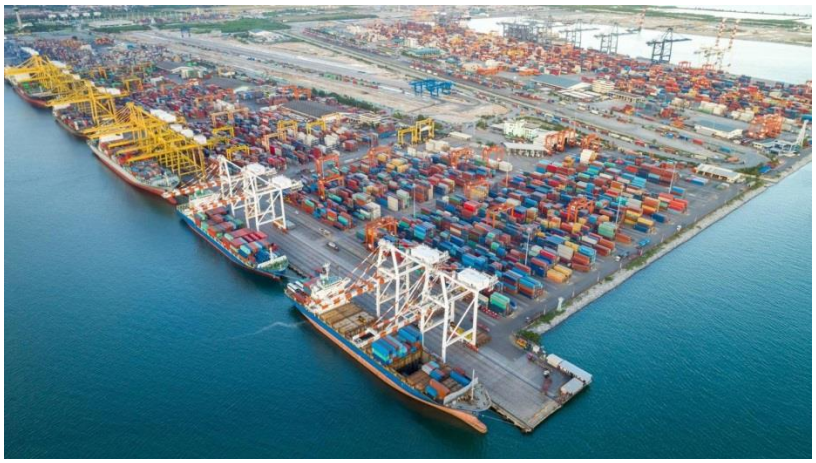
Az elektromos közlekedés támogatása elősegítheti egy kedvezőbb technológia elterjedését. Ugyanakkor, ha a támogatásokból elsősorban azok részesülnek, akik egyébként is képesek új autót vásárolni, akkor a közpénzek felhasználása társadalmi igazságossági kérdéseket vet fel.

És van egy másik szempont is: az elektromos autó nem oldja meg a közlekedés valamennyi környezeti problémáját. Ugyanúgy helyet foglal az utakon, dugóban állhat, parkolót igényel, és gumiabroncsai, valamint az útfelület kopása részecskeszennyezést okoz.

Egy korszerű elektromos autó tehát rendszerint kedvezőbb éghajlati megoldás, mint egy hasonló benzines jármű, de nem feltétlenül kedvezőbb egy jól működő tömegközlekedési rendszernél.

A lényeg nem az, hogy mindenki ugyanazt a technológiát válassza, hanem az, hogy legyen lehetősége a környezetkímélőbb közlekedésre.

A világkereskedelem láthatatlan kibocsátása





262. ábra: A tengeri áruszállítás a világgazdaság egyik alapja. Hatékonyan mozgat hatalmas árumennyiségeket, összesített környezeti terhelése mégis jelentős.

Amikor az embereket arra kérik, hogy csökkentsék közlekedésük környezeti terhelését, joggal merül fel bennük a kérdés: mi történik közben a világkereskedelemmel?

A hatalmas konténerszállító hajók folyamatosan közlekednek az óceánokon, nyersanyagokat, gépeket, ruházati termékeket, élelmiszereket és fogyasztási cikkeket szállítva egyik kontinensről a másikra.

Egyetlen nagy teherszállító hajó üzemanyag-fogyasztása összehasonlíthatatlanul nagyobb egy személyautóénál. A két jármű összevetése azonban önmagában félrevezető, mert a hajó egyszerre óriási mennyiségű árut mozgat meg.

Egy tonna áru egy kilométerre történő elszállítására vetítve a nagy tengeri teherszállító hajók általában lényegesen hatékonyabbak, mint a közúti teherautók, és különösen a légi teherszállítás.

A probléma tehát nem elsősorban az egy tonnakilométerre jutó fogyasztás, hanem a szállítás hatalmas összmennyisége.

A Nemzetközi Tengerészeti Szervezet (IMO) 2020-as tanulmánya szerint a teljes hajózás 2018-ban mintegy 1,06 milliárd tonna szén-dioxidot bocsátott ki, ami az akkori globális emberi eredetű szén-dioxid-kibocsátás körülbelül 2,9 százalékának felelt meg.

Ehhez járulnak a légszennyező anyagok, a tengeri ökoszisztémákra gyakorolt hatások, valamint a kikötők és hajózási útvonalak környezeti terhelése.

De ki felel ezért a kibocsátásért?

A hajótulajdonos? A kereskedelmi vállalat, amely megrendeli a szállítást? A gyártó, amely a terméket előállítja? Vagy a fogyasztó, aki megvásárolja?

Valamilyen mértékben mindegyikük.

A nemzetközi kereskedelemben a környezeti költségek gyakran nehezen követhetők. Egy Európában megvásárolt termék előállítása Ázsiában történhet, alapanyagai több kontinensről származhatnak, és a végtermék több ezer kilométert utazhat.

A fogyasztó a boltban többnyire nem látja ezt a folyamatot. Legfeljebb azt érzékeli, hogy a távoli országban gyártott termék olcsóbb, mint a helyi alternatíva.

Felvethető tehát, hogy a környezeti szempontból indokolatlanul hosszú szállítási láncokat érdemes lenne rövidíteni.

De itt is óvatosan kell fogalmazni. A helyben előállított termék nem minden esetben környezetkímélőbb. Egy kedvező éghajlaton, alacsony energiaigénnyel termesztett mezőgazdasági termék teljes kibocsátása még a tengeri szállítással együtt is kisebb lehet, mint egy helyben, energiaigényes fűtött üvegházban termelt árué.

A szállítási távolság tehát fontos, de önmagában nem elegendő mutató.

A valódi kérdés az, hogy a világkereskedelem ára mennyire tükrözi a szállítás és termelés teljes környezeti költségét.

Amíg ezek a költségek nem vagy csak részben jelennek meg az árakban, a fogyasztók és a vállalatok sem feltétlenül a környezeti szempontból kedvezőbb megoldást fogják választani.

Repülés: az időmegtakarítás környezeti ára

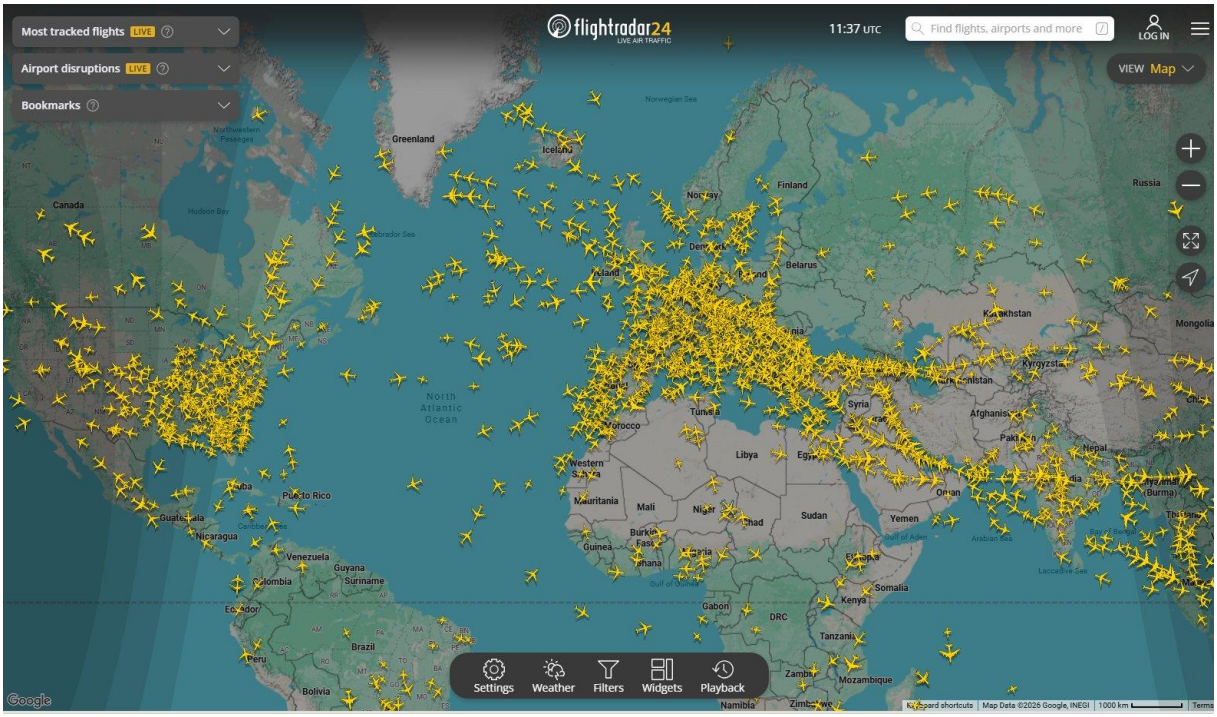


263. ábra: A légi közlekedés összeköti a kontinenseket és lerövidíti az utazási időt, de a repülés éghajlati hatása nem korlátozódik a szén-dioxid-kibocsátásra.

A repülés a modern világ egyik legnagyobb technológiai és gazdasági vívmánya. Néhány óra alatt eljuthatunk olyan helyekre, amelyek megközelítése korábban napokba vagy hetekbe telt volna.

A turizmus, a nemzetközi kereskedelem, a tudományos együttműködés és a családi kapcsolatok fenntartása egyaránt profitál ebből.

A repülés környezeti terhelése azonban jelentős.



264. ábra: Adott pillanatban a levegőben tartózkodó repülőgépek (2026.10.18)

Az Európai Repülésbiztonsági Ügynökség (EASA) 2025-ös környezeti jelentése szerint a légi közlekedés 2023-ban a világ szén-dioxid-kibocsátásának körülbelül 2,5 százalékáért felelt.

A repülőgépek éghajlati hatása ennél összetettebb. A magas légköri rétegekbe kerülő nitrogén-oxidok és a kondenzcsíkok nyomán kialakuló felhők szintén befolyásolják a Föld sugárzási mérlegét. A teljes éghajlati hatás ezért nagyobb lehet, mint amit a közvetlen szén-dioxid-kibocsátás önmagában mutat. A nem szén-dioxid-jellegű hatások becslése ugyanakkor jelentős bizonytalanságokkal jár.

A közlekedési módok összehasonlításánál az utasonként és kilométerenként számított kibocsátás fontosabb, mint egy jármű teljes fogyasztása.

Egy megtelt utasszállító repülőgép sok ember között osztja el az üzemanyag-felhasználást, de általában így is nagyobb éghajlati terhelést jelent azonos távolságon, mint egy megfelelő kihasználtságú villamosított vasút.

A repülés kiváltása azonban nem minden útvonalon reális. Európán belül sok esetben létezik vasúti alternatíva, két kontinens között viszont az utazási időben és elérhetőségben hatalmas különbség lehet.

Itt ismét megjelenik az egyéni áldozatvállalás kérdése.

Egy turista dönthet úgy, hogy egy rövid belföldi repülőút helyett vonattal utazik. De vajon ugyanilyen elvárás támasztható valakivel szemben, aki másik kontinensen élő családtagját szeretné meglátogatni?

És vajon indokolt-e ugyanúgy kezelni azt, aki életében egyszer repül távoli országba, és azt, aki rendszeresen hétvégi kirándulásokra használja a repülőgépet?

A repülés környezeti hatásának csökkentését ezért nem lehet kizárólag az utasok lelkiismeretére bízni. Szükség van hatékonyabb repülőgépekre, alternatív üzemanyagokra, a légiforgalom jobb szervezésére és olyan szabályozásra, amely a környezeti költségeket is figyelembe veszi.

A fenntartható repülőgép-üzemanyagok ugyanakkor nem varázsmegoldások. Előállításuk alapanyagokat és energiát igényel, elérhetőségük korlátozott, és környezeti előnyük a gyártási módszertől függ.

Az utazás szabadsága fontos társadalmi érték. A kérdés az, hogyan lehet ezt a szabadságot összeegyeztetni a környezeti terhek csökkentésével úgy, hogy a korlátozások és költségek ne aránytalanul azokra háruljanak, akik eleve kevesebbet utaznak.

Magánrepülőgépek: amikor a példa fontosabb, mint az összesített arány



265. ábra: A magánrepülés globális kibocsátása kisebb a menetrend szerinti légiközlekedésénél, de egy utasra vetítve rendkívül magas környezeti terhelést okozhat.

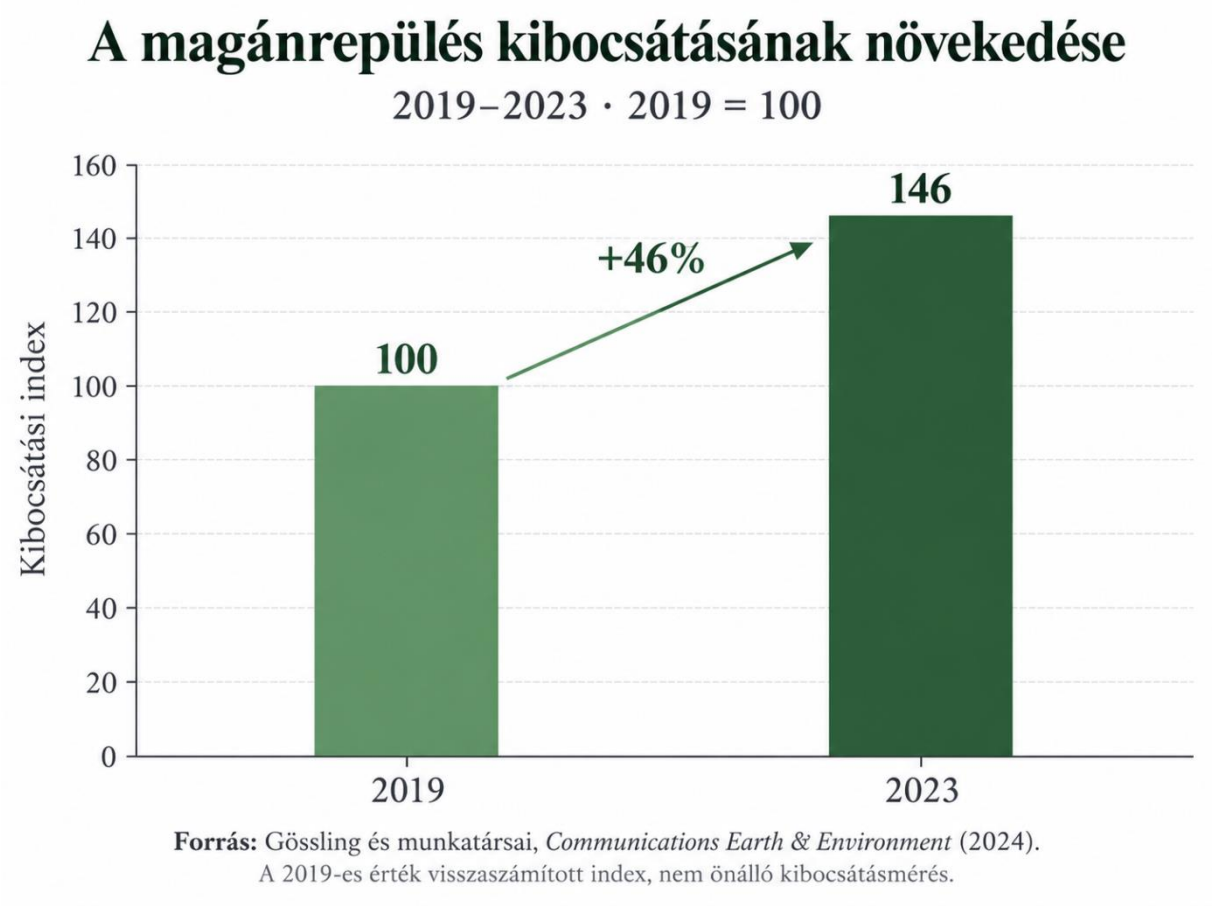
A magánrepülőgépek körüli vita különösen jól mutatja, hogy a környezetvédelem nem csupán a kibocsátott szén-dioxid mennyiségéről szól.

A magánrepülés a teljes légi közlekedés kibocsátásának viszonylag kis részét adja. Egy-egy utasra vetítve azonban az üzemanyag-felhasználás rendkívül magas lehet, hiszen egy kisebb repülőgép olykor csak néhány embert szállít.

A Communications Earth & Environment folyóiratban 2024 novemberében közzétett kutatás 2019 és 2023 között közel 18,7 millió magánrepülőgépes repülési szakasz adatait elemezte.

A kutatók becslése szerint 2023-ban a magánrepülés közvetlen szén-dioxid-kibocsátása legalább 15,6 millió tonna volt, ami 46 százalékos növekedést jelentett 2019-hez képest. Az egy repülésre jutó közvetlen kibocsátás átlagosan körülbelül 3,6 tonna szén-dioxid volt.

A tanulmány egyik figyelemre méltó eredménye, hogy a vizsgált magánrepülések 47,4 százaléka 500 kilométernél rövidebb távolságon történt.



A vizsgált magánrepülési tevékenység közvetlen szén-dioxid-kibocsátása négy év alatt 46 százalékkal emelkedett.

A magánrepülés használatának vannak gyakorlati indokai. Egy vállalatvezető több, egymástól távoli helyszínen folytathat tárgyalásokat, egy speciális repülés fontos szállítási feladatot láthat el, és vannak olyan térségek, ahol a menetrend szerinti légi közlekedés nem biztosít megfelelő kapcsolatot.

Ezek a körülmények azonban nem változtatnak azon, hogy a magánrepülőgép rendkívül energiaigényes közlekedési forma lehet, különösen rövid utakon és alacsony kihasználtság mellett.

A társadalmi vita ráadásul nem kizárólag a kibocsátás abszolút mennyiségéről szól.

Egy átlagos állampolgár számára nehezen elfogadható lehet, ha tőle jelentős anyagi áldozatot várnak el a környezetvédelem érdekében, miközben a legmagasabb jövedelmű rétegek továbbra is nagy energiaigényű luxusszolgáltatásokat vesznek igénybe.

Itt a környezeti felelősség összekapcsolódik az igazságosság és a példamutatás kérdésével.

A magánrepülőgépek korlátozása önmagában nem oldaná meg a klímaváltozást. De az, hogy a legnagyobb egyéni kibocsátással járó tevékenységekre milyen szabályok vonatkoznak, jelentősen befolyásolhatja a környezetpolitika társadalmi elfogadottságát.

A politikai példamutatás hitelessége





266. ábra: A nemzetközi klímatárgyalások fontosak, de a politikai vezetők személyes közlekedése és a bejelentett célok közötti összhang is része a társadalmi vitának.

A klímakonferenciákon állam- és kormányfők, miniszterek, diplomaták, tudósok és vállalati vezetők találkoznak, hogy a környezeti problémák kezeléséről tárgyaljanak.

Ezeknek a találkozóknak kétségtelenül lehet értelmük. A nemzetközi környezetvédelmi megállapodások létrehozásához személyes egyeztetésekre, szakértői munkára és politikai kompromisszumokra van szükség.

Ugyanakkor a konferenciák lebonyolítása maga is környezeti terhelést okoz. Több tízezer résztvevő utazása, elszállásolása, a rendezvények energiaellátása és logisztikája jelentős erőforrásokat igényelhet.

A politikai példamutatás kérdése különösen akkor kerül előtérbe, amikor a döntéshozók a lakosságot fogyasztásának csökkentésére, drágább technológiák megvásárlására vagy utazási szokásainak megváltoztatására ösztönzik.

Ilyenkor sok ember felteszi a kérdést: a politikai vezetők maguk is vállalják-e azokat a változtatásokat, amelyeket másoktól elvárnak?

A probléma nem feltétlenül az, hogy egy kormányfő repülőgéppel utazik egy nemzetközi tárgyalásra. Biztonsági, időgazdálkodási és diplomáciai szempontok indokolhatják a különleges közlekedési megoldásokat.

A kérdés inkább az, hogy ezek a döntések átláthatók, arányosak és indokolhatók-e.

A politikai hitelesség nem követeli meg, hogy a döntéshozók minden esetben a legkisebb környezeti terhelésű megoldást válasszák, függetlenül annak gyakorlati következményeitől. Azt viszont megkövetelheti, hogy a saját intézményeik működésére is alkalmazzák a takarékosság és a környezeti felelősség elveit.

A társadalmi bizalom ugyanis könnyen sérül, ha a környezetvédelem a lakosság számára kötelezettségként, a döntéshozók számára pedig elsősorban kommunikációs témaként jelenik meg.

A példamutatás nem helyettesíti a jó szabályozást, de hitelesebbé teheti azt.

A potyautas-probléma: miért vár mindenki a másikra?

A környezetvédelem egyik alapvető társadalmi nehézségét a közgazdaságtan és a játékelmélet potyautas-problémának nevezi.

A jelenség lényege, hogy egy közösen elérhető előny létrehozásához sok résztvevő együttműködése szükséges, miközben az egyes résztvevők számára előnyös lehet, ha a költségeket mások viselik.

A tisztább levegő, az egészségesebb környezet vagy a globális felmelegedés mérséklése olyan közjavakhoz kapcsolódik, amelyekből a társadalom széles rétegei részesülhetnek.

Ha egy ország csökkenti az üvegházhatású gázok kibocsátását, annak éghajlati előnyei nem kizárólag az adott országban jelentkeznek. A kibocsátás csökkentésének költségeit viszont elsősorban az ottani gazdaság és társadalom viseli.

Ez ösztönözheti az egyes országokat arra, hogy megvárják, amíg mások teszik meg az első lépéseket.

Ugyanez a probléma megjelenik a vállalatok és az egyének szintjén is.

Egy vállalat jelentős összegeket költhet környezetkímélőbb technológiára, de ha versenytársai erre nem kényszerülnek, költségelőnybe kerülhetnek vele szemben.

Egy háztartás beruházhat energiatakarékosabb megoldásokba, miközben mások változatlanul fogyasztanak. A környezeti előnyből azonban azok is részesülnek, akik semmilyen áldozatot nem vállaltak.

A probléma egy leegyszerűsített példán keresztül jól szemléltethető.

Tegyük fel, hogy két ország között megállapodás születhet a szennyezés csökkentéséről. Mindkét ország számára költséges a kibocsátás mérséklése, de mindketten élvezik az összesített csökkentés előnyeit.

A két ország döntése	Következmény
Mindkettő csökkenti a kibocsátást	Költségeik vannak, de a közös környezeti előny nagyobb
Csak az egyik csökkenti	Az egyik viseli a költséget, a másik is részesül az előnyből

Egyik sem csökkenti	Elmaradnak az azonnali átállási költségek, de a környezeti kár növekedhet

Az egyes szereplők számára rövid távon vonzó lehet, hogy ne vállalják a költségeket. Ha azonban mindenki így gondolkodik, végül mindannyian rosszabb helyzetbe kerülhetnek.

Ez a közös erőforrások túlhasználatának egyik alapvető mechanizmusa.

Fontos azonban felismerni, hogy a potyautas-probléma nem feltétlenül erkölcsi hiányosságból következik. Egy gazdaságilag nehéz helyzetben lévő család vagy vállalat számára racionális döntés lehet egy költséges beruházás elhalasztása.

Ezért az együttműködés nem épülhet pusztán jóindulatra.

Szükség lehet közösen elfogadott szabályokra, ellenőrzésre, megfelelő ösztönzőkre és olyan intézményekre, amelyek megakadályozzák, hogy az együttműködés költségeit mindig ugyanazok viseljék.

A nemzetközi klímaegyezmények egyik legnagyobb nehézsége éppen az, hogy a résztvevő országok kibocsátási kötelezettségvállalásai és gazdasági érdekei között ilyen potyautas-ösztönzők működhetnek.

A kibocsátások egyenlőtlensége





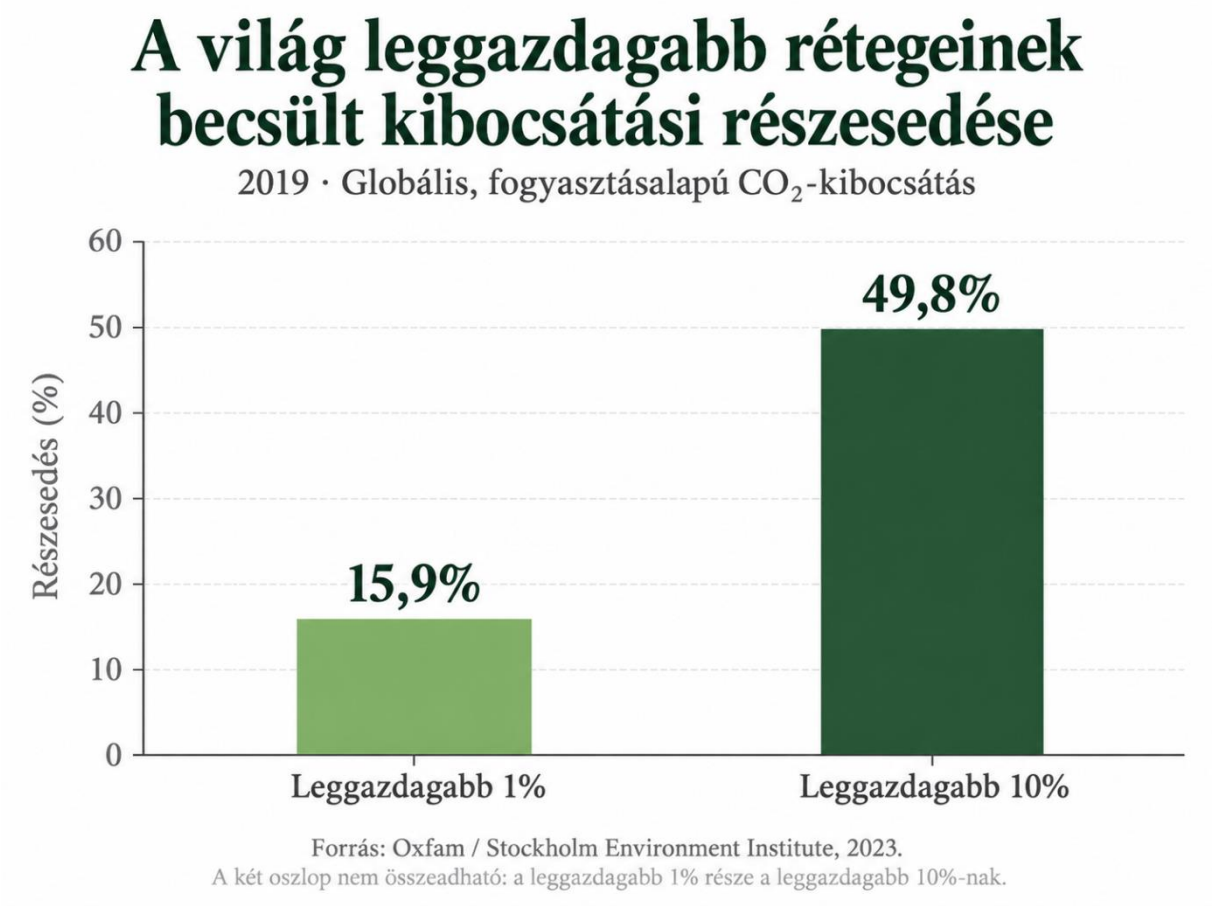
267. ábra: A világ különböző jövedelmű társadalmi csoportjainak fogyasztása és környezeti terhelése között hatalmas különbségek vannak.

Az egyéni felelősségről folytatott vita egyik legfontosabb ténye, hogy az emberek környezeti lábnyoma rendkívül egyenlőtlen.

A magas jövedelműek általában nagyobb lakóterületet, több energiát, több közlekedési szolgáltatást és több fogyasztási cikket vesznek igénybe. A legtehetősebb rétegek esetében ehhez magánrepülőgépek, jachtok, több ingatlan és különösen energiaigényes luxusszolgáltatások is társulhatnak.

Az Oxfam és a Stockholm Environment Institute kutatásain alapuló, 2023-ban közzétett elemzés szerint 2019-ben a világ leggazdagabb egy százaléka a globális, fogyasztáshoz rendelt szén-dioxid-kibocsátás körülbelül 16 százalékáért felelt.

Ez nagyjából akkora részesedés, mint a világ népességének legszegényebb kétharmadáé együttvéve. A leggazdagabb tíz százalékra pedig a kibocsátás mintegy fele jutott. Ezek becsült, fogyasztásalapú kibocsátások, amelyek a jövedelmi csoportokhoz rendelés módszertanától is függnek.



Az ábra az Oxfam és a Stockholm Environment Institute 2019-re vonatkozó becsléseit szemlélteti, nem a népességcsoportok közvetlenül mért kibocsátásait.

Ez az aránytalanság alapvető kérdéseket vet fel a környezetvédelmi intézkedések igazságosságával kapcsolatban.

Ha mindenki azonos mértékben csökkentené fogyasztását, akkor a legalacsonyabb jövedelműek olyan szükségleteikről is kénytelenek lennének lemondani, amelyek a méltó élethez nélkülözhetetlenek. Ezzel szemben a leggazdagabbak sok esetben jelentős kibocsátáscsökkentést érhetnének el anélkül, hogy alapvető életfeltételeik romlanának.

A kibocsátás nagysága azonban nem az egyetlen szempont. Figyelembe kell venni a kibocsátás történetét, a technológiai lehetőségeket, a jövedelmi viszonyokat és a már korábban elért eredményeket is.

Egy fejlett ország lakossága sokkal könnyebben csökkentheti kibocsátását korszerű technológiák alkalmazásával, mint egy fejlődő országé, ahol még az alapvető energiaellátás kiépítése is feladat.

Ezért a nemzetközi környezetpolitikában hosszú ideje központi szerepet játszik a közös, de megkülönböztetett felelősség elve.

Az országok mindegyike érdekelt a globális környezeti problémák kezelésében, de nem rendelkeznek azonos történelmi felelősséggel és gazdasági lehetőségekkel.

Ugyanez az elv az egyének szintjén is értelmezhető.

A környezeti felelősség igazságos elosztásánál nemcsak azt kell megvizsgálni, ki mennyit szennyez, hanem azt is, milyen lehetősége van a változtatásra.

A környezetvédelem társadalmi elfogadottsága

A környezetvédelmi intézkedések sikere nagymértékben függ attól, hogy az érintettek igazságosnak tartják-e azokat.

Ha egy új adó vagy szabályozás elsősorban az alacsonyabb jövedelműeket terheli, miközben a gazdagabb rétegek könnyebben alkalmazkodnak hozzá, a társadalmi ellenállás érthető.

A franciaországi sárgamellényes mozgalom 2018-as kibontakozása jól mutatta ezt az ellentmondást. A kezdeti tiltakozások egyik kiváltó oka az üzemanyagok adóterhének tervezett növelése volt. A mozgalom azonban gyorsan szélesebb társadalmi elégedetlenséget is kifejezett, különösen a megélhetési költségek és a társadalmi különbségek miatt.

A tiltakozók között sokan nem rendelkeztek megfelelő tömegközlekedési alternatívával, ezért az autóhasználat számukra nem kényelmi kérdés volt.

Az eset tanulsága nem az, hogy az üzemanyagok környezeti költségeit figyelmen kívül kell hagyni.

Sokkal inkább az, hogy a környezeti célból bevezetett gazdasági intézkedések társadalmi következményeit is meg kell vizsgálni.

Egy szén-dioxid-adó például ösztönözheti az alacsonyabb kibocsátású technológiák használatát, de ha bevételeit az állam célzottan visszajuttatja a lakosságnak, vagy az átállást segítő beruházásokra fordítja, a társadalmi hatás egészen más lehet.

A környezetpolitika tehát nem kizárólag a kibocsátási határértékek, adók és technológiai előírások megállapításából áll. Legalább ilyen fontos annak eldöntése, hogyan oszlanak meg a költségek.

A környezetvédelmi átállás akkor válhat társadalmilag tartóssá, ha az emberek nem pusztán újabb fizetési kötelezettségeket látnak benne, hanem érzékelhető előnyöket is.

Tisztább levegőt, alacsonyabb energiafelhasználást, jobb közlekedést, biztonságosabb energiaellátást és kiszámíthatóbb életkörülményeket.

Az egyéni döntések valódi jelentősége

Az eddigiek alapján úgy tűnhet, hogy az egyén környezetvédelmi szerepe jelentéktelen.

Ez azonban téves következtetés lenne.

A fogyasztói döntések összessége befolyásolja a gazdaságot. Az energiatakarékos berendezések elterjedése, a szelektív hulladékgyűjtés, a víztakarékosság és a tartósabb termékek előnyben részesítése mind hozzájárulhat a környezeti terhelés csökkentéséhez.

Az egyéni döntések azonban nem légüres térben születnek.

A fogyasztó csak olyan termékek és szolgáltatások közül választhat, amelyek hozzáférhetők és megfizethetők számára.

Ha egy városban megbízható, gyors és kényelmes tömegközlekedés működik, sokan önként is lemondhatnak az autóhasználat egy részéről. Ha viszont a tömegközlekedés ritka, lassú és kényelmetlen, az autóhasználat csökkentése sokkal nagyobb áldozat.

A környezetbarát döntések elterjedésének egyik feltétele tehát az, hogy ezek a döntések ne feltétlenül jelentsenek életminőség-romlást.

Sőt, a megfelelő technológiai és társadalmi környezetben a környezetkímélőbb megoldás kényelmesebb és gazdaságosabb is lehet.

A jól szigetelt épület kevesebb energiát igényel, miközben komfortosabb. A korszerű tömegközlekedés csökkentheti a forgalmi torlódásokat. A tartósabb termékek vásárlása hosszabb távon pénzt takaríthat meg.

Ezért a környezetvédelem egyik legfontosabb feladata nem az, hogy az embereket állandó lemondásra ösztönözze, hanem az, hogy a környezetkímélőbb életmódot elérhetőbbé és vonzóbbá tegye.

A nagy döntések és a kis döntések

A környezeti hatások nagysága és a döntéshozók mozgástere között jelentős különbség van.

Egy ember eldöntheti, hogy milyen autót vásárol, mennyi energiát fogyaszt, és hogyan kezeli háztartási hulladékát.

Egy önkormányzat dönthet a helyi közlekedésről, a zöldterületekről és a hulladékkezelés megszervezéséről.

Egy állam meghatározhatja az energiapolitikát, az adózási szabályokat és a környezetvédelmi követelményeket.

A nemzetközi gazdasági és politikai együttműködés pedig olyan folyamatokra is hatást gyakorolhat, amelyek egyetlen ország hatáskörén túlmutatnak.

A felelősségnek ezért a döntési lehetőségekkel arányban kell állnia.

Ez nem jelenti azt, hogy az egyénnek ne volna felelőssége. De azt igen, hogy nem várható el tőle olyan problémák önálló megoldása, amelyekre nincs tényleges befolyása.

A környezetvédelem akkor működhet megfelelően, ha az egyéni és a rendszerszintű változások kiegészítik egymást.

A fogyasztók döntéseikkel ösztönözhetik a vállalatokat. A vállalatok technológiai fejlesztésekkel csökkenthetik a környezeti terhelést. Az állam pedig olyan szabályozási és

gazdasági környezetet alakíthat ki, amelyben a környezetkímélőbb működés nem jelent tartós versenyhátrányt.

Ez az együttműködés azonban csak akkor lehet sikeres, ha a szabályok érvényesítése és az áldozatvállalás nem kizárólag a leggyengébb szereplőkre hárul.

Ki kezdje el?





268. ábra: A környezetkímélőbb életmód elterjedését nemcsak az egyéni elhatározás, hanem a közlekedés, az energiaellátás és a lakókörnyezet adottságai is meghatározzák.

A fejezet elején feltett kérdésre – miért éppen én kezdjem? – nincs egyetlen egyszerű válasz.

Ha mindenki arra vár, hogy előbb mások változtassanak, a szükséges változások elmaradhatnak.

Ha viszont az átállás költségeit igazságtalanul osztják el, a társadalmi ellenállás akadályozhatja a környezetvédelmi célok megvalósítását.

A megoldás ezért nem az egyéni felelősség és a rendszerszintű felelősség szembeállítása.

Mindkettőre szükség van, de nem azonos súllyal.

A legnagyobb kibocsátással járó tevékenységeknél és a legnagyobb gazdasági erővel rendelkező szereplőknél különösen indokolt a felelősség és a cselekvési lehetőségek vizsgálata.

Az egyéni életmód megváltoztatása fontos lehet, de nem helyettesítheti az energiatermelés, a közlekedés, az ipar és a mezőgazdaság átalakulását.

Ugyanakkor a rendszerszintű változások sem valósulhatnak meg társadalmi támogatás nélkül.

A környezetvédelem sikeréhez ezért nem elegendő azt mondani az embereknek, hogy fogyasszanak kevesebbet, utazzanak ritkábban vagy vásároljanak drágább technológiákat.

Meg kell mutatni, hogy a változások milyen tényleges környezeti eredménnyel járnak, mennyibe kerülnek, és kik viselik a költségeket.

A társadalom akkor fogadhatja el tartósan a szükséges intézkedéseket, ha azokban nem csupán újabb korlátozásokat és áldozatokat lát, hanem méltányos, ellenőrizhető és közösen vállalt célokat.

A környezetvédelmi felelősség ugyanis nem osztható el egyszerűen fejenként egyenlő arányban. Aki többet fogyaszt, nagyobb környezeti terhelést okoz, vagy nagyobb befolyással rendelkezik a gazdasági döntésekre, annak más a felelőssége, mint annak, aki eleve szűkös lehetőségek között él.

Végső soron nem az a legfontosabb kérdés, hogy ki teszi meg az első lépést.

Hanem az, hogy sikerül-e olyan rendszert kialakítani, amelyben a változtatás nem pusztán néhány lelkiismeretes ember önkéntes áldozata, hanem a gazdaság és a társadalom működésének természetes része.

Mert az egyén joggal kérdezheti: miért éppen én kezdjem? De a társadalomnak arra is választ kell adnia: hogyan érjük el, hogy ne mindig ugyanazok vállalják az áldozatot?

Források és további olvasmányok

- International Council on Clean Transportation (2025): Life-cycle greenhouse gas emissions from passenger cars in the European Union. Az elektromos és hagyományos autók teljes életciklusú kibocsátásának összehasonlítása.

- International Maritime Organization (2020): Fourth IMO Greenhouse Gas Study. A nemzetközi hajózás kibocsátásának vizsgálata.
- European Union Aviation Safety Agency (2025): A repülés éghajlati hatásai. A közvetlen és közvetett éghajlati hatások értékelése.
- Gössling, S., Humpe, A., Leitão, J. C. (2024): Private aviation is making a growing contribution to climate change. Communications Earth & Environment.
- Oxfam International (2023): Climate Equality: A Planet for the 99%. A jövedelmi csoportok kibocsátási egyenlőtlenségei.
-

33. Kié a döntés, kié a felelősség?

Az egyéni fogyasztás és a rendszerszintű döntések különbsége. Ki alakítja az energiaellátást, a közlekedést és a termékkínálatot? A felelősség áthárítása az állampolgárra.

A környezetvédelmi vitákban visszatérő felszólítás, hogy mindenki tegyen valamit a bolygóért. Kapcsoljuk le a villanyt, csökkentsük a fűtést, autózzunk kevesebbet, vásároljunk tudatosabban, és lehetőleg ne termeljünk annyi hulladékot.

Ezek a tanácsok többnyire helyesek. A probléma nem velük van, hanem azzal, amikor azt a benyomást keltik, hogy a környezeti problémák megoldása elsősorban az egyes emberek életmódjától függ.

Egy család takarékoskodhat az árammal, de nem döntheti el, hogy az ország villamos energiáját milyen erőművek állítsák elő. Megvásárolhat egy kisebb fogyasztású autót, de nem építhet vasútvonalat, és nem alakíthatja át a közlekedési infrastruktúrát. Választhat környezetkímélőbb csomagolású terméket, ha van ilyen a boltban, de nem kötelezheti a gyártót az egyszer használatos műanyagok elhagyására.

A fogyasztó tehát döntéseket hoz, de ezek a döntések egy mások által kialakított rendszer keretein belül születnek.

Az egyéni fogyasztás és a rendszerszintű döntések közötti különbség azért fontos, mert a környezeti hatások jelentős része már azelőtt meghatározódik, hogy az állampolgár egyáltalán választási helyzetbe kerülne.

A kérdés ezért nem egyszerűen az, ki mennyit szennyez.

Hanem az, hogy ki rendelkezik a környezetet alakító döntések felett, és a döntések következményeiért ki tartozik felelősséggel.

Az energia, amelynek eredetéről nem mi döntünk





269. ábra: A villamosenergia-rendszer összetételét hosszú távú beruházások és politikai döntések határozzák meg. A háztartások elsősorban az elfogyasztott energia mennyiségét tudják befolyásolni.

Egy háztartás elektromos energiát fogyaszt, de az áram előállításának módját többnyire nem maga választja meg.

A villamosenergia-hálózatban különböző forrásokból származó energia találkozik. Atomerőművek, gázerőművek, szénerőművek, vízerőművek, szélturbinák és napelemek egyaránt hozzájárulhatnak a termeléshez. Az országok közötti villamosenergia-kereskedelem tovább bonyolítja a képet.

Az egyes erőműtípusok arányát több évtizedes beruházások, a természeti adottságok, a gazdasági lehetőségek, az energiabiztonsági megfontolások és a kormányzati döntések alakítják.

Egy fogyasztó csökkentheti a villamosenergia-felhasználását. Lecserélheti régi készülékeit takarékosabbakra, korszerűsítheti otthona fűtését, és megfelelő körülmények között saját napelemet is telepíthet.

Ezek hasznos lehetőségek, de az energiarendszer egészének átalakítása nem az egyén hatáskörébe tartozik.

Tegyük fel, hogy két azonos háztartás ugyanannyi villamos energiát fogyaszt. Az egyik olyan országban él, ahol a termelés jelentős része szénre épül, a másik pedig olyanban, ahol az áram nagy része víz-, atom- vagy szélenergiából származik.

A két háztartás villamosenergia-fogyasztásához rendelt szén-dioxid-kibocsátás jelentősen eltérhet, miközben az ott élők pontosan ugyanolyan tudatosan használják az elektromos berendezéseiket.

A különbséget nem az egyéni felelősség, hanem az energiarendszer szerkezete okozza.

A Nemzetközi Energiaügynökség (IEA) szerint a globális energiával kapcsolatos szén-dioxid-kibocsátás 2024-ben elérte a 37,8 milliárd tonnát, ami akkori rekordot jelentett. Ez a hatalmas mennyiség közlekedési, ipari, épületüzemeltetési és energiatermelési rendszerek működésének együttes következménye.

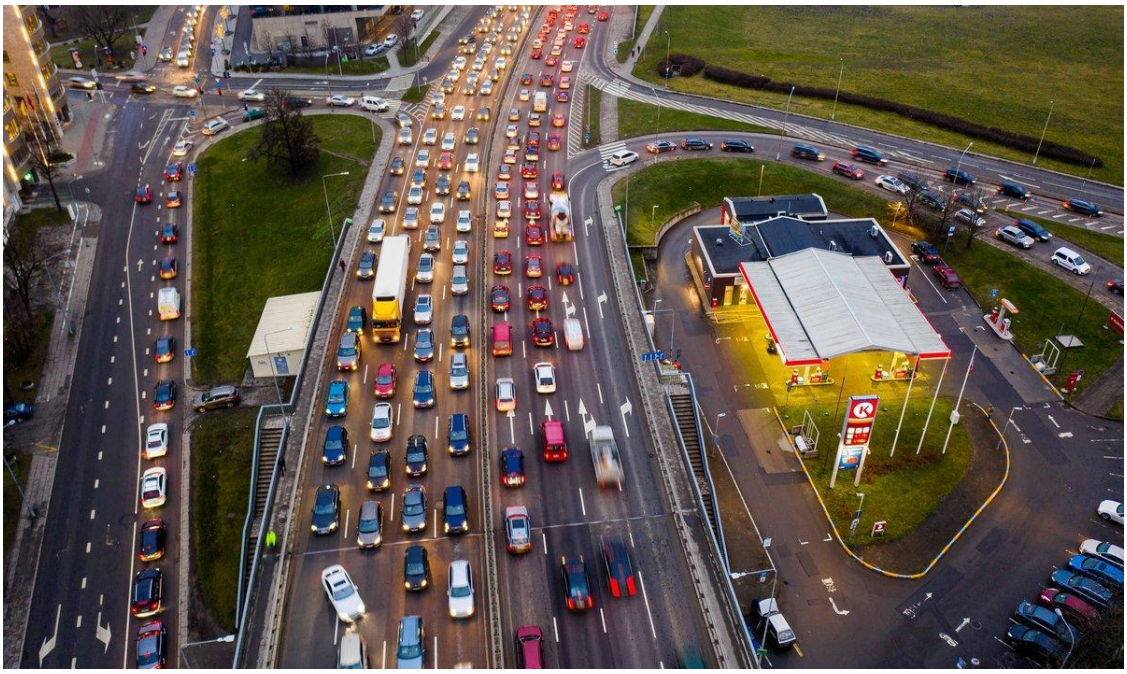
Az energiarendszer átalakításához ezért erőművek, hálózatok, tárolókapacitások és új technológiák fejlesztésére van szükség. A döntéseket államok, energiaszolgáltatók, hálózatüzemeltetők, befektetők és szabályozó hatóságok hozzák meg.

A fogyasztó közvetetten befolyásolhatja ezeket a folyamatokat, például a keresletével vagy a politikai részvételével, de mozgástere korlátozott.

Ez nem jelenti azt, hogy a takarékosság szükségtelen. Minden el nem fogyasztott kilowattóra csökkentheti az energia előállításának és szállításának igényét. A kibocsátás tényleges csökkenése azonban függ attól, hogy az adott időpontban milyen erőművek termelését lehet mérsékelni.

A takarékosság és az energiarendszer átalakítása tehát egymást kiegészítő, de különböző szintű feladat.

A közlekedés: választási szabadság vagy kényszerpálya?





270. ábra: Az autóhasználat gyakran nem pusztán személyes szokás. A lakóhely, a munkahelyek elhelyezkedése és a tömegközlekedési hálózat is meghatározza a lehetőségeket.

A közlekedésben különösen jól látható, hogy az egyéni döntéseket milyen erősen alakítják a társadalmi és műszaki feltételek.

Egy nagyváros jól kiépített metró-, villamos- és autóbuszhálózata lehetővé teheti, hogy az emberek autó nélkül is gyorsan és kényelmesen eljussanak munkahelyükre.

Egy kisebb településen vagy ritkán lakott térségben viszont az autóhasználat szinte elkerülhetetlen lehet.

Ha valaki napi több tíz kilométerre dolgozik, és a tömegközlekedés csak ritkán vagy jelentős kerülővel biztosít kapcsolatot, akkor az autózás csökkentése nem egyszerűen elhatározás kérdése.

A közlekedési rendszerek évtizedeken keresztül alakítják a településszerkezetet is. Az autóhasználatra épülő városokban a lakóhelyek, munkahelyek és kereskedelmi központok távol kerülhetnek egymástól. A nagy bevásárlóközpontok és ipari parkok gyakran eleve autós megközelítésre épülnek.

Ilyen környezetben az állampolgárok számára a személygépkocsi nem feltétlenül luxuscikk, hanem a mindennapi élet megszervezésének eszköze.

Az egyéni közlekedési szokások megváltoztatásának ezért vannak strukturális korlátai.

Hiába ösztönzik a lakosságot a kerékpározásra, ha nincsenek biztonságos kerékpárutak. Hiába ajánlják a vasúti utazást, ha a járatok ritkák, a menetidő hosszú vagy a csatlakozások bizonytalanok.

A közlekedés környezeti terhelését így nem lehet kizárólag az autótulajdonosok döntéseinek tulajdonítani.

A valódi változtatási lehetőségek jelentős része a várostervezésben, az infrastruktúra-fejlesztésben és a közlekedéspolitikában található.

Ezért lehet egy jól megtervezett közlekedési beruházás környezeti hatása jóval nagyobb, mint sok ezer ember külön-külön meghozott takarékossági döntése.

A kérdés itt sem az, hogy az egyén felelőtlen-e, ha autót használ.

Hanem az, hogy a társadalom milyen közlekedési lehetőségeket kínál számára.

A termékek, amelyek közül választhatunk



271. ábra: A vásárló a polcon található termékek közül választ. A csomagolást, az anyagfelhasználást és a termék várható élettartamát döntően a gyártók és a szabályozók alakítják.

A tudatos vásárlás a környezetvédelem egyik leggyakrabban hangoztatott eszköze.

A fogyasztó válasszon kevesebb csomagolást tartalmazó terméket, részesítse előnyben a tartós árucikkeket, kerülje az egyszer használatos műanyagokat, és figyeljen az energiafogyasztásra.

Csakhogy a termékek alapvető tulajdonságairól rendszerint nem a vásárló dönt.

A gyártó határozza meg, milyen anyagokból készül az áru, mennyire javítható, milyen hosszú élettartamra tervezik, és milyen csomagolásban hozzák forgalomba.

A kereskedő dönt a választékról, az árakról, az akciókról és arról, hogy mely termékeket helyezi előtérbe.

A szabályozó hatóságok pedig meghatározzák a biztonsági követelményeket, a kötelező tájékoztatást, a hulladékkezelési előírásokat és egyes termékek forgalmazási feltételeit.

A vásárló döntési lehetősége ezeknek a szereplőknek a döntései után következik.

Vegyünk egy hétköznapi példát.

Ha egy élelmiszer kizárólag műanyag csomagolásban kapható, a fogyasztó nem tudja egyszerűen ugyanazt a terméket csomagolás nélkül megvásárolni.

Ha egy elektronikus készülék akkumulátora nem cserélhető gazdaságosan, vagy a gyártó nem biztosít hozzá alkatrészt, a fogyasztó könnyen új készülék vásárlására kényszerülhet.

Ha egy termék javítása majdnem annyiba kerül, mint egy új beszerzése, akkor a hulladéktermelés növekedéséért nem lehet kizárólag a vásárlót felelőssé tenni.

A gazdasági rendszer sok esetben az új termékek vásárlását ösztönzi, nem pedig a meglévők hosszú távú használatát.

Ebben szerepet játszik a reklám, a divat, a technológiai fejlődés, a termékek javíthatósága és az alkatrészellátás is.

A fogyasztói társadalom egyik alapvető ellentmondása, hogy miközben a gazdasági növekedés jelentős részben a fogyasztás bővülésére épül, a környezetvédelmi kommunikáció gyakran éppen a fogyasztás visszafogását várja az állampolgároktól.

Ez az ellentmondás nem oldható fel pusztán azzal, hogy a vásárlókat tudatosságra neveljük.

A gyártási és kereskedelmi rendszerek ösztönzőit is meg kell vizsgálni.

A szénlábnyom: hasznos mérőszám vagy felelősségáthelyezés?

A környezeti felelősség egyénre hárításának egyik érdekes példája a személyes szénlábnyom fogalma.

A szénlábnyom azt fejezi ki, hogy egy ember, termék, vállalat vagy tevékenység közvetlenül és közvetve mennyi üvegházhatású gáz kibocsátásával jár. Hasznos eszköz lehet a különböző fogyasztási és termelési módok összehasonlítására.

Az egyéni szénlábnyom népszerűsítésében ugyanakkor az olajipar is szerepet játszott.

A BP a 2000-es években olyan kommunikációs kampányokat folytatott, amelyek a fogyasztókat saját szén-dioxid-kibocsátásuk kiszámítására és csökkentésére ösztönözték. A vállalat 2004-ben személyes szénlábnyom-kalkulátort is népszerűsített.

Fontos pontosítani, hogy a szénlábnyom fogalmát nem a BP találta fel. Az életciklus-elemzés és a környezeti terhelések számszerűsítése korábban is ismert volt. A vállalati kampány azonban hozzájárult az egyéni szénlábnyom szélesebb körű elterjedéséhez.

Ebben önmagában nincs semmi kifogásolható. Hasznos lehet, ha az emberek tisztában vannak tevékenységeik környezeti következményeivel.

A probléma a kommunikáció hangsúlyában rejlik.

Ha a környezeti kérdések középpontjába a személyes fogyasztás kerül, könnyen háttérbe szorulhatnak azok a gazdasági és politikai döntések, amelyek meghatározzák a fogyasztás feltételeit.

Egy autós kiszámolhatja, hány kilogramm szén-dioxidot bocsát ki az autója évente. De a számítás nem mondja meg, miért nincs megfelelő vasúti összeköttetés a lakóhelye és munkahelye között.

Egy család kiszámíthatja otthona fűtési kibocsátását. De ettől még nem lesz pénze az épület hőszigetelésére, és nem változik meg az ország energiaellátása.

A szénlábnyom tehát alkalmas az egyéni fogyasztás környezeti hatásának szemléltetésére, de nem alkalmas önmagában a felelősség igazságos elosztására.

Sőt, ha nem megfelelően használják, azt a hamis benyomást keltheti, hogy mindenki elsősorban saját fogyasztásáért felelős, miközben a gazdasági rendszer adottságait megváltoztathatatlannak tekintjük.

A lényegi kérdés nem az, hogy az embereknek kell-e foglalkozniuk saját környezeti terhelésükkel.

Hanem az, hogy ez a figyelem elvonja-e a társadalmi energiát a nagyobb léptékű döntések számonkérésétől.

Néhány vállalat, hatalmas kibocsátás





272. ábra: A fosszilis energiahordozók termelése és forgalmazása viszonylag kevés, de rendkívül nagy gazdasági szereplő kezében összpontosul.

A vállalati és az egyéni felelősség közötti különbséget jól szemlélteti a Carbon Majors adatbázis.

A kutatási program azt vizsgálja, hogy a világ nagy szén-, olaj-, földgáz- és cementtermelő vállalataihoz mekkora történelmi és éves kibocsátás rendelhető.

A Carbon Majors 2026 januárjában közzétett, 2024-es adatokra vonatkozó elemzése szerint a világ fosszilis energiahordozókhoz és cementgyártáshoz kapcsolódó szén-dioxid-kibocsátásának több mint fele mindössze 32 termelő vállalathoz volt visszavezethető.



Ez a megállapítás figyelemre méltó, de fontos értelmezni.

A vizsgálat nem azt állítja, hogy e vállalatok saját üzemeinek közvetlen kibocsátása okozta a világ összes kibocsátásának felét. A számítások magukban foglalják a forgalomba hozott fosszilis energiahordozók későbbi elégetéséből származó szén-dioxidot is.

Ha például egy olajvállalat benzint értékesít, az üzemanyag autóban történő elégetésének kibocsátása a termelő vállalathoz is hozzárendelhető, miközben a fogyasztói elszámolásban az autóhasználó kibocsátásaként is megjelenhet.

A két elszámolási mód nem adható egyszerűen össze, mert ugyanarról a kibocsátásról beszélünk.

Egy másik fontos körülmény, hogy a legnagyobb termelők jelentős része állami tulajdonban áll. A Carbon Majors 2024-es kibocsátási rangsorának első tíz szereplője mind teljesen vagy többségi állami tulajdonú termelő volt.

Ez különösen fontos felismerés.

A környezeti problémákat ugyanis nem lehet egyszerűen a magánvállalatok tevékenységével azonosítani. Az állami tulajdon önmagában nem garantálja a környezetvédelmi szempontok érvényesülését.

Az állam egyszerre lehet gazdasági tulajdonos, az energiahordozók értékesítéséből származó bevételek kedvezményezettje és környezetvédelmi szabályozó.

Ez pedig nyilvánvaló érdekellentéteket teremthet.

Ugyanakkor a termelő vállalatok kibocsátásának számszerűsítése nem menti fel a fogyasztókat és a felhasználó iparágakat. A fosszilis energiahordozókat azért állítják elő, mert kereslet van rájuk, a keresletet pedig részben a hosszú idő alatt kialakított energiarendszerek tartják fenn.

A kérdés tehát nem az, hogy a termelő vagy a fogyasztó a felelős.

A teljes rendszer kialakításában és fenntartásában részt vevő szereplők felelősségét kell megvizsgálni, méghozzá döntési hatáskörük és tényleges befolyásuk alapján.

Amikor a felelősség mindenkié – és végül senkié

A modern gazdaság egyik sajátossága, hogy a döntések és azok következményei gyakran távol kerülnek egymástól.

Egy vállalat vezetése dönthet egy új gyár megépítéséről. A beruházás finanszírozását bankok és befektetők biztosítják. A hatóságok engedélyezik a működést. A fogyasztók megvásárolják a termékeket. A környezeti károk viszont a helyi lakosságot vagy akár más országok népességét is érinthetik.

Ilyen helyzetben minden szereplő találhat olyan érvet, amellyel a felelősség egy részét másokra hárítja.

A vállalat azt mondhatja, hogy a jogszabályoknak megfelelően működik, és csupán a fogyasztói igényeket elégíti ki.

A politikus arra hivatkozhat, hogy a beruházás munkahelyeket teremt, adóbevételeket hoz, és a gazdaság működéséhez szükséges.

A fogyasztó pedig azt mondhatja, hogy ő csak a boltban kapható termékeket vásárolja meg.

Mindegyik állítás tartalmazhat igazságot.

Az eredmény mégis az lehet, hogy a környezeti terhelés fennmarad, miközben senki sem érzi magát igazán felelősnek.

Ez a felelősség szétaprózódásának problémája.

A környezetvédelem ezért nem elégedhet meg azzal, hogy általánosságban mindenki felelősségére hivatkozik.

Világosan meg kell határozni, mely szereplők rendelkeznek a döntéshez szükséges hatáskörrel, milyen környezeti követelményeket kell teljesíteniük, és ki ellenőrzi ezek betartását.

A felelősség akkor válik ténylegessé, ha mérhető kötelezettségekhez és ellenőrizhető következményekhez kapcsolódik.

Amikor a szabályozás megváltoztatja a választékot

A rendszerszintű döntések jelentőségét jól mutatja egy egyszerű példa: a termékek javíthatósága.

Sokáig a fogyasztó szembesült azzal, hogy egy meghibásodott készülék javítása nehéz vagy gazdaságtalan. A gyártók nem mindig biztosítottak megfelelő alkatrészellátást, és egyes termékeket eleve úgy terveztek, hogy szétszerelésük bonyolult legyen.

A vásárló ilyenkor választhatott, hogy megpróbálja megjavíttatni készülékét, vagy újat vásárol.

Az Európai Unió 2024-ben elfogadott javításhoz való jogról szóló irányelve más megközelítést alkalmaz.

Nem kizárólag a fogyasztótól várja, hogy környezettudatosabban viselkedjen, hanem a gyártók számára is javítási kötelezettségeket ír elő az érintett termékkategóriákban. A tagállamoknak 2026. július 31-től kell alkalmazniuk az átültetett szabályokat.





273. ábra: A javíthatóságot nemcsak a fogyasztók döntései határozzák meg. A terméktervezés, az alkatrészellátás és a jogszabályok is befolyásolják, mennyi elektronikai hulladék keletkezik.

Ez lényeges szemléletváltás.

A cél nem csupán az, hogy a fogyasztók gyakrabban válasszák a javítást, hanem az is, hogy a javítás valóban hozzáférhető lehetőség legyen.

Hasonló megközelítés alkalmazható más területeken is.

Az energiafogyasztás csökkentését segíthetik a készülékekre vonatkozó hatékonysági követelmények. A műanyaghulladék mérséklését elősegíthetik a csomagolási szabályok és a visszaváltási rendszerek. A közlekedés kibocsátását csökkentheti a közösségi közlekedés fejlesztése.

Ezek az intézkedések nem szüntetik meg a fogyasztói döntés jelentőségét.

Éppen ellenkezőleg: olyan feltételeket teremthetnek, amelyek között a környezetkímélőbb választás könnyebbé válik.

A szabályozásnak természetesen ára is lehet. A tartósabb, javíthatóbb termékek fejlesztése többletköltségekkel járhat, amelyek részben megjelenhetnek a fogyasztói árakban. A követelményeknek ezért műszakilag megvalósíthatóknak és gazdaságilag arányosaknak kell lenniük.

A társadalmi hasznot azonban nemcsak a vásárláskori ár alapján érdemes értékelni. Egy hosszabb élettartamú termék teljes használati költsége alacsonyabb lehet, és kevesebb hulladékot eredményezhet.

A környezetvédelmi szabályozás valódi értéke tehát abban állhat, hogy a vásárlók számára új lehetőségeket teremt, és a környezeti szempontokat már a termelési döntésekbe beépíti.

Mennyit ér az egyéni változás rendszerszintű támogatás nélkül?

Az Éghajlatváltozási Kormányközi Testület (IPCC) hatodik értékelő jelentése külön is foglalkozik azzal, hogyan csökkenthető a környezeti terhelés a fogyasztás és a szolgáltatások megszervezésének átalakításával.

A 2022-ben kiadott jelentés szerint a keresleti oldali intézkedések és a szolgáltatások biztosításának új módjai 2050-re a vizsgált végfelhasználói ágazatokban a viszonyítási forgatókönyvekhez képest globálisan 40–70 százalékos üvegházgáz-kibocsátáscsökkentési lehetőséget jelenthetnek.

Ez nem pusztán az egyének önkéntes fogyasztáscsökkentésének becsült hatása.

A vizsgált intézkedések közé tartozik a közlekedés átalakítása, az épületek energiahatékonyságának javítása, a technológiai fejlesztés és a fogyasztói szokások változása is. Az érték különböző ágazatokra és intézkedésekre vonatkozó becslések összesített lehetőségét fejezi ki, nem egy garantált jövőbeli csökkenést.

Ez fontos tanulság.

A környezetvédelemben jelentős lehetőségek rejlenek a fogyasztás módjának megváltoztatásában, de ezek kibontakozásához az egyéni döntések mellett intézményi, technológiai és infrastrukturális változásokra is szükség van.

Egy korszerű városban, ahol az emberek könnyen elérhetik munkahelyüket, hatékony tömegközlekedést használhatnak, és energiatakarékos épületekben élnek, a környezeti terhelés csökkentése nem feltétlenül jelent kényelmetlenséget.

Ezzel szemben egy korszerűtlen infrastruktúrára épülő településen még a környezettudatos lakosság is nagyobb energia- és anyagfelhasználásra kényszerülhet.

A különbség jelentős részét nem az emberek hozzáállása, hanem az életüket meghatározó rendszerek okozzák.

A felelősség nem egyenlő arányban oszlik meg

A környezeti felelősség három szinten különíthető el.

Az első az egyéni felelősség. Ide tartoznak azok a döntések, amelyeket az ember saját lehetőségei között meghozhat: hogyan használja az energiát, milyen közlekedési módot választ, mennyit vásárol, és hogyan kezeli a hulladékot.

A második a vállalati felelősség. A gyártók, szolgáltatók és kereskedelmi vállalatok határozzák meg a termékek és szolgáltatások jelentős részének műszaki, gazdasági és környezeti jellemzőit.

A harmadik az állami és intézményi felelősség. A törvényhozók, kormányok, önkormányzatok és hatóságok alakítják ki azokat a szabályokat, amelyek között az egyének és a vállalatok működnek.

A három szint egymással összefügg, de nem azonos súlyú.

Egy fogyasztó döntése legfeljebb közvetetten befolyásolhatja egy gyár működését. A gyár tulajdonosai és vezetői viszont közvetlenül dönthetnek a technológiáról, a beruházásokról és a környezetvédelmi intézkedésekről.

Az állam pedig előírhatja a kibocsátási határértékeket, támogathatja a korszerűsítést, és ellenőrizheti a szabályok betartását.

A nagyobb döntési jogkörhöz ezért indokolt nagyobb számonkérhetőségnek kapcsolódnia.

Ez nemcsak erkölcsi, hanem gyakorlati kérdés.

A környezetvédelmi intézkedések akkor lehetnek hatékonyak, ha azokhoz a szereplőkhöz rendelnek kötelezettségeket, akik ténylegesen képesek megváltoztatni a környezeti terhelést okozó folyamatokat.

Egy háztartás nem tud korszerűsíteni egy országos villamosenergia-hálózatot. Egy vállalat viszont nem dönthet önállóan az ország közlekedéspolitikájáról. Az állam pedig a fogyasztók és vállalatok együttműködése nélkül nem tud minden környezetvédelmi célt megvalósítani.

Ezért nem az a kérdés, hogy az egyén, a vállalat vagy az állam felelős-e a környezetért.

Mindegyik felelős, de másért, más eszközökkel és más mértékben.

Nem az a fontos, ki a hibás, hanem hogy ki képes változtatni





274. ábra: A környezeti problémák megoldásához olyan döntések szükségesek, amelyek egyszerre alakítják a gazdasági működést és a mindennapi élet lehetőségeit.

A környezetvédelmi viták gyakran a felelősök kereséséről szólnak.

A vállalatok a fogyasztói keresletre hivatkoznak. A fogyasztók a gyártók és a politikusok döntéseire. A politikusok a gazdasági versenyképességre, a nemzetközi megállapodások hiányára vagy a lakossági ellenállásra.

Ebben a kölcsönös felelősséghárításban könnyen elveszhet a legfontosabb kérdés: hol lehet tényleges változást elérni?

A környezetvédelem eredményessége szempontjából a döntési hatáskör legalább olyan fontos, mint az egyes szereplők kibocsátásának nagysága.

Ha egy probléma megoldásához új infrastruktúrára van szükség, akkor elsősorban a beruházásról döntő szervezeteket kell megszólítani.

Ha a környezeti terhelés oka a termékek rövid élettartama, a gyártási követelményeket és a javíthatóság feltételeit kell megváltoztatni.

Ha a lakosság energiafelhasználása túl magas, meg kell vizsgálni az épületállomány állapotát, a korszerűsítések finanszírozását és az energiaárak ösztönző hatását.

Az egyéni felelősségnek ott van valódi jelentősége, ahol az ember számára tényleges választási lehetőség áll rendelkezésre.

A rendszerszintű döntések felelőssége pedig ott kezdődik, ahol ezeket a lehetőségeket létrehozzák vagy éppen korlátozzák.

A társadalom nem várhatja el minden állampolgártól, hogy önállóan átalakítsa saját energiaellátását, közlekedését és fogyasztását, ha ehhez hiányoznak a gazdasági és műszaki feltételek.

Ugyanakkor az egyének sem tekinthetik magukat teljesen kívülállónak. Fogyasztói, választópolgári és közösségi döntéseikkel befolyásolhatják a rendszerek változását.

A környezetvédelem egyik alapvető feladata ezért az, hogy az egyéni szándék és a rendszerszintű lehetőség között összhangot teremtsen.

Nem elegendő arra kérni az embereket, hogy válasszanak környezetkímélőbb megoldásokat. Olyan gazdaságot és infrastruktúrát is kell teremteni, amelyben ezek a megoldások valóban választhatók.

Mert a felelősség nem választható el a döntési jogtól.

És minél nagyobb befolyással rendelkezik valaki a környezetet alakító folyamatokra, annál nagyobb felelősséget indokolt viselnie azok következményeiért.

Források és további olvasmányok

- International Energy Agency (2025): Global Energy Review 2025 – CO_2 Emissions. A globális energiával kapcsolatos kibocsátások alakulása.

- InfluenceMap / Carbon Majors (2026): Carbon Majors: 2024 Data Update. A fosszilis energiahordozók és a cementgyártás kibocsátásának termelőkhöz rendelése.
- IPCC (2022): Climate Change 2022 – Demand, Services and Social Aspects of Mitigation. A keresleti oldali intézkedések, a társadalmi szokások és az infrastruktúra összefüggései.
- Európai Bizottság (2024–2026): Directive on repair of goods. A javításhoz való jog uniós szabályozása.
- IPCC (2022): Climate Change 2022 – Summary for Policymakers. A klímaváltozás mérséklésének technológiai, társadalmi és gazdasági feltételei.

34. Az egyéni tiltakozástól a világmozgalomig – a Greta Thunberg-jelenség

A környezetvédő mozgalmak története. Greenpeace, Fridays for Future és más civil kezdeményezések. A közös fellépés ereje. Tiltakozás, polgári engedetlenség és társadalmi nyomásgyakorlás.

2018 augusztusában egy tizenöt éves svéd diáklány leült a stockholmi parlament épülete elé. Egy saját készítésű táblát tartott maga mellett, amelyen mindössze néhány szó állt: Skolstrejk för klimatet – iskolasztrájk a klímáért.



275. ábra: Greta Thunberg 2018-as iskolasztrájkja a svéd parlament előtt. A kezdetben egyszemélyes tiltakozásból néhány hónap alatt nemzetközi mozgalom fejlődött.

A diáklány Greta Thunberg volt. Kezdetben egyedül tiltakozott a svéd kormány klímapolitikája ellen. Nem állt mögötte tömegszervezet, nem rendelkezett jelentős pénzügyi forrásokkal, és semmilyen politikai tisztséget nem viselt.

Néhány hónappal később azonban már fiatalok százezrei vonultak utcára különböző országokban, 2019 őszén pedig a klímatüntetések résztvevőinek számát világszerte milliókban mérték.

Greta Thunberg rövid idő alatt a környezetvédő mozgalmak egyik legismertebb alakjává vált. Felszólalt nemzetközi konferenciákon, politikai vezetőkkel találkozott, beszédei pedig egyszerre váltottak ki lelkes támogatást és éles bírálatokat.

Személye különös jelenséggé vált: egyesek a fiatal generációk jogos aggodalmának megtestesítőjét látták benne, mások túlzottan leegyszerűsítőnek, konfrontatívnak vagy politikailag motiváltnak tartották megnyilvánulásait.

A Greta Thunberg-jelenség azonban nem kizárólag egy fiatal aktivista története.

Sokkal inkább annak példája, hogyan válhat egyetlen ember tiltakozása nemzetközi mozgalommá, miként képesek a civil kezdeményezések befolyásolni a közvéleményt, és hol húzódnak a társadalmi nyomásgyakorlás lehetőségeinek határai.

A környezetvédő mozgalmak története ugyanakkor jóval korábban kezdődött.

Amikor a természetvédelemből társadalmi mozgalom lett

A természet védelmének gondolata nem a huszadik században született meg. Már a tizenkilencedik században megjelentek olyan szervezetek és kezdeményezések, amelyek az erdők, a vadon élő állatok és a különleges természeti tájak megőrzését tűzték ki célul.

Az első természetvédelmi törekvések azonban többnyire egyes területek vagy fajok megóvására irányultak. A környezetvédelem mai értelemben vett társadalmi mozgalommá válásához arra volt szükség, hogy a lakosság szélesebb rétegei felismerjék az ipari tevékenység és az emberi egészség közötti kapcsolatot.

Ebben jelentős szerepet játszottak a huszadik század közepének környezeti katasztrófái és az egyre szaporodó tudományos eredmények.

Az 1952-es londoni szmog, a folyók ipari szennyezése, a vegyi anyagok környezeti hatásai és a nagyvárosok romló levegőminősége mind hozzájárultak ahhoz, hogy a környezetszennyezés fokozatosan közüggyé váljon.

Különösen nagy hatást gyakorolt Rachel Carson amerikai tengerbiológus 1962-ben megjelent, Néma tavasz (Silent Spring) című könyve.





276. ábra: Rachel Carson 1962-es könyve és az 1970-es első Föld napja két fontos állomása a modern környezetvédő mozgalom kialakulásának.

Carson a növényvédő szerek, különösen a DDT környezeti hatásait mutatta be. Munkája tudományos eredményekre támaszkodott, de közérthető nyelven szólt a széles nyilvánossághoz.

A könyv jelentőségét nemcsak a bemutatott veszélyek adták. Carson arra is rámutatott, hogy a modern technológia alkalmazásának következményeit nem elegendő kizárólag rövid távú gazdasági eredmények alapján megítélni.

A vegyi anyagok hatásai összetett ökológiai rendszerekben jelentkeznek, és olyan következményekkel járhatnak, amelyekre a gyártók vagy a felhasználók eredetileg nem számítottak.

A könyv vitákat váltott ki, különösen a vegyipar és a mezőgazdaság szereplői között, de jelentősen hozzájárult a környezetvédelem társadalmi támogatottságának növekedéséhez.

A DDT – Amikor a csodaszerből környezeti veszély lett

A DDT története a modern környezetvédelem egyik legismertebb tanulsága. Az 1930-as évek végén felismert rendkívül hatékony rovarirtó szer a második világháború idején, majd az azt követő évtizedekben fontos szerepet játszott a malária és a tífusz elleni védekezésben. Hatásának felfedezéséért Paul Hermann Müller 1948-ban orvosi Nobel-díjat kapott.

A DDT-t sokáig valóságos csodaszernek tekintették. Olcsó volt, hatékony, és tartósan védett a rovarok ellen. Éppen ez a tartósság vált később az egyik legnagyobb problémájává.

Kiderült, hogy a DDT lassan bomlik le a környezetben, felhalmozódhat az élőlények zsírszöveteiben, és koncentrációja a tápláléklánc magasabb szintjein megnövekedhet. Egyik bomlásterméke, a DDE különösen a ragadozó madaraknál okozott súlyos szaporodási problémákat: a tojáshéj elvékonyodása miatt számos tojás eltört a költés során.

Rachel Carson 1962-ben megjelent Néma tavasz című könyve ráirányította a közvélemény figyelmét ezekre a veszélyekre. A DDT mezőgazdasági alkalmazását az Egyesült Államokban 1972-ben betiltották, később pedig számos más ország is korlátozta vagy megszüntette használatát.

A történet azonban nem fekete-fehér. A DDT bizonyos körülmények között ma is szerepet kaphat a maláriát terjesztő szúnyogok elleni védekezésben, szigorú nemzetközi korlátozások mellett.

A DDT története arra figyelmeztet, hogy egy technológia rövid távú hasznossága és hosszú távú környezeti biztonsága két külön kérdés. Egy vegyszer valóban életeket menthet, miközben olyan ökológiai károkat okozhat, amelyek csak évtizedek múltán válnak nyilvánvalóvá.

Források: Nobel-díj, 1948; US EPA – A DDT története; Stockholmi Egyezmény – A DDT szabályozása.

1970. április 22-én az Egyesült Államokban megtartották az első Föld napját. A különböző rendezvényeken és demonstrációkon a becslések szerint mintegy húszmillió ember vett részt.

Ez már nem néhány tudós és természetvédő kezdeményezése volt, hanem széles társadalmi mozgalom.

A Föld napja hozzájárult a környezetpolitika előtérbe kerüléséhez. Az Egyesült Államokban ugyanebben az időszakban jött létre a Környezetvédelmi Ügynökség, az EPA, és jelentősen megerősödött a környezetvédelmi jogalkotás. Ezeket a fejleményeket természetesen nem egyetlen demonstráció okozta, hanem tudományos, társadalmi és politikai folyamatok együttes hatása.

A környezetvédelem történetében ekkor következett be az egyik legfontosabb változás: a környezeti problémák többé nem kizárólag műszaki és tudományos kérdésként jelentek meg, hanem a társadalmi részvétel és a politikai döntéshozatal részévé váltak.

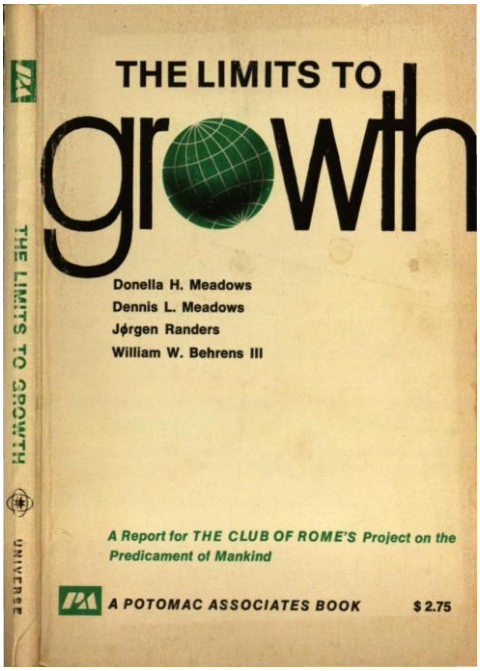
Igen, mindenképpen megemlíteném a Római Klubot. A környezetvédelem történetében legalább akkora jelentőségű gondolati fordulópont volt, mint Rachel Carson Néma tavasz című könyve.

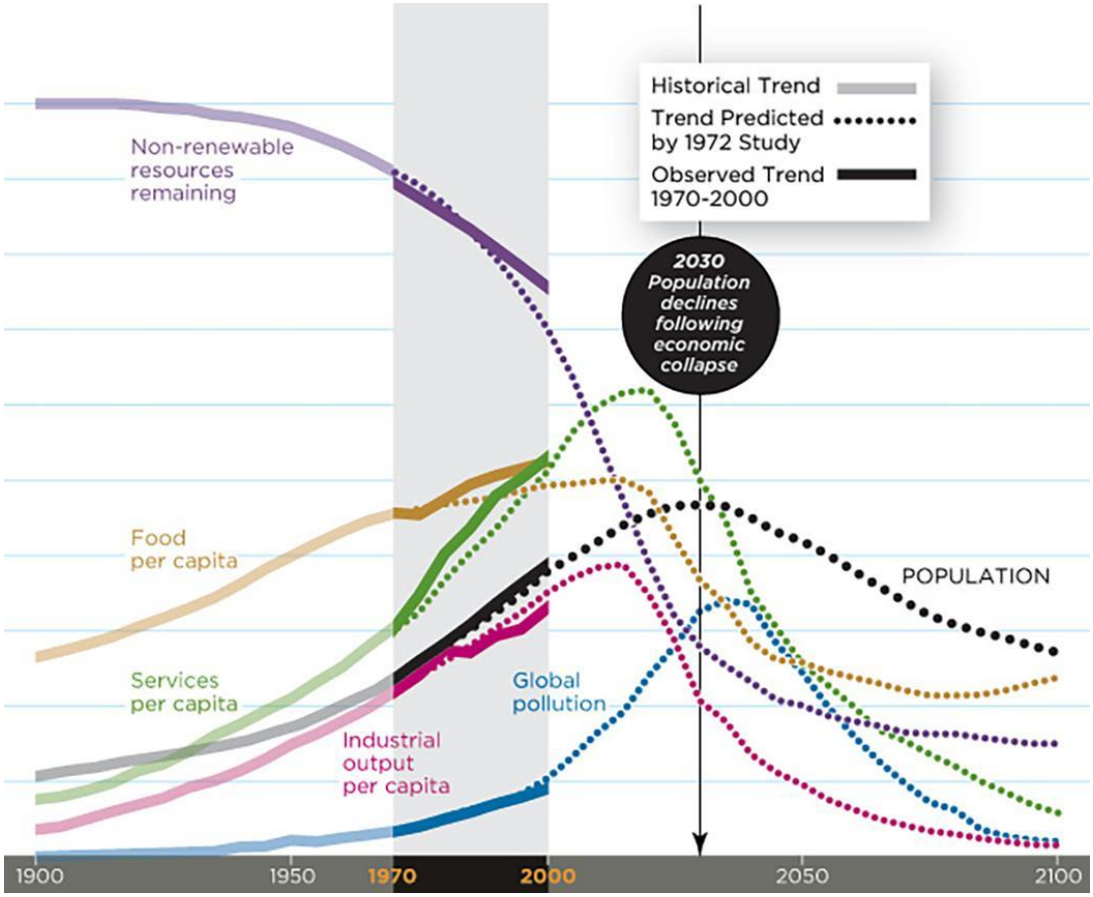
Megnéztem az október 23-i kéziratot: abban nem találtam említést sem a Római Klubról, sem az 1972-ben megjelent A növekedés határai című jelentésről.

A Római Klub története különösen jól illik a könyv szemléletéhez, mert nem kizárólag a klímaváltozással foglalkozott, hanem a népességnövekedés, az ipari termelés, a nyersanyag-felhasználás, az élelmiszer-termelés és a környezetszennyezés összefüggéseit vizsgálta.

Ráadásul a jelentés körüli viták is tanulságosak: vajon meddig növekedhet a gazdaság egy véges erőforrásokkal rendelkező bolygón, és mennyire képes a technológiai fejlődés kitolni a növekedés korlátait?

A Római Klub – Vannak-e határai a növekedésnek?





277. ábra: Az 1972-ben megjelent A növekedés határai és a World3 számítógépes modell a környezetvédelem történetének meghatározó állomásai.

1968-ban Aurelio Peccei olasz ipari vezető és Alexander King skót tudós kezdeményezésére létrejött a Római Klub, egy nemzetközi gondolkodói csoport, amely a világ hosszú távú problémáinak összefüggéseit kívánta vizsgálni.

A szervezet 1972-ben hozta nyilvánosságra leghíresebb jelentését, A növekedés határait (The Limits to Growth). A kutatást Donella és Dennis Meadows vezetésével a Massachusetts Institute of Technology (MIT) munkatársai készítették.

A kutatók a World3 nevű számítógépes modell segítségével vizsgálták a népesség, az ipari termelés, az élelmiszer-ellátás, a nem megújuló erőforrások és a környezetszennyezés kölcsönhatásait. A modell egyik fontos felismerése az volt, hogy a gazdasági és népességi növekedés következményei késleltetve jelentkezhetnek. Mire a társadalom érzékeli egy folyamat káros hatásait, a változások megállítása már nehezebbé válhat.

A jelentés hatalmas vitát váltott ki. Kritikusai szerint a modell nem kezelte kellő részletességgel a technológiai fejlődést, az árak alkalmazkodását és az emberi találékonyságot. Mások arra figyelmeztettek, hogy a növekedés korlátozása különösen hátrányosan érintheti azokat a fejlődő országokat, amelyek lakossága még nem részesült az iparosodás előnyeiből.

A jelentést gyakran úgy idézik, mintha pontosan megjósolta volna a nyersanyagok elfogyásának vagy a világgazdaság összeomlásának időpontját. Ez azonban félreértés. A

kutatók több lehetséges forgatókönyvet vizsgáltak, eltérő technológiai és társadalmi feltételezésekkel. Nem egyetlen, elkerülhetetlen jövőt írtak le.

Az elmúlt fél évszázad tapasztalatai vegyesek. A technológiai fejlődés, az új lelőhelyek feltárása, a mezőgazdasági termelékenység növekedése és az anyagok helyettesítése számos korábban feltételezett korlátot kitolt. Ugyanakkor a klímaváltozás, a biológiai sokféleség csökkenése és a növekvő anyagfelhasználás újra előtérbe helyezte az eredeti kérdéseket.

A Római Klub jelentősége ezért nem abban áll, hogy minden előrejelzése pontosnak bizonyult volna.

Hanem abban, hogy már több mint ötven évvel ezelőtt rámutatott: a népesség, a gazdaság, az erőforrások és a környezet nem vizsgálhatók egymástól függetlenül.

A technológiai fejlődés képes kitolni bizonyos határokat, de önmagában nem garantálja, hogy a gazdasági növekedés minden környezeti következményét megszüntethetjük.

Carson 1962-ben a vegyi anyagok előre nem látott ökológiai következményeire figyelmeztetett. A Római Klub tíz évvel később ugyanezt a gondolkodást az egész világgazdaság működésére terjesztette ki.

Greenpeace: egy halászhajóból nemzetközi szervezet



278. ábra: A Greenpeace Rainbow Warrior nevű hajója a nemzetközi környezetvédő aktivizmus egyik legismertebb jelképe lett.

A modern környezetvédő mozgalmak egyik legismertebb szervezete, a Greenpeace 1971-ben, Kanadában bontakozott ki.

Egy kis létszámú aktivistacsoport egy régi halászhajóval indult el Vancouverből az alaszkai Amchitka-sziget felé, hogy tiltakozzon az Egyesült Államok föld alatti nukleáris fegyverkísérletei ellen.

A hajó nem jutott el a kitűzött célhoz, és az adott kísérletet sem sikerült megakadályozni. Az akció azonban jelentős nemzetközi figyelmet keltett. A kísérleti programot később megszüntették, és az Amchitka-kampány a Greenpeace történetének alapító eseményévé vált.

A Greenpeace hamar felismerte, hogy a környezetvédelmi tiltakozás hatékonysága nem feltétlenül a résztvevők számától függ.

Egy látványos, jól dokumentált akció képes lehet olyan problémákra irányítani a figyelmet, amelyek egyébként távol maradnának a nyilvánosságtól.

A szervezet aktivistái hajókkal közelítettek meg bálnavadászokat, ipari létesítményeknél tiltakoztak, és figyelemfelkeltő akciókat szerveztek nukleáris kísérletek, veszélyes hulladékok és környezetszennyező tevékenységek ellen.

A módszer lényege az volt, hogy a tiltakozásról olyan képek és beszámolók készüljenek, amelyek közvetlenül érzékeltetik a problémát.

A televíziózás korában ez különösen hatékony eszköznek bizonyult.

A közvélemény sok esetben nem részletes tudományos tanulmányokon keresztül találkozott a környezeti problémákkal, hanem egy-egy megrázó vagy látványos felvétel segítségével.

A Greenpeace tevékenysége ugyanakkor vitákat is kiváltott. A szervezet nem egyszerűen tudományos ismeretterjesztést végzett, hanem konkrét politikai és gazdasági változtatásokat követelt. Álláspontjai egyes kérdésekben – például az atomenergia, a géntechnológia vagy bizonyos ipari technológiák megítélésében – tudományos és szakpolitikai viták tárgyává váltak.

Ebből fontos különbség következik.

Egy környezetvédő szervezet felhívhatja a figyelmet valós veszélyekre, de ez nem jelenti azt, hogy valamennyi szakpolitikai javaslata automatikusan a legjobb megoldás.

A tudományos bizonyítékokat és az aktivista követeléseket külön kell értékelni.

A Greenpeace története mégis jól mutatja, hogyan válhat néhány ember tiltakozásából nemzetközi intézmény, amely évtizedeken keresztül képes részt venni a környezetpolitikai vitákban.

A Rainbow Warrior: amikor a tiltakozás állami erőszakkal találkozott

A Greenpeace történetének egyik legsúlyosabb eseménye 1985. július 10-én történt.

Az új-zélandi Auckland kikötőjében francia titkosszolgálati ügynökök robbanószerkezetekkel elsüllyesztették a Greenpeace Rainbow Warrior nevű hajóját.

A hajó a Csendes-óceánon végrehajtott francia nukleáris fegyverkísérletek elleni tiltakozásra készült.

A robbantásban életét vesztette Fernando Pereira holland fotóriporter.

Az új-zélandi nyomozás feltárta a francia titkosszolgálat szerepét, és az ügy súlyos nemzetközi diplomáciai konfliktust okozott. A francia kormány később elismerte a műveletben fennálló állami felelősséget.

Ez az eset különös erővel mutatta meg, hogy a környezetvédő mozgalmak tevékenysége időnként közvetlenül ütközhet állami és stratégiai érdekekkel.

A Greenpeace akciói nem pusztán a természet védelméről szóltak. A nukleáris kísérletek elleni tiltakozás érintette a katonai hatalmat, a nemzetközi biztonságpolitikát és az állami szuverenitás kérdését is.

A környezetvédelem és a politika tehát már jóval a mai klímaviták előtt elválaszthatatlanul összekapcsolódott.

Magyarország: a Duna Kör és a nagymarosi vízlépcső

A környezetvédő mozgalmaknak Magyarországon is jelentős történelmi szerep jutott.

Az 1980-as évek egyik legismertebb civil kezdeményezése az 1984-ben létrejött Duna Kör volt, amely a bős–nagymarosi vízlépcsőrendszer megépítése ellen lépett fel.





279. ábra: A Duna Kör tiltakozásai és a Dunakanyar természeti értékei. A vízlépcső körüli vita a magyar környezetvédelem és a rendszerváltás előtti civil társadalom fontos eseményévé vált.

A vízlépcsőrendszer gazdasági céljai között szerepelt a villamosenergia-termelés, a hajózhatóság javítása és a vízgazdálkodás fejlesztése.

A beruházás ellenzői azonban jelentős ökológiai változásoktól tartottak. Felmerült a talajvízviszonyok módosulása, a folyó természetes élővilágának károsodása, valamint a Dunakanyar tájképi értékeinek veszélyeztetése.

A konfliktus hamar túlmutatott a környezetvédelmen.

Az akkori politikai rendszerben a jelentős állami beruházásokról szóló döntések társadalmi ellenőrzése korlátozott volt. A Duna Kör ezért nemcsak a vízlépcső környezeti következményeit vitatta, hanem a nyilvánosság, az információhoz való hozzáférés és az állampolgári részvétel kérdéseit is napirendre tűzte.

A mozgalom hírleveleket adott ki, szakmai vitákat szervezett, aláírásokat gyűjtött és demonstrációkat tartott.

1989 májusában a magyar kormány felfüggesztette a nagymarosi építkezést, majd később a magyar fél felmondta az eredeti államközi szerződést. A bősi létesítmény szlovák oldalon más kialakítással megvalósult, a jogvita pedig nemzetközi bíróság elé került.

A Duna Kör története azért is különleges, mert megmutatja, hogyan válhat egy konkrét környezeti konfliktus a szélesebb demokratikus változások egyik ösztönzőjévé.

A magyar példában a környezet védelmének igénye összekapcsolódott a nyilvános vita, az állami döntések ellenőrzése és a civil önszerveződés követelésével.

Ez a kapcsolat a későbbi nemzetközi környezetvédő mozgalmaknál is újra és újra megjelent.

Greta Thunberg és a Fridays for Future megszületése

A huszonegyedik század második évtizedében a környezetvédő mozgalmak új lehetőséget kaptak a közösségi média elterjedésével.

Korábban egy szervezetnek jelentős erőforrásokra, újságírói kapcsolatokra és helyi szervezőkre volt szüksége ahhoz, hogy üzenetét nemzetközi közönséghez juttassa el.

Az internetes közösségi hálózatok megváltoztatták ezt a helyzetet.

Egy fénykép, rövid videó vagy néhány mondatos üzenet néhány nap alatt sok millió emberhez eljuthatott. Az emberek földrajzilag távoli országokban is képesek voltak egymással összehangolt akciókat szervezni.

Ebben a környezetben kezdődött Greta Thunberg tiltakozása.

2018. augusztus 20-án, néhány héttel a svéd parlamenti választások előtt a tizenöt éves diáklány úgy döntött, hogy tanítási napokon a parlament előtt demonstrál a határozottabb éghajlatpolitikai intézkedésekért.

A tiltakozás képei gyorsan terjedtek a közösségi médiában. Más diákok is csatlakoztak hozzá, majd a kezdeményezés különböző országokban is követőkre talált.

A svéd választás után a rendszeres pénteki tiltakozások folytatódtak. Innen származik a Fridays for Future – Péntekek a jövőért – mozgalom neve.

A mozgalom alapvető követelése az volt, hogy a kormányok az éghajlatváltozással kapcsolatos tudományos eredményeknek megfelelő intézkedéseket hozzanak, és teljesítsék a Párizsi Megállapodás célkitűzéseit.





280. ábra: 2019 szeptemberében a Fridays for Future mozgalom már számos országban tömeges demonstrációkat szervezett. A berlini klímatüntetés a korszak egyik legnagyobb európai megmozdulása volt.

2019 szeptemberében a globális klímasztrájkokon több millió ember vett részt. A mozgalom szervezői a szeptemberi akcióhétre mintegy 7,6 millió résztvevőt jelentettek világszerte; ez szervezői összesítés, nem minden helyszínen függetlenül ellenőrzött létszám.

A tiltakozások különlegessége nemcsak a részvétel nagyságában állt.

A kezdeményezés elsődleges szereplői fiatalok, sokszor még iskoláskorú diákok voltak. Olyan társadalmi csoport lépett fel nyilvánosan, amelynek tagjai közül sokan még választójoggal sem rendelkeztek.

A mozgalom erkölcsi érvelése egyszerű volt: a jelenlegi politikai és gazdasági döntések következményeit jelentős részben a fiatalabb nemzedékek fogják viselni, miközben ezekbe a döntésekbe még alig szólhatnak bele.

Ez az üzenet túlmutatott az éghajlatkutatáson.

A nemzedékek közötti igazságosság kérdését helyezte a politikai vita középpontjába.

A Greta Thunberg-jelenség: a személyiség és az üzenet

Greta Thunberg nem tudományos felfedezéssel vált ismertté. Nem új éghajlati modellt dolgozott ki, és nem hozott létre környezetvédelmi technológiát.

Hatása elsősorban abban állt, hogy a tudományos eredményeket egyszerű, közvetlen és erkölcsi követelésekként fogalmazta meg.

Beszédeiben rendszeresen bírálta a politikai vezetőket a klímavédelmi célok és a tényleges intézkedések közötti különbség miatt.

2019 szeptemberében az ENSZ New York-i klímacsúcstalálkozóján tartott felszólalása különösen nagy nemzetközi figyelmet kapott.

A beszéd hangvétele eltért a hagyományos diplomáciai felszólalásokétól. Nem kompromisszumokról vagy gazdasági lehetőségekről beszélt, hanem a jövő generációinak veszélyeztetését kérte számon a döntéshozókon.

Ez a kommunikáció jelentősen hozzájárult ismertségéhez.

Ugyanakkor az erős erkölcsi üzeneteknek sajátos korlátai is vannak.

Az éghajlatváltozás tudományos háttere rendkívül összetett. A gazdasági és társadalmi alkalmazkodás pedig különböző érdekek, technológiai lehetőségek és pénzügyi korlátok között valósulhat meg.

Ha a nyilvános vita kizárólag arra szűkül, hogy a politikusok cselekszenek-e vagy sem, könnyen háttérbe szorulhat a kérdés, hogy pontosan milyen intézkedéseket, milyen időtávon és milyen költséggel lenne indokolt megvalósítani.

A Greta Thunberg-jelenség egyik ellentmondása éppen ebből fakad.

A mozgalom képes volt olyan emberek figyelmét az éghajlatváltozásra irányítani, akik korábban nem foglalkoztak vele. Ugyanakkor a mozgalom közismert arcának megnyilvánulásai sok esetben személyes és politikai viták tárgyává váltak.

Az aktivista személyisége fokozatosan legalább akkora figyelmet kapott, mint az általa képviselt környezeti probléma.

A támogatók számára Greta az állampolgári bátorság és az elkötelezettség jelképe lett. Kritikusai viszont kifogásolták konfrontatív stílusát, egyes szakpolitikai álláspontjait és később más társadalmi-politikai ügyekben vállalt szerepét is.

Ezek a viták jól mutatják, hogy a környezetvédelmi mozgalmak számára a személyekre épülő kommunikáció egyszerre jelenthet erőforrást és kockázatot.

Egy ismert személy sokkal könnyebben képes mozgósítani a közvéleményt, mint egy intézményi jelentés. Ha azonban a nyilvános vita egyetlen ember megítéléséről kezd szólni, a mögötte álló tudományos és társadalmi kérdések háttérbe szorulhatnak.

Az éghajlatváltozás tudományos megítélése nem függhet Greta Thunberg személyes népszerűségétől – ahogyan a vele szembeni kritika sem cáfolja az éghajlatkutatás eredményeit.

Amikor a mozgalom túlnő az eredeti célján

A társadalmi mozgalmak történetében gyakori jelenség, hogy egy kezdetben jól körülhatárolható ügy köré szerveződő kezdeményezés idővel szélesebb politikai és társadalmi kérdésekkel kezd foglalkozni.

Ez részben természetes folyamat.

A környezeti problémák összefüggnek az energiapolitikával, a gazdasági egyenlőtlenségekkel, a nemzetközi kereskedelemmel, a háborúkkal és a társadalmi igazságossággal.

Aki következetesen vizsgálja a klímaváltozás társadalmi következményeit, előbb-utóbb ezekkel a kérdésekkel is találkozik.

Greta Thunberg nyilvános szerepvállalása is fokozatosan kiszélesedett. Az éghajlatváltozás mellett más emberi jogi, társadalmi és nemzetközi politikai ügyekben is részt vett tiltakozásokon, köztük a palesztin lakosság helyzetével kapcsolatos megmozdulásokon.

Ez új vitákat váltott ki a Fridays for Future környezetében is.

Egyes aktivisták a klímaigazságosságot szélesebb társadalmi igazságossági kérdések részének tekintik. Mások attól tartanak, hogy a különböző politikai konfliktusok felvállalása elvonja a figyelmet az eredeti környezetvédelmi célokról, és megosztja a támogatókat.

A két megközelítés közötti különbség nem pusztán kommunikációs kérdés.

A környezetvédelmi mozgalmak ugyanis akkor képesek széles társadalmi együttműködést kialakítani, ha különböző világnézetű emberek is találhatnak bennük közös célokat.

Minél több, egymástól független politikai állásfoglalás kapcsolódik egy mozgalomhoz, annál nagyobb lehet a veszélye annak, hogy a környezetvédelmi ügyek is az általános politikai megosztottság részévé válnak.

Ugyanakkor a környezeti károk társadalmi egyenlőtlenségeinek teljes figyelmen kívül hagyása szintén beszűkítheti a mozgalom problémaértelmezését.

A különböző környezetvédő szervezetek ezért eltérő választ adnak arra, milyen széles társadalmi és politikai célrendszert kívánnak képviselni.

Nincs szükség arra, hogy valamennyi szervezet azonos álláspontot foglaljon el minden kérdésben.

A civil társadalom sokszínűsége éppen abban is megmutatkozik, hogy különböző csoportok eltérő eszközökkel és célokkal járulhatnak hozzá a közös környezeti problémák kezeléséhez.

A tiltakozás eszközei: demonstrációtól a polgári engedetlenségig





281. ábra: A klímamozgalmak egy része a hagyományos demonstrációkon túl útlezárásokkal és más, a mindennapi életet megzavaró akciókkal is próbálja felhívni a figyelmet követeléseire.

A környezetvédő mozgalmak fejlődése során a tiltakozás módszerei is egyre változatosabbá váltak.

A hagyományos eszközök közé tartoznak a demonstrációk, a petíciók, az aláírásgyűjtések, a tájékoztató kampányok és a politikai döntéshozókkal folytatott egyeztetések.

Ezek a módszerek általában a demokratikus részvétel elfogadott formái.

Egyes szervezetek azonban úgy ítélik meg, hogy a hagyományos tiltakozás nem képes kellő gyorsasággal változást előidézni. Ezért látványosabb, esetenként a mindennapi életet akadályozó akciókhoz folyamodnak.

Az Extinction Rebellion 2018-ban indult Nagy-Britanniában, és a klímavészhelyzetre hivatkozva tömeges polgári engedetlenséget hirdetett.

A később ismertté vált Just Stop Oil és a német Letzte Generation szintén alkalmazott útlezárásokat és egyéb zavaró akciókat.

Ezek a módszerek gyakran jelentős médiafigyelmet kaptak.

Az aktivisták érvelése szerint a klímaváltozás veszélye olyan súlyos, hogy indokolttá teheti a hétköznapi élet átmeneti megzavarását a politikai döntéshozók figyelmének felkeltésére.

A kritikusok viszont arra hívják fel a figyelmet, hogy az útlezárások nem feltétlenül a környezetszennyezésért leginkább felelős szereplőket érintik, hanem olyan állampolgárokat, akiknek nincs közvetlen befolyásuk a követelt politikai döntésekre.

Az ügy különösen érzékennyé válik, ha a tiltakozás munkába járást, közlekedést vagy sürgős szolgáltatások elérését akadályozza.

A polgári engedetlenség fogalma hagyományosan tudatos, nyilvános, erőszakmentes törvényszegést jelent, amellyel a résztvevők egy általuk igazságtalannak tartott helyzet megváltoztatását kívánják elérni. Az aktivisták rendszerint azzal is számolnak, hogy cselekedetük jogi következményekkel járhat.

Az erőszakmentesség azonban önmagában nem tesz minden akciót jogszerűvé vagy társadalmilag elfogadhatóvá.

Más a helyzet egy engedélyezett demonstrációnál, egy rövid ideig tartó útlezárásnál, egy ipari létesítménybe történő jogosulatlan belépésnél és egy műalkotás vagy berendezés megrongálásánál.

Az alkalmazott eszközök jogi és erkölcsi megítélése ezért külön vizsgálatot igényel.

Hatásos-e a radikális tiltakozás?

A kérdésre a társadalomtudományi kutatások sem adnak egyszerű igen vagy nem választ.

A tiltakozás hatását ugyanis többféleképpen lehet mérni. Növeli-e az emberek aggodalmát a klímaváltozás miatt? Erősíti-e a környezetvédő szervezetek támogatottságát? Megváltoztatja-e a fogyasztói szokásokat? Vagy konkrét politikai döntésekhez vezet?

Ezek nem feltétlenül azonos irányban változnak.

Egy 2024-ben a Nature Communications folyóiratban megjelent németországi kutatás például azt vizsgálta, hogyan befolyásolták a klímatüntetések és a polgári engedetlenségi akciók a lakosság éghajlatváltozással kapcsolatos aggodalmát. A kutatók a vizsgált tiltakozásokat követően az aggodalom növekedését mutatták ki, bár az ilyen megfigyelésekből az egyes akciók hosszú távú politikai hatása nem vezethető le közvetlenül.

Egy 2025-ben a Journal of Environmental Psychology folyóiratban megjelent kutatás árnyaltabb összefüggést talált.

A szélsőségesebb tiltakozási formák csökkentették az adott aktivistacsoport támogatottságát, ugyanakkor növelhették a klímaváltozás miatti aggodalmat és a cselekvési szándékot. A szélesebb klímamozgalom vagy a környezetvédelmi cél általános támogatottsága nem feltétlenül csökkent.

Egy másik, 2026 februárjában publikált osztrák kísérlet szerint a radikális csoportok jelenléte bizonyos körülmények között növelheti a mérsékeltebb környezetvédő szervezetek támogatottságát. Ez különösen akkor jelentkezett, amikor a mérsékelt szervezet egyértelműen elhatárolódott a radikális módszerektől.

Ez az úgynevezett radikális szárny hatása.

A jelenség lényege, hogy egy radikálisabb csoport fellépése mellett a mérsékeltebb szervezetek követelései elfogadhatóbbnak tűnhetnek.

Ez azonban nem általános törvényszerűség. Az eredmény függ a tiltakozás célpontjától, módszerétől, a társadalmi környezettől és az érintettek előzetes véleményétől.

Egy 2026-ban megjelent további kutatás arra is rámutatott, hogy a tiltakozás célpontjának megítélése jelentősen befolyásolja a társadalmi reakciókat. Azok az akciók, amelyek a közvélemény által kevésbé felelősnek tartott szereplőket érintették, több elutasítást váltottak ki az aktivistákkal szemben.

A radikális tiltakozás tehát növelheti a figyelmet, miközben ronthatja a résztvevők megítélését.

Ebből fontos tanulság következik: a nyilvánosság megszerzése és a társadalmi támogatás megszerzése nem ugyanaz.

Egy látványos akció elérheti, hogy milliók értesüljenek egy problémáról. De ha a figyelem középpontjába maga a tiltakozás módszere kerül, az eredeti környezetvédelmi üzenet háttérbe szorulhat.

A civilek ereje nem csak az utcán mutatkozik meg







282. ábra: A civil környezetvédelem nem kizárólag demonstrációkból áll. A helyi természetvédelmi programok, a független mérések és a közösségi kutatások is fontos szerepet tölthetnek be.

A nagy médiavisszhangot kiváltó tiltakozások mellett számos olyan civil kezdeményezés működik, amelynek tevékenysége kevésbé látványos, mégis közvetlen eredményekkel járhat.

A helyi természetvédelmi egyesületek élőhelyeket állítanak helyre, figyelemmel kísérik veszélyeztetett fajok állományát, részt vesznek a folyók és tavak állapotának vizsgálatában, vagy fellépnek egy-egy környezetszennyező beruházással szemben.

A környezetvédelmi szervezetek munkája gyakran szakmai jellegű. Biológusok, geológusok, vegyészek, mérnökök és jogászok dolgoznak együtt önkéntesekkel.

Az ilyen tevékenységek jelentősége abban áll, hogy a társadalom számára független információkat és ellenőrzési lehetőségeket teremthetnek.

A modern technológia ezt a szerepet tovább erősítette.

Az állampolgárok ma már viszonylag könnyen dokumentálhatnak illegális hulladéklerakókat, vízszennyezést, természetkárosítást vagy más környezeti problémákat. A fényképek, térinformatikai rendszerek és nyilvános adatbázisok lehetővé teszik, hogy a helyi észlelésekből átfogóbb információk szülessenek.

Ez a közösségi tudomány, az úgynevezett citizen science egyik fontos alkalmazási területe.

Természetesen az állampolgári mérések minősége eltérő lehet. Egy olcsó mérőeszköz eredménye nem feltétlenül alkalmas hatósági bizonyításra, és a környezeti folyamatok értelmezése szakértelmet igényel.

A jól szervezett közösségi adatgyűjtés azonban értékes kiegészítője lehet a hivatásos tudományos és hatósági megfigyeléseknek.

A civil társadalom tehát nem kizárólag nyomást gyakorolhat a döntéshozókra, hanem részt vehet a környezeti problémák felismerésében és megoldásában is.

Ez különösen fontos ott, ahol a hatóságok ellenőrzési kapacitása korlátozott.

A civil mozgalmak saját felelőssége

A környezetvédő szervezetek gyakran a vállalatok és a politikai intézmények átláthatóságát követelik.

Ugyanezek az elvek azonban rájuk is vonatkoznak.

A civil szervezetek döntéseit szintén befolyásolhatják finanszírozási feltételeik, támogatóik elvárásai, vezetőik személyes meggyőződései és a nyilvánosságért folytatott verseny.

Egy szervezetnek szüksége van támogatókra, adományokra és társadalmi figyelemre. Ez ösztönözheti arra, hogy üzeneteit egyszerűen és hatásosan fogalmazza meg.

A környezeti problémák azonban ritkán egyszerűek.

A nukleáris energia, a vízerőművek, a bioüzemanyagok, az elektromos közlekedés vagy a mezőgazdasági technológiák megítélése egyaránt összetett tudományos és gazdasági kérdés.

Egy technológia rendelkezhet valódi környezeti előnyökkel, miközben más területeken károkat vagy kockázatokat okoz.

Ha egy mozgalom kizárólag a saját álláspontját támogató adatokat hangsúlyozza, ugyanabba a kommunikációs hibába eshet, amelyet a gazdasági lobbiknál bírál.

Ezért a civil szervezetek hitelességéhez is hozzátartozik a finanszírozás átláthatósága, az ellenőrizhető adatközlés, a szakmai tévedések elismerése és az álláspontok szükség szerinti módosítása.

A környezetvédelemnek különösen nagy szüksége van a tudományos hitelességre.

Egy aktivista nem köteles minden kérdésben részletes technológiai megoldást kidolgozni. Jogosult problémákra felhívni a figyelmet és változtatásokat követelni.

De amikor konkrét szakpolitikai megoldásokat javasol, állításait ugyanúgy érdemes ellenőrizni, mint a vállalatok vagy politikusok állításait.

A jó cél önmagában nem tesz minden módszert helyessé, és nem garantálja minden állítás pontosságát.

Mikor válik a tiltakozás tényleges változássá?

A környezetvédő mozgalmak egyik legnehezebb feladata, hogy a társadalmi figyelmet tartós eredményekké alakítsák.

Egy demonstráció sikeres lehet a résztvevők számát tekintve, de ez még nem jelenti azt, hogy megváltozik a környezetpolitika.

Egy kormány bejelenthet új célokat, de az eredmény csak akkor jelentkezik, ha a célokat megfelelő intézkedések, beruházások és ellenőrzési rendszerek követik.

A civil mozgalmak eredményességét ezért több szinten kell vizsgálni.

Az első a figyelem felkeltése. Egy addig háttérbe szorult környezeti probléma bekerülhet a közbeszédbe.

A második a társadalmi támogatás megteremtése. A lakosság egy része felismerheti a probléma jelentőségét, és támogatni kezdheti a megoldásokat.

A harmadik a politikai döntések befolyásolása. A döntéshozók új szabályokat vezethetnek be, felülvizsgálhatnak beruházásokat, vagy módosíthatják a támogatási rendszereket.

A negyedik, legnehezebben elérhető szint a tényleges környezeti eredmény. Csökken-e a szennyezés? Javul-e a vízminőség? Növekszik-e az élőhelyek állapota és kiterjedése? Mérséklődik-e a kibocsátás?

A különböző szinteket nem szabad összekeverni.

Egy mozgalom képes lehet tömegeket megmozgatni anélkül, hogy közvetlenül mérhető kibocsátáscsökkentést érne el.

Máskor egy viszonylag kis civil szervezet szakmai munkája jelentős helyi környezetvédelmi eredményhez vezethet, miközben a szélesebb nyilvánosság alig értesül róla.

A mozgalmak valódi hatását ezért nem lehet kizárólag a demonstrációk létszámával vagy a médiamegjelenések számával mérni.

A környezeti változás általában összetett folyamat. A tudományos eredmények, a civil nyomás, a gazdasági ösztönzők, a technológiai fejlődés és a politikai döntések együttesen alakítják.

Ritkán lehet egyetlen szervezet vagy személy kizárólagos érdemének tekinteni egy jelentős környezetvédelmi eredményt.

Az egyénből közösség lesz





283. ábra: Az egyéni tiltakozás akkor válhat társadalmi erővé, amikor az elszigetelt vélemények szervezett közösségi fellépéssé alakulnak.

Az előző fejezetekben azt vizsgáltuk, hogy az egyén mozgástere mennyire korlátozott a nagy gazdasági és politikai szereplőkhöz képest.

Egy ember nem változtathatja meg egy ország energiarendszerét, nem szabályozhatja a multinacionális vállalatokat, és nem alakíthatja át önállóan a közlekedési infrastruktúrát.

Ez azonban nem jelenti azt, hogy az állampolgároknak ne lehetne befolyásuk a környezeti döntésekre.

A demokratikus társadalmak egyik alapvető sajátossága, hogy az egyének közös fellépéssel képesek lehetnek olyan célokat is képviselni, amelyek önállóan elérhetetlenek számukra.

A környezetvédő mozgalmak története számos példát szolgáltat erre.

A Greenpeace alapítói egyetlen hajóval indultak el egy nukleáris kísérlet ellen. A Duna Kör néhány elkötelezett ember kezdeményezéséből vált jelentős magyar civil mozgalommá. Greta Thunberg egyszemélyes iskolasztrájkja pedig világméretű ifjúsági tiltakozáshoz vezetett.

Ezek a történetek azonban nem azt bizonyítják, hogy egyetlen ember bármikor képes megváltoztatni a világot.

Azt mutatják meg, hogy bizonyos társadalmi körülmények között egyéni kezdeményezésekből szervezett, jelentős befolyással rendelkező mozgalmak alakulhatnak ki.

A sikerhez több tényező együttállása szükséges: a probléma társadalmi felismerése, a hiteles információk, a megfelelő kommunikáció, a szervezők kitartása és a szélesebb közösség részvételi hajlandósága.

A Greta Thunberg-jelenség ezért nem egyszerűen egy különleges személyiség története.

Azt a változást is szemlélteti, amelyet az internet és a közösségi hálózatok hoztak a társadalmi önszerveződésben.

A nemzetközi mozgalmak ma már nem feltétlenül központi irányítású, hierarchikus szervezetek. Gyakran egymástól viszonylag független helyi csoportok hálózataként működnek, közös célokkal és jelképekkel.

Ez lehetővé teszi a gyors terjedést, ugyanakkor megnehezítheti az egységes fellépést, a képviseleti jogosultság tisztázását és a belső viták kezelését.

Az új kommunikációs lehetőségek tehát egyszerre erősíthetik a civil társadalmat és hozhatnak létre új működési problémákat.

A környezetvédelemnek szüksége van a vitára

A környezetvédő mozgalmak egyik legfontosabb történelmi szerepe az volt, hogy olyan kérdéseket hoztak a nyilvánosság elé, amelyekre a gazdasági és politikai döntéshozók korábban nem fordítottak elegendő figyelmet.

A légszennyezés, a veszélyes vegyi anyagok, a nukleáris kísérletek, a veszélyeztetett állatfajok és később az éghajlatváltozás mind olyan területek, ahol a civil szervezetek jelentős szerepet játszottak a társadalmi figyelem felkeltésében.

De a környezetvédelem nem válhat olyan területté, ahol az álláspontok helyességét kizárólag a képviselt cél erkölcsi jelentősége alapján ítélik meg.

A környezeti problémák megoldásához nyílt vitákra, ellenőrizhető bizonyítékokra és a különböző szempontok összevetésére van szükség.

Egy mozgalom jogosan sürgetheti az éghajlatváltozás mérséklését, de a konkrét megoldások gazdasági, műszaki és társadalmi következményeit ettől még vizsgálni kell.

Egy iparág jogosan hivatkozhat az ellátásbiztonságra vagy a munkahelyek megőrzésére, de ezek az érvek sem mentesíthetik a környezeti károk vizsgálata alól.

A tudomány feladata a tények és összefüggések feltárása. A civil társadalom szerepe lehet a problémák nyilvánosság elé vitele és a társadalmi érdekek képviselete. A politikai döntéshozatalnak pedig a különböző érdekeket, lehetőségeket és következményeket kell mérlegelnie.

Ezek a szerepek összekapcsolódnak, de nem azonosak.

Ha a tudományos kérdések kizárólag politikai jelképekké válnak, nehezebbé válhat a racionális vita. Ha viszont a tudományos eredményeknek nincs társadalmi visszhangjuk, a szükséges változások elmaradhatnak.

A környezetvédő mozgalmak legértékesebb szerepe éppen az lehet, hogy kapcsolatot teremtenek a tudományos felismerések és a társadalmi cselekvés között.

Mit tanít a Greta Thunberg-jelenség?

Greta Thunberg 2018-as tiltakozása látványosan bizonyította, hogy a digitális korban egyetlen ember kezdeményezése rendkívül gyorsan nemzetközi figyelmet kaphat.

De a figyelem megszerzése csak a kezdet.

A környezetvédelmi mozgalmak hosszú távú jelentősége attól függ, hogy képesek-e a társadalmi aggodalmakat ellenőrizhető célokká, tartós együttműködéssé és végül mérhető környezeti eredményekké alakítani.

A személyes elkötelezettség fontos, de önmagában nem elegendő. A látványos tiltakozás felhívhatja a figyelmet a problémára, de nem helyettesíti a műszaki megoldásokat. A politikai nyomás előmozdíthatja a változásokat, de a gazdasági és társadalmi következmények mérlegelését nem teheti feleslegessé.

A civil mozgalmak ugyanakkor nélkülözhetetlen ellenőrző szerepet tölthetnek be a modern társadalomban.

Felhívhatják a figyelmet a hatóságok mulasztásaira, a vállalatok környezeti károkozására, a tudományos eredmények figyelmen kívül hagyására és a környezetpolitikai ígéretek teljesítésének elmaradására.

Az állampolgárok számára pedig lehetőséget teremtenek arra, hogy ne kizárólag egyéni fogyasztóként, hanem közösségként is részt vegyenek a környezeti döntések alakításában.

A Greta Thunberg-jelenség legfontosabb tanulsága talán nem az, hogy egy fiatal diáklány képes volt milliókat mozgósítani.

Hanem az, hogy a modern társadalomban a környezet védelme már nem kizárólag a tudósok, a szakértők, a vállalatok és a politikusok ügye.

Az állampolgárok is részt kívánnak venni annak eldöntésében, milyen környezetben éljenek, és milyen világot hagyjanak a következő nemzedékekre.

A tiltakozás önmagában nem oldja meg a környezeti problémákat. De nélküle számos probléma talán soha nem került volna a társadalmi és politikai döntéshozatal középpontjába.

A környezetvédelem története ezért nemcsak a természetről, hanem az emberi együttműködésről, a társadalmi konfliktusokról és a demokratikus részvétel lehetőségeiről is szól.

Források és további olvasmányok

- Earth Day – The History of Earth Day. A modern környezetvédő mozgalom és az 1970-es első Föld napja.
- Greenpeace International – Founders. A szervezet alapítása és az Amchitka-kampány.
- New Zealand Police – Rainbow Warrior, 40 years on. Az 1985-ös robbantás története.
- Nemzeti Archívum – A Duna Kör és a nagymarosi vízlépcső elleni tiltakozás. Magyar történeti dokumentum.

- Fridays for Future – Who We Are. A mozgalom kialakulása és céljai.
- Brehm, J. és Gruhl, H. (2024): Increase in concerns about climate change following climate strikes and civil disobedience in Germany. Nature Communications.
- Nylund, J. L. és munkatársai (2025): The climate activist's dilemma: Extreme protests reduce movement support but raise climate concern and intentions. Journal of Environmental Psychology.
- Actively distancing from climate radicals improves public support for moderate climate activists. Communications Psychology, 2026.

35. Ki áll a mozgalmak mögött?

A civil szervezetek finanszírozása és politikai kapcsolatai. Független kezdeményezések, gazdasági érdekek, szervezett kampányok és befolyásolás. Milyen bizonyítékok alapján lehet manipulációról beszélni?

Egy város főterén több ezer ember tüntet egy tervezett ipari beruházás ellen. Transzparenseket emelnek magasba, környezetvédelmi követeléseket fogalmaznak meg, a szónokok pedig a lakosság egészségének és a természet védelmének fontosságáról beszélnek.

A televíziós tudósításokon minden egyértelműnek tűnik: az emberek féltik a környezetüket, ezért tiltakoznak.

De ki szervezte a demonstrációt? Ki fizette a hangosítást, a plakátokat, a közlekedést és a kommunikációs kampányt? Kik készítették a háttértanulmányokat? És ki határozta meg a tüntetés pontos követeléseit?

Lehetséges, hogy valóban helyi lakosok spontán kezdeményezéséről van szó. Az is elképzelhető, hogy egy régebb óta működő civil szervezet segítette a szervezést. A támogatók között lehetnek magánszemélyek, alapítványok vagy gazdasági vállalkozások.

De az sem zárható ki, hogy egy vállalat, politikai szervezet vagy más érdekcsoport tudatosan próbálja befolyásolni a tiltakozást, miközben saját szerepét háttérben tartja.

A különböző lehetőségek között alapvető különbség van.

A szervezettség önmagában nem bizonyít manipulációt. A finanszírozás nem feltétlenül jelent irányítást. Az azonos politikai érdek pedig nem azonos a titkos együttműködéssel.

A civil mozgalmak megítéléséhez ezért nem elegendő azt megkérdezni, hogy kik állnak mögöttük. Azt is vizsgálni kell, milyen kapcsolatban állnak a támogatóikkal, milyen mértékben függetlenek döntéseikben, és milyen bizonyítékok támasztják alá az esetleges külső befolyásolásra vonatkozó állításokat.

Ez azért különösen fontos, mert a környezetvédelem területén hatalmas gazdasági és politikai érdekek ütköznek.

A civil szervezetek is pénzből működnek


SSIEL KAN ECHT NIET MEER
IVESTEER
Oil dictators
ING STOP
DESTROYING
LOUISIANA!
New pipe
latus pas





284. ábra: A civil kezdeményezések működéséhez szervezési munka, eszközök, szakértelem és pénzügyi források szükségesek. A támogatás azonban önmagában nem jelent külső irányítást.

A civil szervezetekkel kapcsolatban gyakran él az az elképzelés, hogy működésük kizárólag önkéntesek lelkesedésére épül.

Ez a kisebb helyi kezdeményezéseknél részben igaz lehet. Egy patak megtisztítására, egy fasor megmentésére vagy egy illegális hulladéklerakó felszámolására szerveződő csoport gyakran valóban néhány ember munkájából és szerény anyagi hozzájárulásából működik.

Egy országos vagy nemzetközi szervezet fenntartása azonban egészen más feladat.

Szakembereket kell alkalmazni, kutatásokat finanszírozni, jogi eljárásokat indítani, kommunikációs kampányokat szervezni és nemzetközi kapcsolatokat fenntartani.

A környezeti hatástanulmányok értékeléséhez mérnökökre, biológusokra, vegyészekre, közgazdászokra és jogászokra lehet szükség.

A működés költségei jelentősek lehetnek.

A finanszírozás több forrásból származhat: egyéni adományokból, tagsági díjakból, magánalapítványok támogatásaiból, állami vagy európai uniós pályázatokból, illetve egyes szervezetek esetében vállalati hozzájárulásokból.

Ezek a támogatási formák nem azonos kockázatokat hordoznak.

Egy sok tízezer kisadományozó által fenntartott szervezet jellemzően kevésbé függ egyetlen támogató döntésétől, mint egy olyan egyesület, amelynek költségvetését nagyrészt egyetlen alapítvány vagy vállalat biztosítja.

Ugyanakkor a sok kisadomány sem garantálja automatikusan a függetlenséget. Egy szervezet vezetése saját meggyőződése, politikai kapcsolatai vagy a támogatóinak feltételezett elvárásai alapján is alakíthatja álláspontját.

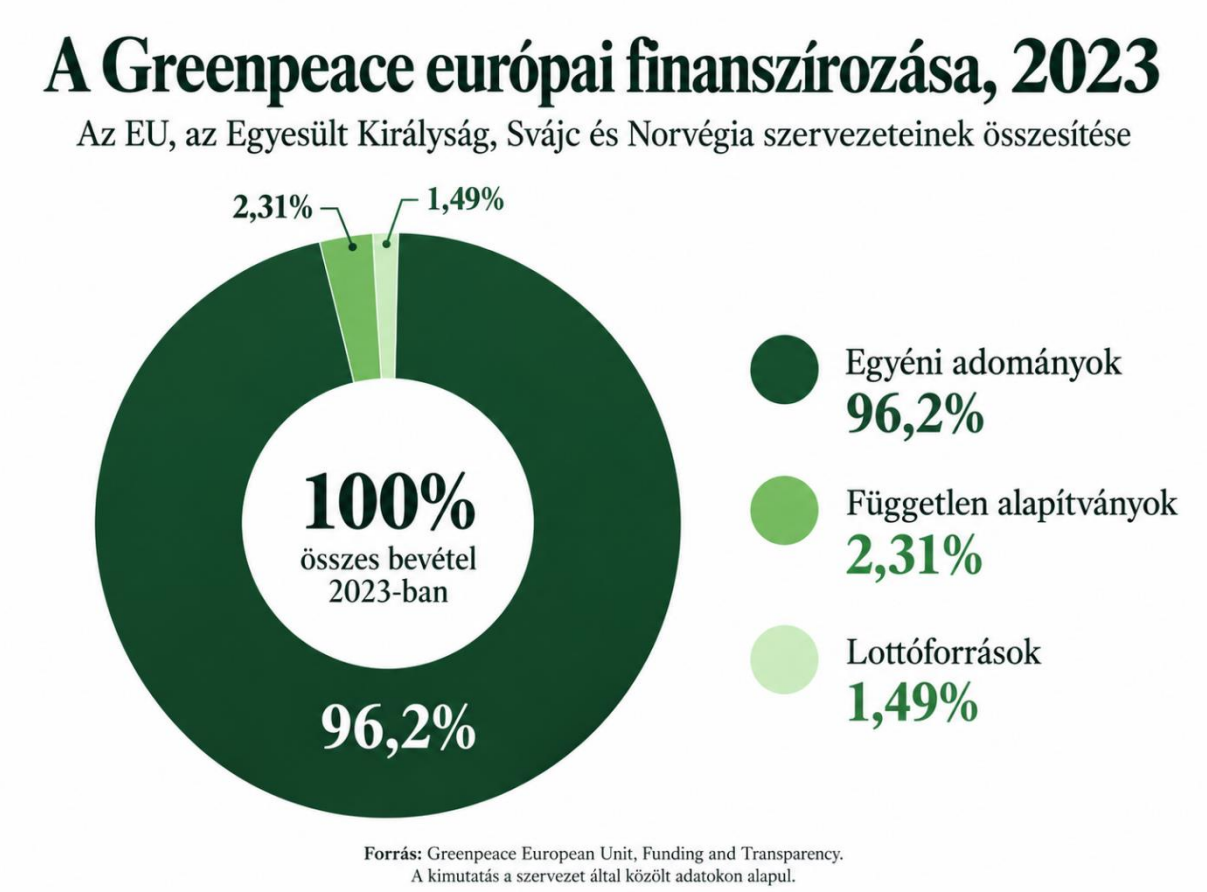
A függetlenség tehát nem egyszerűen pénzügyi kategória.

A lényeg az, hogy a finanszírozók milyen jogokkal és eszközökkel rendelkeznek a szervezet döntéseinek befolyásolására.

A Greenpeace finanszírozása: egy ellenőrizhető példa

A Greenpeace saját bevételszerzési szabályai szerint nem fogad el támogatást kormányoktól, politikai pártoktól és vállalatoktól. Működését egyéni adományokból és magánalapítványi támogatásokból finanszírozza.

A szervezet európai egységének közzétett adatai szerint a Greenpeace európai hálózatának 2023-as bevételei a következőképpen oszlottak meg.



Ez a finanszírozási szerkezet azt mutatja, hogy a Greenpeace az adott évben Európában döntően egyéni adományokra támaszkodott.

Ebből azonban nem következik, hogy valamennyi állásfoglalása szükségszerűen helyes vagy politikailag semleges lenne.

A Greenpeace nyíltan képvisel különböző környezetpolitikai célokat, és egyes technológiákkal vagy beruházásokkal kapcsolatban határozott álláspontot foglal el.

A pénzügyi függetlenség, a politikai semlegesség és a tudományos megalapozottság három különböző tulajdonság.

Egy szervezet lehet pénzügyileg független, miközben markáns politikai célokat képvisel. És lehet teljesen jogszerűen finanszírozott, miközben egyes szakmai álláspontjai vitathatók.

A helyes megközelítés tehát az, hogy a finanszírozást és az állítások tartalmát külön-külön vizsgáljuk.

A Fridays for Future: hálózat központi irányítás nélkül







285. ábra: A Fridays for Future laza, nemzetközi hálózatként alakult ki. A helyi csoportok önállósága egyszerre segítette a gyors terjedést és nehezítette az egységes képviseletet.

A Greta Thunberg kezdeményezéséből kibontakozó Fridays for Future különbözik a hagyományos, központilag irányított nemzetközi szervezetektől.

A mozgalom decentralizált hálózatként működik. Az egyes országok és városok csoportjai jelentős önállósággal szervezik tevékenységüket.

A mozgalom észtországi szervezete például nyilvánosan rögzíti, hogy helyi csoportjai autonómok, és nincs központi irányításuk. Azt is közli, hogy elfogadhat olyan szervezetektől támogatást, amelyek céljai összeegyeztethetők a mozgalom értékeivel.

A decentralizált működés előnye, hogy viszonylag könnyű új helyi kezdeményezéseket létrehozni. A résztvevőknek nem kell feltétlenül hosszadalmas intézményi engedélyezésen keresztülmenniük.

Ugyanakkor éppen ez teszi nehézzé annak megállapítását, hogy ki beszél az egész mozgalom nevében.

Egy helyi csoport álláspontja nem feltétlenül azonos más országok aktivistáinak véleményével. A támogatók, a finanszírozási lehetőségek és a politikai kapcsolatok is eltérhetnek.

Ezért félrevezető volna egyetlen ország vagy szervezet pénzügyi kapcsolatai alapján az egész Fridays for Future mozgalomra következtetni.

Ugyanilyen megalapozatlan lenne abból, hogy a tüntetések több országban hasonló időpontban és jelszavakkal zajlanak, automatikusan titkos központi irányításra következtetni.

A közös kampánynapok, az egyeztetett üzenetek és a nemzetközi koordináció egy nyilvánosan szerveződő mozgalomban természetes jelenségek.

Más kérdés, ha bizonyítható, hogy egy külső szereplő eltitkolt pénzügyi vagy szervezeti kapcsolatokon keresztül határozza meg a kampány céljait.

A kettő között lényeges különbség van.

A rejtett megrendelő: amikor a civil mozgalom csak látszat

A közvélemény befolyásolásának egyik különösen érdekes módszere az úgynevezett astroturfing.

Az angol kifejezés az AstroTurf műfű márkanevéből származik, szembeállítva azt a valódi, alulról szerveződő társadalmi mozgalmakkal, amelyeket angolul grassroots kezdeményezéseknek neveznek.

Az astroturfing lényege, hogy egy szervezett, gazdasági vagy politikai érdekeket szolgáló kampányt spontán lakossági kezdeményezésként próbálnak bemutatni.

A nyilvánosság számára úgy tűnhet, mintha egy kérdésben sok, egymástól független állampolgár azonos véleményre jutott volna. A háttérben azonban egy központi szereplő finanszírozhatja, koordinálhatja vagy irányíthatja az akciókat.



286. ábra: A kétféle tiltakozás külső megjelenése akár teljesen azonos is lehet. A rejtett irányításra nem a transzparensek külseje, hanem a finanszírozási és szervezeti kapcsolatok bizonyítékai utalhatnak.

Az ilyen kampányok többféle módon működhetnek.

Létrehozhatnak civil szervezetnek látszó érdekképviseleteket, fizetett kommunikációs kampányokat szervezhetnek, látszólag független szakértőket szerepeltethetnek, vagy olyan internetes felületeket működtethetnek, amelyek valójában ugyanahhoz a megrendelőhöz kapcsolódnak.

Az astroturfing nem kizárólag a környezetvédelmi mozgalmak sajátossága.

Megjelenhet egészségügyi, fogyasztóvédelmi, munkaügyi és politikai vitákban is. A megrendelő lehet gazdasági vállalat, érdekképviselet, politikai szervezet vagy akár állami szereplő.

A cél rendszerint az, hogy a saját érdek képviselete szélesebb társadalmi támogatottságúnak tűnjön, mint amilyen valójában.

A környezetvédelemben különösen nagy lehet a tét.

Egy szénerőmű bezárása, egy olajvezeték megépítése, egy akkumulátorgyár engedélyezése vagy egy új természetvédelmi szabály bevezetése jelentős gazdasági érdekeket érinthet.

Az ilyen döntéseket befolyásolni kívánó szereplők számára a társadalmi támogatottság demonstrálása fontos eszköz lehet.

De nem minden szervezett vagy finanszírozott kampány astroturfing.

Ha egy vállalat nyíltan támogat egy beruházást, és erről kommunikációs kampányt folytat, az vállalati érdekképviselet. Ha egy civil szervezet nyilvánosan vállalja támogatóit, az önmagában nem megtévesztés.

A manipuláció szempontjából a döntő körülmény a tényleges megrendelő, az irányítás vagy a finanszírozási kapcsolat szándékos elrejtése és a társadalmi támogatottság félrevezető bemutatása.

Dokumentált eset: az olajipar és a látszólag független szervezetek

A fosszilisenergia-ipar történetében több dokumentált példa található arra, hogy vállalatok és érdekképviseletek a közvélemény befolyásolására szervezeteket és kommunikációs hálózatokat finanszíroztak.

A Union of Concerned Scientists amerikai tudományos érdekvédelmi szervezet 2007-ben Smoke, Mirrors & Hot Air címmel tett közzé egy jelentést.

A vizsgálat szerint az ExxonMobil 1998 és 2005 között közel 16 millió dollárral támogatott 43 olyan érdekképviseleti szervezetet, amelyek az éghajlatváltozással kapcsolatos tudományos és politikai vitákban a bizonytalanság hangsúlyozásával vagy a kibocsátáscsökkentő intézkedések ellen fellépve vettek részt.

Egy 2015-ben közzétett további dokumentumgyűjtemény 85 belső feljegyzést mutatott be, amelyek összesen több mint 330 oldalt tettek ki.

A dokumentumok között megtalálhatók voltak politikusoknak szánt megtévesztő levelek, eltitkolt finanszírozási kapcsolatok és a látszólag alulról szerveződő kampányok létrehozásával kapcsolatos bizonyítékok.

Az ilyen ügyek jelentősége nem egyszerűen abban áll, hogy vállalatok pénzt fordítottak álláspontjuk képviseletére.

A gazdasági érdekképviselet önmagában jogszerű és a demokratikus döntéshozatal része lehet.

A probléma akkor keletkezik, ha a finanszírozott üzeneteket független tudományos vagy spontán társadalmi véleményként mutatják be.

Egy politikus vagy választópolgár ugyanis másként értékelheti ugyanazt az állítást, ha tudja, hogy annak terjesztését egy érintett iparág finanszírozza.

Fontos azonban, hogy a bizonyítékokat itt is megfelelően értelmezzük.

Egy szervezet és egy vállalat közötti pénzügyi kapcsolat nem bizonyítja automatikusan, hogy a szervezet minden megállapítását a vállalat diktálta.

A közös finanszírozási hálózat, a belső feljegyzések, a kampánytervek és a konkrét kommunikációs feladatok dokumentumai együtt viszont már sokkal erősebb következtetésekre adhatnak alapot.

A gazdasági befolyásolás feltárása ezért elsősorban dokumentumokra, nem pedig feltételezésekre épülhet.

Amikor a vállalat helyett az érdekképviselet beszél

A modern gazdaságban a vállalatok gyakran nem közvetlenül, hanem ágazati szervezeteken keresztül képviselik érdekeiket.

Egy olajvállalat például tagja lehet olyan érdekképviseletnek, amely a teljes energiaszektor álláspontját kívánja megjeleníteni. Az autógyártók, mezőgazdasági vállalatok és megújulóenergia-ipari szereplők szintén rendelkeznek hasonló szervezetekkel.

Ezek az érdekképviseletek közös tanulmányokat készíthetnek, politikai javaslatokat fogalmazhatnak meg, és nyilvános kampányokat szervezhetnek.

Ez alapvetően jogszerű működés.

A nyilvánosság számára azonban nem mindig egyértelmű, hogy egy adott álláspont mögött mely vállalatok gazdasági érdekei állnak.

Az InfluenceMap 2025-ös elemzése például azt vizsgálta, hogy az amerikai fosszilisenergia-ipari és más ágazati szereplők milyen érveket alkalmaznak a közlekedési kibocsátási szabályokkal kapcsolatos vitákban.

A kutatás azt találta, hogy az érintett iparági szervezetek kiemelt szerepet játszottak a szabályozással szembeni érvelésben. Az elemzés szerint öt jelentős érdekképviseleti szervezet 2024-ben összesen közel 115 millió dollárt költött bejelentett lobbitevékenységre, valamennyi szakpolitikai területüket együtt számolva. Ez tehát nem kizárólag klímapolitikai kampányköltség volt.

A vállalati érdekképviselet ilyen módon megsokszorozhatja a gazdasági szereplők politikai befolyását.

Egy vállalat egyszerre léphet fel saját nevében és különböző szakmai szervezetek tagjaként. Ha ezek az álláspontok a nyilvánosság előtt egymástól független véleményeknek látszanak, a társadalmi támogatottság nagyobbnak tűnhet a valóságosnál.

Ennek vizsgálatához azonban ismerni kell az érdekképviseletek tagságát, finanszírozását és a kampányokban betöltött szerepét.

Az ilyen kapcsolatok feltárása nem összeesküvés-elmélet, hanem a gazdasági döntéshozatal átláthatóságának része.

Az állami támogatás és a civil függetlenség ellentmondása



287. ábra: Az állami és európai uniós támogatások segíthetik a civil szervezetek munkáját, de a pénzek felhasználásának és a támogatott érdekképviseletnek átláthatónak kell lennie.

Különösen érdekes helyzet alakulhat ki, amikor egy civil szervezet állami vagy európai uniós támogatásban részesül.

Az ilyen támogatásnak számos indoka lehet.

A környezetvédelmi szervezetek olyan feladatokat is elláthatnak, amelyek közvetlenül szolgálják a közérdeket: természetvédelmi programokat szerveznek, adatokat gyűjtenek, oktatnak, kutatnak vagy segítik a lakossági részvételt.

Felmerül azonban a kérdés, hogy mi történik akkor, ha egy közpénzből támogatott szervezet ugyanannak az állami vagy uniós intézményrendszernek a politikáját kívánja befolyásolni, amelytől a támogatást kapja.

Ez önmagában még nem kifogásolható.

A civil részvétel és az érdekképviselet a demokratikus döntéshozatal része. Az állam támogathat olyan szervezeteket is, amelyek később bírálják bizonyos döntéseit.

Az összeférhetetlenség kockázata akkor merülhet fel, ha a támogató intézmény konkrét politikai nyomásgyakorlást rendel meg, vagy a finanszírozási feltételekkel próbálja meghatározni a szervezet álláspontját.

Az Európai Számvevőszék 2025. április 7-én közzétett jelentése éppen a civil szervezeteknek nyújtott uniós finanszírozás átláthatóságával foglalkozott.

A vizsgálat szerint 2021 és 2023 között több mint 7 milliárd eurónyi uniós támogatást ítéltek oda civil szervezeteknek az EU belső szakpolitikáihoz kapcsolódó programokban. Ez nem kizárólag környezetvédelmi szervezeteknek juttatott összeg volt, hanem többek között szociális, kutatási és más területek támogatását is magában foglalta.

A számvevők megállapították, hogy a támogatásokra vonatkozó nyilvános adatok hiányosak és nem mindig megbízhatók, a civil szervezetek besorolása következetlen, valamint egyes közpénzből finanszírozott érdekképviseleti tevékenységek nem jelentek meg megfelelő átláthatósággal.

A jelentés azt is kifogásolta, hogy nem volt megfelelő ellenőrzés arra vonatkozóan, milyen további finanszírozási kapcsolatok állhatnak az érintett szervezetek mögött.

Ezek fontos megállapítások, de nem jelentik azt, hogy az uniós támogatásban részesülő civil szervezetek általában manipulációt folytatnának.

A Számvevőszék az átláthatósági és ellenőrzési rendszer hiányosságait tárta fel.

A hiányos nyilvántartás bizonyíték arra, hogy az ellenőrzési rendszer nem megfelelő. Önmagában nem bizonyíték arra, hogy minden támogatott szervezet visszaélt a forrásokkal.

A különbség lényeges.

Az állami vagy uniós források ellenőrzésének célja nem a civil szervezetek politikai véleményének korlátozása, hanem annak biztosítása, hogy a közpénzek felhasználása és az intézményi befolyásolás átlátható legyen.

A közösségi média: a tömegtámogatás látszata

A közösségi média alapvetően megváltoztatta a társadalmi mozgalmak szervezésének lehetőségeit.

Korábban egy demonstráció összehívásához helyi kapcsolatokra, nyomtatott felhívásokra, telefonos egyeztetésekre és jelentős szervezési munkára volt szükség.

Ma egy internetes esemény vagy néhány nagy elérésű bejegyzés rövid idő alatt sok embert mozgósíthat.

Ez különösen előnyös a kisebb civil kezdeményezések számára, amelyek hagyományos kommunikációs eszközökkel nehezen tudnának szélesebb nyilvánossághoz jutni.

Ugyanakkor a közösségi média a megtévesztés új lehetőségeit is megteremtette.





288. ábra: A közösségi média megkönnyíti a civil szerveződést, de a mesterségesen növelt aktivitás és az összehangolt online kampányok miatt nehezebbé teheti a valódi társadalmi támogatottság megítélését.

Egy közösségi oldalon látható támogatottság nem feltétlenül azonos a valós társadalmi támogatottsággal.

A bejegyzések terjedését algoritmusok befolyásolják. Egy üzenet népszerűsége függhet az időzítéstől, a követők számától, a fizetett hirdetésektől és az érzelmi reakciók intenzitásától.

A támogatottság látszata tudatosan is növelhető.

Fizetett hirdetésekkel, automatizált fiókokkal, összehangolt bejegyzésekkel vagy azonos üzeneteket terjesztő hálózatokkal egy kampány nagyobb spontán érdeklődést mutathat, mint amekkora valójában kialakult.

A generatív mesterséges intelligencia tovább csökkentette a nagy mennyiségű kommunikációs tartalom előállításának költségét.

Ma már viszonylag könnyen lehet különböző stílusú bejegyzéseket, hozzászólásokat, képeket és videókat készíteni. Ez jogszerű kampánymunkában is használható, de alkalmas lehet megtévesztő kommunikációs hálózatok működtetésére is.

A mesterségesen szervezett online támogatottság azonban nem azonos a valódi civil részvétellel.

Egy kampányban részt vevő emberek lehetnek őszintén elkötelezettek akkor is, ha szervezett kommunikációs felhívásra cselekszenek.

A döntő kérdés ezért az, hogy a nyilvános részvételt valódi személyek saját döntései alkotják-e, vagy olyan látszatot teremtenek, amely mögött nem létező támogatók, megtévesztő fiókok és eltitkolt megrendelők állnak.

A digitális bizonyítékok értelmezése azonban óvatosságot igényel.

Ha több száz felhasználó néhány percen belül azonos üzenetet oszt meg, az utalhat összehangolt kampányra, de nem bizonyít automatikusan hamis fiókokat vagy titkos irányítást.

Egy mozgalom nyilvánosan is kérheti támogatóitól, hogy ugyanabban az időpontban tegyenek közzé egy felhívást.

Az összeszervezett kommunikáció tehát önmagában nem manipuláció.

Az eltitkolt irányítás, a megtévesztő személyazonosság, a nem létező támogatók vagy a hamisított társadalmi visszajelzések viszont már egészen más megítélés alá esnek.

A külföldi befolyásolás kérdése

A környezetvédelmi vitákban időnként felmerül az a gyanú is, hogy egyes tiltakozások mögött külföldi államok vagy gazdasági érdekcsoportok állhatnak.

A feltételezésnek lehet logikai alapja.

Egy ország számára gazdasági vagy stratégiai előnyt jelenthet, ha egy másik országban késnek az energetikai beruházások, növekednek az energiaárak, vagy meggyengül egy versenytárs iparág.

A környezetvédelmi konfliktusok ezért alkalmas célpontjai lehetnek külső befolyásolási kísérleteknek.

De az érdek megléte még nem bizonyítja a beavatkozást.

Ha egy külföldi állam számára előnyös egy európai beruházás elmaradása, ebből nem következik, hogy az adott beruházás ellen tiltakozó civileket ez az állam irányítja.

Még akkor sem, ha a tiltakozás következményei valóban kedveznek az érintett országnak.

A külpolitikai érdek, a finanszírozási kapcsolat és az operatív irányítás három különböző dolog.

A rejtett külföldi befolyásolás bizonyításához olyan konkrét adatokra lenne szükség, mint az ellenőrizhető pénzmozgások, szervezeti kapcsolatok, megbízások, belső utasítások vagy hitelesen feltárt kommunikáció.

Különösen óvatosnak kell lenni akkor, amikor egy tiltakozó mozgalmat pusztán azért neveznek külföldről irányítottnak, mert követelései egy másik ország érdekeivel is összeegyeztethetők.

A történelmi tapasztalatok alapján külföldi államok valóban alkalmaztak és alkalmazhatnak társadalmi befolyásolási műveleteket.

De egy konkrét környezetvédelmi mozgalom esetében az ilyen tevékenységet külön bizonyítani kell.

Ellenkező esetben a külföldi befolyásolásra való hivatkozás maga is alkalmas lehet a legitim társadalmi tiltakozás hiteltelenítésére.

Milyen bizonyíték elegendő a manipuláció megállapításához?

A civil mozgalmak megítélésében érdemes megkülönböztetni a gyanút keltő körülményeket a konkrét bizonyítékoktól.

Nem minden információ rendelkezik azonos bizonyító erővel.

Az alábbi táblázat ezt a különbséget szemlélteti.

Megfigyelt körülmény	Mire adhat alapot?
Több demonstráción azonos transzparensek jelennek meg	Szervezettségre utalhat, de nem bizonyít megtévesztést
A tüntetéseket azonos időpontban tartják	Nyílt koordináció eredménye is lehet
Egy szervezet külföldi támogatást kap	Finanszírozási kapcsolatot bizonyít, nem feltétlenül irányítást
A támogatás célhoz vagy projekthez kötött	Befolyásolási lehetőséget jelezhet, a feltételeket vizsgálni kell
Pénzügyi dokumentum igazol egy eltitkolt megrendelést	Erős bizonyíték lehet a rejtett finanszírozásra
Hiteles üzenetek igazolják a kampány közvetlen irányítását	Erős bizonyíték az operatív befolyásolásra
Dokumentáltan hamis személyazonosságokkal keltenek társadalmi támogatottságot	Közvetlen bizonyíték lehet megtévesztő kampányra

A manipuláció feltárásához sokszor többféle bizonyíték együttes értékelése szükséges.

A pénzügyi dokumentum megmutathatja, honnan érkezett a pénz.

A szerződésből kiderülhet, milyen tevékenységre adták.

A belső kommunikáció feltárhatja, hogy a finanszírozó milyen elvárásokat fogalmazott meg.

A kampány tényleges működésének vizsgálata pedig megmutathatja, hogy ezeket az elvárásokat végrehajtották-e.

A bizonyítékokat azért is szükséges összekapcsolni, mert egyetlen kapcsolat félrevezető lehet.

Egy magánalapítvány támogathat egy környezetvédelmi szervezetet azért, mert céljaik összhangban állnak. Ez nem jelenti automatikusan azt, hogy az alapítvány irányítja a szervezet minden tevékenységét.

Ezzel szemben az a helyzet, amikor egy rejtett megrendelő részletes utasításokat ad a kampány üzeneteire, szereplőire és időzítésére, már tényleges irányításra utalhat.

Az értékelésnél különösen fontos a bizonyítékok eredetének ellenőrzése.

A kiszivárgott iratok hamisíthatók, a kiragadott levelezések félreérthetők, és a közösségi médiában terjedő állítások mögött gyakran nem található ellenőrizhető forrás.

A hiteles vizsgálat ezért nem elégedhet meg azzal, hogy egy történet hihetőnek tűnik.

Az állításokat független adatokkal kell alátámasztani, és az érintettek számára lehetőséget kell biztosítani az álláspontjuk ismertetésére.

A legfontosabb kérdések, amelyeket minden mozgalomnál fel lehet tenni

A finanszírozási és szervezeti kapcsolatok vizsgálatához nem feltétlenül szükséges titkosszolgálati eszközökhöz vagy különleges információkhoz hozzáférni.

Sok esetben elegendő a nyilvános adatok következetes elemzése.

Egy civil szervezet működésének megítéléséhez különösen fontos lehet:

1. A pénzügyi háttér: nyilvánosak-e a fő finanszírozási források, a nagyobb támogatások és az éves beszámolók?
2. A szervezeti kapcsolatok: kik a vezetők és döntéshozók, milyen más szervezetekben töltenek be tisztséget?
3. A döntési önállóság: a támogatók meghatározhatják-e a kampányok tartalmát vagy a szervezet álláspontját?
4. A kommunikáció hitelessége: valós társadalmi támogatottságot mutatnak-e be, vagy megtévesztő eszközökkel növelik annak látszatát?
5. A szakmai megalapozottság: ellenőrizhetők-e a szervezet állításai, kutatásai és környezetvédelmi követelései?
6. A tényleges működés: összhangban állnak-e a nyilvánosan meghirdetett célok a szervezet dokumentált tevékenységével?

Ezeket a kérdéseket azonban nemcsak a környezetvédő szervezetekkel szemben indokolt feltenni.

Ugyanilyen mércével kell vizsgálni a vállalati érdekképviseleteket, az iparági szövetségeket, az állami finanszírozású kommunikációs kampányokat és a politikai pártokhoz köthető szervezeteket is.

A kettős mérce különösen veszélyes.

Ha egy társadalmi csoport kizárólag a vele ellentétes álláspontot képviselő szervezetek finanszírozását vizsgálja, miközben a saját oldalán természetesnek tekinti ugyanazokat a kapcsolatokat, a vizsgálat könnyen politikai eszközzé válhat.

Az átláthatóság követelményének ezért általánosnak kell lennie.

A manipuláció gyanúja, mint politikai fegyver





289. ábra: A legitim lakossági tiltakozás és a rejtett érdekérvényesítés elkülönítése alapvető demokratikus kérdés. A bizonyítatlan vádak éppen úgy torzíthatják a vitát, mint a ténylegesen megtévesztő kampányok.

A környezetvédelmi konfliktusok egyik sajátossága, hogy a résztvevők gyakran egymás hitelességét is megkérdőjelezik.

Egy ipari beruházás támogatói azt állíthatják, hogy az ellenzők külső érdekeket szolgálnak.

A beruházás ellenzői viszont azzal érvelhetnek, hogy a támogató társadalmi szervezetek mögött a beruházó vállalat áll.

Mindkét felvetés lehet vizsgálatra érdemes.

De a vád önmagában nem bizonyíték.

A mozgalmak finanszírozásának vizsgálata akkor válik a demokratikus ellenőrzés részévé, ha tényszerű adatokon alapul.

Ha viszont a külföldi támogatásra, politikai kapcsolatokra vagy szervezettségre történő utalás pusztán a másik fél hiteltelenítésére szolgál, akkor az átláthatóság követelése maga is befolyásolási eszközzé válhat.

Ez különösen veszélyes akkor, ha a vádak következtében az eredeti környezeti kérdés eltűnik a nyilvános vitából.

Egy gyár vízfelhasználása vagy kibocsátása nem válik elfogadhatóvá attól, hogy a tiltakozó szervezet finanszírozása vitatható.

Ugyanígy egy beruházás sem válik automatikusan környezetkárosítóvá attól, hogy az ellenzők széles társadalmi támogatottságot tudnak felmutatni.

A környezeti hatásokat önállóan kell vizsgálni.

A finanszírozási és politikai kapcsolatokat pedig külön kérdésként kell kezelni.

A két terület természetesen összefügghet, de egyik sem helyettesítheti a másik bizonyítását.

Amikor az érdek és a meggyőződés találkozik

A civil mozgalmak működésének értelmezésekor érdemes elkerülni azt a leegyszerűsítést, hogy az emberek vagy őszinte meggyőződésből cselekszenek, vagy valaki fizeti őket.

A valóságban a két tényező egyszerre is jelen lehet.

Egy környezetvédő aktivista valóban aggódhat egy beruházás következményei miatt, miközben egy alapítvány támogatást biztosít a kampány megszervezéséhez.

Egy tudós szakmai meggyőződésből készíthet tanulmányt egy meghatározott technológia előnyeiről, miközben kutatását valamelyik érintett iparág finanszírozza.

Egy helyi lakossági mozgalom valódi társadalmi igényeket képviselhet, miközben politikai szervezetek megpróbálhatják saját céljaikra felhasználni.

Ezek a helyzetek eltérő értékelést igényelnek.

A finanszírozás és az érdekazonosság még nem bizonyítja, hogy a résztvevők nem őszintén hisznek céljaikban.

Ugyanakkor az őszinte meggyőződés sem zárja ki, hogy valaki tudtán kívül egy szélesebb befolyásolási művelet részévé váljon.

Ezért a manipuláció vizsgálatában nem elsősorban az egyes emberek vélt szándékait kell kutatni.

Azt kell megérteni, hogyan működnek a szervezeti és pénzügyi kapcsolatok, és milyen döntési mechanizmusok határozzák meg a kampányok irányát.

Egy mozgalom résztvevőinek személyes meggyőződése és a szervezet egészének működése két különböző vizsgálati szint.

A kettő összekeverése könnyen igazságtalan általánosításokhoz vezethet.

Ki ellenőrzi az ellenőrzőket?

A civil szervezetek egyik fontos társadalmi szerepe a gazdasági és politikai hatalom ellenőrzése.

Felhívhatják a figyelmet a környezeti károkra, a hiányos szabályozásra, a hatósági mulasztásokra és a vállalati visszaélésekre.

Ehhez azonban társadalmi bizalomra van szükségük.

Ha egy szervezet finanszírozása átláthatatlan, ha vezetőinek érdekeltségei nem ismertek, vagy ha a nyilvánosságot félrevezető kommunikációval próbálja befolyásolni, saját hitelességét veszélyezteti.

De az ellenőrzés nem jelentheti a civil szervezetek tevékenységének politikai korlátozását.

A független civil társadalom éppen azért fontos, mert lehetőséget teremt a gazdasági és politikai hatalomtól eltérő álláspontok megjelenítésére.

A megfelelő egyensúly kialakításához olyan szabályokra van szükség, amelyek biztosítják a pénzügyi és szervezeti átláthatóságot, ugyanakkor nem teszik lehetetlenné a legitim érdekképviseletet.

Ez a követelmény nemcsak a civil mozgalmakra vonatkozik.

A vállalatok politikai kapcsolatait, az állami kommunikációs kampányok finanszírozását és a különböző érdekképviseleti szervezetek működését ugyanilyen következetességgel kell vizsgálni.

Az átláthatóság valódi célja ugyanis nem az, hogy egyes társadalmi csoportokat hiteltelenítsen, hanem az, hogy a nyilvánosság értelmezni tudja a döntéseket befolyásoló érdekeket.

A bizalom alapja a bizonyíthatóság

A környezetvédő mozgalmak története azt mutatja, hogy a társadalmi részvétel jelentős változásokat indíthat el.

A civil szervezetek képesek lehetnek olyan problémákat a közbeszéd részévé tenni, amelyekkel az államok és a vállalatok korábban nem foglalkoztak megfelelően.

Ugyanakkor a környezetvédelem jelentős gazdasági és politikai következményei miatt ezek a mozgalmak maguk is befolyásolási kísérletek célpontjaivá válhatnak.

A vállalatok, alapítványok, politikai szervezetek és állami szereplők eltérő módszerekkel próbálhatják alakítani a társadalmi vitákat.

A támogatás, az együttműködés és a nyílt érdekképviselet a demokratikus társadalom természetes része.

A rejtett irányítás, a megtévesztő finanszírozás, a hamisított társadalmi támogatottság és a szándékosan félrevezető kommunikáció viszont alapvetően más megítélés alá tartozik.

A kettőt nem lehet pusztán politikai rokonszenv vagy ellenszenv alapján megkülönböztetni.

Bizonyítékokra van szükség.

A pénzügyi kapcsolatok feltárása, a szervezeti döntések átláthatósága, a kommunikáció ellenőrzése és a független vizsgálatok egyaránt hozzájárulhatnak ahhoz, hogy a társadalom megértse, milyen érdekek állnak egy-egy kampány mögött.

De még a bizonyított finanszírozási kapcsolat sem helyettesíti az eredeti környezeti kérdés szakmai vizsgálatát.

Egy környezetszennyező beruházás akkor is környezetszennyező, ha az ellene tiltakozó mozgalom finanszírozása problémás.

Egy műszakilag megfelelő beruházás pedig akkor sem válik károssá, ha egy hangos és jól finanszírozott kampány ezt állítja róla.

A tudományos bizonyítékokat, a gazdasági érdekeket és a politikai állásfoglalásokat külön kell kezelni.

A környezetvédelmi vitákban ezért két, egymást kiegészítő kérdést kell feltenni.

Az első: igaz-e az, amit a mozgalom állít?

A második: kik és milyen eszközökkel próbálják elérni, hogy a társadalom ezt az állítást elfogadja?

A környezetvédelem hitelességét nem az szolgálja, ha minden civil mozgalmat gyanúsnak tekintünk, és nem is az, ha minden környezetvédő kezdeményezést automatikusan hitelesnek fogadunk el. Hanem az, ha ugyanazokat a bizonyítási és átláthatósági követelményeket alkalmazzuk mindenkire – a civilekre, a vállalatokra és az államokra egyaránt.

Források és további olvasmányok

- Greenpeace European Unit – Funding and Transparency. A Greenpeace európai finanszírozási forrásai és adományozási szabályai.
- Fridays for Future Estonia – About Us. A decentralizált mozgalom működése és finanszírozási elvei.
- Európai Számvevőszék (2025): Az uniós civil szervezetek támogatásának átláthatósága. A finanszírozás és a közpénzből támogatott érdekképviselet ellenőrzési problémái.
- Union of Concerned Scientists (2007): Smoke, Mirrors & Hot Air. Az ExxonMobil által finanszírozott szervezeti hálózat történeti vizsgálata.
- Union of Concerned Scientists (2015): The Climate Deception Dossiers. Belső dokumentumokon alapuló esettanulmányok a megtévesztő kommunikációról.
- InfluenceMap (2025): Critical Minerals and the Fossil Fuel Narrative Playbook in the US. Az iparági érdekképviseletek klímapolitikai kommunikációjának elemzése.

36. A tagadástól a klímaszorongásig

Klímatagadás, túlzó katasztrófakommunikáció, politikai propaganda és dezinformáció. A média és a közösségi hálózatok szerepe. Miért nehéz megőrizni a józan mérlegelést?

A klímaváltozásról szóló nyilvános vitákban időnként úgy tűnik, mintha két teljesen különböző világ létezne.

Az egyikben a globális felmelegedés jelentőségét eltúlozzák, a tudományos eredményeket politikai és gazdasági célokra használják fel, a környezetvédelmi intézkedések pedig indokolatlan terheket rónak a társadalomra.

A másikban az emberiség egy közelgő világkatasztrófa szélén áll, a politikusok tétlensége megbocsáthatatlan, és minden elvesztegetett év végzetes következményekkel járhat.

Mindkét megközelítésben találhatunk valós kérdéseket. Léteznek gazdasági érdekek, politikai túlzások és hibás környezetvédelmi intézkedések. Ugyanakkor az éghajlatváltozás valódi, mérhető folyamat, amelynek következményei egyre több területen jelentkeznek.

A probléma akkor kezdődik, amikor a nyilvános vita két, egymást kizáró álláspont közötti küzdelemmé alakul.

Aki kétségbe von egy környezetpolitikai intézkedést, azt könnyen klímatagadónak nevezhetik. Aki a felmelegedés veszélyeire figyelmeztet, azt viszont katasztrófával riogató aktivistának minősíthetik.

A tudományos eredmények, a politikai döntések és a társadalmi vélemények így összekeverednek.

Márpedig egy összetett környezeti probléma megértéséhez nem elegendő kiválasztani valamelyik oldalt.

A klímaváltozás komolyan vétele nem követeli meg minden katasztrófa-előrejelzés elfogadását. A környezetpolitika bírálata pedig nem jelenti szükségszerűen az éghajlatváltozás tagadását.

A józan mérlegelés éppen abban áll, hogy a tényeket, a bizonytalanságokat, a lehetséges következményeket és a politikai érdekeket képesek vagyunk egymástól megkülönböztetni.

A klímatagadás sokféle arca







290. ábra: A klímaváltozás körüli vitákban a tudományos állítások, az értelmezések és a politikai vélemények gyakran összekeverednek.

A klímatagadás kifejezés első hallásra egyértelműnek tűnik. Valójában több különböző álláspontot is jelölhet.

Vannak, akik magát a globális felmelegedést vonják kétségbe. Mások elfogadják a hőmérséklet emelkedését, de szerintük azt elsősorban természetes folyamatok okozzák. Megint mások elismerik az emberi tevékenység szerepét, de a következményeket jelentéktelennek vagy könnyen kezelhetőnek tartják.

És vannak olyanok is, akik elfogadják a tudományos eredményeket, de ellenzik a javasolt politikai intézkedéseket.

Ezeket az álláspontokat nem helyes egyetlen kategóriába sorolni.

A tudomány jelenlegi állása szerint az emberi tevékenység, mindenekelőtt az üvegházhatású gázok kibocsátása egyértelműen a modern kori globális felmelegedés meghatározó oka.

Az Éghajlatváltozási Kormányközi Testület (IPCC) 2023-as összefoglaló jelentése szerint az emberi tevékenység egyértelműen globális felmelegedést okozott, és a 2011–2020 közötti időszak átlagos felszíni hőmérséklete mintegy 1,1 °C-kal haladta meg az 1850–1900 közötti szintet.

Ez nem egyetlen modell eredménye. Hőmérsékleti mérések, óceáni megfigyelések, műholdas adatok, fizikai ismeretek és egymástól független kutatások sokasága támasztja alá.

A Nap sugárzásának változása, a vulkáni tevékenység és az éghajlat természetes ingadozásai valóban befolyásolják a Föld klímáját. Ezeket a hatásokat az éghajlatkutatás figyelembe veszi. A rendelkezésre álló bizonyítékok szerint azonban nem magyarázzák meg az utóbbi évtizedek tartós globális felmelegedésének döntő részét.

Ebből ugyanakkor nem következik, hogy valamennyi éghajlati előrejelzés egyformán biztos lenne.

Más bizonyossággal ismerjük a szén-dioxid sugárzáselnyelő tulajdonságait, a globális hőmérséklet eddigi emelkedését és egy adott térségben 2070-ben várható csapadékmennyiséget.

A tudományos bizonytalanság tehát nem a tudatlanság bizonyítéka, hanem a tudományos ismeretek természetes része.

A valódi szkepticizmus éppen azt jelenti, hogy az állításokat bizonyítékok alapján értékeljük, és hajlandók vagyunk felülvizsgálni korábbi véleményünket.

A szkepticizmus akkor válik tagadássá, amikor a rendelkezésre álló bizonyítékokat következetesen figyelmen kívül hagyjuk, vagy minden új eredményt ugyanazzal az előre kialakított magyarázattal utasítunk el.

Amikor a kételyből üzleti stratégia lesz

A klímaváltozással kapcsolatos bizonytalanság hangsúlyozása mögött nem minden esetben egyszerű tudományos nézetkülönbség állt.

A fosszilisenergia-ipar egyes szereplői számára a kibocsátáscsökkentő szabályozások jelentős gazdasági kockázatot jelentettek. A szigorúbb követelmények csökkenthették a fosszilis energiahordozók iránti keresletet, és veszélyeztethették a hosszú távú beruházások megtérülését.

A korábban bemutatott ExxonMobil-ügy jól szemlélteti ezt az ellentmondást.

A vállalat kutatói már évtizedekkel ezelőtt foglalkoztak az emberi eredetű felmelegedés várható következményeivel. Ugyanakkor a fosszilisenergia-iparhoz kötődő egyes kommunikációs kampányok a nyilvánosság előtt a tudományos bizonytalanságot hangsúlyozták.

A módszerhez nem feltétlenül kellett hamis mérési eredményeket közölni.

Elegendő lehetett olyan benyomást kelteni, mintha a tudományos közösségben sokkal nagyobb lenne az alapvető kérdések körüli vita, mint amekkora valójában volt.

A bizonytalanság kommunikációja ugyanis politikai következményekkel járhat.

Ha a társadalom úgy érzékeli, hogy a tudósok még nem tudják, mi okozza a felmelegedést, könnyebben elfogadhatja a szabályozás elhalasztását.

Az időnyerés pedig gazdasági előnyt jelenthet a meglévő technológiákban érdekelt vállalatok számára.

Ez a mechanizmus más iparágak történetéből is ismert, például a dohányzás egészségügyi következményei körüli korábbi vitákból.

Ugyanakkor fontos megőrizni az arányérzéket: nem minden ipari finanszírozású tanulmány hamis, és nem minden, a klímapolitikát bíráló szakember képvisel rejtett vállalati érdeket.

A döntő kérdés itt is a bizonyítékok minősége, a finanszírozási kapcsolatok átláthatósága és az állítások ellenőrizhetősége.

Amikor a veszélyből világvége lesz





291. ábra: Az árvizek és aszályok valós természeti és társadalmi veszélyek. A helyi katasztrófák képei azonban nem helyettesíthetik a hosszú távú éghajlati folyamatok elemzését.

A klímaváltozás jelentőségének alábecsülése mellett létezik egy másik kommunikációs probléma is: a legrosszabb forgatókönyvek elkerülhetetlen jövőként történő bemutatása.

A médiában időről időre olyan kijelentések jelennek meg, amelyek szerint az emberiségnek már csak néhány éve maradt a katasztrófa elkerülésére, a Föld hamarosan lakhatatlanná válhat, vagy egy bizonyos hőmérsékleti határ átlépése után minden további cselekvés értelmét veszíti.

Az ilyen állítások gyakran valós tudományos eredmények túlzott leegyszerűsítéséből származnak.

Az éghajlatkutatók különböző kibocsátási forgatókönyveket vizsgálnak. A modellek segítségével azt próbálják meghatározni, milyen változások következhetnek be eltérő gazdasági, technológiai és politikai feltételek mellett.

Egy magas kibocsátással számoló forgatókönyv azonban nem feltétlenül a legvalószínűbb jövőt mutatja be.

Egy lehetséges következmény pedig nem azonos egy biztosan bekövetkező eseménnyel.

Amikor New York néhány nap alatt megfagyott – a Holnapután című film



292. ábra: A klímaváltozás katasztrófaként történő bemutatásának egyik legismertebb filmes példája Roland Emmerich 2004-ben bemutatott Holnapután című alkotása.

A történet szerint a globális felmelegedés következtében megváltozik az észak-atlanti óceáni áramlások rendszere, ami rendkívül gyors éghajlati fordulatot idéz elő. Hatalmas viharok pusztítanak, New Yorkot árvíz önti el, majd a várost néhány nap alatt hó és jég borítja.

A film tudományos kiindulópontja nem teljesen légből kapott.

Az Atlanti-óceán nagy léptékű áramlási rendszere, az AMOC fontos szerepet játszik a hő szállításában, és a kutatók valóban vizsgálják, hogy a globális felmelegedés miként gyengítheti ezt a rendszert.

A filmben bemutatott sebesség és következmények azonban tudományosan irreálisak.

A Woods Hole Oceanográfiai Intézet magyarázata szerint az óceáni áramlások ilyen léptékű változásai leggyorsabban is évtizedes időskálán zajlanának le, nem néhány nap alatt. Egy jelentős áramlási változás regionális lehűlést okozhatna az Atlanti-óceán északi térségében, de nem indítana el az egész Földre kiterjedő, hirtelen jégkorszakot.

A Holnapután látványos és sikeres katasztrófafilm lett, amely sok néző figyelmét felhívhatta az éghajlati folyamatokra. Ugyanakkor jól példázza a tudományos ismeretterjesztés egyik visszatérő ellentmondását.

A figyelemfelkeltés érdekében a valós kockázatot a felismerhetetlenségig fel lehet nagyítani.

Az ilyen történetek felébreszthetik az érdeklődést, de téves elképzeléseket is kialakíthatnak arról, hogyan működik a természet.

A klímaváltozás veszélyeinek megértéséhez nincs szükség arra, hogy New York néhány nap alatt jégbe fagyjon. A valós folyamatok lassabbak, összetettebbek – de ettől még komolyan veendők.

A médiában ezek a különbségek könnyen eltűnhetnek.

Egy 2024-ben a Climatic Change folyóiratban megjelent nemzetközi elemzés szerint a klímaforgatókönyvek médiabeli bemutatásának visszatérő problémája, hogy a feltételes előrejelzéseket gyakran jóslatként értelmezik, túlhangsúlyozzák a legsúlyosabb kimeneteleket, miközben a bizonytalanságok és a lehetséges döntési alternatívák háttérbe szorulnak.

A legsúlyosabb kockázatok bemutatása természetesen szükséges.

Egy atomerőmű vagy egy nagy víztározó tervezésénél sem elegendő kizárólag az átlagos körülményekkel számolni. A ritkább, de súlyos következményekkel járó eseményeket is vizsgálni kell.

Ugyanez igaz az éghajlatváltozásra.

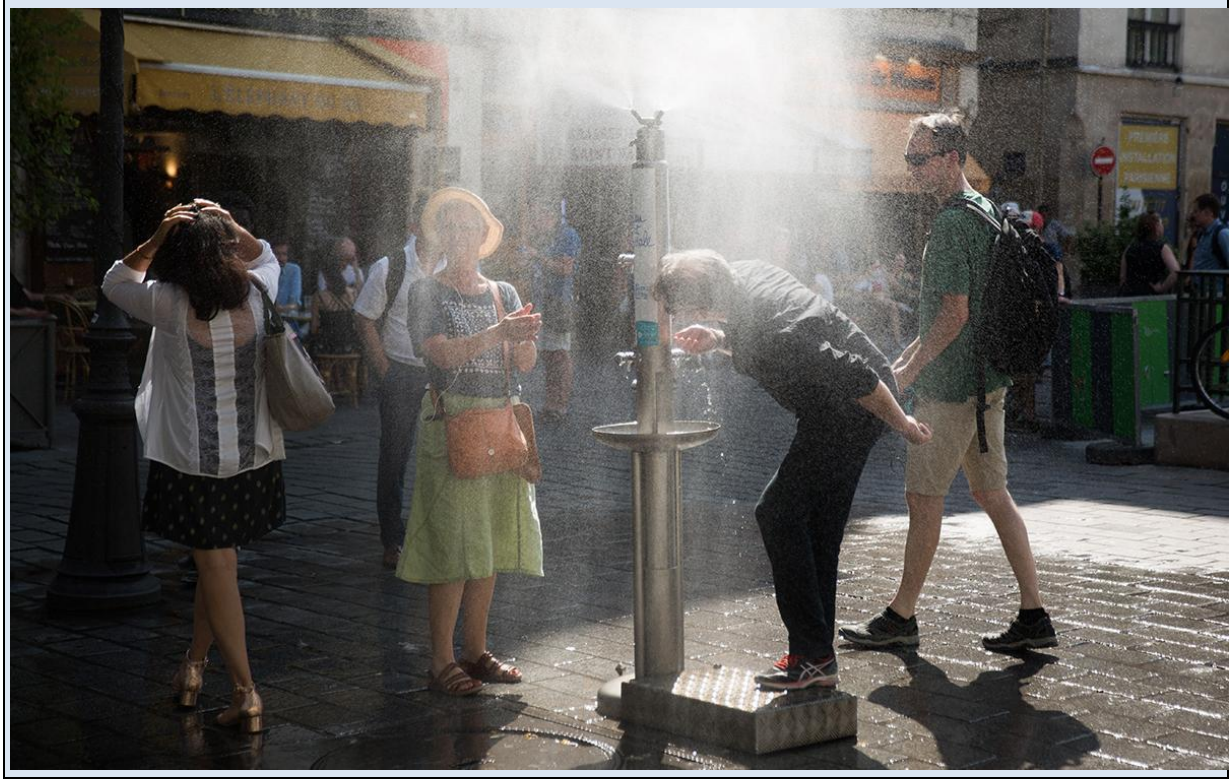
A probléma nem a szélsőséges forgatókönyvek kutatása, hanem azok feltételes jellegének elhallgatása.

A katasztrófakommunikáció különösen akkor válhat károssá, ha azt a benyomást kelti, hogy a jövő már eldőlt.

Ha az emberek úgy érzik, hogy minden erőfeszítés hiábavaló, könnyen elveszíthetik érdeklődésüket a lehetséges megoldások iránt.

A félelem felhívhatja a figyelmet egy veszélyre, de önmagában nem biztosít tartós társadalmi együttműködést.

A hideg vagy a hőség veszélyesebb?





A hőhullámok és a téli hideg egyaránt komoly egészségügyi veszélyt jelentenek. A kockázatokat jelentősen befolyásolja az életkor, a lakások állapota, a fűtés és a hűtés elérhetősége.

A klímaváltozásról szóló híradásokban gyakran találkozunk a hőhullámok áldozatairól szóló beszámolókkal. A tartós nyári forróság valóban veszélyes, különösen az idősek, a krónikus betegek és a megfelelő hűtési lehetőséggel nem rendelkezők számára.

A hideg azonban legalább ilyen fontos közegészségügyi probléma, sőt a történeti halálozási adatok szerint világszerte sokkal több haláleset kapcsolódik hozzá.

A The Lancet Planetary Health folyóiratban 2021-ben megjelent kutatás 43 ország 750 helyszínének adataiból kiindulva készített globális becslést. A vizsgálat szerint 2000 és 2019 között évente átlagosan körülbelül 4,6 millió haláleset kapcsolódott az optimálisnál alacsonyabb hőmérsékletekhez, míg körülbelül 490 ezer a magasabb hőmérsékletekhez.

Vagyis a vizsgált időszakban a hideghez rendelt globális többlethalálozás mintegy kilencszerese volt a meleghez kapcsolódónak.

A kutatás egy másik fontos eredményre is rámutatott: a hideggel összefüggő halálozási arány 2000 és 2019 között csökkent, miközben a meleggel összefüggő arány növekedett.

A két tendencia tehát ellentétes irányú volt.

A hideg okozta halálozás jelentős része ráadásul nem a rendkívüli fagyok idején következik be. Egy 2015-ben megjelent, 13 országot vizsgáló kutatás szerint a hőmérséklethez köthető halálesetek túlnyomó része a mérsékelten hideg időszakokhoz kapcsolódott.

Ez magyarázatra szorul.

Az emberi szervezet számára nem kizárólag a közvetlen kihűlés jelent veszélyt. A tartós hideg fokozhatja a szív- és érrendszeri betegségek kockázatát, megemelheti a vérnyomást, és súlyosbíthatja a légzőszervi problémákat.

A következmények gyakran nem közvetlenül a hőmérséklethez köthető halálokként jelennek meg a statisztikákban.

Amikor a saját lakásunk válik veszélyessé

A hideg különösen súlyos társadalmi problémává válhat akkor, amikor valaki nem képes megfelelően fűteni otthonát.

Az energiaszegénység nem csupán kényelmetlenséget jelent.

Egy rosszul szigetelt, nedves, alacsony hőmérsékletű lakás tartósan veszélyeztetheti az ott élők egészségét. Különösen az idősek, a csecsemők és a krónikus betegséggel élők sérülékenyek.

A hideg lakásokban a tartós hőveszteség, a magas páratartalom, a penészesedés és a légzőszervi betegségek együttesen növelhetik az egészségügyi kockázatokat.

Az Egészségügyi Világszervezet (WHO) lakhatási és egészségügyi ajánlása szerint mérsékelt és hidegebb éghajlaton az egészséges felnőtt lakosság számára télen általában legalább 18 °C-os beltéri hőmérséklet tekinthető megfelelőnek. Sérülékeny embereknél ennél magasabb hőmérséklet is indokolt lehet.

A probléma társadalmi oldala különösen fontos.

Aki nem tudja kifizetni a fűtésszámlát, sokszor nem egyszerűen takarékoskodik, hanem egészségét kockáztatja.

A téli kihűléses halálesetek különösen megrázó esetei azok, amikor valakit saját, fűtetlen lakásában találnak meg. Ezek azonban csak a hideg egészségügyi következményeinek legközvetlenebb és leginkább látható esetei.

A hideghez kapcsolódó, statisztikailag becsült több millió halálesetet nem szabad összetéveszteni a közvetlen fagyhalálok számával.

Akkor a globális felmelegedés életeket menthet?

A kérdés első pillantásra jogosnak tűnik.

Ha a hideg több halálesetet okoz, mint a meleg, akkor egy melegebb éghajlat csökkenthetné a hideggel összefüggő halálozást.

Bizonyos térségekben és időszakokban ez valóban lehetséges.

A mérsékeltebb telek csökkenthetik a hidegnek való kitettséget és egyes fűtési költségeket.

Ebből azonban nem következik, hogy a globális felmelegedés összességében kedvező hatású.

A hőség okozta halálozás növekedhet, különösen a sűrűn lakott városokban, az idősebb népesség körében és azokon a területeken, ahol a megfelelő hűtés nem hozzáférhető.

A felmelegedés más egészségügyi és társadalmi következményekkel is járhat: módosulhat a fertőző betegségek terjedése, a mezőgazdasági termelés, az ivóvízellátás és a szélsőséges időjárási események gyakorisága.

Ráadásul a hideghez kapcsolódó halálozás mérséklődése nem feltétlenül ellensúlyozza a hőség és az éghajlatváltozás egyéb következményeit.

A hőmérséklet és a halálozás összefüggése országonként is eltérő. Meghatározó az épületek állapota, a népesség életkora, az egészségügyi ellátás, a fűtési és hűtési lehetőségek, valamint a társadalom alkalmazkodóképessége.

Az sem biztos, hogy a múltban megfigyelt hideg–meleg halálozási arány a jövőben változatlan marad.

A globális felmelegedés hatásainak értékeléséhez ezért nem elegendő a jelenlegi hideg- és hőségáldozatok számának összehasonlítása.

Amikor a hőhullámok emberéletekben követelik az árukat

A klímaváltozás hatásairól gyakran fokokban, tengerszint-emelkedésben vagy gazdasági veszteségekben beszélünk. A szélsőséges hőség következményei azonban egyre inkább az emberi egészségben és a halálozási statisztikákban is megmutatkoznak.

A 2026-os európai nyár különösen súlyos figyelmeztetés volt. Az Imperial College London és a London School of Hygiene & Tropical Medicine kutatói 30 európai ország 854 városi térségében vizsgálták a június és augusztus közötti hőmérséklet és halálozás kapcsolatát.

Számításaik szerint a nyári hőség mintegy 50 400 többlethalálozással járt. Az emberi tevékenység által előidézett klímaváltozásnak ebből körülbelül 32 600 halálesetet tulajdonítottak.

A becsült halálozás messze meghaladta a korábbi legsúlyosabb európai nyarak, 2003 és 2022 hasonló módszertannal számított értékeit. A legnagyobb kockázatot az idősek viselték, de a hőség a fiatalabb korosztályokat sem kímélte.

A hőhullámok veszélyét nemcsak a nappali hőmérsékleti maximumok jelentik. A tartósan magas éjszakai hőmérséklet megakadályozhatja a szervezet regenerálódását, miközben a hőség fokozza a szív- és érrendszeri, valamint más krónikus betegségek kockázatát.

A városok különösen sérülékenyek. Az aszfalt, a beton és az épületek napközben felmelegszenek, majd éjszaka visszasugározzák a hőt. A kevés növényzet, a rosszul szigetelt lakások és a hűtési lehetőségek hiánya tovább növelhetik a veszélyt.

A társadalmi különbségek itt is meghatározók. A légkondicionált otthonban élő ember lehetőségei egészen mások, mint egy magányos idős emberé, aki rosszul szellőző lakásban, megfelelő hűtés nélkül kénytelen átvészelni a hőhullámot.

A halálozás mérsékléséhez ezért nem elegendő az üvegházhatású gázok kibocsátásának csökkentése. Szükség van a városok zöldítésére, árnyékolásra, hőségriasztási rendszerekre, megfelelő lakáskörülményekre és az egészségügyi, valamint szociális ellátás felkészítésére is.

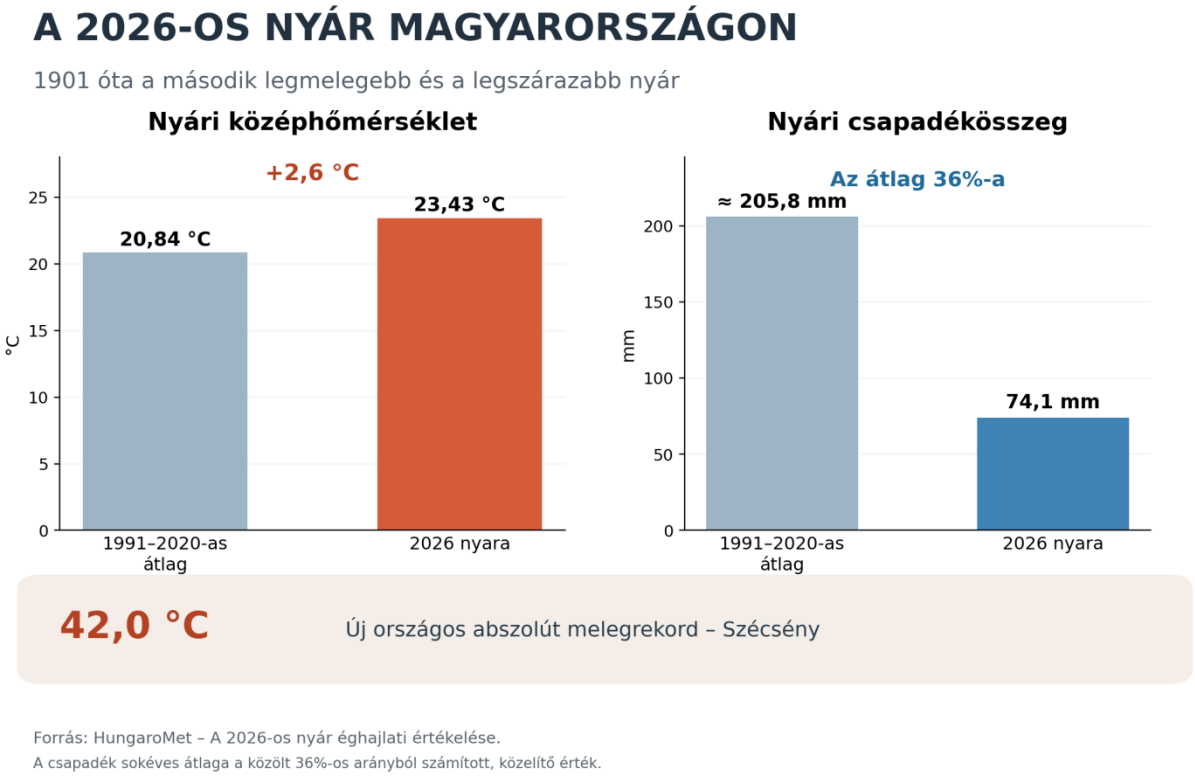
A 2026-os nyár tragikus mérlege arra figyelmeztet, hogy a klímaváltozás költségei már nem pusztán a jövőre vonatkozó előrejelzésekben szerepelnek.

Az árat ma is fizetjük. És sok esetben azok fizetik meg a legnagyobb árat, akik a legkevésbé képesek megvédeni magukat.

Forrási 2026-os kutatási jelentést és a kutatóintézet részletes ismertetését

A 2026-os nyár figyelmeztetése

A 2026-os nyár Magyarországon nem egyszerűen kellemetlenül meleg volt, hanem több szempontból is történelmi szélsőséget jelentett. A HungaroMet összegzése szerint a nyár országos átlaghőmérséklete 23,4 °C volt, ami 2,6 fokkal haladta meg az 1991–2020-as átlagot. Ezzel 1901 óta a **második legmelegebb**, ugyanakkor **a legszárazabb nyár** lett. Az évszak csapadékösszege országos átlagban mindössze 74,1 mm volt, ami a sokéves átlag 36 százalékának felel meg. Az első hosszan tartó hőhullám idején Szécsényben megdőlt az országos melegrekord is: 42,0 °C-ot mértek.



A rendkívüli hőség és a csapadékhiány nem maradt pusztán meteorológiai érdekesség. A HungaroMet szerint a szárazság és az aszály súlyos károkat okozott a mezőgazdaságban,

drasztikusan csökkentette a folyók és tavak vízállását, veszélybe sodorta az ivóvízellátást, korlátozta az energetikai hálózat működését, és megszaporította a szabadtéri tüzeket is. Ez jól mutatja, hogy a klímaváltozás nem egyetlen problémát okoz, hanem egyszerre érinti a vízgazdálkodást, az élelmiszer-termelést, az egészségügyet és az infrastruktúrát is.

A nyár emberi ára különösen riasztó volt. Az Imperial College és partnerei által készített vizsgálat szerint 2026 nyarán **854 európai városban 50 391 hőséggel összefüggő haláleset** történhetett, és a kutatók becslése szerint ezeknek körülbelül **kétharmada az emberi eredetű klímaváltozáshoz** köthető.

A 24.hu összefoglalója szerint Magyarországon az egymillió főre vetített halálozás a legkiemelkedőbbek közé tartozott a június végi és augusztus eleji hőhullámok idején.

Fontos hangsúlyozni, hogy a hőség áldozatai nemcsak azok, akik közvetlenül hőgutában halnak meg. A tartósan magas hőmérséklet súlyosbíthatja a szív- és érrendszeri, valamint légzőszervi betegségeket, és különösen veszélyes az idősekre, a krónikus betegekre, valamint azokra, akik rosszul szigetelt, nehezen hűthető lakásokban élnek. Ezért a hőhullámokat ma már nem pusztán időjárási szélsőségként, hanem **népegészségügyi kockázatként** kell kezelni.

A 2026-os magyar nyár egyik legfontosabb tanulsága, hogy az alkalmazkodás nem halasztható tovább. Árnyékolt városi terekre, több zöldfelületre, jobb vízmegtartó megoldásokra, hőségriadó-tervekre, az idősek és betegek célzott védelmére, valamint az ivóvíz- és energiarendszerek nagyobb biztonságára van szükség. A kérdés már nem az, hogy lesznek-e hasonló nyarak, hanem az, hogy a társadalom mennyire készül fel rájuk.

A 2026-os nyár, figyelmeztetés volt: a klímaváltozás hatásai nem a távoli jövőben érkeznek, hanem már itt vannak velünk. Az alkalmazkodás ezért nem a kudarc beismerése, hanem az élet- és vagyonvédelem elemi feltétele.

Források:

- HungaroMet – A 2026-os nyár éghajlati értékelése
- Imperial College London – A 2026-os európai hőhullámok halálozási hatásai
- 24.hu – Magyarországon okozták az egyik legtöbb többlethalálozást a 2026-os hőhullámok

Két veszély, közös társadalmi probléma

A hideg és a hőség okozta halálozás egyaránt arra figyelmeztet, hogy az emberi egészség szempontjából nemcsak az éghajlat, hanem a lakókörnyezet és a gazdasági lehetőségek is meghatározók.

Egy jól szigetelt lakás télen kevesebb energiával tartható melegen, nyáron pedig kisebb hűtési igényt jelenthet.

Az árnyékolás, a megfelelő szellőzés, a korszerű fűtési és hűtési rendszerek, valamint a városi zöldterületek mind hozzájárulhatnak a hőmérsékleti szélsőségek egészségügyi hatásainak mérsékléséhez.

A kérdés tehát nem az, hogy a hideg vagy a hőség ellen kell-e védekezni.

Mindkettő ellen.

A környezetvédelmi és energiapolitikai intézkedéseknek pedig figyelembe kell venniük, hogy az energia megfizethetősége maga is egészségvédelmi kérdés.

Ha egy intézkedés következtében a legszegényebb háztartások nem képesek megfelelően fűteni vagy hűteni otthonukat, az súlyos társadalmi következményekkel járhat.

A környezetvédelem ezért nem tekintheti mellékes kérdésnek az energiaszegénységet.

A tudományos eredményekből nem az következik, hogy a hőhullámok veszélyét eltúlozzák, hanem az, hogy a hideg egészségügyi következményei is sokkal nagyobb figyelmet érdemelnek.

A klímaváltozásról szóló hiteles tájékoztatásnak mindkét veszélyt be kell mutatnia, akkor is, ha ez bonyolultabbá teszi a megszokott üzeneteket.

Források

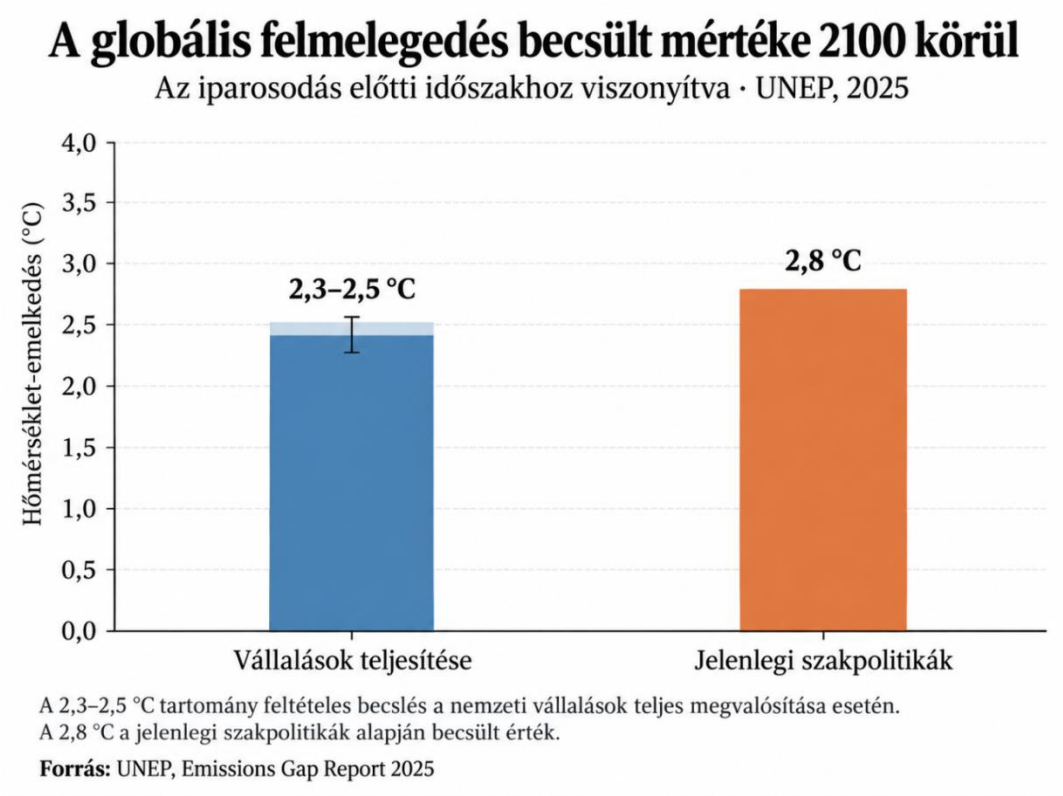
- Zhao, Q. és munkatársai (2021): Global, regional, and national burden of mortality associated with non-optimal ambient temperatures from 2000 to 2019. The Lancet Planetary Health. A globális hideg- és meleghalálozás becslése.
- Gasparrini, A. és munkatársai (2015): Mortality risk attributable to high and low ambient temperature. The Lancet. A mérsékelt hideg egészségügyi jelentősége.
- WHO (2018): WHO Housing and Health Guidelines – Low indoor temperatures and insulation. A hideg lakások egészségügyi kockázatai.

Mit jelent valójában a 2,8 °C-os felmelegedés?

A klímakommunikáció nehézségeit különösen jól szemlélteti az ENSZ Környezetvédelmi Programjának egyik fontos megállapítása.

A UNEP 2025 novemberében közzétett Emissions Gap Report című jelentése szerint a jelenlegi szakpolitikák folytatása mellett a század folyamán mintegy 2,8 °C-os globális felmelegedés várható az iparosodás előtti állapothoz képest.

A vállalt nemzeti kibocsátáscsökkentési célok teljes megvalósítása esetén a becsült felmelegedés 2,3–2,5 °C lehet.



A 2,8 °C önmagában nem tűnik különösebben magas számnak. A mindennapi életben két-három fokos hőmérséklet-változást gyakran észre sem veszünk.

A globális átlaghőmérséklet esetében azonban egészen másról van szó.

Ez az érték a Föld teljes felszínének – a szárazföldek és az óceánok – hosszú időre átlagolt felmelegedését jelenti. A kontinensek belsejében, a magasabb földrajzi szélességeken és bizonyos évszakokban ennél lényegesen nagyobb változások is kialakulhatnak.

A felmelegedés következményei ráadásul nem egyszerűen arányosan növekednek a hőmérséklettel.

A magasabb hőmérséklet fokozhatja a párolgást, módosíthatja a csapadékeloszlást, elősegítheti a szélsőséges hőhullámokat, és növelheti egyes ökológiai rendszerek károsodásának valószínűségét.

A 2,8 °C tehát komoly veszélyeket jelentő pályát jelez.

De nem azt, hogy a Föld 2100-ban lakhatatlanná válik, vagy hogy a felmelegedés valamennyi következménye előre pontosan ismert.

A különbség lényeges.

A veszély súlyosságát nem kell eltúlozni ahhoz, hogy az indokolja a cselekvést.

Sőt, a pontos, feltételes és bizonytalanságokat is bemutató kommunikáció hosszabb távon hitelesebb lehet, mint az elkerülhetetlen világvégét sugalló üzenetek.

A másfél fok: tudományos határ vagy politikai jelkép?

A Párizsi Megállapodás egyik legismertebb célkitűzése a globális felmelegedés 1,5 °C-ra korlátozása.

A közbeszédben ez a szám gyakran éles választóvonalként jelenik meg.

Mintha 1,49 °C-os felmelegedés mellett még biztonságban lennénk, 1,51 °C-nál viszont visszafordíthatatlan katasztrófa kezdődne.

A valóság nem így működik.

A másfél fok fontos tudományos és politikai referenciaérték, amelynek meghatározásában szerepet játszottak a különböző felmelegedési szintekhez kapcsolódó kockázatok.

Nem azonban egyetlen, minden természeti rendszerre érvényes fizikai küszöb.

Egyes káros folyamatok már ennél kisebb felmelegedés mellett megkezdődhetnek. Mások magasabb hőmérsékletnél is fokozatosan változnak. Bizonyos rendszerekben valóban létezhetnek billenőpontok, amelyek átlépése után a folyamatok önmagukat erősíthetik vagy nehezen fordíthatók vissza.

Ezek helye és működése azonban eltérő mértékben ismert.

A kommunikációban további zavart okozhat, hogy egyetlen év globális átlaghőmérséklete átmenetileg meghaladhatja az 1,5 °C-os szintet, miközben a Párizsi Megállapodás céljának értékelése hosszabb távú, általában több évtizedes átlagokra vonatkozik.

A Meteorológiai Világszervezet 2026 márciusában közzétett jelentése szerint 2025 globális átlaghőmérséklete mintegy 1,43 °C-kal haladta meg az iparosodás előtti szintet, és 2015–2025 volt a mérések addigi tizenegy legmelegebb éve.

Ezek az adatok a tartós felmelegedés bizonyítékai, de nem értelmezhetők úgy, mintha minden év hőmérséklete kizárólag az emberi tevékenység adott évi változását tükrözné. A természetes ingadozások továbbra is befolyásolják az egyes évek értékeit.

Az 1,5 °C-os cél elérésének vagy túllépésének jelentősége tehát nem egy képzeletbeli kapcsoló átbillenésében áll.

Abban, hogy minden további felmelegedési tizedfok növelhet bizonyos kockázatokat.

Éppen ezért akkor sem válik értelmetlenné a kibocsátáscsökkentés, ha egy meghatározott célt nem sikerül teljesíteni.

A 2,0 °C-os felmelegedés általában kisebb kockázatot jelent, mint a 2,5 °C-os, és az utóbbi is kedvezőbb lehet a 3,0 °C-osnál.

A környezetvédelem nem egyszeri, mindent eldöntő vizsga.

A kibocsátáscsökkentés haszna nem szűnik meg attól, hogy valamelyik korábbi cél elérhetetlenné válik.

Amikor a klímaváltozás egészségügyi válsággá válik

A klímaváltozást hosszú időn keresztül elsősorban környezeti problémaként kezeltük. Olvadó gleccserekről, emelkedő tengerszintről, aszályokról és pusztuló élőhelyekről beszéltünk. A következmények azonban egyre közvetlenebbül jelennek meg az emberi egészségben is.

A The Lancet orvosi folyóirathoz kapcsolódó nemzetközi kutatócsoport 2026 októberében megjelent jelentése szerint az éghajlatváltozás már globális egészségügyi vészhelyzetnek tekinthető. A kutatók ezért annak hivatalos elismerését sürgetik az Egészségügyi Világszervezetnél és az ENSZ-nél.

A jelentés szerint 2023-ban világszerte mintegy 710 ezer haláleset volt összefüggésbe hozható a hőséggel. Az alkalmazott modellek alapján ezek több mint 70 százalékához az emberi tevékenység okozta felmelegedés is hozzájárult.

A veszély azonban nem korlátozódik a hőhullámokra. A tartós aszályok rontják az élelmiszer- és vízellátást, a szélsőséges esőzések és árvizek sérüléseket, fertőzéseket és lakhatási problémákat okozhatnak. A változó éghajlati viszonyok egyes fertőző betegségeket terjesztő rovarok számára is kedvezőbb körülményeket teremtenek.

A következmények különösen súlyosak az idősek, a krónikus betegek, a kisgyermekek és a szegényebb társadalmi csoportok körében. Az egészségügyi rendszereknek így egyszerre kell felkészülniük a gyakoribb szélsőséges eseményekre és a tartósan növekvő ellátási igényre.

A jelentés ugyanakkor kedvező fejleményeket is azonosít. A tisztább energiatermelés csökkentheti a légszennyezés miatt bekövetkező korai halálozást, a hőségriasztási rendszerek és a megfelelő egészségügyi felkészülés pedig már ma is életeket menthet.

A klímavédelem tehát nem kizárólag a távoli jövő nemzedékeinek érdekében végzett tevékenység. A kibocsátások csökkentésének, a tisztább levegőnek és az alkalmazkodásnak közvetlen, jelenleg is mérhető egészségügyi haszna lehet.

A klímaváltozás árát nemcsak pénzben, elveszett termésben vagy megrongálódott épületekben fizetjük meg. Egyre gyakrabban emberi egészségben és emberéletekben is.

A könyvben ezt önálló, rövid alfejezetként helyezném el a hőhullámokról szóló rész után. Így a 2026-os európai, több mint 50 ezer becsült hőséghez kapcsolódó haláleset konkrét példáját közvetlenül követhetné a globális összkép.

A két adatot azonban nem szabad összeadni: az egyik Európa városi térségeire és 2026 nyarára, a másik az egész világra és 2023-ra vonatkozik. Ráadásul eltérő kutatási módszerekkel készültek.

Elsődleges források: Lancet Countdown – 2026-os jelentés és WHO – A jelentés egészségügyi értékelése.

A korábbi hőhullámokkal, a klímakárok egyenlőtlen eloszlásával és a szupergazdagok kibocsátásával foglalkozó részek után ez a jelentés különösen jól mutatja meg, miért indokolt a könyv címében szereplő kérdés: Ki fizeti meg az árát?

A média: a kivételes események világa







293. ábra: A hírmédia természeténél fogva a rendkívüli, konfliktusos és érzelmileg erős eseményekre összpontosít. A hosszú távú éghajlati folyamatok bemutatása ennél jóval összetettebb feladat.

A média működésének egyik alapvető sajátossága, hogy a szokatlan, drámai és konfliktusos események nagyobb figyelmet kapnak, mint a lassú, fokozatos változások.

Egy pusztító árvíz, hatalmas erdőtűz vagy rekordmagas hőmérséklet könnyen válhat vezető hírré.

Ezzel szemben az óceánok hőtartalmának több évtizedes növekedése, a talajnedvesség fokozatos változása vagy egy energiatakarékossági program eredménye nehezebben jeleníthető meg látványos tudósításban.

Az éghajlatváltozás megértéséhez azonban mindkettőre szükség van.

A szélsőséges időjárási események valódi károkat okoznak, és bizonyos típusú események valószínűségét vagy intenzitását az emberi eredetű felmelegedés már bizonyíthatóan megváltoztatta.

Ugyanakkor nem minden egyes árvíz, vihar vagy aszály tulajdonítható kizárólag a klímaváltozásnak.

Egy árvíz kialakulását befolyásolhatja a csapadék mennyisége, az előző időszak talajnedvessége, a vízgyűjtő terület adottságai, a folyószabályozás és a beépítettség is.

A klímaváltozás az ilyen események bekövetkezési valószínűségét vagy intenzitását módosíthatja. Ennek mértékét külön kutatások, úgynevezett eseményattribúciós vizsgálatok becsülhetik meg.

A médiában azonban gyakran hiányzik ez a különbségtétel.

Egy rendkívüli eseményt néha szinte automatikusan a klímaváltozás bizonyítékaként mutatnak be, míg máskor éppen azzal próbálják megkérdőjelezni a felmelegedést, hogy egy adott térségben szokatlanul hideg időjárás alakult ki.

Mindkét érvelés hibás lehet.

Az időjárás és az éghajlat ugyanis nem azonos.

Az időjárás azt írja le, mi történik egy adott helyen rövidebb idő alatt. Az éghajlat hosszabb időszakok statisztikai jellemzőit vizsgálja.

Egyetlen hideg tél nem cáfolja a globális felmelegedést. De egyetlen hőhullám sem elegendő önmagában annak bizonyítására, hogy az adott esemény kizárólag az emberi eredetű éghajlatváltozás következménye.

A hamis egyensúly problémája

A hagyományos újságírás egyik alapelve, hogy egy vitás kérdésben több oldal álláspontját is bemutatja.

Ez politikai és társadalmi konfliktusoknál fontos követelmény.

Tudományos kérdéseknél azonban félrevezető lehet, ha két álláspont azonos súlyt kap annak ellenére, hogy a mögöttük álló bizonyítékok erőssége nagyon eltérő.

Ha egy televíziós műsorban egy éghajlatkutatóval szemben egy, az emberi eredetű felmelegedést tagadó szereplő kap ugyanannyi megszólalási lehetőséget, a nézőben az a benyomás keletkezhet, hogy a tudományos közösség nagyjából fele-fele arányban megosztott.

Pedig ez nem tükrözi a tudományos bizonyítékok helyzetét.

Egy 2019-ben a Nature Communications folyóiratban megjelent vizsgálat 386 ismert, a tudományos konszenzussal szemben álló szereplő és 386 klímatudós médiamegjelenéseit hasonlította össze.

A vizsgált, tágabb médiakörben az előbbiek 49 százalékkal több cikkben jelentek meg, mint a tudósok. A hagyományos főáramú médiaforrásokra szűkítve ez a különbség már csak körülbelül 1 százalék volt.

A kutatás nem azt bizonyította, hogy minden hírszerkesztőség tudatosan félrevezeti az embereket.

Azt viszont megmutatta, hogy a médiafigyelem eloszlása jelentősen eltérhet a tudományos szakértelem és bizonyítékok eloszlásától.

A sajtónak tehát nem az a feladata, hogy minden állítással szemben automatikusan ugyanolyan hangsúlyos ellenkező állítást keressen.

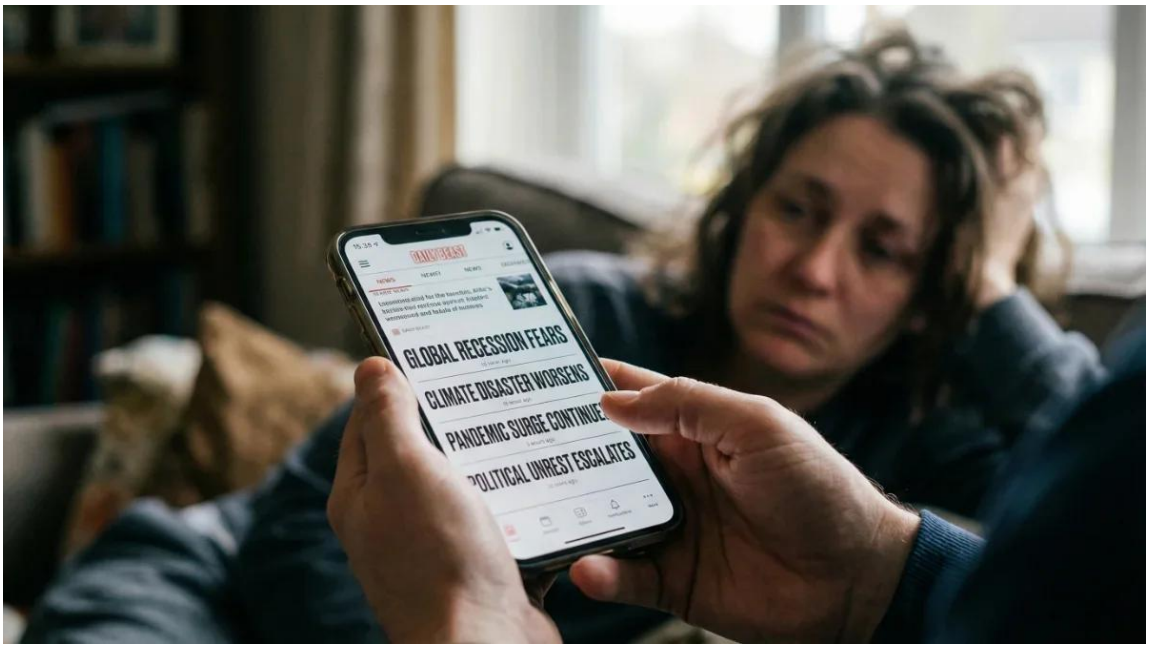
Hanem az, hogy a különböző vélemények mellett a mögöttük álló bizonyítékok minőségét is bemutassa.

Ugyanakkor a tudományos konszenzus nem terjeszthető ki automatikusan a szakpolitikai megoldásokra.

Attól, hogy a kutatások meggyőzően bizonyítják az emberi eredetű felmelegedést, még lehet legitim vita a szén-dioxid-adó mértékéről, az atomenergia szerepéről, az elektromos autók támogatásáról vagy a mezőgazdasági szabályozásról.

A tudományos tények elfogadása nem jelent kötelező egyetértést minden környezetpolitikai döntéssel.

A közösségi hálózatok: amikor az érzelem gyorsabb a tényeknél





294. ábra: A közösségi médiában a figyelemért versengő üzenetek közül gyakran a legerősebb érzelmi reakciókat kiváltók terjednek a leggyorsabban.

A közösségi hálózatok alapvetően megváltoztatták a környezeti információk terjedését.

Korábban a tudományos eredmények többnyire szakfolyóiratokon, tudományos intézményeken és szerkesztőségeken keresztül jutottak el a nagyközönséghez.

Ma egyetlen bejegyzés, videó vagy grafikon rövid idő alatt milliókhoz juthat el.

Ennek jelentős előnyei vannak. A kutatók közvetlenül tájékoztathatják a társadalmat, a civil szervezetek gyorsan mozgósíthatnak, és a helyi környezeti problémák is nemzetközi figyelmet kaphatnak.

Ugyanakkor a közösségi média működését nem elsősorban a tudományos pontosság követelményei határozzák meg.

A platformok ajánlórendszerei különböző jelek alapján próbálják megbecsülni, milyen tartalmak érdekelhetik a felhasználókat. Az érzelmileg erős, meglepő vagy vitát kiváltó bejegyzések könnyen sok reakciót generálhatnak.

Ez kedvezhet a leegyszerűsítő vagy szélsőséges állítások terjedésének.

A Massachusetts Institute of Technology kutatói 2018-ban a Science folyóiratban tették közzé a hamis és igaz hírek internetes terjedésének nagyszabású elemzését.

Mintegy 126 ezer, tényellenőrző szervezetek által minősített történet terjedését vizsgálták a Twitteren, a 2006 és 2017 közötti időszakban.

Az eredmények szerint a hamis hírek a vizsgált adathalmazban gyorsabban, szélesebb körben és mélyebb megosztási láncokon keresztül terjedtek, mint a valós hírek.

A kutatók azt is megfigyelték, hogy a hamis hírek gyakran meglepőbbnek és újszerűbbnek hatottak, ami elősegíthette továbbadásukat.

Ez nem jelenti azt, hogy valamennyi közösségi platformon, minden időszakban és minden témában ugyanígy működik az információterjedés.

Arra azonban jól rámutat, hogy a társadalmi figyelem és az információ hitelessége között nincs automatikus kapcsolat.

Egy sok százezer alkalommal megosztott állítás nem válik igazabbá attól, hogy népszerű.

A két szélsőség ugyanabból a rendszerből táplálkozhat

A klímatagadó és a katasztrófát hirdető tartalmak látszólag egymás ellentétei.

Kommunikációs szempontból azonban hasonló módszerekkel is terjedhetnek.

Az egyik azt állíthatja, hogy az éghajlatkutatók szándékosan félrevezetik a társadalmat, és a klímaváltozás valójában jelentéktelen.

A másik azt sugallhatja, hogy néhány éven belül elkerülhetetlen civilizációs összeomlás következik be.

Mindkét állítás erős érzelmi reakciót válthat ki.

Az első felháborodást kelthet a feltételezett megtévesztéssel szemben. A második félelmet és sürgető cselekvési kényszert ébreszthet.

A közösségi hálózatok rendszerében mindkettő alkalmas lehet gyors terjedésre.

A tudományos álláspont ezzel szemben sokszor bonyolultabb.

Feltételeket, bizonytalansági tartományokat és egymással összefüggő folyamatokat kell bemutatnia.

Egy olyan mondat, hogy bizonyos kibocsátási pályák mellett egyes térségekben növekedhet a szélsőséges csapadékesemények valószínűsége, kevésbé látványos, mint az, hogy hamarosan minden várost elönt az árvíz.

Pedig az első állítás lehet tudományosan megalapozott, míg a második félrevezető általánosítás.

A digitális nyilvánosság egyik nagy problémája tehát az, hogy a pontosabb megfogalmazás nem feltétlenül versenyképesebb a figyelemért folytatott küzdelemben.

A visszhangkamrák és az algoritmikus megerősítés

A közösségi hálózatok másik sajátossága, hogy a felhasználók könnyen olyan információs környezetbe kerülhetnek, ahol rendszeresen a saját véleményükkel összhangban álló tartalmakkal találkoznak.

Ezt a jelenséget visszhangkamrának nevezik.

Aki következetesen klímaváltozást tagadó oldalakat olvas, egyre több olyan tartalmat láthat, amely a tudományos intézmények megbízhatatlanságát hangsúlyozza.

Aki viszont kizárólag a legsúlyosabb éghajlati következményekre összpontosító oldalakat követi, könnyen azt a benyomást szerezheti, hogy minden új kutatás egy korábban elképzeltnél is gyorsabb katasztrófát jelez.

Az ajánlórendszerek egyes körülmények között erősíthetik ezt a folyamatot, de a jelenséghez a felhasználók saját döntései is hozzájárulnak.

Az emberek általában szívesebben fogadnak olyan információkat, amelyek megerősítik korábbi meggyőződésüket.

Ez a megerősítési torzítás (confirmation bias) jól ismert pszichológiai jelenség.

Nem csak a klímaváltozással kapcsolatos vitákban figyelhető meg, és nem kizárólag az egyik politikai vagy világnézeti oldalra jellemző.

A probléma akkor válik súlyossá, amikor az emberek a saját információs közösségükben terjedő állításokat már nem ellenőrzik független forrásokból.

Ilyenkor a tudományos bizonyítékok helyét fokozatosan átveheti a csoporthoz tartozás érzése.

Aki másként gondolkodik, az nem egyszerűen tévedő vitapartnernek, hanem a közösségen kívül álló, esetleg rossz szándékú szereplőnek tűnhet.

A környezetvédelem így identitáskérdéssé válik.

Már nem az a legfontosabb, hogy egy állítás milyen bizonyítékokra épül, hanem az, hogy kik képviselik.

Ez különösen megnehezíti a józan mérlegelést.

A politikai propaganda és a klímaváltozás

A klímaváltozás a gazdaság szinte minden területét érinti, ezért természetes, hogy politikai viták tárgyává válik.

Az energiaárak, az ipari beruházások, a mezőgazdasági szabályozás, az adózás és a közlekedés átalakítása mind olyan döntések, amelyek társadalmi érdekeket érintenek.

A politikai szereplők ezért különböző módon értelmezhetik ugyanazokat a tudományos eredményeket.

Az egyik megközelítés a gyors kibocsátáscsökkentés szükségességét hangsúlyozhatja.

A másik a gazdasági versenyképességre, az energiaellátás biztonságára és a társadalmi költségekre helyezheti a hangsúlyt.

Ezek legitim politikai szempontok lehetnek.

A propaganda ott kezdődhet, amikor a kommunikáció a tények tudatosan szelektív vagy megtévesztő bemutatásával próbál politikai támogatást szerezni.

Például amikor egy politikai kampány kizárólag a környezetvédelmi átállás költségeiről beszél, de nem említi a szennyezés egészségügyi és gazdasági következményeit.

Vagy amikor az átállás várható előnyeit hangsúlyozza, miközben elhallgatja az energiaellátás, a nyersanyagigény és a megfizethetőség problémáit.

A politikai vélemény és a tényállítás között ezért fontos különbséget tenni.

Az a kijelentés, hogy egy ország számára az atomenergia kedvező választás, szakpolitikai értékítélet, amely több szempont mérlegelésétől függ.

Az viszont, hogy egy adott atomerőmű mennyi villamos energiát termel, milyen költséggel és milyen biztonsági követelmények mellett, ellenőrizhető ténykérdés.

A kettő összekeverése sok félreértés forrása.

A klímaváltozás elleni fellépés nem válhat egyetlen politikai irányzat kizárólagos ügyévé.

A különböző társadalmi csoportok eltérő megoldásokat támogathatnak, miközben a természettudományos alapvetésekben egyetértenek.

A politikai vita akkor lehet eredményes, ha a közös tényalap mellett a megoldások valódi költségeiről, előnyeiről és kockázatairól szól.

A klímaszorongás: amikor a jövőtől való félelem mindennapossá válik





295. ábra: A klímaváltozástól való félelem különösen a fiatalabb nemzedékek körében lehet erős. Az aggodalom azonban nem feltétlenül jelent pszichés betegséget.

A klímaváltozásról szóló kommunikáció egyik legsúlyosabb társadalmi következménye a jövővel kapcsolatos tartós bizonytalanság és szorongás lehet.

A klímaszorongás kifejezés az éghajlatváltozás várható következményei miatt kialakuló félelmet, aggodalmat, tehetetlenséget vagy más érzelmi megterhelést jelöli.

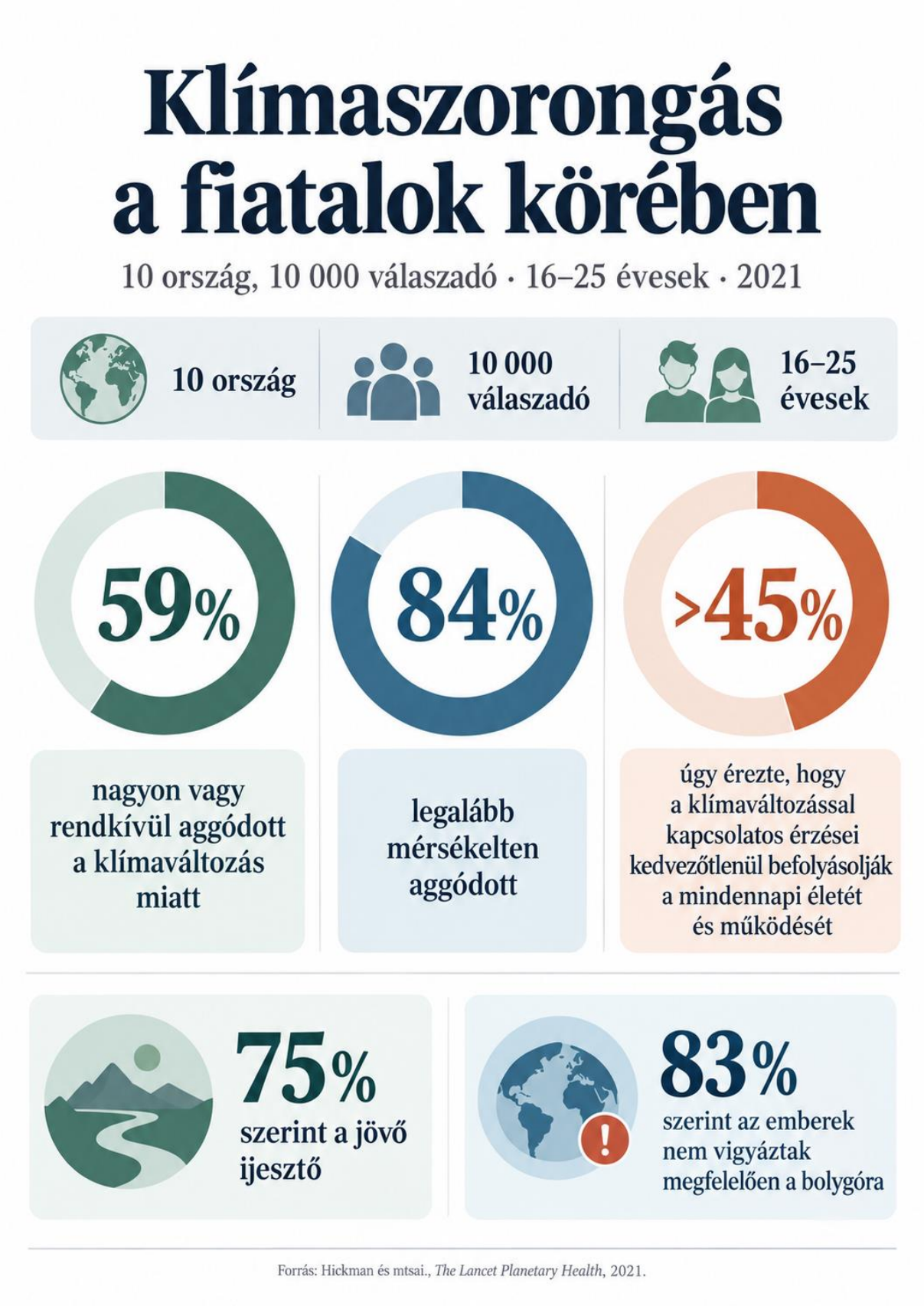
Fontos azonban, hogy nem önálló, egységesen meghatározott pszichiátriai betegségről van szó.

A jövőbeli környezeti kockázatok miatti aggodalom bizonyos mértékig természetes reakció lehet.

Különösen olyan fiatalok körében, akik életük nagyobb részét még maguk előtt tudják, miközben az éghajlatváltozás következményeinek jelentős része évtizedek alatt bontakozik ki.

Egy 2021-ben, a The Lancet Planetary Health folyóiratban megjelent nemzetközi kutatás tíz országban összesen tízezer, 16 és 25 év közötti fiatalt kérdezett meg.

A vizsgálat eredményei figyelemre méltók voltak.



A válaszadók 59 százaléka nagyon vagy rendkívül aggódott a klímaváltozás miatt, 84 százalékuk pedig legalább mérsékelt aggodalmat jelzett. Több mint 45 százalékuk számolt be

arról, hogy az éghajlatváltozással kapcsolatos érzései kedvezőtlenül befolyásolják mindennapi életét.

Az eredményeket ugyanakkor megfelelő körültekintéssel kell értelmezni.

A kutatás tíz meghatározott ország fiataljaira vonatkozott. Nem jelenti azt, hogy a világ valamennyi fiataljának pontosan ugyanilyen arányban vannak hasonló érzései.

A vizsgálat önbevalláson alapult, és az összefüggésekből nem következik automatikusan, hogy az aggodalmakat kizárólag a médiában megjelenő üzenetek okozták.

Az eredmények mégis fontos társadalmi jelenségre világítanak rá.

A klímaváltozás sok fiatal számára nem távoli tudományos kérdés, hanem saját jövőjének bizonytalanságával kapcsolatos probléma.

A jogos aggodalom és a tehetetlenség közötti különbség

A klímaszorongás megértésében fontos megkülönböztetni a veszély felismerését a reménytelenségtől.

Az aggodalom cselekvésre is ösztönözhet.

Valaki azért kezdhet foglalkozni környezetvédelemmel, mert szeretné csökkenteni a környezeti károkat, részt venni közösségi kezdeményezésekben vagy támogatni egy kedvezőbb technológia elterjedését.

Másoknál ugyanakkor a folyamatosan ismétlődő katasztrófaüzenetek tehetetlenségérzést okozhatnak.

Ha az ember azt hallja, hogy a világ néhány évtizeden belül élhetetlenné válik, miközben saját döntéseinek hatása elenyészőnek tűnik, könnyen elveszítheti a cselekvésbe vetett hitét.

Ez különösen akkor jelenthet problémát, ha a kommunikáció kizárólag a veszélyekre összpontosít, de nem mutatja be a lehetséges megoldásokat és azok korlátait.

A környezetvédelmi tájékoztatásnak ezért nem szabad a félelemkeltést önálló célnak tekintenie.

A társadalomnak pontos információkra van szüksége a kockázatokról, de ugyanilyen fontos megismernie, milyen cselekvési lehetőségekkel rendelkezik.

Ez nem jelentheti a veszélyek elhallgatását vagy mesterséges megnyugtató üzenetek terjesztését.

A hiteles remény nem abból fakad, hogy tagadjuk a problémákat, hanem abból, hogy a nehézségek mellett a tényleges lehetőségeket is bemutatjuk.

Amikor a klímaszorongásból üzlet lesz

A klímaváltozással kapcsolatos félelmek gazdasági lehetőségeket is teremthetnek.

A környezetvédelmi termékek, tanácsadási szolgáltatások, biztosítások és különböző technológiai megoldások piacán jelentős üzleti érdekek jelenhetnek meg.

Ez természetes folyamat. Ha új társadalmi igények keletkeznek, a vállalatok igyekeznek azokat kielégíteni.

A probléma akkor jelentkezik, ha egy termék vagy szolgáltatás értékesítése túlzott félelemkeltésre épül.

A fogyasztók például megvásárolhatnak olyan termékeket, amelyekről azt állítják, hogy környezetbarátabbak, miközben a tényleges életciklus-hatásuk alig különbözik a hagyományos változatoktól.

Vagy olyan megoldásokba fektethetnek jelentős összegeket, amelyek látványosak és korszerűnek tűnnek, de környezeti előnyük korlátozott.

A zöldre festés – a korábban tárgyalt greenwashing – így összekapcsolódhat a félelmek gazdasági kihasználásával.

A fogyasztó nem feltétlenül azért vásárol, mert pontosan ismeri a termék előnyeit, hanem mert úgy érzi, erkölcsi kötelessége valamit tennie.

A marketing szempontjából ez hatékony eszköz lehet.

De a környezetvédelem szempontjából nem mindegy, hogy a fogyasztás valóban csökkenti-e a környezeti terhelést, vagy csupán annak érzését kelti.

A környezettudatosság nem azonos a folyamatos zöld termékvásárlással.

Sok esetben a meglévő termékek hosszabb használata, a javítás vagy a fölösleges vásárlás elhagyása nagyobb környezeti előnnyel járhat, mint egy új, környezetbarátként hirdetett termék beszerzése.

A mesterséges intelligencia új szerepe a klímavitákban

A generatív mesterséges intelligencia megjelenése tovább bonyolította az információs környezetet.

Korábban egy megtévesztő, de hitelesnek látszó tanulmány, ábra vagy videó elkészítése jelentős munkát igényelt.

Ma már szövegek, képek és videók nagy mennyiségben, viszonylag gyorsan előállíthatók.

Ez megkönnyítheti a tudományos ismeretterjesztést, a bonyolult adatok szemléltetését és a kutatási eredmények közérthető magyarázatát.

Ugyanakkor új lehetőségeket teremt a dezinformáció számára is.

Egy hamisított kép például olyan erdőtüzet vagy árvizet ábrázolhat, amely a valóságban nem történt meg.

Egy mesterségesen előállított videó azt a benyomást keltheti, hogy egy ismert tudós vagy politikus olyan kijelentést tett, amelyet valójában soha nem mondott.

Egy tudományosnak tűnő ábrán pedig megjelenhetnek kitalált mérési eredmények vagy félrevezetően megválasztott skálák.

A megtévesztés veszélye nemcsak a hamis állítások előállításában rejlik.

A valós képek is felhasználhatók hamis kontextusban.

Egy évekkel korábban készült áradásról szóló felvételt új esemény bizonyítékaként terjeszthetnek. Egy természetes eredetű tűzesetről készült képet pedig megtévesztően más okkal vagy más helyszínnel kapcsolhatnak össze.

A mesterséges intelligencia egyik további kockázata, hogy a meggyőző stílus nem garantálja a tények pontosságát.

Egy hibás állítás választékos, tudományos hangvételű magyarázattal is előadható.

Ezért a generált tartalmak ellenőrzésénél különösen fontos az eredeti források felkutatása, a dátumok ellenőrzése és a számadatok összevetése a hiteles kutatásokkal.

Az AI ugyanakkor a tényellenőrzést is segítheti: nagy dokumentumhalmazokban kereshet ellentmondásokat, összevetheti a nyilvános állításokat, és elősegítheti a tudományos eredmények közötti különbségek feltárását.

A technológia tehát önmagában nem határozza meg, hogy a klímakommunikáció hitelesebb vagy megtévesztőbb lesz.

A döntő tényező továbbra is az emberi felhasználás és az ellenőrzés minősége.

Hogyan különböztethető meg a tudományos állítás a propagandától?

A klímaváltozással kapcsolatos információk értékeléséhez nem szükséges mindenkinek éghajlatkutatóvá válnia.

Néhány alapvető kérdés azonban sokat segíthet.

Mit érdemes megvizsgálni?	Miért fontos?
Ki közölte az állítást?	Kutatóintézet, hatóság, vállalat, politikai szervezet vagy névtelen oldal?
Mi az eredeti forrás?	Tudományos közlemény, mérési adat, modell, véleménycikk vagy közösségi bejegyzés?
Milyen időszakra vonatkozik?	Egyetlen időjárási eseményre vagy több évtizedes éghajlati trendre?

Mit jelent a közölt szám?	Mért adat, becslés, feltételes forgatókönyv vagy politikai célérték?
Mekkora a bizonytalanság?	Ismerjük-e a feltételezéseket és a lehetséges eltéréseket?
Milyen érdekek kapcsolódhatnak hozzá?	Van-e ismert gazdasági vagy politikai érdekeltség?
Más független források mit mutatnak?	Az állítás összhangban áll-e a kutatások szélesebb körével?

Ezek a szempontok nem jelentenek tévedhetetlen módszert.

De csökkenthetik annak veszélyét, hogy egyetlen látványos hír vagy érzelmileg erős üzenet alapján alakítsunk ki végleges véleményt.

Különösen fontos az eredeti kutatás és a róla szóló újságcikk megkülönböztetése.

A tudományos tanulmány gyakran pontosan meghatározza a vizsgálat korlátait. A sajtóban megjelenő összefoglaló viszont terjedelmi vagy figyelemfelkeltési okokból elhagyhatja ezeket.

A címsor pedig még tovább egyszerűsítheti az eredményt.

Így fordulhat elő, hogy egy feltételes kockázatból elkerülhetetlen katasztrófa, egy helyi mérésből globális következtetés vagy egy egyéni kutatói véleményből tudományos konszenzus lesz.

A forráskritika nem bizalmatlanságot jelent minden információval szemben.

Hanem annak felismerését, hogy az állítások bizonyító ereje eltérő.

Miért nehéz megőrizni a józan mérlegelést?

A klímaváltozás különösen nehéz téma az emberi gondolkodás számára.

Az emberi érzékelés és döntéshozatal elsősorban közvetlen, viszonylag rövid távon jelentkező események kezelésére alkalmas.

Egy közeledő vihar, egy tűzeset vagy egy hirtelen áremelkedés könnyen felismerhető veszély.

A globális éghajlatváltozás ezzel szemben lassú, összetett és földrajzilag egyenlőtlen folyamat.

Következményei sokszor évtizedek alatt bontakoznak ki, és olyan statisztikai változásokban jelentkeznek, amelyeket egyetlen ember saját tapasztalatai alapján nehezen tud megítélni.

Az ember ezért hajlamos lehet a közelmúlt eseményeiből túl általános következtetéseket levonni.

Egy rendkívül forró nyár megerősítheti a klímaváltozással kapcsolatos aggodalmakat. Egy szokatlanul hideg tél viszont másokban kételyeket ébreszthet.

Pedig egyik esemény sem helyettesíti a több évtizedes globális mérési adatokat.

A bizonytalanság szintén nehezen kezelhető.

Az emberek gyakran egyértelmű válaszokat szeretnének. Biztosan bekövetkezik-e egy esemény? Mikor történik meg? Meg lehet-e akadályozni?

A tudomány azonban sok kérdésre valószínűségekkel, tartományokkal és feltételekkel tud válaszolni.

Ez nem a tudomány gyengesége, hanem a valóság összetettségének következménye.

A politikai kommunikáció és a közösségi média viszont könnyen jutalmazza az egyértelmű, határozott kijelentéseket.

Aki bizonytalanságokról beszél, sokszor kevésbé meggyőzőnek tűnik annál, aki magabiztosan kijelenti, hogy minden veszélyt eltúloznak, vagy éppen azt, hogy a katasztrófa már elkerülhetetlen.

Pedig a valóság ritkán ilyen egyszerű.

Amikor még az új jégkorszaktól féltek – az 1970-es évek

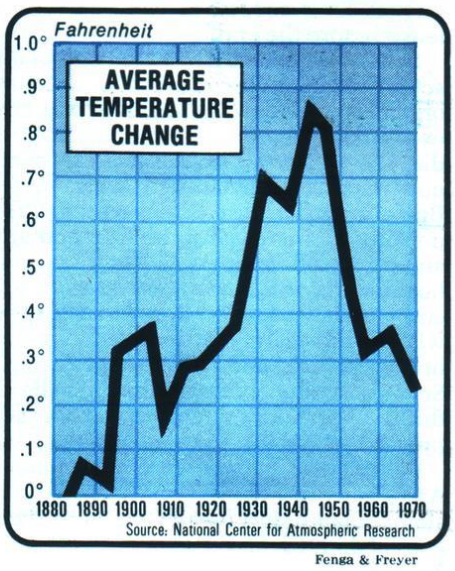
SCIENCE

Newsweek **The Cooling World**

April 28, 1975

There are ominous signs that the Earth's weather patterns have begun to change dramatically and that these changes may portend a drastic decline in food production – with serious political implications for just about every nation on Earth. The drop in food output could begin quite soon, perhaps only 10 years from now. The regions destined to feel its impact are the great wheat-producing lands of Canada and the U.S.S.R. in the North, along with a number of marginally self-sufficient tropical areas – parts of India, Pakistan, Bangladesh, Indochina and Indonesia – where the growing season is dependent upon the rains brought by the monsoon.

The evidence in support of these predictions has now begun to accumulate so massively that meteorologists are hard-pressed to keep up with it. In England, farmers have seen their growing season decline by about two weeks since



A hetvenes években a sajtóban nem elsősorban a globális felmelegedés, hanem időnként éppen egy közelgő lehűlés lehetősége jelent meg fenyegetésként.

Az 1940-es évektől a hetvenes évekig a globális hőmérséklet emelkedése átmenetileg megtorpant, és egyes mérések enyhe lehűlést mutattak. A kutatók többek között azt vizsgálták, hogy az ipari légszennyezésből származó aeroszolok hűtőhatása mennyiben ellensúlyozhatja az üvegházhatású gázok melegítő hatását.

A tudományos bizonytalanság hamarosan megjelent a médiában is.

A Newsweek 1975. április 28-án „The Cooling World” címmel közölt cikket, amely a lehűlés mezőgazdasági következményeire és a lehetséges élelmiszerhiányra figyelmeztetett. A televízióban szintén megjelentek a közelgő jégkorszakkal foglalkozó műsorok.

Utólag azonban fontos különbséget tenni a korabeli sajtóvisszhang és a tudományos kutatások tényleges álláspontja között.

Egy 2008-ban megjelent tudománytörténeti elemzés az 1965 és 1979 közötti szakirodalomban 44 felmelegedést, 7 lehűlést valószínűsítő és 20 egyértelmű irányt nem megjelölő tanulmányt azonosított.

Vagyis a közelgő új jégkorszak nem volt a tudományos közösség általánosan elfogadott előrejelzése.

A történet tanulsága nem az, hogy az éghajlatkutatás megbízhatatlan, hanem az, hogy a médiában megjelenő legdrámaibb állítás nem feltétlenül tükrözi a tudományos bizonyítékok súlyát.

A tudomány bizonytalanságot vizsgál. A média viszont gyakran bizonyosságként mutatja be a legijesztőbb lehetőséget.

A hiteles klímakommunikáció lehetősége



296. ábra: A megalapozott környezetpolitikai döntésekhez tudományos adatokra, a bizonytalanságok nyílt bemutatására és a lehetséges megoldások tárgyilagos összehasonlítására van szükség.

A klímaváltozásról szóló kommunikáció egyik legfontosabb feladata, hogy egyszerre mutassa be a veszélyeket és a cselekvési lehetőségeket.

A veszélyek elhallgatása hamis biztonságérzetet teremthet.

A következmények túlzása viszont félelmet, tehetetlenséget vagy a tudomány iránti bizalmatlanságot válthat ki.

A hiteles tájékoztatásnak ezért világosan meg kell különböztetnie a megfigyelt tényeket, a tudományos becsléseket, a feltételes forgatókönyveket és a politikai célokat.

Ugyanilyen fontos, hogy a környezetvédelmi intézkedések várható előnyei mellett a költségeiket és korlátaikat is bemutassa.

A kibocsátáscsökkentés sok esetben jelentős beruházásokat igényel. Egyes iparágakban technológiai akadályokkal, másutt ellátásbiztonsági vagy társadalmi problémákkal kell számolni.

Ezekről nyíltan kell beszélni.

A környezetvédelem hitelességét nem gyengíti, ha elismerjük a nehézségeket.

Éppen ellenkezőleg: az indokolatlan ígéretek hosszabb távon sokkal nagyobb bizalomvesztést okozhatnak.

A társadalomnak nem arra van szüksége, hogy minden problémára azonnali és veszteségmentes megoldást ígérjenek.

Hanem arra, hogy világosan lássa, milyen lehetőségek állnak rendelkezésre, ezek milyen következményekkel járhatnak, és milyen bizonyítékok alapján születnek a döntések.

A klímaszorongás mérséklésében is szerepe lehet annak, ha a társadalom nem kizárólag fenyegetésekről, hanem ellenőrizhető eredményekről is értesül.

A légszennyezés csökkentése, az energiahatékonyság javítása, a megújuló energiaforrások fejlődése vagy a természetvédelmi helyreállítások mind olyan területek, ahol mérhető előrelépések történhetnek.

Ezek nem semmisítik meg a klímaváltozás kockázatait.

De azt mutatják, hogy az emberi döntéseknek lehetnek tényleges következményei.

A józan mérlegelés nem középút két tévedés között

A klímaváltozásról szóló vitákban könnyű arra a következtetésre jutni, hogy az igazság valahol a tagadás és a katasztrófakommunikáció között helyezkedik el.

Ez azonban önmagában téves megközelítés lenne.

Az igazság nem feltétlenül két szélsőséges állítás számtani középértéke.

Ha az egyik állítás szerint az emberi tevékenység egyáltalán nem befolyásolja az éghajlatot, a másik szerint pedig a Föld néhány évtizeden belül teljesen lakhatatlanná válik, akkor nem elegendő a két vélemény között félúton megállni.

Mindkét állítást a rendelkezésre álló tudományos bizonyítékok alapján kell értékelni.

Az emberi eredetű felmelegedés ténye megalapozott. A jövőbeli következmények pontos mértéke, időzítése és területi eloszlása viszont különböző mértékű bizonytalansággal terhelt.

A tudomány feladata ennek a különbségnek a feltárása.

A politikáé az, hogy a bizonyítékok és a társadalmi érdekek figyelembevételével döntsön a lehetséges intézkedésekről.

A médiáé pedig az, hogy a döntésekhez szükséges információkat pontosan és érthetően közvetítse.

Az állampolgároknak mindehhez joguk van.

A környezetvédelmi vita nem követelheti meg a kritikátlan hitet sem a tudományosnak nevezett kijelentésekben, sem a politikai ígéretekben, sem a civil mozgalmak üzeneteiben.

Ugyanakkor a kritikus gondolkodás nem jelentheti az ellenőrizhető bizonyítékok önkényes elutasítását sem.

A megfelelő hozzáállás nem a kételkedés és az aggodalom kizárása, hanem azok arányos kezelése.

A klímaváltozás valódi veszélyeket hordoz. Egyes következményei már ma is megfigyelhetők, és a további felmelegedés növelheti a kockázatokat.

De a jövő nem egyetlen előre meghatározott forgatókönyv szerint alakul.

Az emberi társadalmak döntései, a technológiai fejlődés, az alkalmazkodás és a kibocsátáscsökkentés mind befolyásolhatják a következmények súlyosságát.

A környezetvédelem számára ezért nem a félelem vagy a tagadás jelenti a megfelelő alapot, hanem az ellenőrizhető tudás.

A józan mérlegelés nem azt jelenti, hogy kevésbé vesszük komolyan a klímaváltozást. Hanem azt, hogy pontosan annyira vesszük komolyan, amennyire a bizonyítékok indokolják – sem kevésbé, sem jobban.

Mert a veszély eltúlzása és a veszély tagadása végső soron ugyanahhoz vezethet: rossz döntésekhez.

A környezetvédelemnek viszont nem a legijesztőbb vagy a legmegnyugtatóbb történetekre van szüksége, hanem a valóság lehető legpontosabb megértésére.

Források és további olvasmányok

- IPCC (2023): Climate Change 2023 – Synthesis Report. Az emberi eredetű felmelegedés bizonyítékai és a jövőbeli kockázatok.
- UNEP (2025): Emissions Gap Report 2025. A jelenlegi szakpolitikák és a nemzetközi vállalások alapján becsült felmelegedés.
- WMO (2026): State of the Global Climate 2025. A globális éghajlati megfigyelések legfontosabb eredményei.
- Petersen, A. M. és munkatársai (2019): Discrepancy in scientific authority and media visibility of climate change scientists and contrarians. Nature Communications.
- O'Neill, S. és munkatársai (2024): Communicating climate futures. Climatic Change. A klímaforgatókönyvek médiabeli értelmezésének problémái.
- Vosoughi, S., Roy, D., Aral, S. (2018): The spread of true and false news online. Science. A hamis és valós információk internetes terjedésének vizsgálata.
- Hickman, C. és munkatársai (2021): Climate anxiety in children and young people and their beliefs about government responses to climate change. The Lancet Planetary Health.

VIII. Képesek vagyunk-e változtatni?

37. Amikor sikerült megvédeni a környezetet

A környezetvédelem történetét könnyű a kudarcok történeteként elmesélni. Eltűnő erdők, szennyezett folyók, mérgező levegő, pusztuló élővilág és egyre gyorsuló éghajlatváltozás. A hírekben többnyire a veszélyek, a mulasztások és a sikertelen nemzetközi tárgyalások szerepelnek. Pedig az elmúlt évszázadban számos olyan környezeti problémát sikerült jelentősen mérsékelni, amelyet korábban szinte megoldhatatlannak tartottak.

Londonban megszűnt a rendszeresen visszatérő, gyilkos szénfüstös szmog. Európa és Észak-Amerika jelentős részén visszaszorult a savas eső. Az emberiség nemzetközi összefogással megállította az ózonréteget pusztító vegyületek tömeges felhasználását. Egykor szennyvízcsatornaként működő folyókban ismét megjelentek a halak. Európa számos országában pedig ma nagyobb az erdőterület, mint száz évvel ezelőtt.

Ezek a sikerek nem jelentik azt, hogy minden környezeti probléma megoldódott. A londoni levegő ma sem teljesen tiszta, a folyókban új szennyező anyagok jelentek meg, az erdők területi növekedése pedig nem feltétlenül jár együtt az élővilág gazdagodásával.

A példák mégis bizonyítanak valami fontosat: az ember nemcsak tönkretenni, hanem helyreállítani is képes a környezetét.

A kérdés az, hogy milyen körülmények között sikerül ez, és miért nem működnek ugyanezek a módszerek minden esetben.

Amikor Londonban újra láthatóvá vált az ég

1952 decemberében Londonra olyan sűrű szmog ereszkedett, hogy az utcákon néhány méterre csökkent a látótávolság. A hideg időben a háztartások és az ipari üzemek hatalmas mennyiségű szenet égettek el. A füst és a kén-dioxid a kedvezőtlen légköri viszonyok miatt a város fölött rekedt.

A következmények katasztrofálisak voltak. A későbbi kutatások szerint a nagy londoni szmog közvetlen és közvetett halálos áldozatainak száma elérhette a 12 ezret.





297. ábra: London a nagy szmog idején, az egykori széntüzelésű ipari korszak és a mai városképe. A javulás nem magától következett be: több évtizedes technológiai és szabályozási változások eredménye.

A tragédia után a brit kormány 1956-ban elfogadta a Clean Air Act nevű törvényt, amely a füstkibocsátás korlátozásával és füstmentes övezetek kialakításával alapvetően megváltoztatta a városi fűtés szabályait. A széntüzelés fokozatos visszaszorítása, a földgáz elterjedése és az ipari szerkezet átalakulása együtt jelentősen csökkentette a hagyományos londoni szmogot.

A változás nem ment egyik napról a másikra. Az 1962-es londoni szmog még mindig több száz ember halálához járult hozzá. A szigorúbb szabályozás és a technológiai korszerűsítés azonban hosszabb távon eredményesnek bizonyult.

A történetnek van egy kevésbé látványos tanulsága is. Nem egyszerűen arról volt szó, hogy a lakosság környezettudatosabb lett. A jogszabályok, az energiaellátás átalakítása és a műszaki fejlődés együtt teremtették meg a változás feltételeit.

London ma is küzd a közlekedésből és más forrásokból származó nitrogén-dioxid és finom részecskék problémájával. A régi, szénfüstös szmogot azonban sikerült visszaszorítani.

Az első tanulság: a környezeti problémák megoldásához nem elegendő a jó szándék. Olyan szabályokra és technológiákra van szükség, amelyek a szennyezés csökkentését a mindennapi működés részévé teszik.

A savas esők visszaszorítása

A huszadik század második felében Európa és Észak-Amerika iparvidékein egyre súlyosabb problémát jelentettek a savas esők.

A szénerőművek és ipari létesítmények kén-dioxidot, a közlekedés és az égési folyamatok pedig nitrogén-oxidokat bocsátottak ki. Ezek a légkörben átalakulva savas vegyületeket képeztek, amelyek a csapadékkal és a száraz ülepedéssel a talajba, a tavakba és az erdőkbe jutottak.

Skandináviában tavak ezrei savanyodtak el, Közép-Európában pedig hatalmas erdőterületek károsodtak. A német–cseh határvidék, a lengyel iparterületek és az Érchegység erdőpusztulása a korszak környezeti válságának jelképeivé vált.





298. ábra: Az Érchegység erdőkárosodása, a helyreálló erdők és a füstgáztisztítás technológiája. Az erdők regenerálódásában a kibocsátások csökkentése mellett az erdészeti beavatkozásoknak is szerepük volt.

A probléma különösen kellemetlen politikai tulajdonsága az volt, hogy a szennyezés nem ismerte az országhatárokat. Egy ország erőművei más országok tavaiban és erdeiben okozhattak károkat.

A megoldáshoz ezért nemzetközi együttműködésre volt szükség.

Az 1979-ben elfogadott, nagy távolságra jutó, országhatárokon átterjedő légszennyezésről szóló egyezmény és későbbi jegyzőkönyvei, valamint az európai uniós szabályozás egyre szigorúbb kibocsátási követelményeket vezettek be.

A füstgázok kéntelenítése, az alacsonyabb kéntartalmú tüzelőanyagok, az erőművek korszerűsítése és a széntüzelés részleges visszaszorítása jelentős eredményt hozott.

Az Európai Környezetvédelmi Ügynökség adatai szerint az Európai Unió kén-dioxid-kibocsátása 1990 óta több mint 90 százalékkal csökkent.

Ez rendkívüli eredmény. A levegőből kiülepedő savasító anyagok mennyisége jelentősen mérséklődött, és számos korábban károsodott tó, talaj és erdő állapota javulni kezdett.

A helyreállás azonban lassabbnak bizonyult, mint a szennyezés csökkenése. Egyes talajok és tavak kémiai állapota évtizedek alatt rendeződik, a korábban elveszett fajok pedig nem feltétlenül térnek vissza.

Ez egy második fontos tanulságot ad: a szennyezést sokszor gyorsabban lehet megszüntetni, mint a következményeit felszámolni.

Az ózonlyuk – amikor az emberiség időben cselekedett

Az 1980-as évek közepén a kutatók aggasztó jelenséget fedeztek fel: az Antarktisz fölött minden tavasszal drámaian csökkent a sztratoszférikus ózon mennyisége.

Az ózonréteg a Föld természetes védőpajzsa, amely elnyeli a Napból érkező káros ultraibolya sugárzás jelentős részét. Elvékonyodása növeli a bőrrák, a szürkehályog és az élővilág károsodásának kockázatát.

A kutatók hamarosan azonosították a jelenség fő okát: az iparban széles körben alkalmazott klórozott-fluorozott szénhidrogéneket, közismert nevükön a freonokat (CFC-ket), valamint más halogénezett vegyületeket.

Ezeket hűtőgépekben, légkondicionálókban, aeroszolos palackokban és különféle habanyagok gyártásában alkalmazták. A vegyületek rendkívüli stabilitásuk miatt sokáig ártalmatlannak tűntek.

Csakhogy éppen ez a stabilitás jelentette a problémát. A légkörbe kijutva hosszú idő alatt a sztratoszférába kerülhettek, ahol az ultraibolya sugárzás hatására klóratomok szabadultak fel belőlük. Ezek katalitikus reakciókban nagy mennyiségű ózont képesek lebontani.

A veszély tehát nem helyi szennyezésből, hanem az egész bolygót érintő kémiai folyamatból származott.

A montreali jegyzőkönyv – ritka nemzetközi siker

1987-ben az országok elfogadták a montreali jegyzőkönyvet, amely az ózonkárosító anyagok előállításának és felhasználásának fokozatos megszüntetését írta elő.

Az egyezményt később szigorították, a fejlődő országok számára pedig pénzügyi és technológiai támogatást biztosítottak.

Az iparnak új hűtőközegeket, hajtógázokat és gyártási technológiákat kellett kifejlesztenie. Ez komoly költségekkel járt, de a helyettesítő megoldások fokozatosan elterjedtek.

A változás nem egyik napról a másikra következett be. A korábban kibocsátott vegyületek jelentős része évtizedekig a légkörben maradt.

Mégis, néhány évtizeddel később már egyértelműen mérhetővé váltak a kedvező folyamatok.

A WMO és az UNEP helyreállási előrejelzése

2040

Globális átlag

2045

Északi-sark

2066

Antarktisz

Várható visszatérés az 1980 körüli ózonállapothoz, feltételezve az egyezmény további betartását.

csl.noaa.gov+1

A 2025-ös antarktiszi ózonlyuk a NASA és a NOAA értékelése szerint az ötödik legkisebb volt 1992 óta. Az évenkénti ingadozás ugyanakkor továbbra is jelentős, mivel a sztratoszféra hőmérséklete és légköri áramlásai is befolyásolják a jelenséget.

NASA Science

A teljes gyógyulás tehát még évtizedekre van, de az irány kedvező.

Ráadásul a klímaváltozás ellen is tettünk valamit

A történet egyik kevésbé ismert része, hogy a CFC-k rendkívül erős üvegházhatású gázok is.

Kibocsátásuk visszaszorítása ezért nemcsak az ózonréteg pusztulását lassította, hanem jelentős további felmelegedést is megelőzött.

A WMO becslése szerint a montreali jegyzőkönyv az ózonkárosító anyagok korlátozásával a század közepéig körülbelül 0,5–1 °C többletmelegedést kerülhet el egy szélsőséges, korlátozás nélküli kibocsátási forgatókönyvhöz viszonyítva.

Az újabb, ózonbarát HFC-hűtőközegek egy része azonban továbbra is erős üvegházhatású gáz. Ezért született meg 2016-ban a kigali módosítás, amely ezek fokozatos visszaszorítását is előírja.

A környezetvédelem tehát nem fejeződött be egyetlen sikeres intézkedéssel. Az egyik probléma megoldása után figyelni kellett az alkalmazott helyettesítő technológiák új kockázataira.

Miért sikerült az ózonréteget megvédeni?

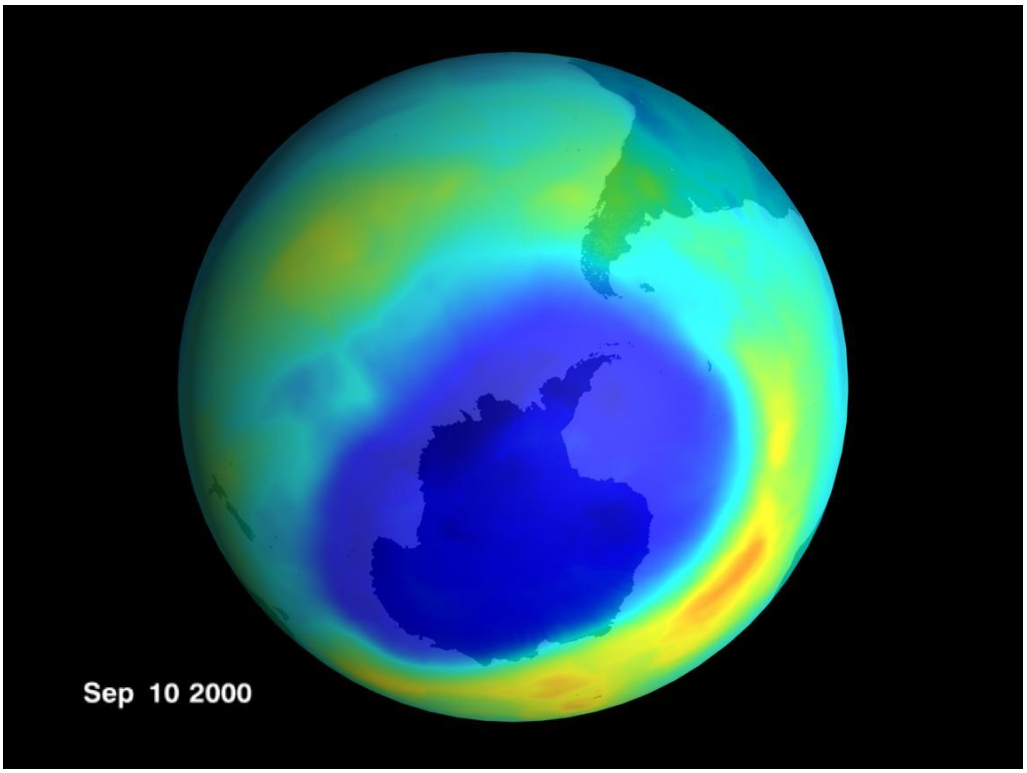
A történet több fontos tanulsággal szolgál.

- A probléma okai viszonylag pontosan azonosíthatók voltak, és az érintett vegyi anyagok köre jól körülhatárolható volt.
- Léteztek vagy kifejleszthetők voltak helyettesítő technológiák.
- Nemzetközi megállapodás született ellenőrizhető kötelezettségekkel.
- A fejlődő országok pénzügyi és technológiai segítséget kaptak az átálláshoz.
- A tudományos mérések lehetővé tették az eredmények folyamatos ellenőrzését.

Az üvegházhatású gázok kibocsátásának csökkentése ennél sokkal összetettebb feladat. A fosszilis energiahordozók ugyanis az egész világgazdaság működésébe beépültek.

Mégis, az ózonréteg története azt bizonyítja, hogy a nemzetközi környezetvédelem képes eredményeket elérni.

A siker nem abból született, hogy a veszély magától elmúlt, hanem abból, hogy az emberiség felismerte az okát, és közösen cselekedett.



299. ábra: A Déli-sark feletti ózonréteg elvékonyodása műholdas adatok alapján. Az ózonlyuk valójában nem fizikai lyuk, hanem az ózonkoncentráció jelentős csökkenése. Forrás: NASA.



300. ábra: A montreali jegyzőkönyv aláírása.

1987-ben megszületett a Montreali Jegyzőkönyv, amely fokozatosan korlátozta, majd nagyrészt megszüntette az ózonkárosító anyagok gyártását és felhasználását.

A megállapodás különlegessége, hogy végül a világ valamennyi országa csatlakozott hozzá. A fejlett és a fejlődő országok eltérő határidőket kaptak, és pénzügyi, illetve technológiai segítséget is biztosítottak az átálláshoz.

Az eredmények mérhetők.

Az ENSZ és a Meteorológiai Világszervezet 2022-es tudományos értékelése szerint az ózonkárosító anyagok szabályozott felhasználásának mintegy 99 százalékát sikerült felszámolni. A jelenlegi előrejelzések alapján az ózonréteg a világ nagy részén körülbelül 2040-re, az Északi-sarkvidéken 2045-re, az Antarktisz fölött pedig 2066 körül térhet vissza az 1980-as állapotához, ha a jelenlegi szabályozás fennmarad.

Az ózonréteg helyreállása tehát még nem fejeződött be, de a folyamat iránya kedvező.

Miért sikerült itt az, ami a klímaváltozás esetében sokkal nehezebben halad?

Az egyik ok a probléma viszonylagos körülhatárolhatósága volt. Meghatározott vegyületcsoportokat kellett kiváltani, és sok alkalmazásban rendelkezésre álltak vagy kifejleszthetők voltak helyettesítő anyagok.

A másik ok az ellenőrizhetőség. Az érintett anyagok termelése és kereskedelme nyomon követhető volt, így a nemzetközi vállalások teljesítését is könnyebb volt vizsgálni.

A harmadik a gazdasági alkalmazkodás lehetősége. Az ipar jelentős része át tudott térni új technológiákra anélkül, hogy a hűtésről vagy a többi érintett szolgáltatásról le kellett volna mondani.

A helyettesítés ugyanakkor új problémákat is teremtett. Egyes alternatív hűtőközegek erős üvegházhatású gázok, ezért a Montreali Jegyzőkönyv 2016-os kigali módosítása már ezek fokozatos visszaszorítását is célul tűzte ki.

Az ózonréteg története talán a legjobb bizonyíték arra, hogy a tudományos felismerés, a nemzetközi politika és az ipari innováció képes együttműködni.

A folyók, amelyek visszakapták az életüket

A folyók szennyezése különösen látványos példája annak, hogy az ipari fejlődés milyen könnyen változtathatja meg a természeti környezetet.

A huszadik század közepére számos európai és amerikai folyó lényegében nyílt szennyvízcsatornává vált. Az ipari üzemek tisztítatlan vegyszereket, a városok kommunális szennyvizet vezettek beléjük. A folyók oxigéntartalma csökkent, a halállományok összeomlottak, és egyes szakaszokon szinte teljesen eltűnt a magasabb rendű vízi élet.

A Temze az 1950-es években London belterületén biológiai szempontból rendkívül leromlott állapotban volt. A vízminőség javulását a szennyvíztisztítás fejlesztése, az ipari kibocsátások korlátozása és a hosszú távú monitoring tette lehetővé.

Ma ismét több mint száz halfaj fordul elő a Temze torkolati rendszerében, és tengeri emlősöket is megfigyelnek a folyóban.





301. ábra: A Temze és a Rajna példája: a vízminőség javulása lehetővé tette számos vízi faj visszatérését, miközben a mikroszennyezők és az élőhelyek átalakulása továbbra is gondot jelentenek.

Hasonló történet játszódott le a Rajnán.

A folyó évtizedeken át Európa egyik legfontosabb ipari szállítási útvonala és egyben az ipari szennyvizek befogadója volt. Az 1986-os svájci Sandoz vegyiüzemi tűz után a Rajnába került szennyező anyagok súlyos ökológiai károkat okoztak.

A katasztrófa nemzetközi intézkedéseket gyorsított fel. A Rajna menti országok közös programokat indítottak a vízminőség javítására, az ipari balesetek megelőzésére és az élővilág helyreállítására.

A lazac, amely a folyó egyes szakaszairól korábban eltűnt, a helyreállítási programoknak köszönhetően ismét megjelent. A természetes szaporodás és az önfenntartó állomány visszaállítása azonban továbbra is kihívás.

A folyók megtisztításának van egy nagyon fontos gazdasági sajátossága. A szennyvíztisztító telepek, a csatornahálózatok és az ipari vízkezelés költséges beruházások, de a tisztább víz közvetlen előnyökkel jár: javítja az ivóvízbázisok biztonságát, a közegészségügyet, a halászatot, az idegenforgalmat és az életminőséget.

A környezetvédelem itt nem pusztán kiadás, hanem hosszú távú közösségi beruházás.

Magyarországon is találunk hasonló példát. A budapesti szennyvíztisztítás fejlődése, különösen a központi szennyvíztisztító 2010-es üzembe helyezése jelentősen csökkentette a Dunába tisztítatlanul kerülő kommunális szennyvíz mennyiségét.

A folyók története ugyanakkor arra is figyelmeztet, hogy egy sikeresen kezelt probléma helyére újabb léphet. A gyógyszermaradványok, a mikroműanyagok, a növényvédő szerek és az ipari eredetű tartós vegyületek egy része a hagyományos szennyvíztisztítás során nem távolítható el teljesen.

A környezetvédelem ezért nem egyszeri feladat, hanem folyamatos alkalmazkodás.

Az erdők visszatérése – és a visszatérés korlátai

Az erdőterületek változása különösen érdekes kérdés, mert első pillantásra ellentmondani látszik a környezetpusztulásról szóló általános képnek.

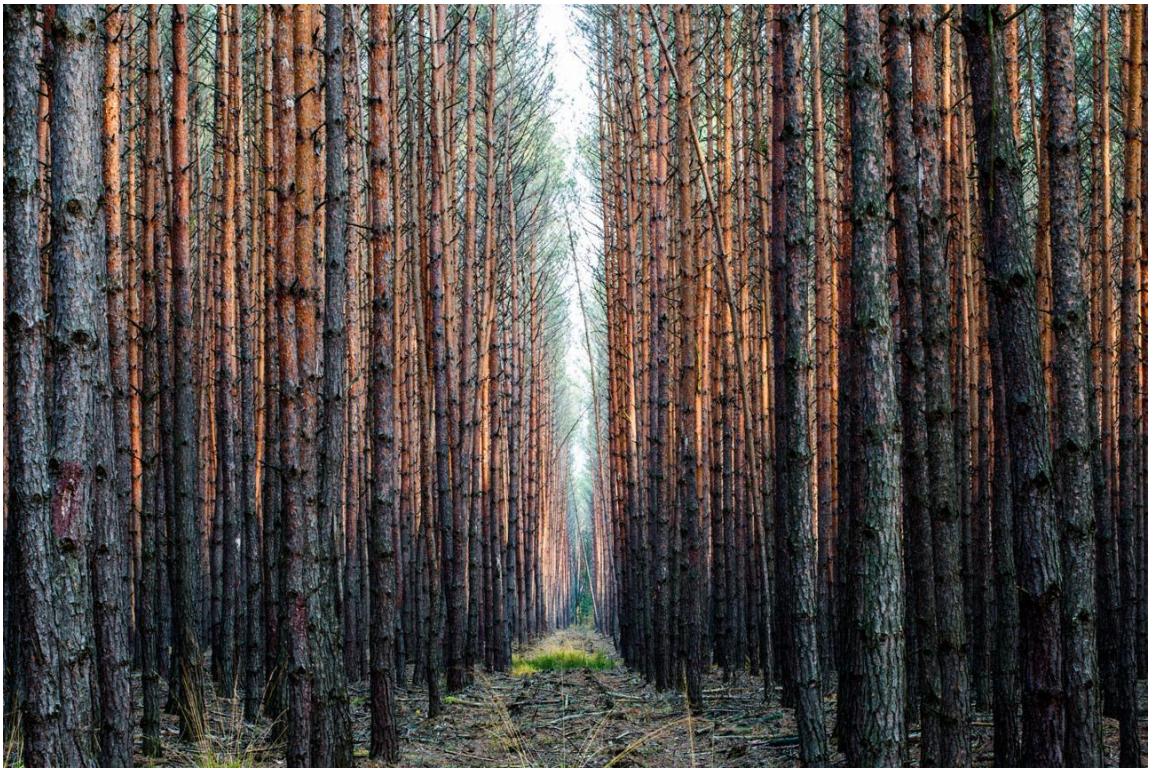
Európa számos országában ma valóban nagyobb területet borít erdő, mint a tizenkilencedik században vagy a huszadik század elején.

Ennek több oka van.

Az ipari forradalom előtt a fa az egyik legfontosabb energiahordozó és építőanyag volt. A háztartások, a kohászat, a hajóépítés és számos iparág hatalmas mennyiségű fát használt fel. A szén, majd később a kőolaj és a földgáz elterjedése csökkentette a tűzifára nehezedő nyomást.

A mezőgazdaság termelékenységének növekedése lehetővé tette, hogy egyes gyengébb adottságú területeken felhagyjanak a műveléssel. Ezek egy része természetes úton erdősült vissza, más részüket tudatosan telepítették be.





302. ábra: Az erdők terjedése többféle folyamat eredménye. A természetes erdőfelújulás, a tudatos erdőtelepítés, az őserdőjellegű állományok és az intenzív faültetvények ökológiai értéke azonban jelentősen különbözhet.

Magyarországon az erdősültség a huszadik század eleji mintegy 12 százalékról napjainkra körülbelül 21 százalékra emelkedett. Ez jelentős eredmény, amely mögött több évtizedes erdőtelepítési és erdőgazdálkodási munka áll.

A számok azonban óvatosságra intenek.

Egy természetes, sokféle fafajból álló, változatos korú erdő ökológiai szempontból nem egyenértékű egy egykorú, néhány évtizedenként kitermelt faültetvénnyel. Az erdőterület növekedése önmagában nem bizonyítja, hogy a biológiai sokféleség is javult.

Az sem hagyható figyelmen kívül, hogy Európa egyes erdőket érintő környezeti terhei részben más kontinensekre kerültek át. A behozott faanyag, takarmány, mezőgazdasági termékek és más áruk előállítása hozzájárulhat a világ más térségeiben zajló erdőirtáshoz.

A globális mérleg ezért kedvezőtlenebb, mint az európai.

A FAO adatai szerint a világ erdőterülete hosszabb távon továbbra is csökken, bár a nettó erdővesztés üteme a korábbi évtizedekhez képest mérséklődött.

A helyreállítás valódi sikere tehát nem pusztán a fák számában vagy az erdőterület nagyságában mérhető. Fontos az élőhelyek minősége, a talaj állapota, a vízháztartás, az őshonos fajok jelenléte és az erdők ellenálló képessége is.

A tanulság: nem minden zöld terület jelent helyreállított természetet.

Mitől működnek a sikeres környezetvédelmi programok?

Ha összehasonlítjuk a londoni szmog, a savas esők, az ózonréteg, a folyók és az erdők történetét, több közös vonást fedezhetünk fel.

A legfontosabb talán az, hogy a sikeres programok nem kizárólag az emberek lelkiismeretére próbáltak hatni. Nem azt kérték, hogy mindenki önként mondjon le valamiről a természet érdekében, hanem megváltoztatták a gazdasági és műszaki működés feltételeit.

A londoni lakosságnak nem kellett lemondania a fűtésről. Más fűtési megoldások terjedtek el. Az iparnak nem kellett megszűnnie a savas esők miatt, hanem csökkentenie kellett a kibocsátását. A hűtőszekrényeket sem kellett betiltani az ózonréteg védelmében: más hűtőközegeket és technológiákat fejlesztettek.

A másik közös vonás a mérhetőség. A kén-dioxid koncentrációja, az ózonkárosító vegyületek mennyisége, a folyók oxigéntartalma és az erdők területe vizsgálható. Az eredményeket össze lehet hasonlítani a korábbi állapotokkal, és megállapítható, hogy a beavatkozások valóban működnek-e.

A harmadik a hosszú távú következetesség. Ezek a programok több évtizeden át tartottak, sokszor különböző politikai irányultságú kormányok alatt. A szabályozás nem minden választás után kezdődött elölről.

A negyedik a nemzetközi együttműködés. A savas eső és az ózonréteg problémáját egyetlen ország sem tudta volna önállóan megoldani.

Végül a gazdasági érdekek szerepe sem elhanyagolható. A környezetvédelmi technológiák új piacokat és iparágakat teremtettek. A szennyvíztisztítás, a füstgázkezelés, a korszerű hűtéstechnika és a környezeti méréstechnika jelentős ipari tevékenységgé fejlődött.

Ez önmagában nem baj. A probléma akkor kezdődik, amikor a környezetvédelem címkéje fontosabbá válik, mint a tényleges környezeti eredmény.

Néhány mérhető eredmény

−85%

Kén-dioxid-kibocsátás EU, 2005–2023

~99%

Ózonkárosító anyagok A szabályozott anyagok globális kivonása

125+

Halfaj a Temzében A folyórendszerben regisztrálva

2040 körül

Ózonréteg helyreállása A világ nagy részén, előrejelzés

Források: Európai Bizottság és EEA, UNEP/WMO, Zoological Society of London.

Miért nehezebb a klímaváltozás problémája?

A korábbi sikerek láttán felmerül a kérdés: ha az ózonréteg megmentésében sikerült nemzetközi megállapodásra jutni, miért nem sikerül hasonló eredményt elérni az éghajlatváltozás ügyében?

A válasz jelentős részben a két probléma eltérő természetében rejlik.

Az ózonkárosító vegyületeket viszonylag jól meghatározható iparágak és termékcsoportok használták. A szén-dioxid-kibocsátás ezzel szemben a modern gazdaság szinte minden területéhez kapcsolódik: az energiatermeléshez, a közlekedéshez, az épületek fűtéséhez, az iparhoz és a mezőgazdasághoz.

A fosszilis energiahordozók nem csupán néhány iparág alapanyagai. Az egész világgazdaság fejlődése évtizedeken át ezekre épült. Ráadásul a kibocsátások csökkentésének költségei és előnyei rendkívül egyenlőtlenül oszlanak meg. Egy szegény ország számára a megbízható és olcsó energiaellátás megteremtése közvetlen fejlődési kérdés. Egy gazdag országban viszont sokszor a már kialakult fogyasztási szokások és gazdasági érdekek megváltoztatásáról van szó.

Az ózonréteg védelménél az ipar viszonylag gyorsan képes volt új anyagokat bevezetni. A fosszilis energiahordozók teljes kiváltása azonban erőművek, hálózatok, gyárak, épületek és járművek tömeges átalakítását igényli.

Van egy további különbség is. A kén-dioxid-kibocsátás visszaszorítása után a levegő minősége viszonylag gyorsan javulhat. A szén-dioxid viszont hosszú időn keresztül befolyásolja a légkör és az óceánok állapotát. A kibocsátás csökkentése ezért nem eredményez azonnali lehűlést. Ez azonban nem jelenti azt, hogy a korábbi környezetvédelmi sikerek tanulságai használhatatlanok lennének.

Éppen ellenkezőleg: megmutatják, hogy a technológiai fejlődés, az ellenőrizhető célok, a kiszámítható szabályozás és a gazdasági ösztönzők együttesen képesek tartós változást előidézni.

A siker legfontosabb feltétele: az érdekek összehangolása

A környezetvédelmi viták gyakran erkölcsi kérdésként jelennek meg. Ki mennyit fogyaszt? Ki mennyire környezettudatos? Ki hajlandó áldozatot hozni a jövőért?

Ezek fontos kérdések, de a történelmi példák alapján a tartós eredményeket ritkán kizárólag az egyéni áldozatvállalás hozta meg. A sikeres programok többnyire akkor működtek, amikor a társadalmi, gazdasági és környezeti érdekeket legalább részben sikerült összehangolni.

A tisztább levegő kevesebb megbetegedést és kisebb egészségügyi kiadást jelent. A tisztább folyók javítják az életminőséget és gazdasági lehetőségeket teremtenek. Az energiahatékonyság csökkentheti a vállalatok és a háztartások költségeit. Az új technológiák fejlesztése munkahelyeket és exportlehetőségeket hozhat létre.

Természetesen nem minden környezetvédelmi intézkedés térül meg gyorsan, és nem minden érintett jár jól vele. Egy szénbánya bezárása például komoly helyi társadalmi veszteségekkel járhat akkor is, ha összességében környezeti előnyöket hoz.

A működő környezetpolitika ezért nem hagyhatja figyelmen kívül az átállás veszteseit sem. A munkavállalók átképzése, a térségek gazdasági támogatása és a megfizethető alternatívák biztosítása nem mellékes szociálpolitikai kérdés, hanem a környezeti programok sikerének egyik feltétele.

A történelem azt is megmutatta, hogy az ipar képes alkalmazkodni a szigorú környezetvédelmi követelményekhez, ha azok kiszámíthatók, műszakilag teljesíthetők és megfelelő időt biztosítanak az átállásra.

Amikor a segítség nem a legsürgetőbb problémára érkezik

Nepál és a klímavédelmi támogatások tanulsága

2026 augusztusában pusztító árhullám söpört végig Nepál több hegyvidéki folyóvölgyén. A jég- és sziklaomlásból kialakult katasztrófa több mint ezer ember életét követelte, és hatalmas károkat okozott az infrastruktúrában.

A tragédia után ismét előtérbe került a kérdés: megfelelő célokra fordítják-e a nemzetközi klímavédelmi támogatásokat?

Nepál jelentős összegeket kapott megújulóenergia-fejlesztésre, villamosenergia-hálózatok korszerűsítésére és különféle alkalmazkodási programokra. Eközben a hegyvidéki árvíz- és földcsuszamlás-veszélyek előrejelzése, valamint a lakosság gyors riasztása továbbra is hiányosságokkal küzdött.

A katasztrófa során egyes településekre olyan gyorsan érkezett meg az árhullám, hogy a menekülésre alig maradt idő. Más, távolabbi területeken azonban az automatikus riasztások, a működő kommunikációs hálózatok és a felkészült helyi közösségek csökkenthették volna az áldozatok számát.

Ez természetesen nem jelenti azt, hogy a napenergia fejlesztése fölösleges lenne Nepálban. A tiszta, megbízható energiaellátás ott is fontos társadalmi és gazdasági cél. A kibocsátáscsökkentés azonban nem helyettesítheti a közvetlen életvédelmi intézkedéseket.

A támogatások valódi értékét ezért nem kizárólag az elköltött pénz, a telepített megawattok vagy az elkerült szén-dioxid-kibocsátás alapján kell megítélni. Azt is vizsgálni kell, hogy az adott beruházás a helyi lakosság legsúlyosabb kockázataira ad-e választ.

A jól megválasztott segítség nem feltétlenül a legkorszerűbb technológia. Néha egy megbízható riasztórendszer és egy begyakorolt menekülési terv többet ér, mint egy látványos fejlesztési beruházás.

Nem kell mindenáron visszaforgatni az időt

A környezetvédelem egyik visszatérő gondolata, hogy vissza kell állítani a természet korábbi állapotát.

Csakhogy felmerül a kérdés: melyik korábbi állapotát?

A természet soha nem volt változatlan. Az erdők területe, a folyók medre, a növény- és állatvilág összetétele az ember megjelenése előtt is folyamatosan változott. Az emberi tevékenység ezt a változást sok helyen felgyorsította, és olyan mértékű terhelést okozott, amelyhez az élővilág már nem tudott alkalmazkodni.

A helyreállítás célja ezért nem feltétlenül egy elképzelt, érintetlen múlt újjáteremtése.

Sokkal inkább olyan környezeti állapot kialakítása, amelyben az ökológiai rendszerek képesek működni, az élővilág változatossága fennmaradhat, és az emberi társadalom is biztonságos körülmények között élhet.

A Temze nem lett újra középkori folyó. London sem vált iparosodás előtti várossá. Az európai erdők jelentős része sem azonos a több száz évvel ezelőtti erdőségekkel.

Mégis történtek valódi, mérhető javulások.

Ez fontos különbség. A környezetvédelemnek nem feltétlenül a fejlődés visszafordítására, hanem a káros következmények csökkentésére és az életfeltételek megőrzésére kell törekednie.

A remény nem helyettesíti a cselekvést

A londoni szmog, a savas esők, az ózonréteg és a folyók története azt bizonyítja, hogy a környezeti károsodás nem minden esetben visszafordíthatatlan.

Ugyanakkor egyik történet sem arról szól, hogy a természet magától helyrehozott mindent, vagy hogy az emberiség egyetlen nagy elhatározással megoldotta a problémát.

A változáshoz tudományos kutatás, társadalmi nyomás, politikai döntés, műszaki fejlesztés, jelentős beruházás és sokszor több évtizedes kitartás kellett.

A sikerek másik tanulsága, hogy a környezetvédelem nem feltétlenül áll szemben a gazdasági fejlődéssel. A jól megválasztott intézkedések a társadalom egészének hasznára válhatnak, miközben új technológiákat és gazdasági lehetőségeket teremtenek.

Nem minden probléma oldható meg ugyanolyan könnyen. A globális éghajlatváltozás, a biológiai sokféleség csökkenése és az óceánok állapotának romlása sokkal összetettebb kihívások, mint egy meghatározott ipari szennyező anyag kiváltása.

De az eddigi eredmények alapján a teljes tehetetlenség gondolata sem indokolt.

Az emberiség már többször bebizonyította, hogy képes felismerni saját tevékenységének káros következményeit, és képes változtatni a működésén.

A kérdés nem egyszerűen az, hogy rendelkezünk-e ehhez elegendő tudással és technológiával.

Hanem az, hogy képesek vagyunk-e időben felismerni, mikor kerülnek rövid távú érdekeink szembe a hosszú távú fennmaradásunk feltételeivel – és hajlandók vagyunk-e ennek megfelelően cselekedni.

38. Felkészülés egy változó világra

Az emberiség története az alkalmazkodás története is. Őseink megtanultak túlélni a jégkorszakok hidegében, a sivatagok szárazságában, a trópusi esőerdők párás melegében és a magashegységek ritka levegőjében. Városokat építettünk folyók mellé, gátakkal szabályoztuk a vizeket, öntözőrendszerekkel termővé tettük a száraz területeket, és olyan technológiákat fejlesztettünk, amelyek segítségével korábban lakhatatlannak tartott vidékeken is megtelepedhettünk.

Most azonban új helyzet előtt állunk.

Az éghajlatváltozás nem egyetlen, jól körülhatárolható környezeti problémát jelent. Egyszerre változtatja meg a víz körforgását, a mezőgazdaság feltételeit, a tengerek szintjét, a szélsőséges időjárási események kockázatát és az emberi egészséget érő terhelést.

Még ha sikerülne is gyorsan és jelentősen csökkenteni az üvegházhatású gázok kibocsátását, a korábban kibocsátott gázok és a klímarendszer lassú alkalmazkodása miatt egyes változások még évtizedekig, sőt évszázadokig éreztetnék hatásukat.

Ezért a környezetvédelemnek két, egymást kiegészítő feladata van. Az egyik a káros környezeti hatások mérséklése. A másik a már bekövetkezett és a jövőben várható változásokhoz való alkalmazkodás.

Az utóbbi nem jelent beletörődést. Nem arról van szó, hogy lemondunk az éghajlatváltozás mérsékléséről. Éppen ellenkezőleg: miközben igyekszünk csökkenteni a veszélyeket, fel kell készülnünk azokra is, amelyeket már nem tudunk teljesen elkerülni.

Az Európai Környezetvédelmi Ügynökség 2024-es értékelése 36 jelentős éghajlati kockázatot azonosított Európában. Ezek az élelmiszer- és vízbiztonságot, az energiaellátást, az infrastruktúrát, a pénzügyi rendszert és az emberi egészséget egyaránt érintik.

A kérdés tehát nem pusztán az, hogy mennyivel lesz melegebb a Föld.

Hanem az, hogy milyen világot építünk egy olyan éghajlatra, amely már nem úgy működik, mint amit korábban megszoktunk.

Amikor az alkalmazkodás állami feladattá válik

A klímaváltozás elleni küzdelem évtizedeken keresztül elsősorban a megelőzésről szólt. Nemzetközi konferenciák, kibocsátáscsökkentési vállalások, megújuló energiaforrások és szigorodó környezetvédelmi szabályok próbálták lassítani a globális felmelegedést. Eközben azonban egyre nyilvánvalóbbá vált, hogy az éghajlatváltozás következményei már nem csupán a távoli jövőben jelentkeznek.

A hőhullámok, aszályok, árvizek és erdőtüzek ma is emberéleteket követelnek, épületeket és infrastruktúrát pusztítanak, veszélyeztetik a mezőgazdasági termelést, és egyre nagyobb gazdasági károkat okoznak.

2026. október 27-én az Európai Bizottság új klímaalkalmazkodási keretrendszert mutatott be. A kezdeményezés jelentősége nem abban áll, hogy korábban ne foglalkoztak volna az alkalmazkodással, hanem abban, hogy azt az európai gazdasági és társadalmi tervezés egészébe kívánja beépíteni.

A javaslat szerint a tagállamoknak olyan éghajlati kockázatokra is fel kell készülniük, amelyek a jelenlegi kibocsátási folyamatok mellett reálisan bekövetkezhetnek. A közös tervezési forgatókönyv 2030-ra 1,5 °C-os, 2050-re 2 °C-os, 2100-ra pedig 3 °C-os globális felmelegedéssel számol az iparosodás előtti időszakhoz képest.

Ez természetesen nem jelenti a párizsi klímacélok hivatalos feladását. A kibocsátás csökkentése továbbra is alapvető feladat. Ugyanakkor a döntéshozók egyre inkább felismerik, hogy a kívánatos jövő és a lehetséges jövő nem feltétlenül azonos. Az államoknak pedig nemcsak arra kell terveket készíteniük, amit szeretnének elérni, hanem arra is, ami ténylegesen bekövetkezhet.

A gazdasági indokok különösen nyomósak. Az Európai Bizottság becslése szerint 2022 és 2025 között az éghajlati eredetű károk éves átlagban mintegy 50 milliárd euró veszteséget okoztak az Európai Unióban. A megfelelő alkalmazkodáshoz évente körülbelül 70 milliárd euró beruházásra lehet szükség.

Ez hatalmas összeg, de a megelőző beruházások sok esetben többszörösen megtérülhetnek. Egy időben megépített árvízvédelmi rendszer, egy városi hőségcsökkentési program vagy egy korszerűsített vízgazdálkodási hálózat lényegesen kisebb költséggel járhat, mint a későbbi károk helyreállítása.

Az alkalmazkodás ugyanakkor nem kizárólag műszaki kérdés.

Magyarországon például egyre sürgetőbb feladat a csapadékvíz visszatartása, a talaj vízkészletének megőrzése, a mezőgazdaság szárazságtűrőbbé tétele és a települések nyári túlmelegedésének mérséklése. A városokban több árnyékot adó fára, átgondoltabb építkezésre, megfelelő hűtési lehetőségekre és a veszélyeztetett lakosság védelmére van szükség.

Különösen fontos az egészségügyi és szociális intézmények felkészítése. A hőhullámok elsősorban az időseket, a krónikus betegeket és a megfelelően hűthető lakással nem rendelkezőket veszélyeztetik. A légkondicionálás ezért bizonyos esetekben már nem kényelmi szolgáltatás, hanem az egészségvédelem eszköze.

A 2026-os uniós kezdeményezés hőhullámok elleni tervet, az éghajlati károk biztosításának fejlesztését, a vízgazdálkodás megerősítését és a legveszélyeztetettebb európai térségek azonosítását is előirányozza. A Bizottság emellett azt javasolja, hogy a tagállamok rendszeresen értékeljék az éghajlati kockázatokat, és készítsenek nemzeti alkalmazkodási terveket.

A tervek megvalósítása azonban újabb kérdést vet fel: **ki fizeti meg az alkalmazkodás árát?**

Egy árvízvédelmi beruházást finanszírozhat az állam, de egy családi ház viharkár elleni megerősítése már gyakran a tulajdonosra hárul. A mezőgazdasági öntözőrendszerek fejlesztése jelentős beruházást igényel, miközben a kisebb gazdaságoknak erre sokszor nincs elegendő forrásuk. A biztosítók a növekvő kockázatok miatt magasabb díjakat szabhatnak meg, vagy bizonyos károkra korlátozhatják a fedezetet.

Így könnyen előállhat az a helyzet, hogy a tehetősebbek képesek alkalmazkodni, míg a szegényebbek viselik a legnagyobb veszteségeket.

A klímaalkalmazkodás ezért társadalmi igazságossági kérdés is. Nem lehet kizárólag az egyénekre hárítani az olyan kockázatokat, amelyek kialakulásához az egész gazdasági rendszer hozzájárult.

Az új európai keretrendszer egyik gyenge pontja éppen a finanszírozás. Bár a Bizottság számszerűsítette a szükséges beruházások nagyságrendjét, a kezdeményezés egyelőre nem teremtett ehhez önálló, megfelelő méretű pénzügyi alapot. A javasolt szabályozást ráadásul az Európai Parlamentnek és a Tanácsnak is el kell fogadnia.

A felismeréstől a tényleges megvalósításig tehát még hosszú út vezet.

Mindazonáltal az európai kezdeményezés fontos szemléletváltást jelez. A klímaváltozáshoz való alkalmazkodás nem a kibocsátáscsökkentés alternatívája, hanem annak elengedhetetlen kiegészítője.

A kibocsátáscsökkentéssel a jövő veszteségeit próbáljuk mérsékelni. Az alkalmazkodással a már elkerülhetetlenné váló károkat igyekszünk csökkenteni.

A kettő közül egyikről sem mondhatunk le.

Az alkalmazkodás nem a kudarc beismerése, hanem a felelős kockázatkezelés része. A valódi kérdés többé nem az, hogy szükség lesz-e rá, hanem az, hogy időben kezdjük-e el, és képesek leszünk-e a költségeit igazságosan megosztani.

Források:

- Európai Bizottság – Új európai klímaalkalmazkodási keretrendszer, 2026. október 27.
- Európai Bizottság – Gazdasági károk, beruházási igények és tervezett intézkedések
- Telex – A párizsi klímacél duplájával számolnak az EU-ban, 2026. október 27.

A víz: amikor ugyanaz az ország egyszerre küzd árvízzel és aszállyal

A vízbiztonság a huszonegyedik század egyik meghatározó kérdésévé válhat.

Első pillantásra különös ellentmondásnak tűnik, hogy az éghajlatváltozás egyszerre növelheti az árvizek és az aszályok veszélyét. Pedig a két jelenség szorosan összefügg.

A melegebb légkör több vízgőzt képes tárolni, és bizonyos körülmények között intenzívebb csapadékot eredményezhet. Ugyanakkor a magasabb hőmérséklet fokozza a párolgást, kiszárítja a talajt, és növeli a növényzet vízigényét.

Így előfordulhat, hogy egy térségben az éves csapadékmennyiség alig változik, mégis egyre súlyosabb vízgazdálkodási problémák jelentkeznek. A korábban viszonylag egyenletesen érkező eső helyett hosszú száraz időszakok és rövid, intenzív zivatarok váltják egymást.

A lezúduló víz jelentős része ilyenkor gyorsan elfolyik, különösen a kiszáradt, tömörödött vagy burkolt felszínekről. A talaj és a felszín alatti vízkészletek utánpótlása elmaradhat attól, amit a lehullott csapadék mennyisége alapján várnánk.

Magyarország számára ez különösen fontos kérdés.

A Kárpát-medence vízgazdálkodását történelmileg a folyók szabályozása, az árvízvédelem és a belvízelvezetés alakította. A tizenkilencedik század nagy folyószabályozásai nélkül a mai település- és mezőgazdasági szerkezet jelentős része nem alakulhatott volna ki.

Csakhogy ami egykor elsősorban a túl sok víz elleni védekezést szolgálta, az a gyakoribb aszályok idején már nem mindig megfelelő.

A mai feladat egyre inkább kettős: az árvizeket biztonságosan levezetni, miközben a felesleges víz egy részét ott és akkor visszatartjuk, ahol ez nem okoz elfogadhatatlan kockázatot.







303. ábra: A magyar vízgazdálkodás három arca: aszály, árvíz és vízvisszatartás. A jövő egyik kulcskérdése, hogyan lehet a gyors vízelvezetésre kialakított rendszereket a víz megőrzésére is alkalmassá tenni.

A vízvisszatartás eszközei között megtalálhatók a tározók, a helyreállított vizes élőhelyek, az időszakosan elárasztható területek, valamint a talaj vízbefogadó képességét javító mezőgazdasági módszerek.

Nem minden vízvisszatartási megoldás hasznos mindenhol. Egy rosszul megtervezett tározó növelheti a párolgási veszteséget, ökológiai károkat okozhat, vagy éppen a szomszédos területek vízellátását ronthatja. Az eredményes beavatkozásokhoz helyi vízföldtani adatokra és hosszú távú tervezésre van szükség.

A mezőgazdasági öntözés bővítése ugyancsak csak a rendelkezésre álló vízkészletek figyelembevételével lehet fenntartható. Ha az öntözést túlzott felszín alatti vízkivételre alapozzuk, a rövid távú termésbiztonságért hosszú távú vízhiánnyal fizethetünk.

Szingapúr: ahol a szennyvízből ismét ivóvíz lehet

A világ egyik legérdekesebb vízgazdálkodási példája Szingapúr.

A rendkívül sűrűn lakott városállam korlátozott természetes édesvízkészlettel rendelkezik. A vízellátás biztonsága ezért már évtizedekkel ezelőtt stratégiai kérdéssé vált.

Szingapúr nem egyetlen megoldásra épített. Csapadékgyűjtő rendszereket, importált vizet, tengervíz-sótalanítást és nagy tisztaságú újrahasznosított vizet kombináló rendszert hozott létre.

A NEWater néven ismert technológia során a már megtisztított szennyvizet további membránszűrésnek, fordított ozmózisnak és fertőtlenítésnek vetik alá. Az így előállított víz rendkívül nagy tisztaságú, és elsősorban ipari felhasználásra, valamint megfelelő kezelési és ellenőrzési lépésekkel az ivóvízellátás kiegészítésére szolgál.





304. ábra: A szingapúri NEWater-rendszer és a Marina Barrage víztározó. A városállam a víz újrahasznosításával, tározásával és sótalanításával több lábon álló vízellátást alakított ki.

A példa azért érdekes, mert megmutatja: a vízhasználat nem feltétlenül egyszeri folyamat. A megfelelő technológiával és ellenőrzéssel a szennyvíz újra értékes erőforrássá válhat.

A megoldásnak azonban ára van.

A fejlett víztisztítás és különösen a tengervíz sótalanítása jelentős energiaigénnyel, beruházási és üzemeltetési költségekkel jár. A membránok karbantartása, a visszamaradó koncentrátumok kezelése és az energiaellátás biztonsága mind fontos feltétel.

Szingapúr tapasztalata ezért nem azt bizonyítja, hogy a vízhiány bárhol könnyedén megszüntethető. Azt mutatja meg, hogy a megfelelő gazdasági háttérrel, infrastruktúrával és hosszú távú tervezéssel a vízellátás kockázatai jelentősen csökkenthetők.

Élelmiszer-termelés egy bizonytalanabb éghajlaton

A mezőgazdaság különösen érzékeny az éghajlat változására, mert a termelés jelentős része közvetlenül függ a hőmérséklettől, a csapadéktól és a talaj állapotától.

A magasabb szén-dioxid-koncentráció bizonyos körülmények között serkentheti egyes növények növekedését. A melegebb éghajlat pedig a magasabb szélességi körökön meghosszabbíthatja a tenyészidőszakot.

Ezek a lehetséges előnyök azonban nem általánosak. A hőstressz, a vízhiány, a kártevők terjedése, a szélsőséges csapadék és a talajromlás sok térségben ellensúlyozhatja vagy

meghaladhatja őket. A szén-dioxid növekedése ráadásul egyes növények tápanyagtartalmát is kedvezőtlenül befolyásolhatja.

A mezőgazdaságnak ezért nem csupán több terményt kell előállítania, hanem ellenállóbbá kell válnia.

Az egyik lehetőség a szárazságot és hőséget jobban tűrő növényfajták nemesítése. Ebben a hagyományos növénynemesítés mellett a genomikai módszerek és bizonyos génszerkesztési technológiák is szerepet kaphatnak.

A másik az alkalmazkodó termesztéstechnológia: a vetésidő módosítása, a növényi kultúrák diverzifikálása, a talajtakarás, a szervesanyag-tartalom megőrzése és a talajszerkezet javítása.

A harmadik a precíziós gazdálkodás.







305. ábra: A mezőgazdasági alkalmazkodás különböző útjai: precíziós növénytermesztés, célzott öntözés, ellenőrzött környezetű termesztés és a növényzet változatosságát növelő gazdálkodás.

A műholdak, drónok és talajszenzorok segítségével a gazdálkodó pontosabb képet kaphat arról, hogy a tábla mely részein van szükség vízre, tápanyagra vagy növényvédelmi beavatkozásra.

A változó adottságú területeket nem feltétlenül kell azonos módon kezelni. Ez csökkentheti a felhasznált víz, műtrágya és növényvédő szer mennyiségét, miközben javíthatja a gazdaság eredményességét.

A technológia azonban itt sem csodaszer. A korszerű gépek és adatfeldolgozó rendszerek drágák, az apró gazdaságok számára nehezen elérhetők lehetnek, és a mérési adatok sem mindig megbízhatók.

Egy másik lehetőség a zárt, ellenőrzött környezetű termesztés, amelyben a hőmérséklet, a megvilágítás, a vízellátás és a tápanyagok pontosan szabályozhatók.

Az üvegházak és hidropóniás rendszerek egyes növényeknél jelentős vízmegtakarítást tehetnek lehetővé. A teljesen mesterséges megvilágítású vertikális farmok energiaigénye viszont magas, így különösen fontos, hogy milyen terméket, hol és milyen energiaforrással állítanak elő.

A gabonafélék globális termelését belátható időn belül aligha lehet gazdaságosan többszintes, mesterségesen megvilágított épületekbe költöztetni.

A jövő mezőgazdasága valószínűleg nem egyetlen új technológiára épül majd, hanem különböző módszerek alkalmazkodó kombinációjára.

Az élelmiszerbiztonság ráadásul nem azonos a termelés mennyiségével.

A világ elegendő élelmiszert termelhet, miközben emberek százmilliói mégis éheznek, mert nem tudják azt megfizetni, vagy mert háborúk, szállítási zavarok, politikai válságok akadályozzák az ellátást.

A biztonságos élelmiszer-rendszerhez ezért nemcsak termelés, hanem tárolás, feldolgozás, kereskedelem és megfelelő vásárlóerő is szükséges.

Az infrastruktúra, amelynek akkor is működnie kell, amikor baj van

A modern társadalom működése egymással szorosan összekapcsolt infrastruktúráktól függ.

Az elektromos hálózat biztosítja a vízellátó szivattyúk, a szennyvíztisztítók, a kommunikációs rendszerek, a kórházak és az ipari üzemek működését. A közlekedési hálózatok szállítják az élelmiszert, az üzemanyagot és az alapanyagokat. A digitális rendszerek pedig ezek irányításában egyre fontosabb szerepet játszanak.

Ennek a fejlettségnek van egy kevésbé látványos következménye: a rendszerek egymásra utaltsága.

Egy árvíz miatt kieső elektromos alállomás nemcsak az áramellátást szakíthatja meg. Leállhatnak a vízszivattyúk, megszűnhetnek egyes kommunikációs kapcsolatok, és zavart szenvedhet a közlekedés is.

Az ellenálló infrastruktúra ezért nem egyszerűen erősebb hidakat vagy magasabb gátakat jelent.

Olyan rendszerekre van szükség, amelyek egyes elemek kiesése esetén is képesek fenntartani a legfontosabb szolgáltatásokat.







306. ábra: Az ellenálló infrastruktúra lehetőségei: a veszélyeztetett berendezések védelme, tartalék energiaellátás, árvízhez alkalmazkodó építészet és helyi energiarendszerek.

Ennek egyik eszköze a redundancia, vagyis a tartalék kapacitások kialakítása. Ha egy kórház egyetlen elektromos betáplálási pontra támaszkodik, sérülékenyebb, mint ha több független ellátási lehetőséggel és megfelelően karbantartott tartalék áramforrással rendelkezik.

A helyi energiatárolás és a szigetüzemre alkalmas mikrohálózatok bizonyos körülmények között csökkenthetik a nagy hálózatok hibáiból eredő kieséseket. Ugyanakkor a napelem önmagában nem jelent áramszünet esetén is működő ellátást: ehhez megfelelő inverter, szabályozás és sok esetben akkumulátor vagy más tartalék energiaforrás szükséges.

A másik eszköz a fizikai védelem. Az árvízveszélyes területeken a kritikus berendezéseket magasabb szintre lehet telepíteni. A hőhullámoknak kitett vasúti pályák és elektromos rendszerek tervezésénél figyelembe kell venni a magasabb üzemi hőmérsékleteket.

A harmadik a gyors helyreállítás képessége. Egy rendszer ellenálló képességét nemcsak az mutatja, hogy mekkora terhelést bír el, hanem az is, hogy egy meghibásodás után milyen gyorsan képes újra működni.

A legfontosabb változás azonban a tervezési szemléletben szükséges.

A korábbi évtizedekben az infrastruktúrát többnyire múltbeli időjárási adatok alapján méretezték. Ha egy csapadékesemény statisztikailag százévente fordult elő, annak valószínűségét viszonylag állandónak tekintették.

A változó éghajlatban ez a feltételezés egyre kevésbé biztonságos.

Egy új hídnak, csatornahálózatnak vagy erőműnek évtizedekig kell működnie. Ezért nemcsak a mai éghajlatra, hanem a várható jövőbeli terhelésekre is fel kell készíteni.

A városok, amelyek megtanulnak együtt élni a vízzel

A városok különösen sérülékenyek, mert nagy népességet, jelentős vagyont és összetett infrastruktúrát koncentrálnak viszonylag kis területre.

A burkolt felszínek gyorsítják a csapadék lefolyását, az épületek és az aszfalt pedig nappal felmelegszenek, éjszaka lassan adják le a hőt. Így jön létre a városi hősziget jelensége, amely hőhullámok idején különösen veszélyes.

A hagyományos városépítés sokáig arra törekedett, hogy az esővizet a lehető leggyorsabban elvezesse.

Ma egyre több városban más szemlélet terjed: a víz egy részét helyben kell megtartani, késleltetni vagy biztonságosan átvezetni olyan területeken, ahol nem okoz jelentős kárt.

Rotterdamban például olyan köztereket alakítottak ki, amelyek száraz időben sportolásra és pihenésre használhatók, nagy esőzések idején viszont ideiglenes víztározóként működnek.





307. ábra: Rotterdam vízgyűjtő köztere és Koppenhága esővízhez alkalmazkodó városi zöldfelületei. A közterek nemcsak a mindennapi életet szolgálják, hanem szélsőséges csapadék idején a vízkárok mérséklésében is részt vehetnek.

Koppenhágában a 2011-es rendkívüli felhőszakadás után átfogó alkalmazkodási program indult. Az utcák, parkok és vízelvezető rendszerek egy részét úgy tervezik át, hogy a szélsőséges csapadékot szabályozott módon vezessék el vagy ideiglenesen tárolják.

A megoldások között megtalálhatók a vízbefogadó zöldfelületek, a mélyebben fekvő parkok, az esőkertek és a speciálisan kialakított utcák.

Ezek előnye, hogy nem kizárólag katasztrófahelyzetben hasznosak.

A fák árnyékot adnak, a növényzet javítja a városi mikroklímát, a zöldterületek rekreációs lehetőségeket biztosítanak, és hozzájárulhatnak a biológiai sokféleség fenntartásához.

A városi alkalmazkodásban ezért egyre fontosabb a természetalapú megoldások szerepe.

A fák és parkok azonban nem helyettesítik minden esetben a műszaki infrastruktúrát. Egy rendkívüli felhőszakadásnál továbbra is szükség lehet csatornákra, tározókra, szivattyúkra és árvízvédelmi létesítményekre.

A legjobb eredményt gyakran a természetes és a műszaki rendszerek összehangolása adja.

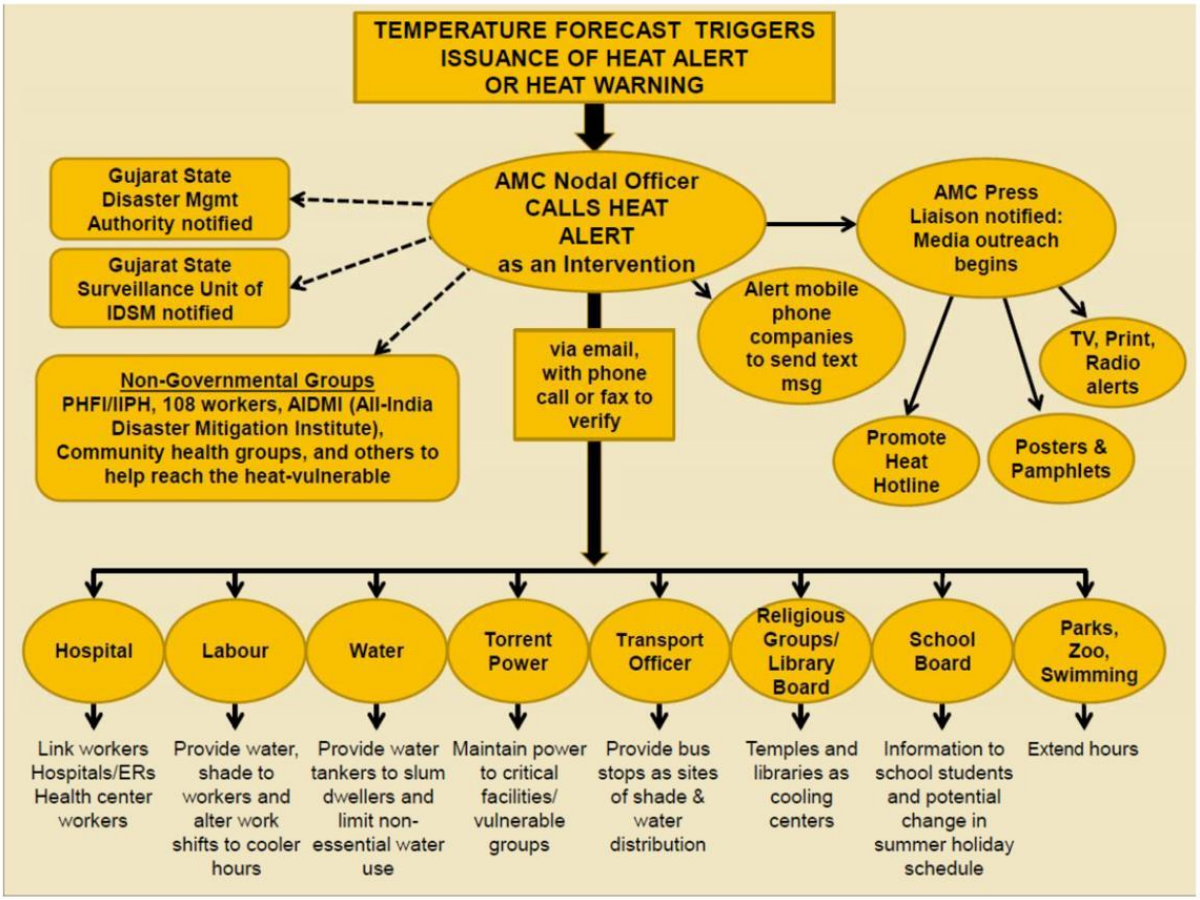
Amikor a hőség közegészségügyi kérdéssé válik

A nagyvárosi hőhullámok nem egyszerűen kellemetlen időjárási események.

Az idősek, a krónikus betegek, a kisgyermekek és a szabadban dolgozók különösen veszélyeztetettek. A meleg éjszakák megakadályozhatják a szervezet regenerálódását, a tartós hőterhelés pedig növelheti a szív- és érrendszeri, valamint egyéb egészségügyi problémák kockázatát.

Az alkalmazkodás egyik legolcsóbb és leggyorsabban bevezethető eszköze a hőségriasztási rendszer.

Az indiai Ahmadábád 2013-ban az ország egyik első átfogó városi hőségvédelmi tervét vezette be. A program előrejelzésekre, lakossági tájékoztatásra, az egészségügyi dolgozók felkészítésére és a veszélyeztetettek védelmére épült.







308. ábra: A hőség elleni védekezés több eszköze: korai figyelmeztetés, árnyékolás, hővisszaverő tetők és hozzáférhető ivóvíz. A hatékonyságot a helyi éghajlat, az épületállomány és a lakosság sérülékenysége határozza meg.

A városi hőség mérséklésére számos más lehetőség is rendelkezésre áll.

A világosabb, napsugárzást jobban visszaverő tetőburkolatok csökkenthetik az épületek felmelegedését. Az árnyékolás és a megfelelő szigetelés mérsékelheti a hűtési energiaigényt. A fásítás javíthatja a gyalogosok hőérzetét.

A légkondicionálás sok esetben életmentő lehet, de széles körű alkalmazása növeli az elektromos hálózat terhelését, és a berendezések hulladékhője helyben tovább fokozhatja a felmelegedést.

A jövő városának ezért nem elegendő több légkondicionálót telepítenie. Elsősorban olyan épületeket és köztereket kell kialakítania, amelyek eleve kevésbé melegszenek fel.

Különösen fontos az alkalmazkodás társadalmi oldala.

Egy jól szigetelt, árnyékos, korszerű épületben lakó ember sokkal könnyebben védekezhet a hőség ellen, mint egy rosszul szigetelt, túlzsúfolt lakásban élő, alacsony jövedelmű család.

Az éghajlati kockázat tehát nemcsak természeti, hanem szociális kérdés is.

A mesterséges intelligencia: előbb tudhatjuk meg, hol lesz baj

A környezeti alkalmazkodás egyik legígéretesebb új eszköze a mesterséges intelligencia.

A klímakutatás és az időjárás-előrejelzés már évtizedek óta hatalmas számítási kapacitást igényel. A műholdak, meteorológiai állomások, óceáni mérőhálózatok és földi érzékelők naponta óriási mennyiségű adatot szolgáltatnak.

A hagyományos számítógépes modellek fizikai törvények alapján számítják ki a légkör és az óceánok várható állapotát. A mesterséges intelligencia ezzel szemben az adatokban rejlő összefüggéseket is képes felismerni, és bizonyos feladatokban gyorsabb vagy pontosabb előrejelzéseket készíthet.

A két megközelítés nem feltétlenül versenytársa egymásnak. Egyre több kutatás foglalkozik olyan hibrid rendszerekkel, amelyek egyesítik a fizikai modellek és a gépi tanulás előnyeit.

A Google által fejlesztett Flood Hub például mesterséges intelligenciát alkalmaz folyami árvizek előrejelzésére. A 2024-ben a Nature folyóiratban ismertetett rendszer olyan vízgyűjtő területeken is képes volt többnapos előrejelzéseket készíteni, ahol kevés közvetlen vízhozammérés állt rendelkezésre.

A 2025-ben bemutatott továbbfejlesztett változat előrejelzései már több mint 150 ország egyes térségeire terjedtek ki.

Az árvízi előrejelzés új eszközei: mesterséges intelligenciával támogatott modellek, európai előrejelző rendszerek, szuperszámítógépek és műholdas megfigyelések.

A mesterséges intelligencia más területeken is segítheti az alkalmazkodást.

A mezőgazdaságban a műholdfelvételek és meteorológiai adatok elemzésével korábban felismerhetők lehetnek a növényállomány stresszének jelei. A vízgazdálkodásban az előrejelzések támogathatják a tározók üzemeltetését és az öntözési döntéseket. A villamosenergia-hálózatokban a fogyasztás és a megújuló termelés előrejelzése javíthatja a rendszer működését.

Az egészségügyben pedig a hőmérséklet, a páratartalom és a népesség sérülékenységének együttes vizsgálata segíthet azonosítani azokat a városrészeket, ahol a hőhullámok a legnagyobb veszélyt jelentik.

Mindezek mellett azonban fontos korlátokat is figyelembe venni.

Az AI nem rendelkezik tévedhetetlen előrelátással. A ritka, szélsőséges eseményekről eleve kevés tanulási adat áll rendelkezésre, miközben éppen ezek okozhatják a legsúlyosabb károkat.

A 2026-ban publikált kutatások is azt mutatják, hogy az AI-alapú árvízi előrejelző rendszerek teljesítménye térségenként és eseménytípusonként eltérő lehet. Egyes összehasonlító vizsgálatok ígéretes eredményeket találtak, más elemzések viszont a téves riasztások és az elmulasztott veszélyjelzések kockázatára hívták fel a figyelmet.

A legfontosabb kérdés ezért nem az, hogy az AI képes-e előrejelzést készíteni, hanem az, hogy az előrejelzés mennyire megbízható, ellenőrizhető és felhasználható.

Egy téves árvízriasztás felesleges kitelepítést és gazdasági károkat okozhat. Egy elmaradt figyelmeztetés viszont emberéletekbe kerülhet.

A döntésekért ezért továbbra is az előrejelző és katasztrófavédelmi intézményeknek kell felelősséget vállalniuk.

Van még egy kevésbé látványos összefüggés. A mesterséges intelligencia működtetése maga is energiát, vizet és nyersanyagokat igényel. Egy környezeti célú AI-rendszer hasznosságát tehát nem csupán az általa nyújtott előnyök, hanem a saját erőforrásigénye alapján is értékelni kell.

A legjobb technológia nem feltétlenül a legnagyobb és legösszetettebb modell. Sokszor egy egyszerű, megbízható mérőrendszer és egy jól megszervezett riasztási lánc többet ér.

Az AI új lehetőségeket adhat a felkészüléshez, de a felelős döntést és a cselekvést nem helyettesítheti.

Amikor az előrejelzés valóban életeket ment

Banglades a világ egyik legveszélyeztetettebb országának számít a trópusi ciklonok szempontjából.

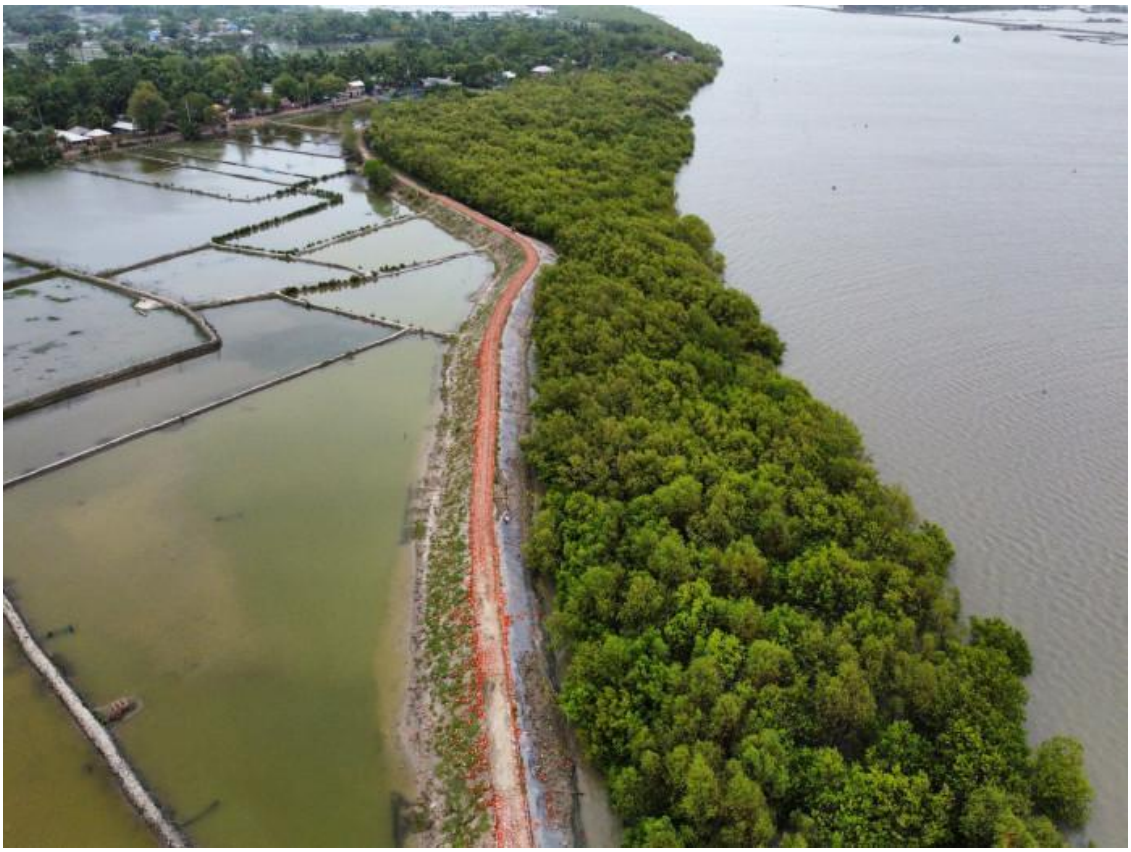
A Bengáli-öböl partvidékén gyakran alacsonyan fekvő, sűrűn lakott területeket érnek el a viharok. A szél mellett a vihardagály és az áradás jelenti a legnagyobb veszélyt.

1970 novemberében a Bhola-ciklon becslések szerint 300–500 ezer ember életét követelte a mai Banglades területén.

Az ország a következő évtizedekben nagyszabású katasztrófavédelmi rendszert fejlesztett ki. Ciklonbiztos menedékhelyeket építettek, önkéntes figyelmeztető hálózatokat szerveztek, javították a meteorológiai előrejelzéseket és a lakosság felkészítését.







309. ábra: Banglades partvidéki alkalmazkodása: viharálló menedékhelyek, közösségi riasztás és védelmi infrastruktúra. A technológiai előrejelzés akkor menthet életeket, ha a lakosság valóban elérhető és van hová menekülnie.

A halálos áldozatok száma a későbbi, nagy erejű ciklonok során nagyságrendekkel alacsonyabb volt. A 2007-es Sidr-ciklon például mintegy 3500 ember halálát okozta. A viharok erőssége és az érintett területek azonban eltérnek, ezért az egyes események áldozatszáma közvetlenül nem hasonlítható össze.

A hosszú távú csökkenésben az előrejelzések, a védett menedékhelyek, a tájékoztatás és a szervezett kitelepítés egyaránt jelentős szerepet játszottak.

Banglades példája különösen fontos, mert nem egy gazdag ország drága technológiai beruházásáról van szó.

A rendszer sikerének alapja részben az volt, hogy a modern előrejelzést összekapcsolták a helyi közösségek szervezettségével.

A műhold jelezheti a közeledő ciklont, de nem tudja önmagában biztonságba vinni az embereket.

Ehhez működő intézményekre, képzett önkéntesekre, közlekedési lehetőségekre és a lakosság bizalmára van szükség.

Ki felel az alkalmazkodásért?

A környezeti alkalmazkodás nem bízható kizárólag az egyénekre, de az államok sem képesek minden problémát központilag megoldani.

A felelősség több szinten oszlik meg.

Az államok elsődleges feladata a hosszú távú tervezés és a legfontosabb közszolgáltatások biztonságának megteremtése. A vízgazdálkodás, az árvízvédelem, az egészségügyi rendszer, az országos közlekedési hálózatok és az energiarendszer olyan területek, ahol nélkülözhetetlen az állami koordináció.

Az államok feladata az is, hogy megfelelő építési, területhasználati és biztonsági szabályokat alakítsanak ki. Egy árvízveszélyes területen engedélyezett lakópark későbbi károinak költsége sokkal magasabb lehet, mint amennyibe a megfelelő tervezés került volna.

A vállalatoknak saját működésük kockázatait kell felmérniük. Egy élelmiszeripari üzem vízellátása, egy logisztikai vállalat szállítási útvonalai vagy egy adatközpont hűtőrendszere mind sérülékeny lehet a szélsőséges időjárással szemben.

A mesterséges intelligencia rohamos terjedése az energiaellátás számára is egyre nagyobb kihívást jelent. A Bloomberg 2026. szeptemberi értesülése szerint a Microsoft 2032-re akár 38 gigawattra is növelheti adatközpontjainak kapacitását, bár a vállalat később vitatta a kiszivárgott előrejelzés pontosságát. Ha ekkora teljesítményt folyamatosan igénybe vennének, az évente mintegy 333 terawattóra villamosenergia-felhasználást jelentene, Magyarország teljes éves fogyasztásának körülbelül hétszeresét. A tényleges fogyasztás azonban a kihasználtságtól és az adatközpontok működésétől is függ.

Az ilyen méretű fejlesztésekhez nem elegendő új szerverközpontokat építeni: erőművekre, távvezetékekre, alállomásokra és jelentős hálózatfejlesztésekre is szükség van. Felmerül tehát a kérdés, hogy ki viselje mindennek a költségeit. Indokolt lenne, hogy az adatközpontok miatt szükségessé váló beruházások jelentős részét maguk a technológiai vállalatok finanszírozzák, ne pedig a lakossági fogyasztókra hárítsák át. A mesterséges intelligencia fejlődésének így nemcsak technológiai és pénzügyi, hanem egyre inkább energetikai korlátai is lehetnek. **A digitális világ bővülésének nagyon is kézzelfogható fizikai és környezeti ára van.**

A megfelelő tartalék rendszerek kialakítása nemcsak társadalmi felelősség, hanem gazdasági érdek is.

A helyi önkormányzatok és közösségek feladata sokszor közvetlenebb. Ők ismerik legjobban a veszélyeztetett utcákat, az idős lakosságot, a helyi vízelvezetési problémákat és a menekülési lehetőségeket.

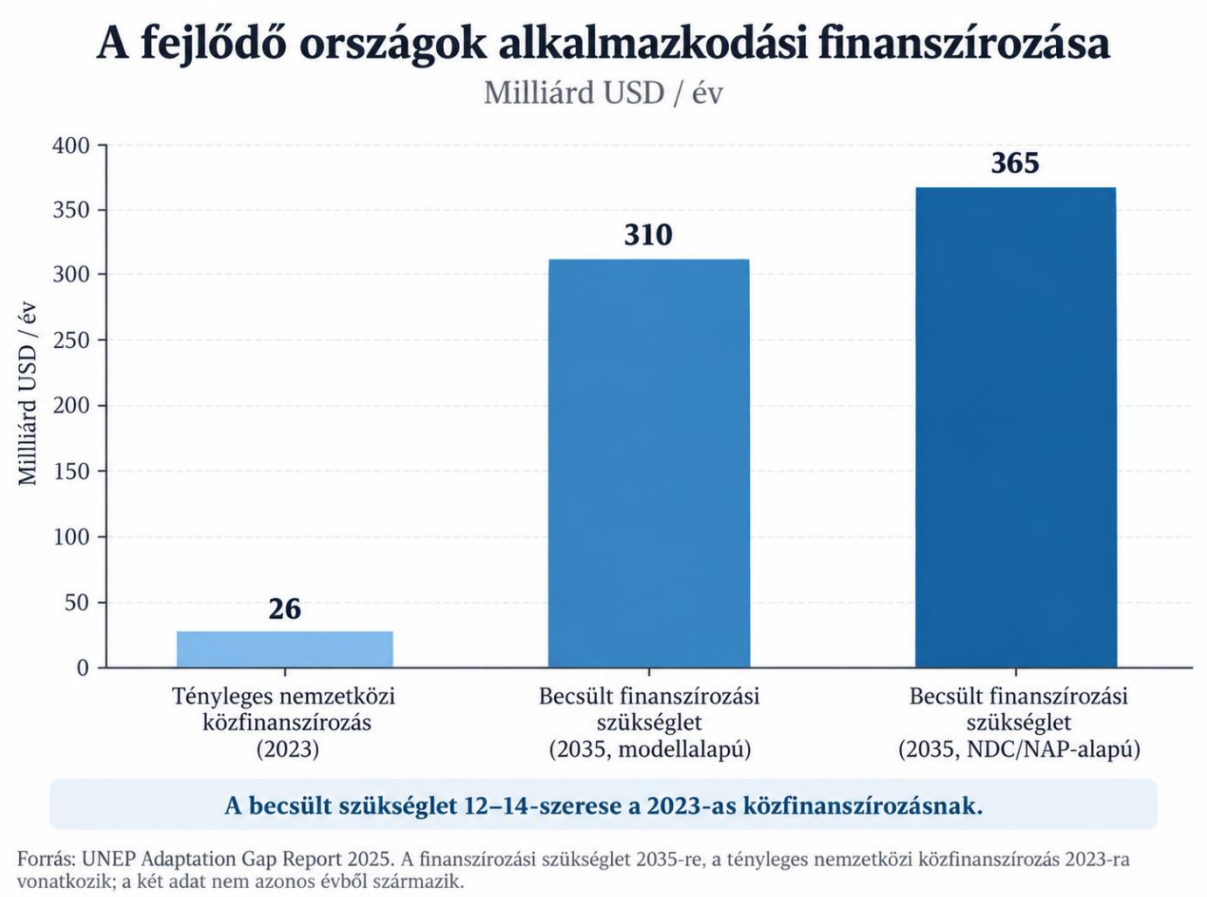
Egy hőségriadó alatt például döntő jelentőségű lehet, hogy működik-e ivóvízvételi pont, elérhető-e hűtött közösségi helyiség, és van-e olyan segítőhálózat, amely ellenőrzi az egyedül élő idősek állapotát.

Az alkalmazkodás sikerét végső soron nemcsak a megépített létesítmények száma mutatja meg, hanem az is, hogy veszélyhelyzetben mennyire képes a társadalom együttműködni.

Ki fizeti az alkalmazkodás árát?

Az alkalmazkodás legnehezebb kérdése végül ismét a pénzhez vezet.

Az ENSZ Környezetvédelmi Programjának 2025-ös becslése szerint a fejlődő országok alkalmazkodási finanszírozási szükséglete 2035-re évente 310–365 milliárd dollár lehet. Ehhez képest 2023-ban a fejlődő országokba irányuló nemzetközi közfinanszírozás mindössze 26 milliárd dollárt tett ki.



Forrás: UNEP Adaptation Gap Report 2025. A finanszírozási szükséglet 2035-re, a tényleges nemzetközi közfinanszírozás 2023-ra vonatkozik; a két adat nem azonos évből származik.

Az éves alkalmazkodási finanszírozási igény a jelenlegi nemzetközi közfinanszírozás többszöröse. A tényleges teljes finanszírozásba ugyanakkor más hazai és magánforrások is beletartozhatnak.

A különbség óriási, és nem csupán pénzügyi problémát jelent.

A gazdag országoknak több lehetőségük van gátak, víztározók, korszerű kórházak és ellenálló infrastruktúrák építésére. A szegényebb országokban sokszor az alapvető ivóvízellátás és az egészségügyi szolgáltatások biztosítása is nehézséget okoz.

Ráadásul azok az országok, amelyek történelmileg a legkevesebbet járultak hozzá az üvegházhatású gázok felhalmozódásához, gyakran különösen súlyos éghajlati kockázatoknak vannak kitéve.

Ez ugyanazt az igazságossági problémát veti fel, amellyel a könyv korábbi fejezeteiben már találkoztunk: nem feltétlenül azok viselik a legnagyobb károkat, akik a problémát a legnagyobb mértékben előidézték.

De az alkalmazkodás finanszírozásánál egy másik kérdést is fel kell tenni.

Mennyit érdemes megelőzésre költeni?

Egy árvízvédelmi beruházás, egy korszerű vízhálózat vagy egy hőségvédelmi program költsége azonnal jelentkezik, míg a megelőzött károk gyakran csak évek vagy évtizedek múlva válnak láthatóvá.

A politikai döntéshozatal számára ez kedvezőtlen helyzet. Egy új híd átadása látványos esemény. Egy elmaradt árvízkatasztrófa viszont ritkán válik politikai sikertörténetté.

Pedig hosszú távon éppen az lehet a legjobb beruházás, amelynek eredményét a társadalom szinte észre sem veszi, mert a korábban várható katasztrófa nem következik be.

Az alkalmazkodás határai

A technológiai fejlődés könnyen azt a benyomást keltheti, hogy elegendő pénzzel és mérnöki tudással bármilyen környezeti változáshoz alkalmazkodhatunk.

Ez azonban nem igaz.

Egy tengerparti várost egy bizonyos mértékű tengerszint-emelkedéssel szemben meg lehet védeni. A gátak magasíthatók, a szivattyúrendszerek bővíthetők, egyes épületek pedig átalakíthatók.

De a védekezés költségei és műszaki nehézségei a veszély növekedésével emelkedhetnek. Eljöhet az a pont, amikor egy település tartós védelme már nem gazdaságos vagy műszakilag nem biztosítható megfelelő biztonsággal.

Ilyenkor a visszavonulás, vagyis a lakosság és a gazdasági tevékenységek fokozatos áthelyezése válhat szükségessé.

Ez különösen nehéz döntés. Egy település nem csupán épületekből áll. Az otthonokhoz családi emlékek, közösségi kapcsolatok, kulturális hagyományok és gazdasági lehetőségek kötődnek.

Hasonló korlátok jelentkeznek a mezőgazdaságban is. A szárazságtűrő fajták és az öntözés egy bizonyos mértékig segíthetnek, de tartós és rendkívüli vízhiány esetén már a termelési szerkezet alapvető megváltoztatására lehet szükség.

A természetes ökoszisztémák esetében pedig egyes veszteségek nem pótolhatók technológiával. Egy kipusztult faj nem állítható vissza egyszerűen, egy több száz éves erdő ökológiai kapcsolatrendszere pedig nem helyettesíthető néhány évtizedes faültetvénnyel.

Az IPCC értékelése szerint a felmelegedés növekedésével az alkalmazkodási lehetőségek hatékonysága csökkenhet, és egyre több természeti, illetve emberi rendszer érheti el az alkalmazkodás határait.

Ezért veszélyes az a gondolat, hogy az éghajlatváltozás mérséklése helyett elegendő lesz alkalmazkodni a következményekhez.

Az alkalmazkodás és a kibocsátáscsökkentés nem egymás alternatívái. Minél nagyobb felmelegedést sikerül elkerülni, annál több lehetőségünk marad az alkalmazkodásra.

Nem a legerősebb, hanem a leginkább alkalmazkodó rendszer marad fenn

A környezeti kihívásokra adott válaszokat sokáig elsősorban a méret és az erő határozta meg.

Magasabb gátakat építettünk, nagyobb víztározókat létesítettünk, erősebb szivattyúkat és nagyobb erőműveket telepítettünk.

Ezekre a megoldásokra a jövőben is szükség lehet, de egyre fontosabbá válik egy másik tulajdonság: a rugalmasság.

Egy rugalmas rendszer nem feltételezi, hogy a körülmények mindig a tervek szerint alakulnak. Felkészül a meghibásodásokra, képes átmenetileg csökkentett teljesítménnyel működni, és szükség esetén megváltoztatható.

A vízgazdálkodásban ez többféle vízforrás és tárolási lehetőség kialakítását jelentheti. Az energiaellátásban a nagy hálózatok mellett helyi tartalékok megteremtését. A mezőgazdaságban a termények és termesztési módszerek változatosságát. A városokban pedig olyan közterek, épületek és infrastruktúrák létrehozását, amelyek többféle időjárási helyzethez is alkalmazkodni tudnak.

Az ellenálló képességnek társadalmi feltételei is vannak.

A jól működő intézmények, a megbízható tájékoztatás, az oktatás, az egészségügyi ellátás és a közösségi együttműködés legalább olyan fontosak lehetnek, mint a fejlett technológia.

A felkészülés nem korlátozódhat a legvalószínűbb eseményekre. Számolni kell azzal is, hogy több kedvezőtlen körülmény egyszerre jelentkezhet.

Egy tartós hőhullám például növelheti az elektromosenergia-igényt, miközben az alacsony folyóvízszint és a magas vízhőmérséklet korlátozhatja egyes erőművek működését. Ha eközben az elektromos hálózat is meghibásodik, az ivóvízellátás és az egészségügyi szolgáltatások egyszerre kerülhetnek veszélybe.

Az ilyen összetett helyzetek kezeléséhez már nem elegendő, ha minden ágazat kizárólag a saját problémájával foglalkozik.

Az éghajlati alkalmazkodásnak a teljes társadalmi és gazdasági rendszer működését figyelembe kell vennie.

Amikor az éghajlat történelmet ír

Amikor nemcsak az élővilág, hanem a civilizáció is veszélybe kerül

A történelem arra is figyelmeztet, hogy a környezeti változások nem kizárólag növény- és állatfajok sorsát befolyásolják. Egész társadalmak működését is megrendíthetik.

Jared Diamond *Összeomlás* című könyvében több olyan civilizáció történetét vizsgálta, amelyek hanyatlásában a természeti erőforrások kimerülése, az éghajlat változása és az emberi döntések együttesen játszhattak szerepet.

A kambodzsai Angkor hatalmas vízgazdálkodási rendszere nehezen alkalmazkodott a hosszan tartó szárazságok és pusztító monszunok váltakozásához. A grönlandi viking telepesek számára pedig a lehűlés és a gazdasági kapcsolatok megváltozása tehette egyre nehezebbé a megélhetést.



310. ábra: A maja városállamok – amikor elmaradt az eső



311. ábra: Angkor – amikor a vízrendszer már nem tudott alkalmazkodni



312. ábra: A grönlandi vikingek – amikor megváltoztak az életfeltételek

Ezek a társadalmak azonban nem egyszerűen az éghajlat miatt omlottak össze. A politikai konfliktusok, a gazdasági kapcsolatok, a népességnyomás és az alkalmazkodási képesség

legalább ilyen fontos szerepet játszhattak. Ráadásul a politikai rendszerek megszűnése nem jelentette feltétlenül a népesség vagy a kultúra eltűnését.

A történelmi példák legfontosabb tanulsága ezért nem az, hogy az éghajlatváltozás szükségszerűen civilizációk pusztulásához vezet.

Hanem az, hogy **a környezeti változások felerősíthetik a társadalmak már meglévő gyengeségeit, és súlyos válságba sodorhatják azokat a rendszereket, amelyek nem képesek időben alkalmazkodni.**

A természet nem dönti el önmagában egy civilizáció sorsát. De megváltoztathatja azokat a feltételeket, amelyek között az embereknek dönteniük kell.

Főbb források: USGS – A maják aszályai és vízgazdálkodása; PNAS – Angkor hanyatlása és az éghajlat;

Milyen jövőre készüljünk?

A jövő éghajlatát nem ismerjük pontosan. A tudomány képes különböző kibocsátási és felmelegedési pályákat modellezni, de nem tudja minden országra, településre és évtizedre előre megmondani, hogy pontosan milyen időjárási események következnek be.

A bizonytalanság azonban nem indok a tétlenségre.

Egy víztakarékosabb mezőgazdasági rendszer akkor is hasznos lehet, ha a következő évtized kevésbé lesz száraz a vártnál. Egy árnyékosabb, zöldebb város akkor is élhetőbb, ha a hőhullámok ritkábbnak bizonyulnak. Egy tartalék energiaellátással rendelkező kórház nemcsak éghajlati eredetű katasztrófák esetén, hanem műszaki meghibásodások idején is biztonságosabban működhet.

A legértékesebb alkalmazkodási intézkedések közé ezért azok tartoznak, amelyek többféle jövőbeli helyzetben is előnyösek.

Nem minden beruházás felel meg ennek az elvnek. Előfordulhat, hogy egy drága, merev műszaki megoldás évtizedekre olyan fejlődési pályára kényszerít egy térséget, amely később már nem bizonyul megfelelőnek.

A jó felkészülés nem egyszerűen a jelenlegi körülményekhez igazítja a rendszereket, hanem lehetőséget hagy azok későbbi módosítására is.

A jövő társadalmának ezért egyszerre kell hatékonynak és tartalékokkal rendelkezőnek lennie. Ez nem mindig könnyen összeegyeztethető követelmény.

A gazdaság az elmúlt évtizedekben sok területen a készletek, a tartalék kapacitások és a költségek csökkentésére törekedett. A szélsőséges környezeti események gyakoribbá válása azonban felértékelheti a biztonsági tartalékokat.

Lehet, hogy egyes rendszerek működtetése így valamivel drágább lesz.

De a legolcsóbb rendszer nem feltétlenül az, amelyiknek a legalacsonyabb a mindennapi üzemeltetési költsége. Ha egyetlen súlyos meghibásodás hatalmas társadalmi károkat okozhat, akkor a tartalék kapacitás nem pazarlás, hanem biztosítás.

Az alkalmazkodás végső tanulsága

Az emberiség rendelkezik a felkészüléshez szükséges eszközök jelentős részével.

Tudunk vizet tisztítani és újrahasznosítani. Képesek vagyunk ellenállóbb növényfajtákat nemesíteni, árvízvédelmi rendszereket építeni, városainkat árnyékosabbá és élhetőbbé alakítani. A műholdak, a számítógépes modellek és a mesterséges intelligencia segítségével egyre pontosabb képet kaphatunk a közeledő veszélyekről.

A lehetőségek azonban egyenlőtlenül oszlanak meg.

A gazdagabb társadalmak könnyebben finanszírozzák az alkalmazkodást, míg a szegényebbek sokszor a legsúlyosabb veszélyeknek vannak kitéve. Egy országon belül is jelentős különbség lehet a különböző társadalmi csoportok védekezési lehetőségei között.

A technológiai fejlődés ezért önmagában nem garantálja a biztonságosabb jövőt. Ahhoz megfelelő politikai döntésekre, gazdasági ösztönzőkre, hosszú távú beruházásokra és társadalmi együttműködésre van szükség.

Az alkalmazkodás ráadásul soha nem lehet teljes. Nem építhetünk végtelenül magas gátakat, nem hűthetünk korlátlanul minden épületet, és nem pótolhatjuk mesterséges eszközökkel a természet valamennyi szolgáltatását.

Éppen ezért nem mindegy, hogy mekkora változáshoz kell majd alkalmazkodnunk.

A környezetvédelem és az alkalmazkodás közös célja végső soron nem egy változatlan világ megőrzése.

Hanem annak biztosítása, hogy a változó világban is megmaradjanak az emberi élet és a természeti rendszerek működésének alapvető feltételei.

A jövőre való felkészülés nem akkor kezdődik, amikor a katasztrófa bekövetkezik. Hanem akkor, amikor még van lehetőségünk eldönteni, hogyan akarunk élni benne.

39. Amikor az ember a Föld termosztátjához nyúl

Geoengineering – a bolygó éghajlatának mesterséges szabályozása



Az emberiség történelme során egyre nagyobb mértékben alakította át környezetét. Erdőket irtott ki, folyókat szabályozott, hatalmas területeket vont művelés alá, megváltoztatta a tájakat és a természetes élőhelyeket. Az ipari forradalom óta azonban olyan folyamatot is elindított, amely már az egész bolygó éghajlatát befolyásolja.

Az üvegházhatású gázok kibocsátása következtében a Föld felmelegszik, a gleccserek visszahúzódnak, a tengerek szintje emelkedik, és megváltoznak a csapadékviszonyok. Mindez nagyrészt nem szándékos következmény: az emberiség elsősorban energiát akart termelni, közlekedni és ipari termékeket előállítani.

Most azonban egy új gondolat merült fel: ha már akaratlanul megváltoztattuk a Föld éghajlatát, nem lehetne-e azt tudatosan is szabályozni?

Ezt a megközelítést nevezik geoengineeringnek, magyarul gyakran geomérnökségnek vagy éghajlatmérnökségnek.

Az elképzelés első hallásra csábító. Ha túl meleg a Föld, miért ne csökkenthetnénk a felszínt elérő napsugárzás mennyiségét? Ha túl sok a szén-dioxid a légkörben, miért ne vonhatnánk ki belőle? Ha a sarkvidéki jég olvad, miért ne segíthetnénk a visszafagyását?

A kérdés azonban korántsem ilyen egyszerű. A Föld éghajlata rendkívül összetett rendszer, amelynek egyes elemei szoros kölcsönhatásban állnak egymással. Egy mesterséges beavatkozás ezért olyan változásokat is előidézhet, amelyekkel eredetileg senki sem számolt.

Két alapvetően különböző megközelítés

A geoengineering elnevezés alatt két, egymástól lényegesen eltérő megoldáscsoportot szoktak tárgyalni.

Szén-dioxid-eltávolítás (CDR)

A légkörben már jelen lévő szén-dioxid mennyiségének csökkentése és tartós tárolása. A felmelegedés egyik kiváltó okát kívánja mérsékelni.

Napsugárzás-módosítás (SRM)

A Földet elérő vagy általa elnyelt napenergia mennyiségének csökkentése, például a napsugárzás egy részének visszaverésével. Elsősorban a felmelegedés tünetét kezeli.

A kettő közötti különbség döntő jelentőségű. A szén-dioxid eltávolításával elvileg az éghajlatváltozás egyik okát lehet megszüntetni. A napsugárzás csökkentése viszont mérsékelheti a hőmérsékletet anélkül, hogy a légkörben felhalmozódott szén-dioxid eltűnne.

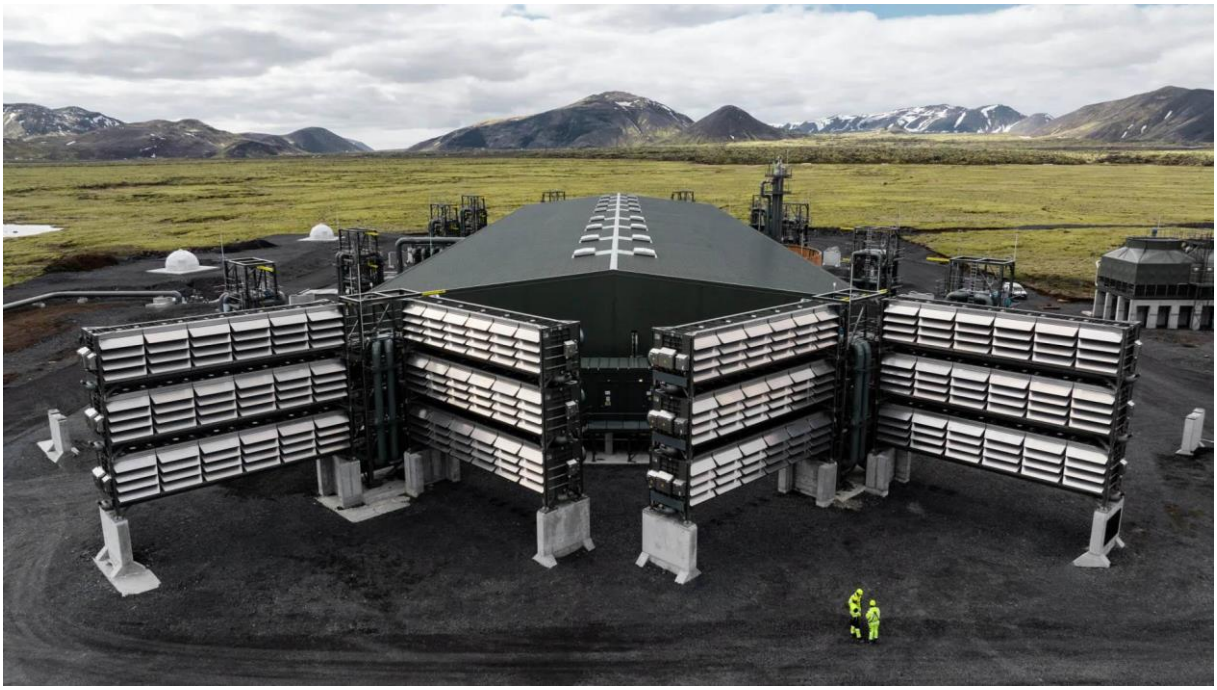
Ez utóbbi különösen fontos az óceánok savasodása szempontjából: a napsugárzás módosítása ezt a problémát nem oldja meg.

Szén-dioxid kivonása a levegőből

A szén-dioxid eltávolítására több technológiai megoldást is vizsgálnak.

Az egyik legegyszerűbb az erdősítés és a természetes szénmegkötő rendszerek helyreállítása. A növények fotoszintézissel szén-dioxidot vonnak ki a légkörből, a szenet pedig biomasszájukban és a talajban tárolják. Ez bevált természetes folyamat, de nem korlátlan: az erdők helyet, vizet és megfelelő éghajlatot igényelnek. Egy erdőtűz vagy pusztulás ráadásul a megkötött szén egy részét visszajuttathatja a légkörbe.

Egy másik lehetőség a szén-dioxid közvetlen leválasztása a levegőből. A berendezések hatalmas mennyiségű levegőt áramoltatnak át olyan anyagokon, amelyek megkötik a szén-dioxidot. A leválasztott gázt ezután föld alatti geológiai formációkban lehet tárolni.



Az izlandi Mammoth közvetlen levegős szén-dioxid-leválasztó üzem. A technológia működik, de jelenleg még igen költséges és energiaigényes.

Más módszerek a kőzetek természetes mállását gyorsítanák fel. Bizonyos ásványok ugyanis kémiai reakciók révén megkötik a szén-dioxidot. A kőzetek finomra őrlésével és nagy területen történő szétterítésével ez a folyamat gyorsítható.

Szintén kutatják a biomassza energetikai hasznosítását szén-dioxid-leválasztással, valamint a bioszén talajba juttatását.

Mindezeknek azonban komoly korlátai vannak. Energiát, nyersanyagokat, földterületet vagy vizet igényelnek, és nagy léptékben maguk is környezeti terhelést okozhatnak.

A State of Carbon Dioxide Removal 2026-os jelentése szerint az új technológiai megoldásokkal évente körülbelül 2 millió tonna szén-dioxidot távolítanak el. Ez a világ több tízmilliárd tonnás éves kibocsátásához képest rendkívül kis mennyiség.

A technológia tehát ígéretes, de egyelőre távol áll attól, hogy önmagában megoldja a problémát.

A vulkánok ötlete: fényvisszaverő részecskék a légkörben

A geoengineering talán legismertebb és legvitatottabb elképzelése a sztratoszférába juttatott aeroszolok alkalmazása.

Ennek természetes mintáját a nagy vulkánkitörések szolgáltatják.

Amikor 1991-ben a Fülöp-szigeteken kitört a Pinatubo vulkán, hatalmas mennyiségű kén-dioxid került a magas légkörbe. A kén-dioxidból képződő szulfátaeroszolok a napsugárzás egy részét visszaverték az űrbe. A Föld átlagos felszíni hőmérséklete a kitörést követően átmenetileg mintegy fél Celsius-fokkal csökkent.

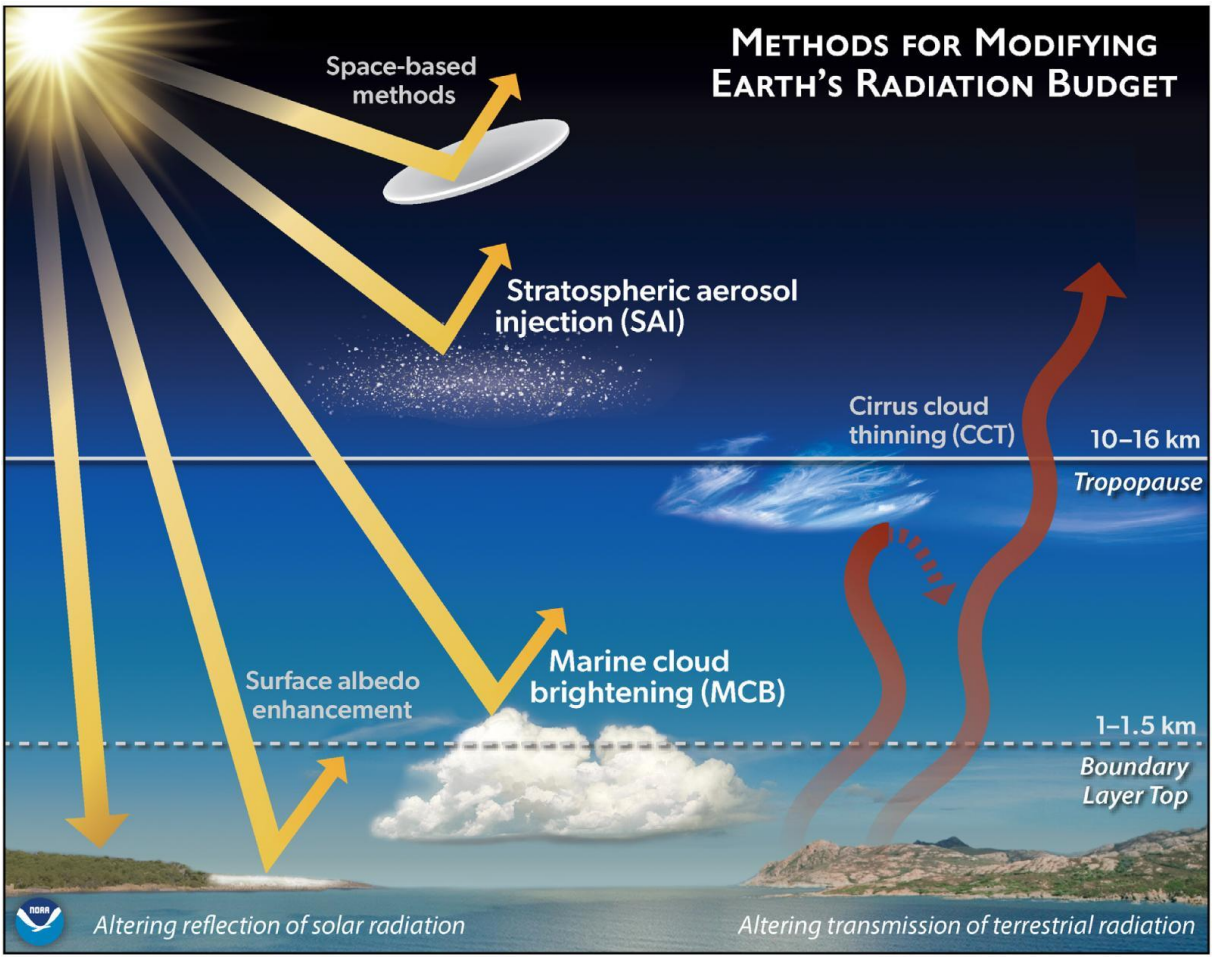


Volcanic ash billows into the sky during the eruption of Mount Pinatubo - NARA & DVIDS Public Domain Archive Public Domain Search

nara.getarchive.net

Az 1991-es Pinatubo-kitörés természetes példát szolgáltatott arra, hogy a légkörbe jutó aeroszolok átmenetileg csökkenthetik a Föld átlaghőmérsékletét.

Az ötlet tehát az, hogy speciális repülőgépek segítségével mesterségesen is fényvisszaverő részecskéket juttassanak a sztratoszférába.



Images and Media: Earth-energy-budget-solar-radiation-management.png | NOAA Climate.gov

climate.gov

A napsugárzás módosításának két lehetősége: részecskék sztratoszférába juttatása és a tengeri felhők fényvisszaverő képességének növelése.

Elméleti számítások szerint a módszer viszonylag gyorsan csökkenthetné a globális átlaghőmérsékletet. Ráadásul az alkalmazás közvetlen műszaki költsége kisebb lehetne, mint a globális energiarendszer átalakításáé.

Csakhogy ez rendkívül megtévesztő összehasonlítás.

Az aeroszolok nem tüntetik el a szén-dioxidot, nem szüntetik meg az óceánok savasodását, és a hűtőhatásuk sem egyenletesen jelentkezne a Földön.

Megváltozhatna a csapadék földrajzi eloszlása, egyes monszunrendszerek működése és a légköri áramlások szerkezete. A szulfátaeroszolok az ózonréteg kémiai folyamataira is hatással lehetnek.

A legsúlyosabb probléma pedig akkor jelentkezne, ha a beavatkozást egyszer csak abbahagynák.

Ha közben az üvegházhatású gázok koncentrációja tovább emelkedett, a mesterséges hűtés megszűnése gyors felmelegedést idézhetne elő. Ezt a jelenséget termination shocknak, vagyis hirtelen leállítási sokknak nevezik.

A módszer így könnyen olyan technológiai függőséget hozhatna létre, amelyből egy későbbi generáció már nem tudna veszteségek nélkül kilépni.

Fehérebb felhők, hűvösebb óceánok?

Egy másik elképzelés szerint nem a sztratoszférát kellene módosítani, hanem a tengerek fölötti alacsony felhőket.

A tengervízből előállított apró sókristályokat a levegőbe permetezve növelhető lehetne a felhőkben található vízcseppek száma. Az apróbb, nagyobb számban jelen lévő vízcseppek bizonyos körülmények között több napsugárzást vernek vissza.

A módszer neve marine cloud brightening, vagyis tengeri felhőfényesítés.



Could 'marine cloud brightening' reduce coral bleaching on the Great Barrier Reef?

phys.org

Ausztrál kutatások a Nagy-korallzátony térségében: a tengervíz permetezésével a felhők fényvisszaverő képességét próbálják befolyásolni.

A Nagy-korallzátony térségében már végeztek kisebb kutatási kísérleteket a módszer vizsgálatára.

A felvetés érthető: ha sikerülne mérsékelni a tengervíz felmelegedését a korallzátonyok közelében, talán csökkenthető lenne a korallfehéredés veszélye.

Ugyanakkor nem tudjuk kellő bizonyossággal, hogy a beavatkozás hosszú távon hogyan hatna a helyi csapadékra, a tengeri élővilágra vagy a légköri folyamatokra. Az sem biztos, hogy mindig a kívánt mértékű és irányú hűtést lehetne elérni.

Mégis komoly összegeket fordítanak kutatására. A brit ARIA kutatási ügynökség 2024-ben indított, 56,8 millió fontos programja több éghajlathűtési lehetőséget vizsgál, köztük a felhőfényesítést. A program célja a tudományos bizonytalanságok és a kockázatok feltárása, nem pedig a technológia nagy léptékű bevezetése.

Visszafagyaszthatjuk a sarkvidéki tengereket?

Az északi-sarkvidéki jégtakaró olvadása öngerjesztő folyamatot indíthat el.

A fehér jég a napsugárzás jelentős részét visszaveri, a sötét tengervíz viszont sokkal többet nyel el. Amikor a jég eltűnik, a felszín melegebbé válik, ami további olvadást idézhet elő.

Egyes kutatók szerint a jégtakaró mesterséges vastagítása lassíthatná ezt a folyamatot.

Az ötlet meglepően egyszerű: télen tengervizet szivattyúznának a meglévő jég felszínére, ahol az megfagyna. Így vastagabb jégtakaró alakulhatna ki, amely nagyobb eséllyel élné túl a következő nyarat.



Can We Refreeze the Arctic’s Ice? Scientists Test New Geoengineering Solutions | Scientific American

scientificamerican.com

A sarkvidéki jég mesterséges vastagításának kísérleti módszere: tengervizet juttatnak a jég felszínére, hogy az a téli hidegben megfagyjon.

Az ARIA támogatásával 2026 januárjában Észak-Kanadában ilyen célú kísérletek is kezdődtek, kezdetben mindössze 0,1 négyzetkilométeres területen.

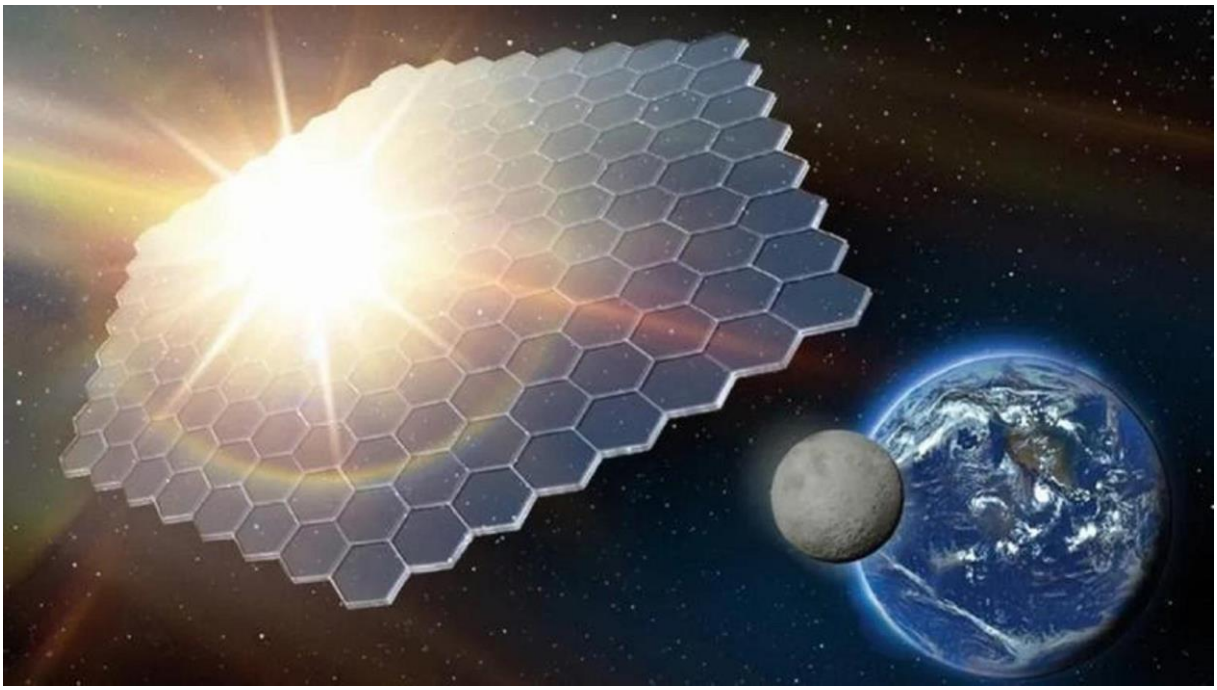
A technológia azonban jelentős gyakorlati akadályokba ütközhet. A Jeges-tenger hatalmas kiterjedésű, a szivattyúk üzemeltetése energiát igényel, a mesterséges jégnövelés pedig befolyásolhatja a jég alatti ökoszisztémákat.

A helyi kísérlet sikeréből tehát még nem következik, hogy az egész Északi-sarkvidéken működőképes lenne.

A legmerészebb tervek: napernyő az űrben

A geoengineering elképzelései között akadnak olyanok is, amelyek egyelőre inkább elméleti tanulmányoknak, mint megvalósítható műszaki terveknek tekinthetők.

Az egyik szerint hatalmas fényvisszaverő vagy fényt szóró szerkezeteket lehetne elhelyezni a világűrben, a Föld és a Nap között.



Kühner Klimaplan - Kosmischer Sonnenschirm für die Erde

deutschlandfunk.de

Elméleti elképzelés: az űrben elhelyezett árnyékoló szerkezetek a napsugárzás kis részét eltérítenék a Földtől.

A Föld és a Nap közötti L1 Lagrange-pont környezetében elhelyezett szerkezetekkel elvileg csökkenthető lenne a bolygót elérő napenergia mennyisége.

Az elképzelés fizikai alapja nem lehetetlen, de a megvalósítás hatalmas anyagmennyiséget, űripari kapacitást, energiafelhasználást és költséget igényelne.

Más javaslatok a sivatagok fényvisszaverő képességének növelését, a magas légköri pehelyfelhők ritkítását vagy a tengeri jég visszaverő képességének javítását célozzák.

Közös jellemzőjük, hogy a lehetséges előnyöket ma még sokkal könnyebb modellezni, mint a gyakorlati megvalósíthatóságot és a mellékhatásokat bizonyítani.

Az óceánokkal végzett kísérletek

A világtengerek a természetes szénkörforgás egyik legfontosabb elemei. A légköri szén-dioxid jelentős részét elnyelik, ezért egyes kutatók szerint szerepük mesterségesen is fokozható.

Az egyik javaslat a tengervíz lúgosságának növelése megfelelő ásványi anyagok hozzáadásával. Ez a tengervíz kémiai egyensúlyának megváltoztatásával elősegíthetné további légköri szén-dioxid felvételét.

Másik lehetőség a tengeri fitoplankton növekedésének serkentése, például vassal történő trágyázással. A fitoplankton fotoszintézis közben szén-dioxidot köt meg, és az elpusztult élőlények szervesanyag-tartalmának egy része a mélyebb vízrétegekbe süllyedhet.



Colorful Phytoplankton Blooms Can Cover Ocean Area the Size of Minnesota — Here's Why | Discover Magazine

discovermagazine.com

A fitoplankton természetes virágzása műholdfelvételen. Egyes geoengineering-elképzelések ezt a szénmegkötő folyamatot próbálnák mesterségesen fokozni.

A probléma az, hogy a szén egy része viszonylag gyorsan visszakerülhet a légkörbe. Ráadásul a tápanyagellátás módosítása megváltoztathatja a tengeri táplálékhálózatokat, az oxigénviszonyokat és más üvegházhatású gázok kibocsátását.

Az óceáni beavatkozások esetében a legnagyobb nehézség annak megbízható igazolása, hogy mennyi szén-dioxidot sikerült valóban, tartósan kivonni a légkörből, és milyen környezeti áron.

A kockázatok: mi történik, ha a beavatkozás nem a várt eredményt hozza?

Az éghajlatmérnökség legnagyobb veszélye nem feltétlenül egyetlen műszaki meghibásodás.

A Föld éghajlati rendszere nem úgy működik, mint egy épület fűtése, ahol a termosztát elfordításával egyszerűen szabályozhatjuk a hőmérsékletet.

A globális átlaghőmérséklet mindössze egyetlen jellemzője a rendszernek. Ugyanilyen fontos a csapadék eloszlása, a légköri és óceáni áramlások alakulása, a talajnedvesség, a jégtakaró és az ökoszisztémák állapota.

Lehetséges például, hogy egy beavatkozás csökkentené a globális átlaghőmérsékletet, miközben bizonyos régiókban kedvezőtlenül változtatná meg a csapadékviszonyokat.

Az egyik ország számára előnyös hűtés egy másikban mezőgazdasági veszteségekkel járhatna.

A felmelegedés hatásainak egy részét mérsékelhetnénk, másokat viszont felerősíthetnénk.

A 2026 májusában megjelent UNEP-értékelés szerint a napsugárzás-módosítás jelenlegi tudományos bizonyítékai nem elegendők ahhoz, hogy azt életképes éghajlatvédelmi megoldásnak tekintsük. Különösen nagyok a bizonytalanságok az ökológiai és társadalmi következmények, valamint a nemzetközi szabályozás területén.

Kié a Föld termosztátja?

A geoengineering egyik legnehezebb kérdése nem műszaki, hanem politikai természetű.

Tegyük fel, hogy egy nagyhatalom úgy dönt, a saját területét sújtó hőhullámok és aszályok mérséklése érdekében nagy léptékű napsugárzás-módosításba kezd.

Mi történik, ha a beavatkozás következtében más országokban csökken a csapadék?

Ki döntheti el, hogy a várható előnyök nagyobbak-e, mint a kockázatok? Ki viseli a károkat? Ki fizet kártérítést? És egyáltalán hogyan lehetne bizonyítani, hogy egy adott aszályt vagy árvizet valóban a beavatkozás okozott?

A helyzetet különösen bonyolítja, hogy a globális éghajlat nem államhatárok mentén működik. Egy ország vagy vállalat által elindított beavatkozás hatásai más kontinenseken is jelentkezhetnek.

Az ENSZ tudományos tanácsadó testülete 2025-ben hangsúlyozta, hogy nincs átfogó nemzetközi szabályozási rendszer a napsugárzás-módosításra. Ezért az elővigyázatosság, az átlátható kutatás és a nemzetközi részvétel különösen fontos.

Secretary-General's Scientific Advisory Board

Az éghajlat mesterséges szabályozása akár új geopolitikai konfliktusok forrásává is válhatna.

Egy ilyen technológia feletti ellenőrzés stratégiai hatalmat jelenthetne. Nemcsak az volna kérdés, hogy ki működteti a rendszert, hanem az is, hogy ki állíthatja le.

Az erkölcsi kockázat: ha meg tudjuk javítani, miért változtassunk?

A geoengineering ellenzőinek egyik legerősebb érve az úgynevezett erkölcsi kockázat (moral hazard).

Ha a társadalom és a politikai döntéshozók elhiszik, hogy a felmelegedés technológiai eszközökkel bármikor megállítható, csökkenhet a kibocsátáscsökkentés iránti hajlandóság.

Miért kellene lemondani a fosszilis tüzelőanyagokról, ha elegendő néhány ezer tonna fényvisszaverő anyagot a magas légkörbe juttatni?

Ez természetesen leegyszerűsített érvelés, de a veszély valós.

A geoengineering könnyen olyan ürüggyé válhatna, amely mögé gazdasági és politikai szereplők elrejthetik a szükséges intézkedések elhalasztását.

Ugyanakkor az ellenkező álláspontnak is vannak komoly érvei.

Ha a felmelegedés következtében egyes térségekben emberek milliói kerülnének közvetlen veszélybe, erkölcsileg megengedhető volna-e elutasítani egy olyan beavatkozást, amely legalább átmenetileg mérsékelhetné a katasztrófát?

A kutatás teljes tiltása azt is eredményezhetné, hogy egy későbbi válsághelyzetben megfelelő tudományos ismeretek nélkül kellene dönteni.

A vita tehát nem egyszerűen a geoengineering támogatói és ellenzői között zajlik. Abban sincs egyetértés, hogy a kutatások folytatása elősegíti-e a felelős döntéshozatalt, vagy éppen közelebb visz egy veszélyes technológia elterjedéséhez.

Hol tartunk 2026-ban?

A különböző módszerek fejlettsége és kockázata jelentősen eltér egymástól.

Eljárás	Fejlettségi szint	Fő probléma
Erdősítés, ökoszisztémák helyreállítása	Széles körben alkalmazott	Területigény, tartósság
Közvetlen CO_2-leválasztás	Működő ipari létesítmények	Költség, energiaigény
Kőzetmállás gyorsítása	Kísérleti és korai alkalmazás	Anyagigény, mérhetőség
Óceáni szénmegkötés fokozása	Kutatási és kísérleti szakasz	Ökológiai következmények
Tengeri felhőfényesítés	Korlátozott terepi kutatások	Bizonytalan regionális hatások
Sztratoszférikus aeroszolok	Főként modellezés és laboratóriumi kutatás	Globális kockázatok
Sarkvidéki jégvastagítás	Kis léptékű terepi kísérletek	Óriási méretnövelési igény
Űrbeli napernyő	Elméleti koncepciók	Rendkívüli műszaki és gazdasági akadályok

Fontos megjegyezni, hogy a szokásos felhőmagvasítás, amelynek célja például a helyi csapadékképződés befolyásolása, nem azonos a globális éghajlatmódosítással. A repülőgépek kondenzcsíkjai sem bizonyítékai titkos geoengineering-programoknak.

A kutatás és a tényleges alkalmazás között óriási különbség van. Egy kísérlet tudományos indokoltsága nem jelenti automatikusan, hogy a technológia globális bevezetése is indokolt volna.

Megoldás vagy újabb kockázat?

Az emberiség olyan helyzetbe került, amelyre korábban nem volt példa.

Már képesek vagyunk a Föld éghajlatát globális léptékben megváltoztatni, de ennek következményeit még nem tudjuk teljes bizonyossággal előre jelezni.

Most pedig olyan technológiákat kutatunk, amelyekkel ezt a változást szándékosan befolyásolhatnánk.

A szén-dioxid eltávolítása megfelelő feltételek mellett fontos kiegészítője lehet a kibocsátáscsökkentésnek. A napsugárzás mesterséges módosítása viszont egészen más természetű beavatkozás: átmenetileg mérsékelheti a felmelegedést, de nem szünteti meg annak kiváltó okát, miközben új kockázatokat teremthet.

Ezért a geoengineering nem tekinthető a környezetvédelem egyszerű technológiai helyettesítőjének.

A tudomány feladata, hogy feltárja a lehetőségeket, a korlátokat és a veszélyeket. A társadalomé és a politikáé pedig az, hogy eldöntse, milyen kockázatokat hajlandó vállalni.

A történelem során az ember számos alkalommal hitt abban, hogy egy új technológia segítségével uralma alá vonhatja a természetet. A következmények azonban gyakran jóval összetettebbnek bizonyultak, mint azt kezdetben gondolták.

A geoengineering esetében a tét minden korábbinál nagyobb.

Mert ha egyszer hozzányúlunk a Föld termosztátjához, nem biztos, hogy pontosan tudni fogjuk, hová kell visszaállítani.

Források: IPCC hatodik értékelő jelentése, az UNEP 2026-os geoengineering-értékelése és az ARIA éghajlathűtési kutatási programja.

40. Hogyan dönthetünk közösen a jövőnkről?

A környezetvédelem történetében újra és újra ugyanazzal az ellentmondással találkozunk. Az emberiség egyre pontosabban ismeri tevékenységének környezeti következményeit, miközben továbbra is nehezen hozza meg azokat a döntéseket, amelyek a károk mérsékléséhez szükségesek.

Tudjuk, hogyan keletkezik a légszennyezés, milyen folyamatok veszélyeztetik az élővilágot, és miért változik az éghajlat. Műszaki megoldások sokasága áll rendelkezésünkre az energiahatékonyság javítására, a szennyezés csökkentésére, a vízkészletek védelmére és a hulladékok újrahasznosítására.

Mégis gyakran úgy tűnik, mintha a tudásunk gyorsabban fejlődne, mint a közös cselekvésre való képességünk.

Ennek oka nem feltétlenül a tudatlanság vagy a közömbösség.

A környezetvédelem ugyanis nem pusztán természettudományos vagy műszaki kérdés. Egyúttal gazdasági, társadalmi és politikai probléma is. Szinte minden jelentősebb intézkedés érdekeket érint, költségeket okoz, jövedelmeket csoportosít át, és megváltoztathatja a már kialakult életviszonyokat.

Egy szénerőmű bezárása csökkentheti a környezetszennyezést, de munkahelyek megszűnésével járhat. Egy új víztározó javíthatja az aszály elleni védekezést, miközben mezőgazdasági területeket vesz igénybe. A természetvédelmi korlátozások megőrizhetnek értékes élőhelyeket, de csökkenthetik egyes földtulajdonosok gazdálkodási lehetőségeit.

Az egyik ember számára a változás előrelépést jelent, a másik számára veszteséget.

A környezetvédelmi viták ezért ritkán dönthetők el egyetlen tudományos adattal vagy erkölcsi kijelentéssel.

A tudomány segíthet megérteni a következményeket. A közgazdaságtan megmutathatja a költségeket és a lehetséges ösztönzőket. A demokratikus politika feladata pedig az, hogy az egymással versengő érdekek között elfogadható döntéseket hozzon.

A jövőnk szempontjából talán nem is az a legfontosabb kérdés, hogy képesek vagyunk-e felismerni a veszélyeket, hanem az, hogy képesek vagyunk-e közösen dönteni arról, mit tegyünk ellenük.

A tudomány megmutathatja a lehetőségeket, de nem dönthet helyettünk

A modern társadalmakban gyakran hangzik el az az elvárás, hogy a politikai döntéseket a tudományos tényekre kell alapozni.

Ez helyes törekvés, de fontos megérteni a korlátait.

A tudomány képes megállapítani, hogy egy adott szennyező anyag milyen hatást gyakorol az egészségre. Kiszámíthatja, hogyan változhat az éghajlat különböző kibocsátási forgatókönyvek esetén. Megbecsülheti, mekkora árvízveszély fenyeget egy települést, és milyen műszaki megoldások állnak rendelkezésre.

Arra azonban önmagában nem tud választ adni, hogy a társadalom mekkora költséget vállaljon egy veszély csökkentéséért.

Vegyünk egy egyszerű példát.

Egy város levegőminőségét jelentősen javítani lehetne a régi gépjárművek használatának korlátozásával. A kutatások megbecsülhetik, hány ember egészsége javulna, mennyivel csökkenne a légszennyezés, és milyen gazdasági költségekkel járna az intézkedés.

De ki döntse el, hogy a korlátozás elfogadható-e?

Mi történjen azokkal, akik nem tudnak új autót vásárolni? Kapjanak támogatást? Legyenek kivételek? Milyen ütemben vezessék be a szabályozást?

Ezekre a kérdésekre nem létezik kizárólag természettudományos válasz.

A tudomány a döntés alapját teremtheti meg, de a társadalmi értékek közötti választás a demokratikus döntéshozatal feladata marad.





313. ábra: A tudományos értékelés és a demokratikus döntéshozatal eltérő, de egymást kiegészítő feladatot lát el. A tudomány feltárja a várható következményeket, a politika pedig dönt a vállalható költségekről és kockázatokról.

Ugyanilyen fontos a tudományos bizonytalanság helyes értelmezése.

A tudomány nem attól megbízható, hogy minden kérdésre végleges választ ad. Éppen ellenkezőleg: egyik erőssége, hogy képes megmutatni, mit tudunk kellő bizonyossággal, és hol maradnak nyitott kérdések.

Az éghajlatváltozás emberi eredetével kapcsolatban erős és egymástól független bizonyítékok állnak rendelkezésre. Egy adott térség következő évtizedeinek csapadékviszonyait azonban már sokkal nagyobb bizonytalanság övezi.

E kettőt összekeverni éppen olyan hiba, mint minden bizonytalanságot eltitkolni.

A tudományos eredmények politikai felhasználásában ezért különösen fontos az átláthatóság. A döntéshozóknak világosan különbséget kellene tenniük a mérési adatok, a modellek előrejelzései, a szakértői feltételezések és a politikai célkitűzések között.

A tudomány politikai eszközzé válása mindkét irányban veszélyes lehet. Egyes szereplők kétségbe vonhatják a számukra kedvezőtlen eredményeket, mások pedig a tudomány tekintélyére hivatkozva próbálhatnak vitatható politikai döntéseket megkérdőjelezhetetlenné tenni.

A helyes viszony nem a tudomány feltétlen politikai követése és nem is annak figyelmen kívül hagyása.

Hanem a tudományos bizonyítékokra épülő, nyilvánosan ellenőrizhető döntéshozatal.

A gazdasági érdekek nem tűnnek el attól, hogy környezeti válságról beszélünk

A környezetvédelmi viták egyik visszatérő hibája, hogy a gazdasági érdekeket eleve a természetvédelem ellenségeinek tekintik.

Pedig a gazdaság nem valamiféle, a társadalomtól független szerkezet. Vállalatokból, munkavállalókból, fogyasztókból, befektetőkből és állami intézményekből álló kapcsolatrendszer, amelynek működését végső soron emberi szükségletek és érdekek alakítják.

A probléma akkor keletkezik, amikor a gazdasági döntések költségeinek egy részét nem azok viselik, akik az előnyöket élvezik.

Egy üzem olcsóbban termelhet, ha a szennyvizét tisztítatlanul vezeti a folyóba. A termelési költség valóban alacsonyabb lesz, de a szennyezés ára megjelenik az ivóvíztisztításban, az egészségügyi kiadásokban, a halászat veszteségeiben és a természet károsodásában.

A gazdaság tehát nem takarította meg a költséget. Egyszerűen másokra hárította át.

A közgazdaságtan ezt negatív externáliának nevezi.

A környezetpolitika egyik legfontosabb feladata éppen az, hogy az ilyen költségek legalább megfelelő részét visszaterhelje azokra, akik előidézik őket.

Erre szolgálhatnak a kibocsátási határértékek, a környezetvédelmi adók, a kibocsátási kvóták vagy a gyártói felelősségi rendszerek.

A szabályozás azonban nem mindig egyszerű.

Egy szén-dioxid-adó például ösztönözheti a fosszilis energiahordozók fogyasztásának csökkentését, de a magasabb energiaárak különösen súlyosan érinthetik az alacsony jövedelmű háztartásokat.

Ha egy család rosszul szigetelt házban él, és nincs lehetősége korszerű fűtésre váltani, akkor a magasabb energiaár nem feltétlenül változtatja meg a fogyasztását. Egyszerűen csökkenti a rendelkezésére álló jövedelmet.

Ezért a gazdasági ösztönzők hatékonyságát nem lehet a társadalmi következményektől függetlenül értékelni.

A jól megtervezett környezetpolitika egyszerre törekszik a szennyezés csökkentésére és az indokolatlan társadalmi terhek mérséklésére.

Ki fizeti az árát?

Ez a kérdés végigkísérte könyvünk valamennyi nagyobb témáját.

Megjelent a fejlett és fejlődő országok közötti vitákban, a ritkaföldfémek bányászatánál, az elektromos közlekedés nyersanyagigényénél, a hulladékok exportjánál és a háborúk környezeti következményeinél is.

A környezeti költségek igazságos elosztásának azonban nincs egyetlen, minden helyzetben alkalmazható képlete.

Legalább három alapelvet kell figyelembe venni.

Az első a felelősség elve: aki nagyobb mértékben idézi elő a környezeti terhelést, annak indokolt nagyobb részt vállalnia a költségekből.

A második a teherviselő képesség elve: aki több erőforrással rendelkezik, könnyebben tud hozzájárulni a közös feladatok finanszírozásához.

A harmadik a haszonélvező elve: aki egy beruházásból közvetlen, számottevő előnyhöz jut, annak is indokolt lehet hozzájárulnia a költségekhez.

Ezek az elvek gyakran eltérő eredményre vezetnek.

Egy gazdag ország nagy történelmi kibocsátással rendelkezhet, miközben jelenlegi kibocsátása már csökken. Egy gyorsan fejlődő ország jelenlegi kibocsátása magas lehet, de lakosainak jelentős része még mindig jóval kevesebb energiát fogyaszt, mint a fejlett országok népessége.

Ráadásul egy országon belül is óriási különbségek lehetnek.

Egy nagy vagyonnal és több ingatlannal rendelkező ember környezeti terhelése sokszor jelentősen meghaladja egy alacsony jövedelmű háztartását. Ezért az országok közötti igazságosság önmagában nem elegendő: a társadalmon belüli különbségeket is figyelembe kell venni.





314. ábra: A környezeti átállás előnyei és terhei gyakran más helyeken jelennek meg. A tiszta technológiák nyersanyag kitermelése, a fejlett országok energiaátállása és a sérülékeny térségek alkalmazkodása ugyanannak a világgazdaságnak a részei.

A finanszírozásnak ezért többféle forrásra kell támaszkodnia.

A környezetszennyezőknek viselniük kell az általuk okozott károk indokolható részét. Az állami költségvetésnek biztosítania kell az alapvető közszolgáltatásokat és a közösségi beruházásokat. A vállalatoknak saját működésük kockázatait és környezeti terheit kell beépíteniük a gazdálkodásukba.

A nemzetközi támogatások pedig ott kaphatnak különösen fontos szerepet, ahol a környezeti veszélyek súlyossága nincs arányban az adott ország védekezési lehetőségeivel.

Az ENSZ Környezetvédelmi Programjának 2025-ös értékelése szerint a fejlődő országok éghajlati alkalmazkodásának éves finanszírozási szükséglete 2035-re 310–365 milliárd dollárra emelkedhet, miközben 2023-ban a rendelkezésükre bocsátott nemzetközi közfinanszírozás mindössze 26 milliárd dollár volt.

Ez a különbség nemcsak azt mutatja meg, hogy mennyi pénz hiányzik, hanem azt is, milyen nehéz a nemzetközi szolidaritást konkrét költségvetési vállalásokká alakítani.

Mindezek mellett egy további veszélyre is figyelni kell.

A környezetvédelem nem válhat olyan rendszerré, amelyben a szegényebb háztartások a mindennapi fogyasztásukon keresztül aránytalanul nagy terhet viselnek, miközben a legnagyobb környezeti terheléssel járó tevékenységek könnyebben elkerülik a költségeket.

Az igazságos környezetpolitika nem azt jelenti, hogy mindenki ugyanannyit fizet. Hanem azt, hogy a terhek elosztása figyelembe veszi a felelősséget, a lehetőségeket és a társadalmi következményeket.

A nemzetközi együttműködés dilemmája

A környezetvédelem egyik legnagyobb nehézsége, hogy a környezeti folyamatok nem igazodnak az országhatárokhoz, a politikai és gazdasági döntések jelentős része viszont nemzeti keretek között születik.

A légkör közös, de az energiapolitika nemzeti. Az óceánok összefüggő rendszert alkotnak, de a halászatot és a tengeri erőforrások kitermelését különböző államok szabályozzák. Egy folyó vízgyűjtő területén pedig több ország döntései befolyásolhatják a downstream, vagyis az alsóbb szakaszokon élők helyzetét.

A nemzetközi együttműködés alapvető problémáját a közgazdaságtan potyautas-jelenségként ismeri.

Ha egy ország jelentős összegeket költ kibocsátáscsökkentésre, annak globális előnyeiből más országok is részesülnek, függetlenül attól, hogy maguk mennyit áldoznak a közös célra.

Így minden résztvevő számára megjelenhet a kísértés, hogy a költségek nagyobb részét másokra hagyja.

A probléma nem oldható meg egyszerű felszólításokkal.

Az országok eltérő fejlettségi szinten állnak, más energiahordozókkal rendelkeznek, és különböző gazdasági érdekeket követnek.

A fejlődő országok joggal hivatkoznak arra, hogy a gazdag államok történelmi fejlődése jelentős környezeti terheléssel járt. A fejlett országok viszont joggal vetik fel, hogy a globális kibocsátás alakulását ma már nem lehet kizárólag a múltbeli felelősség alapján kezelni.

Mindkét szempont fontos, de egyik sem elegendő önmagában.

A nemzetközi megállapodásoknak ezért össze kell hangolniuk a történelmi felelősséget, a jelenlegi kibocsátást, a gazdasági lehetőségeket és a jövőbeli fejlődési igényeket.



315. ábra: A nemzetközi klímatárgyalásokon eltérő fejlettségű és érdekű országok próbálnak közös szabályokat kialakítani. A megállapodás létrejötte fontos, de az eredményt végül a vállalások teljesítése határozza meg.

A nemzetközi klímadiplomácia eredményei egyszerre adnak okot reményre és csalódottságra.

Az 1997-es Kiotói Jegyzőkönyv meghatározott iparosodott országok számára írt elő kibocsátási kötelezettségeket, de a rendszer lefedettsége és hatékonysága korlátozott maradt.

A 2015-ös Párizsi Megállapodás ennél szélesebb részvételt teremtett. A részes felek nemzeti vállalásokat tesznek, amelyeknek idővel egyre ambiciózusabbá kell válniuk.

A rendszer előnye, hogy különböző fejlettségű országok is részt tudnak venni benne. Hátránya viszont, hogy a vállalások teljesítése alapvetően a nemzeti politikai akarattól függ.

A 2025 novemberében, a brazíliai Belémben megrendezett COP30 konferencián a résztvevők újabb megállapodást fogadtak el a fejlődő országok támogatásáról és az igazságos átmenetről. Az alkalmazkodási finanszírozás növelését is célul tűzték ki, ugyanakkor a fosszilis energiahordozók fokozatos kivezetésére vonatkozó egyértelmű menetrend nem került a végső egyezségbe.

A tárgyalások tehát működnek, de a döntések gyakran elmaradnak attól, amit a tudományos értékelések szükségesnek tartanak.

Ez azonban nem feltétlenül a nemzetközi együttműködés értelmetlenségét bizonyítja.

Inkább azt mutatja meg, hogy a globális környezeti problémákra nincs olyan világkormány, amely egyszerűen előírhatná az egyes országoknak a követendő politikát.

A nemzetközi megállapodások ereje végső soron az államok közötti bizalomból, a közös gazdasági érdekekből és az ellenőrizhető kötelezettségvállalásokból származik.

Amikor a környezetvédelem versenyhátránnyá válik

A nemzetközi együttműködés egyik legnehezebb kérdése a gazdasági verseny.

Ha egy ország szigorú környezetvédelmi követelményeket vezet be, vállalatai magasabb költségekkel szembesülhetnek, mint azok a külföldi versenytársak, amelyek enyhébb szabályozási környezetben működnek.

Ez ösztönözheti a termelés áthelyezését.

Az eredmény akár az is lehet, hogy egy ország területén csökken a kibocsátás, miközben a termékeket továbbra is elfogyasztják, csak éppen a gyártás környezeti terhei más országokban jelentkeznek.

Ezt a jelenséget kibocsátásáthelyezésnek, vagy angol kifejezéssel carbon leakage-nek nevezik.

Az Európai Unió ennek mérséklésére vezette be a karbonhatár-kiigazítási mechanizmust, a CBAM-ot, amelynek végleges rendszere 2026. január 1-jén lépett életbe.

A mechanizmus bizonyos importtermékek esetében az előállításukhoz kapcsolódó szén-dioxid-kibocsátást is figyelembe veszi, és igyekszik mérsékelni a hazai és importált termékek eltérő karbonköltségeiből származó versenytorzulást.

A gondolat gazdaságilag érthető, de újabb nemzetközi vitákat teremt.

A fejlődő országok egy része attól tart, hogy az ilyen szabályok megnehezítik termékeik bejutását a gazdag országok piacaira, és a környezetvédelmi célok mögött kereskedelemvédelmi érdekek is megjelenhetnek.

A fejlett országok ugyanakkor azt állítják, hogy közös vagy összehasonlítható környezeti követelmények nélkül a szennyezés egyszerűen áthelyeződik.

Mindkét érvelésnek van gazdasági alapja.

A megoldáshoz ezért nemcsak kereskedelmi korlátozásokra, hanem technológiai együttműködésre, finanszírozásra és az alkalmazkodásra elegendő idő biztosítására is szükség lehet.

A globális környezetvédelem tartós sikere aligha képzelhető el úgy, hogy a fejlett országok saját piacukon magas környezetvédelmi követelményeket alkalmaznak, miközben teljesen figyelmen kívül hagyják a beszállító országok átállási lehetőségeit.

A társadalmi bizalom hiánya maga is környezeti kockázat

A környezetvédelmi intézkedések elfogadottsága nagymértékben függ attól, hogy a lakosság mennyire bízik a döntéshozókban.

Ha az emberek úgy érzik, hogy a szabályok igazságtalanok, az intézkedések költségei aránytalanul rájuk hárulnak, vagy a vezetők maguk sem tartják be az általuk hirdetett elveket, akkor a szakmailag megalapozott döntések is komoly ellenállást válthatnak ki.

Ennek egyik legismertebb példája a franciaországi sárgamellényes mozgalom.

2018-ban az üzemanyagárakat és az üzemanyagadó emelését érintő elégedetlenség országos tiltakozássá szélesedett. A résztvevők között sokan a vidéki és kisebb településeken élők közül kerültek ki, akik számára az autó nem kényelmi eszköz, hanem a munkába járás és a mindennapi élet feltétele volt.







316. ábra: A francia sárgamellényes tiltakozások 2018-ban. A környezetvédelmi célú adóintézkedések akkor is társadalmi ellenállást válthatnak ki, ha az érintettek nem látnak reális vagy megfizethető alternatívát.

A mozgalomnak idővel sokféle gazdasági és politikai követelése lett, így nem tekinthető pusztán a környezetvédelmi adózás elleni tiltakozásnak.

A történet mégis fontos tanulságot hordoz.

Egy intézkedés környezeti szempontból indokolható lehet, de ha a társadalom egy része igazságtalannak érzi, a politikai megvalósítás kudarcba fulladhat.

A bizalom kialakításához ezért nem elegendő a szakértők magyarázata.

Az embereknek látniuk kell, hogy a szabályok mindenkire vonatkoznak, az intézkedések céljai világosak, a várható költségeket nem hallgatják el, és a leginkább érintettek tényleges segítséget kapnak.

A környezetvédelmi politika hitelességét különösen rombolja, ha a közéleti szereplők jelentős áldozatvállalást követelnek a lakosságtól, miközben saját működésükben nem mutatnak következetességet.

A bizalmatlanság azonban nem csak a politikusokkal szemben jelentkezhet. A vállalatok zöldre festett reklámjai, a túlzó katasztrófa-előrejelzések és a tudományos eredmények szelektív bemutatása ugyanúgy aláásható az együttműködést.

A társadalom bizalmát sokkal nehezebb újraépíteni, mint elveszíteni.

Lehet-e a demokrácia türelmesebb a jövővel szemben?

A demokratikus rendszerek egyik alapvető sajátossága a választási ciklusok rövidsége.

Egy kormány gyakran négy évre kap felhatalmazást. Egy erdő helyreállítása viszont évtizedeket vehet igénybe. Egy erőmű vagy vízgazdálkodási beruházás ötven évre is meghatározhatja egy térség működését.

A politikai döntéshozók ezért olyan intézkedések között kénytelenek választani, amelyek költségei azonnal jelentkezhetnek, előnyeik viszont csak jóval később válnak láthatóvá.

Ez nem a demokrácia kizárólagos hibája. A nem demokratikus rendszerek is hozhatnak rövid távú, politikailag motivált döntéseket, csak ott gyakran kevesebb lehetőség van azok nyilvános megvitatására.

A kérdés inkább az, hogyan lehet a demokratikus intézményeket alkalmassá tenni hosszabb időtávú célok követésére.

Az egyik lehetőség a pártok közötti tartós megállapodás bizonyos alapvető célokról.

Egy ország vízbiztonsága, az ivóvízhálózatok korszerűsítése, a természeti katasztrófák elleni védekezés vagy a közlekedési infrastruktúra hosszú távú fejlesztése nem feltétlenül kellene, hogy minden választás után teljesen új politikai irányt kapjon.

A másik lehetőség a független szakmai intézmények szerepének erősítése. Ezek rendszeresen mérhetik a környezeti állapotot, ellenőrizhetik a vállalások teljesítését, és nyilvánosan értékelhetik a kormányzati intézkedéseket.

Fontos azonban, hogy a szakértői intézmények ne vegyék át a demokratikus döntések jogát. Feladatuk az adatok és következmények feltárása, nem a társadalmi értékválasztások helyettesítése.

Egy harmadik lehetőség a lakosság közvetlenebb bevonása a döntések előkészítésébe.

Az állampolgárok nemcsak szavazhatnak, hanem mérlegelhetnek is

Írország érdekes kísérletet tett arra, hogy a bonyolult társadalmi kérdésekben a hagyományos parlamenti viták mellett más típusú demokratikus részvételt is alkalmazzon.

A 2017-ben működő állampolgári gyűlésben véletlenszerűen kiválasztott, a társadalom összetételét lehetőség szerint tükröző résztvevők vitattak meg különböző közpolitikai kérdéseket, köztük az éghajlatváltozást.

A résztvevők szakértőket hallgattak meg, különböző álláspontokat ismerhettek meg, kérdéseket tehettek fel, majd ajánlásokat fogalmaztak meg.

A klímaváltozással kapcsolatban 13 ajánlás született, többek között az állami intézmények példamutatásáról, a közlekedésről, az energiahasználatról és az éghajlatpolitika ellenőrzéséről.



317. ábra: Az ír állampolgári gyűlés munkája. A véletlenszerűen kiválasztott résztvevők szakértői tájékoztatás után vitatták meg a környezetpolitikai lehetőségeket.

Az ilyen állampolgári tanácskozások nem helyettesítik a választott parlamenteket, és ajánlásaik többnyire nem kötelező erejűek.

Előnyük inkább abban áll, hogy a résztvevőknek lehetőségük nyílik a szokásos politikai jelszavaknál részletesebben megismerni az egymással versengő érveket.

A viták során kiderülhet, hogy egy látszólag egyszerű kérdésnek milyen rejtett következményei vannak.

Az OECD 2025-ös összesítése szerint 1979 és 2023 között 28 OECD-országban 716 dokumentált, állampolgárok bevonásával zajló mérlegelő döntés-előkészítési folyamatot tartottak nyilván. A 2021–2023 közötti újabb esetek jelentős része környezetvédelmi kérdésekkel foglalkozott.

Az ilyen fórumok azonban önmagukban nem garantálják a jó döntést.

A résztvevők kiválasztása, a szakértők összetétele, a bemutatott információk minősége és a kérdések megfogalmazása egyaránt befolyásolhatja az eredményt.

Ahhoz, hogy valóban növeljék a közbizalmat, működésüknek átláthatónak és ellenőrizhetőnek kell lennie.

A lényeg nem az, hogy a társadalom minden tagja ugyanarra a véleményre jusson.

Hanem az, hogy a különböző véleményeket képviselő emberek képesek legyenek egymás érveit megérteni, és a közös döntések következményeit mérlegelni.

Amikor a környezetvédelem a politikai szembenállás eszközévé válik

A környezetvédelmi kérdések politikai jelentősége az elmúlt évtizedekben folyamatosan növekedett.

Ez bizonyos szempontból természetes és kedvező folyamat. A tiszta levegő, az egészséges ivóvíz, az energiaellátás biztonsága és a természeti értékek megőrzése olyan közérdekű kérdések, amelyeknek helyük van a politikai vitákban.

A probléma akkor kezdődik, amikor a környezetvédelem a politikai identitás részévé válik, és az álláspontokat már nem elsősorban a tények, hanem a párthovatartozás határozza meg.

Ilyenkor ugyanazt az adatot az egyik oldal bizonyítéknak, a másik propagandának tekintheti.

A közéleti vita pedig egyre kevésbé arról szól, hogy mely intézkedések működnek, és egyre inkább arról, hogy ki melyik politikai táborhoz tartozik.

A közösségi média ezt a folyamatot tovább erősítheti. A felháborodást, félelmet vagy gúnyt kiváltó tartalmak sokszor gyorsabban terjednek, mint a részletes tudományos magyarázatok.

Az éghajlatváltozásról szóló kommunikációban két szélsőség is ronthatja a közös cselekvés esélyeit.

Az egyik a tudományosan megalapozott veszélyek következetes tagadása vagy jelentéktelennek beállítása.

A másik a túlzó, bizonytalanságokat elhallgató katasztrófakommunikáció, amely minden kedvezőtlen időjárási eseményt a közelgő összeomlás egyértelmű bizonyítékaként mutat be.

Mindkettő torzíthatja a kockázatok társadalmi megítélését.

A tudományos tények pontos ismertetése ezért nemcsak szakmai, hanem közbizalmi kérdés is.

Különösen fontos különbséget tenni a valós és a vélt veszélyek, a bizonyított összefüggések és a még vizsgált feltételezések között.

Ez nem gyengíti a környezetvédelmet. Éppen ellenkezőleg: hosszú távon a hitelesség egyik legfontosabb feltétele.

A társadalomnak nem arra van szüksége, hogy minden nap újabb világvége-előrejelzést halljon.

Hanem arra, hogy megbízható tájékoztatást kapjon a veszélyekről, a lehetséges megoldásokról és azok valódi költségeiről.

Ki ellenőrzi az ellenőrzőket?

A környezetvédelmi szabályozás gyakran jelentős gazdasági forrásokat mozgat meg.

Támogatások, adókedvezmények, kibocsátási kvóták, beruházási programok és kutatási források sorsáról születnek döntések.

Ez szükségessé teszi az ellenőrzést.

Egy környezetvédelmi támogatás önmagában nem bizonyítja, hogy a közpénz felhasználása eredményes volt. Egy vállalat fenntarthatósági jelentése sem helyettesíti a tényleges kibocsátások és anyagáramok mérését.

A követelmény egyszerűnek tűnik: mérni kell az eredményt, nem csupán a ráfordítást.

Ha egy város egymilliárd forintot költ faültetésre, nem elegendő közölni, hány facsemetét vásároltak. Azt is vizsgálni kellene, hány fa marad életben öt vagy tíz év múlva, hogyan változik a hőterhelés, és mennyibe kerül az állomány fenntartása.

Ha egy állam elektromos autók vásárlását támogatja, nemcsak az eladott járművek számát érdemes megvizsgálni, hanem azt is, mekkora tényleges kibocsátáscsökkenést sikerült elérni, és milyen társadalmi csoportok részesültek a támogatásból.

Ha egy ipari vállalat zöld technológiára vált, indokolt figyelembe venni a teljes termelési lánc környezeti terheit, nem csupán a gyárkapun belül mért kibocsátást.

A környezetvédelem eredményességének ellenőrzéséhez független mérésekre, átlátható számítási módszerekre és nyilvánosan hozzáférhető adatokra van szükség.

A mesterséges intelligencia ebben is segíthet.

Műholdfelvételek elemzésével azonosítható lehet az illegális erdőirtás, a bányászati tevékenység kiterjedése vagy egyes szennyezések nyoma. Nagy adatbázisok

összehasonlításával feltárhatók a vállalati jelentések és a tényleges működés közötti ellentmondások.

De az AI itt sem válhat önmagában megkérdőjelezhetetlen döntőbíróvá. Az alkalmazott adatok, módszerek és következtetések emberi ellenőrzést igényelnek.

A jó környezetpolitika fontos követelménye, hogy a saját sikereit és kudarcait is képes legyen mérni.

A hibák beismerése nem a rendszer gyengesége, hanem a javítás előfeltétele.

A megoldás nem mindig jelent lemondást

A környezetvédelemről szóló vitákban gyakran azt a benyomást keltik, hogy a természet megóvása szükségszerűen az életszínvonal csökkenésével jár.

Egyes esetekben valóban szükség lehet fogyasztási szokások megváltoztatására, és vannak olyan környezeti korlátok, amelyeket technológiai fejlődéssel sem lehet teljesen megszüntetni.

De nem minden környezetvédelmi eredmény követel áldozatot a mindennapi élet minőségében.

Egy megfelelően szigetelt épület kevesebb energiát használhat, miközben télen melegebb, nyáron hűvösebb és kényelmesebb.

Egy korszerű vízellátó rendszer csökkentheti a vízveszteséget anélkül, hogy korlátozná a lakosság alapvető szükségleteit.

Egy jól szervezett közlekedési hálózat kevesebb energiával is képes lehet megfelelő mobilitást biztosítani.

A körforgásos gazdaság egyes megoldásai mérsékelhetik a nyersanyagigényt, miközben új iparágakat teremtenek.

Ezekben az esetekben a környezetvédelem nem a jólét csökkentését, hanem az erőforrások hatékonyabb felhasználását jelenti.

Ugyanakkor nem minden átalakulás ennyire kedvező.

A bányászat, a nehézipar, az energiatermelés vagy a mezőgazdaság átalakítása munkahelyeket és gazdasági térségeket érinthet. A költségek néha közvetlenek és jelentősek, míg az előnyök hosszabb idő alatt és szélesebb társadalmi körben jelennek meg.

Ezért különösen fontos az igazságos átmenet gondolata.

Az Európai Unió 2026–2032 közötti Szociális Klímaalapja például összesen 86,7 milliárd eurós kerettel kívánja támogatni a kiszolgáltatott háztartásokat, mikrovállalkozásokat és közlekedési felhasználókat az energia- és közlekedési átállás során.

A támogatás önmagában nem oldja meg az összes problémát, de jól mutatja a szemléletváltást: a környezetvédelmi célokat a társadalmi teherbíró képességgel együtt kell kezelni.

Egy társadalom hosszú távon aligha lesz képes fenntartani olyan környezetpolitikát, amelyet polgárainak jelentős része tartós elszegényedésként él meg.

Mitől lehetne jobb a közös döntéshozatal?

A korábbi fejezetekben bemutatott sikerek és kudarcok alapján néhány alapvető követelmény fogalmazható meg.

Nem valamiféle tökéletes politikai rendszerre van szükség. Olyan működési elvekre, amelyek csökkentik a hibás döntések esélyét, és lehetővé teszik azok későbbi javítását.

1. Valósághű és ellenőrizhető tudományos alapok

A mérési eredményeket, modelleket és bizonytalanságokat világosan kell bemutatni. A döntéseket nem szabad sem megalapozatlan optimizmusra, sem indokolatlan pánikkeltésre építeni.

2. Méltányos költségelosztás

A terheket a felelősség, a teherbíró képesség és a várható előnyök alapján kell megosztani. Külön figyelmet érdemelnek azok, akiknek nincs reális lehetőségük gyorsan alkalmazkodni.

3. Érdemi társadalmi részvétel

A döntések által érintett csoportokat már a tervezés során be kell vonni. A nyilvános vita nem akadálya, hanem fontos feltétele lehet a tartós intézkedéseknek.

4. Mérhető eredmények és nyilvános elszámolás

Nem az elköltött pénz vagy a meghirdetett célok száma számít, hanem a környezeti és társadalmi hatás. A sikertelen programokat módosítani vagy megszüntetni kell.

5. A választási ciklusokon túlmutató következetesség

A környezeti folyamatok időtávja miatt stabil intézményekre, kiszámítható szabályozásra és a hosszú távú célok rendszeres felülvizsgálatára van szükség.

Ezek az elvek nem garantálják, hogy minden döntés helyes lesz.

De csökkenthetik annak esélyét, hogy a környezetpolitika rövid távú politikai kampányok, részérdekek vagy megalapozatlan ígéretek foglyává váljon.

A jövő nemzedékei nem ülnek ott a tárgyalóasztalnál

A környezetvédelem egyik sajátos erkölcsi problémája, hogy döntéseink következményeinek egy részét olyan emberek viselik majd, akik ma még nem születtek meg.

Ők nem szavazhatnak a mostani választásokon, nem vehetnek részt a klímakonferenciákon, és nem tudják képviselni az érdekeiket a gazdasági tárgyalásokon.

Mégis jelentős részben a mai döntések határozzák meg, milyen természeti környezetet, infrastruktúrát, nyersanyagkészleteket és pénzügyi kötelezettségeket örökölnek.

Ez nem teljesen új probléma.

Az államadósság, a nyugdíjrendszer, az oktatás, a közlekedési infrastruktúra és számos más közpolitikai kérdés esetében is a jövő generációinak érdekeit kellene figyelembe venni.

A környezetvédelem azonban különösen hosszú időtávot érint.

Egy ma kibocsátott szén-dioxid-mennyiség hatása évszázadokig befolyásolhatja az éghajlatot. Egy elpusztított élőhely helyreállítása nem mindig lehetséges, egy kihalt faj elvesztése pedig végleges lehet.

A jövő nemzedékeinek érdekeit ezért a demokratikus intézményeknek valamilyen módon képviselniük kell.

Erre szolgálhatnak a hosszú távú környezeti hatásvizsgálatok, a független ellenőrző intézmények és az olyan jogi követelmények, amelyek bizonyos természeti értékek megőrzését a mindenkori politikai többségtől részben függetlenül biztosítják.

De a jövő érdekeire hivatkozás sem lehet korlátlan felhatalmazás.

Nem igazolhatunk bármilyen jelenlegi társadalmi áldozatot azzal, hogy az majd valamikor a következő nemzedékek javát szolgálja.

A jelenben élő emberek alapvető szükségleteit éppen úgy figyelembe kell venni, mint az utánunk következők lehetőségeit.

A kettő közötti egyensúly megteremtése az egyik legnehezebb politikai és erkölcsi feladat.

Nem kell mindenben egyetértenünk

A környezetvédelmi kérdésekben valószínűleg soha nem alakul ki teljes társadalmi egyetértés.

Lesznek, akik gyorsabb változásokat sürgetnek, mások óvatosabb átmenetet tartanak indokoltnak. Egyesek a technológiai fejlődésben bíznak, mások a fogyasztás mérséklését tekintik elengedhetetlennek.

Ezek a különbségek önmagukban nem jelentenek problémát.

A demokratikus társadalomnak nem az a célja, hogy minden polgára ugyanúgy gondolkodjon.

A cél inkább olyan döntési szabályok és intézmények kialakítása, amelyek között az eltérő álláspontok mellett is lehetséges az együttműködés.

Ehhez azonban szükség van néhány közös alapra.

El kell fogadnunk, hogy a valóság nem igazodik politikai meggyőződésünkhöz. Egy folyó szennyezettségét nem a pártprogramok, hanem a mérések alapján kell megítélni. Egy erdő ökológiai állapotát nem lehet kizárólag az alapján értékelni, hogy a kezelője milyen környezetvédelmi címkét használ.

Ugyanakkor azt is el kell fogadnunk, hogy ugyanazokból a tudományos tényekből különböző, legitim politikai következtetések születhetnek.

Egy társadalom dönthet úgy, hogy gyorsabb, költségesebb környezetvédelmi átállást vállal. Egy másik nagyobb hangsúlyt helyezhet az energiaellátás biztonságára vagy az ipari versenyképesség megőrzésére.

A döntések értékelésénél azonban nemcsak a szándékokat, hanem a tényleges eredményeket is figyelembe kell venni.

A környezetvédelem nem válhat világnézeti hűségpróbává.

Nem attól lesz valaki felelős állampolgár, hogy minden környezetvédelmi javaslatot kritikátlanul elfogad. És nem attól lesz egy intézkedés helytelen, hogy gazdasági költségei vannak.

A valódi vita éppen ezeknek a költségeknek, előnyöknek és kockázatoknak a nyílt mérlegeléséről szól.

A közös jövő ára

Könyvünkben a környezetvédelem történetét nem kizárólag a szennyezések, a felmelegedés és a természeti károk oldaláról vizsgáltuk.

Megnéztük, hogyan alakította át az emberiség a természetet, hogyan tette lehetővé az iparosodás a modern civilizáció létrejöttét, és milyen környezeti következményekkel járt mindez.

Láttuk, hogy a gazdasági fejlődés előnyei és a környezeti terhek gyakran más országokban és más társadalmi csoportoknál jelentkeznek.

Beszéltünk az erdők eltűnéséről és visszatéréséről, a folyók szennyezéséről és megtisztításáról, a városi levegő romlásáról és javulásáról.

Megvizsgáltuk az éghajlatváltozás tudományos bizonyítékait, a bizonytalanságokat, a politikai vitákat és azokat a gazdasági érdekeket, amelyek a változtatás útjában állhatnak.

Szó volt a tisztának nevezett technológiák nyersanyagigényéről, a hulladékok kereskedelméről, a zöldre festésről, valamint a háborúk sokszor évtizedekig fennmaradó környezeti következményeiről is.

A történetekben volt egy közös elem.

A környezeti problémák soha nem kizárólag a természetről szóltak.

Mindig emberekről is szóltak: arról, hogy ki hozza meg a döntéseket, ki élvezi a fejlődés előnyeit, ki viseli a károkat, és kinek van lehetősége megváltoztatni a kialakult helyzetet.

A múlt sikerei bizonyítják, hogy az emberiség képes jelentős környezeti problémákat megoldani.

A jelenlegi nehézségek viszont arra figyelmeztetnek, hogy a tudás és a technológia önmagában nem elegendő.

A döntésekhez bizalomra, működő intézményekre, gazdasági együttműködésre és arra a felismerésre van szükség, hogy a közös környezeti rendszereket nem lehet tartósan kizárólag egyéni vagy nemzeti érdekek alapján kezelni.

Ez nem jelenti az érdekek megszűnését.

Az emberek és az országok továbbra is törekedni fognak a jólétük, biztonságuk és gazdasági lehetőségeik javítására. A sikeres környezetvédelem feladata nem ezeknek a törekvéseknek a megszüntetése, hanem olyan feltételek kialakítása, amelyek között a rövid távú előnyök nem járnak elfogadhatatlan hosszú távú károkkal.

Ehhez néha szabályozás kell, máskor technológiai újítás, gazdasági ösztönző, nemzetközi megállapodás vagy egyszerűen jobb tájékoztatás.

De mindenekelőtt arra van szükség, hogy képesek legyünk a környezetvédelemről nem egymás elleni küzdelemként, hanem közös problémák megoldásaként gondolkodni.



318. ábra: A természeti környezet és az emberi civilizáció jövője nem választható el egymástól. A kérdés az, képesek vagyunk-e úgy fejlődni, hogy a következő nemzedékek számára is megőrizzük a választás lehetőségét.

A Földnek nincs szüksége arra, hogy az emberiség mindenáron megmentse.

Bolygónk története során voltak jégkorszakok, rendkívül meleg időszakok, tömeges kihalások és hatalmas természeti átalakulások. A Föld ezek után is tovább létezett, és az élet új formákban fejlődött tovább.

A kérdés sokkal inkább az, hogy mi, emberek milyen feltételeket teremtünk saját magunk és az utánunk következő nemzedékek számára.

A természet védelme ezért végső soron a saját életfeltételeink védelme is.

Nem kell minden változástól félnünk, de nem hagyhatjuk figyelmen kívül a következményeit sem. Nem kell lemondanunk a fejlődésről, de meg kell tanulnunk pontosabban számolni annak teljes árával.

És nem várhatjuk el, hogy ezt az árat mindig mások fizessék meg.

A könyv címében feltett kérdésre – Ki fizeti az árát? – nincs egyetlen egyszerű válasz.

A környezetszennyezés árát ma is fizetik azok, akik megbetegszenek, elveszítik megélhetésüket vagy otthonukat. A környezetvédelem árát azok viselik, akik beruháznak, alkalmazkodnak vagy megváltoztatják korábbi működésüket.

A tétlenségnek és a cselekvésnek egyaránt vannak költségei.

A kettő között azonban van egy alapvető különbség.

A környezetvédelem költségeiről még dönthetünk, azok elosztását befolyásolhatjuk, és a megoldásokat javíthatjuk. A bekövetkezett, visszafordíthatatlan károk árát viszont már nem mindig választhatjuk meg.

Talán ez a legfontosabb tanulság, amelyet a környezetvédelem történetéből levonhatunk.

Nem az a kérdés, hogy képesek vagyunk-e teljesen változatlanul megőrizni a világot, hanem az, hogy képesek vagyunk-e felelősen megválasztani, mit változtatunk meg benne.

És hogy a döntéseinkkel milyen világot hagyunk azokra, akik utánunk következnek.

Epilógus

Az emberiség története a természet meghódításának története is. Erdőket irtottunk, folyókat szabályoztunk, hegyeket bontottunk le, és olyan mennyiségű energiát állítottunk a szolgálatunkba, amilyet elődeink elképzelni sem tudtak.

Mindez lehetővé tette, hogy hosszabb ideig éljünk, egészségesebbek legyünk, többet termeljünk, és korábban elképzelhetetlen jólétet teremtsünk.

De ennek ára volt. És van ma is.

A szennyezett folyók, az eltűnő élőhelyek, a felhalmozódó hulladék, a megváltozó éghajlat és a kimerülő erőforrások mind arra figyelmeztetnek, hogy a fejlődés költségeinek egy részét nem fizettük meg akkor, amikor a hasznát élveztük.

A számlát gyakran mások kapják meg.

A szegényebb országok, a szennyező iparágak közelében élők, az árvíz vagy aszály sújtotta családok. És egyre inkább azok a nemzedékek, amelyek még részt sem vehettek a döntések meghozatalában.

A könyvben igyekeztem a környezetvédelem ellentmondásait is bemutatni. Mert nincs minden szempontból tiszta energia, következmények nélküli technológia vagy áldozatmentes megoldás. A zöldnek nevezett iparágak mögött is állhatnak gazdasági érdekek, és a környezetvédelem nevében is születhetnek rossz döntések.

A valós veszélyeket azonban nem teszik semmissé a politikai túlzások, a téves előrejelzések vagy a gazdasági visszaélések.

A klímaváltozás nem hit kérdése. A környezetszennyezés nem politikai vélemény. A természet pusztulása pedig nem válik jelentéktelenné attól, hogy más problémáink is vannak.

A kérdés nem az, hogy megállítsuk-e a fejlődést. Hanem az, hogy képesek vagyunk-e úgy fejlődni, hogy közben ne romboljuk le saját életfeltételeinket.

Ehhez nem elegendő az egyéntől takarékosságot és lemondást követelni. A legfontosabb döntések az államok, a vállalatok és a nemzetközi gazdaság kezében vannak. A felelősségnek és a terheknek is ehhez kellene igazodniuk.

Gyakorló nagypapaként engem is aggodalommal tölt el a klímaváltozás. Nem elsősorban azért, mert attól tartok, hogy az én életemben már nem lehet megállítani a kedvezőtlen folyamatokat, hanem azért, mert az unokáimnak és az ő gyermekeiknek egy olyan világban kell majd élniük, amelynek feltételeit nagyrészt mi alakítjuk.

Nem szeretném, ha egyszer azt kellene kérdezniük:

„Tudtátok, mi történik. Miért nem tettetek többet ellene?”

Nem hiszem, hogy a jövő eleve elveszett. Az emberiség korábban is képes volt súlyos környezeti problémákat felismerni és mérsékelni. Ehhez azonban tudásra, józan mérlegelésre, együttműködésre és mindenekelőtt felelősségvállalásra van szükség.

Mert a legfontosabb kérdés végül nem az, hogy mennyibe kerül megvédeni a környezetünket.

Hanem az, hogy mennyibe kerül, ha nem tesszük meg.

És ezt az árat vajon kinek kell majd megfizetnie?

„A jövőt nem örököltük az elődeinktől. Egy időre ránk bízták – és nekünk kell továbbadnunk.”

TISZTÁBB LEVEGŐ. BIZTONSÁGOSABB VIZEK. ÉLHETŐBB JÖVŐ.

A klímaváltozás, a környezetszennyezés és a természeti erőforrások felhasználása nem pusztán természettudományos kérdések. Emberek millióinak mindennapjait, gazdaságokat, országokat és egész társadalmak jövőjét érintik.

Ez a könyv közérthetően, tényekre alapozva mutatja be, hogyan formálta az ember a természetet, milyen következményekkel járt a fejlődés, és milyen döntések állnak előttünk. A múlt tanulságai, a jelen kihívásai és a jövő lehetőségei alapján segít megérteni, hogyan élhetünk együtt egy változó világban – úgy, hogy a fejlődés előnyei ne a természeti környezet rovására, hanem annak megőrzésével járjanak.

Mert a jövő nem magától alakul.
A döntéseink formálják.

