

Szalóczy Zs. (2025): Városaink és épített környezetünk jövője a polikrízis tükrében. CITY.HU Város-tudományi Szemle. 5(1), 15–41.

Városaink és épített környezetünk jövője a polikrízis tükrében

Szalóczy Zsolt¹

Absztrakt

A tanulmány azt vizsgálja, hogy a napjainkra egyre összetettebbé váló polikrízis jelensége – vagyis az egymással párhuzamosan jelentkező, rendszerszintű válságok összessége – milyen hatással van az épített környezet fenntartására, működésére és jövőbeli alakíthatóságára. A globális erőforrásválság, a fosszilis energiahordozók csökkenő energiahozama, az időjárási szélsőségek gyakoriságának és intenzitásának növekedése, valamint az ezekre adott társadalmi és gazdasági válaszok mind hozzájárulnak az épített infrastruktúrák sebezhetőségéhez.

A tanulmány termodinamikai szempontból is értelmezi a mesterséges rendszerek energia- és anyagigényét, és felhívja a figyelmet arra, hogy nem csak az új infrastruktúrák építéséhez, hanem a meglévők állapotának fenntartásához is elengedhetetlen az alacsony entrópiájú energia és anyagforrások folyamatos keresése és felhasználása. Az évtizedek óta megfigyelhető trendek alapján azonban ez évről évre egyre nehezebb. Mindezt tovább nehezíti a globális felmelegedés folyamatának csökkentése érdekében elengedhetetlen energetikai átállás, a megújuló energiatermelési formákra. A megújuló energiatermelő rendszerek építéséhez szükséges energia és nyersanyagigény jelentős mennyiségű erőforrást von el azoktól folyamatoktól, amelyek megszokott életvitelünk megőrzéséhez és fejlesztéséhez szükségesek.

A globális felmelegedési folyamat megállítása érdekében zajló energiaátmenet megvalósítása jelentős mértékű további fosszilis erőforrás felhasználását is igényli, amely miatt rövidtávon sajnos a klímaváltozás okozta szélsőséges időjárási jelenségek számának további emelkedése várható. A tanulmány ezért foglalkozik még a klímaváltozás okozta infrastruktúrákarak gazdasági és társadalmi következményeivel és a biztosítási

¹ Gábor Dénes díjas fizikus, a Pannon Egyetem Kémiai és Környezettudományi Doktori Iskolájának doktorandusza

piac kihívásaival is. Az írás legfőbb célja, hogy rámutasson a rendszerszintű megközelítés fontosságára az épített környezet fenntarthatóságával összefüggésben, ebben a válságokkal átszótt 21. században.

Kulcsszavak: polikrízis, mesterséges környezet, entrópia, energiaátmenet, nyersanyagválság

Abstract

The study examines how the phenomenon of polycrisis, which is becoming increasingly complex in our times – namely, the totality of systemic crises occurring in parallel – affects the maintenance, operation, and future adaptability of the built environment. The global resource crisis, the declining energy yield of fossil fuels, the increasing frequency and intensity of weather extremes, and the social and economic responses to these all contribute to the vulnerability of built infrastructures.

The study also interprets the energy, and material demands of artificial systems from a thermodynamic perspective and emphasizes that the continuous search and utilization of low-entropy energy and material sources are essential not only for the construction of new infrastructures but also for maintaining the condition of existing ones. Based on the trends observed over the decades, however, all this is becoming increasingly difficult year by year. All this is further complicated by the essential energy transition to renewable energy production forms necessary to reduce the process of global warming. The energy and raw material requirements for building renewable energy production systems divert a significant amount of resources from the processes necessary for maintaining and developing our usual way of life.

However, the implementation of the energy transition aimed at halting the global warming process requires a significant amount of additional fossil resource use, which unfortunately means that in the short term, a further increase in the number of extreme weather events caused by climate change is expected. The study therefore also addresses the economic and social consequences of infrastructure damage caused by climate change and the challenges faced by the insurance market. The main goal of the writing is to highlight the importance of a systemic approach to the sustainability of the built environment in this crisis-ridden 21st century.

Keywords: polycrisis, built environment, entropy, energy transition, resource crisis

A polikrízis természete és hatásai

A „polikrízis” kifejezés 2022-ben vált igazán ismertté, amikor a Financial Times szerkesztői az év szavának választották. A szó a görög „pol” (sok) és a „krízis” (válság) szavak összevonásából származik, és egy olyan korszakot ír le, amikor több, egymással összefonódó válság egyszerre jelentkezik, felerősítve egymás hatásait. A globális városhálózatot is sújtó polikrízis nem csupán sok válságot jelent, hanem azok egyidejű, rendszerszintű és egymást súlyosbító természetét.

2022 kiváló példája volt egy ilyen időszaknak. A világ még mindig küzdött a COVID-19 világjárvány gazdasági és társadalmi következményeivel, miközben az orosz–ukrán háború újabb bizonytalanságot és energiaválságot idézett elő. Eközben egyre égetőbbé váltak a klímaváltozással kapcsolatos problémák, az infláció világszerte megugrott, és az ellátási láncokban fellépő zavarok is súlyosbították a helyzetet. Mindezek a krízisek nem elszigetelten hatottak, hanem komplex módon erősítették egymást, instabilitást és globális feszültséget okozva.

A „polikrízis” szó tehát jól tükrözi azt a kollektív érzést, amely 2022-ben uralkodott: a világ egy olyan korszakba lépett, ahol a válságok nem különálló jelenségek, hanem összekapcsolódó, rendszerszintű kihívások. Ennek felismerése kulcsfontosságú lehet ahhoz, hogy megfelelő válaszokat adjunk a jövőben a felmerülő problémákra (Heinberg 2023).

A polikrízis napjainkban

2025-ben a polikrízis fogalma sajnos még mindig aktuális, sőt tovább mélyült és újabb rétegekkel bővült. Az egymással összefonódó válságok továbbra is meghatározzák a globális közbeszédet, a politikai döntéshozatalt és az emberek mindennapi életét.

A polikrízis nem csupán válságok halmaza, hanem olyan rendszerszintű, egymást erősítő jelenségek hálózata, amelyek értelmezése csak komplex módon lehetséges. Ennek megfelelően e tanulmány szerkezeti logikája is ezen válságkomponensek – energia, anyag, víz, társadalmi-gazdasági és geopolitikai feszültségek – szerint épül fel, hogy rávilágítson azok strukturális összefüggéseire (*1. ábra*), és arra, hogy a válságok egymásra gyakorolt hatása rendszerszintű instabilitást okoz (Cascade Institute 2024).

1. ábra

Polikrízis: A különböző válságfolyamatok egymásra hatnak, egymást erősítik



Forrás: Cascade Institute 2024.

A gazdasági bizonytalanság szintje tovább nőtt, az infláció hatása még mindig érzékelhető sok országban. Eközben a kamatemelések és gazdasági lassulás miatt nő a munkanélküliség és a társadalmi feszültség. A Bank of America friss felmérése szerint a befektetők hangulata 30 éves mélyponton van, főként a Trump-féle vámháborúk miatt. A válaszadók 80%-a szerint a kereskedelmi háború a legnagyobb kockázat a piacokra nézve, és 90% globális stagflációt (magas infláció és alacsony növekedés) vár a következő évben. A gazdasági válság nem önálló jelenség, hanem szorosan kapcsolódik az energiaválsággal, a háborús konfliktusokkal és az ellátási lánc problémáival.

A klímaválság is tovább súlyosbodott az elmúlt években. 2024 volt a valaha mért legmelegebb év, a globális átlaghőmérséklet 1,6 °C-kal haladta meg az iparosodás előtti szintet, ezzel átlépve a párizsi klímaegyezmény által kitűzött 1,5 °C-os határt. Ez szélsőséges időjárási eseményekhez vezetett világszerte, beleértve a pusztító erdőtüzeket, hőhullámokat és áradásokat. 2024-ben Európa az elmúlt évtized legkiterjedtebb árvizeit élte át, amelyek a kontinens folyóhálózatának 30%-át érintették, és legalább 335 ember halálát okozták. Eközben Délkelet-Európa rekordhosszúságú hőhullámokat szenvedett el, Skandináviában pedig példátlan gleccserolvadás történt. Az éghajlati változások következményei tehát napjainkban még látványosabban vannak jelen. Ezek nemcsak ökológiai, hanem társadalmi és gazdasági válságokat is gerjesztenek: természcsökkenés, migrációs nyomás, az édesvíz ellátással összefüggő konfliktusok.

A geopolitikai feszültségek is tovább növekedtek. Az orosz–ukrán háború még mindig nem zárult le, miközben más térségekben is éleződnek a konfliktusok (pl. a Közel-Keleten vagy Tajvan körül). Az erőviszonyok átrendeződése, a globális szövetségek megingása, valamint a nyersanyagokhoz való hozzáférésért folytatott verseny mind hozzájárulnak a nemzetközi instabilitáshoz.

Miközben a mesterséges intelligencia gyors fejlődése új lehetőségeket is kínál, egyben komoly aggályokat is felvet: a munkahelyek átalakulása, az adatvédelem kérdése, a dezinformációs hullámok, valamint a társadalmi egyenlőtlenségek mélyülése újabb válságpontokat jelentenek. Az MI már képes valóság-hű hamis szövegek, képek, videók (deepfake) előállítására, amelyek révén könnyen terjedhet politikai vagy gazdasági célú manipuláció, álhírek és propaganda.

Napjainkra tehát a polikrízis jelensége tovább erősödött: a válságok egyre inkább rendszerszinten fonódnak össze, és megértésükhöz komplex szemléletre van szükség. Az emberiség előtt álló kihívás nemcsak a tünetek kezelése, hanem a válságok gyökereinek közös, holisztikus megközelítése.

Fontos megértenünk, hogy a kialakult válságok nem pusztán természeti folyamatok elkerülhetetlen következményei. Heinberg szerint a polikrízis nemcsak természeti, hanem társadalmi konstrukció is (Heinberg 2024). A jelenlegi globális rendszer működés módja – a gazdasági növekedést mindenek fölé helyező, fogyasztás vezérelt modell, a globális tőke koncentrációja és az erőforrások feletti dominanciaharc – olyan strukturális okokat jelentenek, amelyek aktívan termelik újra a polikrízis állapotát. A válság tehát nem kívülről érkezik, hanem a társadalmi-gazdasági rendszer immanens működésének eredménye, emiatt a polikrízis korszakában a fenntarthatóság új megközelítést kíván (Siirila, Salonen 2024).

Erőforrás válság: energia, víz, nyersanyagok

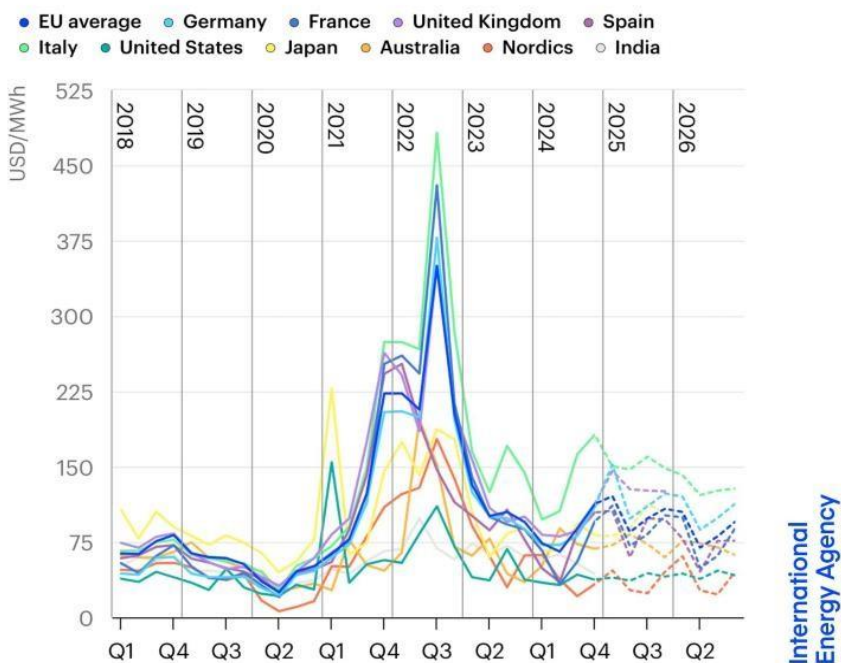
Az erőforrások globális helyzete szorosan kapcsolódik a polikrízis jelenségéhez, sőt sok tekintetben annak egyik alapvető mozgatórugója. Az energia, az élelmiszer, a víz, a nyersanyagok és a ritkaföldfémek eloszlása, hozzáférhetősége és igazságtalan felhasználása önmagában is válságokat szülhet, de a mai világban ezek összefonódnak más krízisterületekkel – például a klímaváltozással, geopolitikával és gazdasági bizonytalanságokkal.

Az orosz–ukrán háború kitörése után a fosszilis energiahordozók – főleg gáz és kőolaj – áramlása akadozott, ami világszerte energiaár-robbanáshoz vezetett (2. ábra).

2. ábra

Az elektromos energia árának alakulása 2018–2026

Quarterly average wholesale prices for selected regions, 2018–2026



Forrás: International Energy Agency 2024.

Ez nemcsak gazdasági krízist idézett elő, hanem felerősítette az energiafüggőség kérdését és prioritássá tette az energiaellátás biztonságával kapcsolatos kérdéseket. Az energiabiztonság kérdésköre pedig háttérbe szorítja a megújuló energiaforrásokra történő globális átállással kapcsolatos prioritásokat. Az energiapolitika tehát már nemcsak gazdasági, hanem geopolitikai és környezeti válságok metszéspontja is lett.

A víz- és élelmiszerellátás egyre több régióban bizonytalan, főleg az éghajlatváltozás miatt (aszály, elsivatagosodás, talajerózió). A világszintű édesvízhiány az egyik leg súlyosabb, de gyakran alábecsült környezeti és társadalmi kihívás, amely az elkövetkező évtizedekben több milliárd embert érinthet közvetlenül. A frissvízkészletek nemcsak korlátozottak, hanem egyenlőtlenül oszlanak el, és egyre nagyobb nyomás nehezedik rájuk a népességnövekedés, az iparosodás, a mezőgazdasági igények és a klímaváltozás következtében. A víz nem csupán természeti erőforrás, hanem emberi jog, stratégiai eszköz és a túlélés záloga. Az ENSZ becslése szerint 2050-re a világ lakosságának közel 50%-a fog vízhiányos térségekben élni. A várható édesvízhiány nem csupán környezeti, hanem társadalmi, gazdasági és etikai válság is, és ez társadalmi feszültségeket, migrációs hullámokat és helyi konfliktusokat is kivált. A vízhiány már nem csak humanitárius probléma, hanem politikai is, mivel térségek és országok közti feszültségeket generálhat (UN).

Az egyre robusztusabb városhálózatok zöld átálláshoz szükséges anyagok – például lítium, kobalt vagy ritkaföldfémek – iránti kereslet folyamatosan növekszik, miközben ezek kitermelése és eloszlása egyenlőtlen. Ez újabb geopolitikai függőségekhez vezet, gyakran környezeti károkozással és társadalmi kizsákmányolással együttesen. A nyersanyagok feletti ellenőrzés már stratégiai előnyt jelent, ami új konfliktusokat szül.

A polikrízis egyik kulcseleme az igazságtalan erőforrás-elosztás. A fejlett országok gyakran nagyobb hozzáféréssel rendelkeznek kulcsfontosságú javakhoz, miközben a fejlődő régiók szenvednek azok hiányától. Ez globális igazságtalanságot és feszültséget generál, amely megnyilvánulhat migrációban, politikai instabilitásban és egyes társadalmi rétegek radikalizálódásában is.

Az erőforrások globális helyzete tehát nemcsak része a polikrízisnek, hanem sok válság közös nevezője. Az energia-, víz- és nyersanyagkrízisek nem különálló jelenségek, hanem olyan hálózatba kapcsolt problémák, amelyek más válságokkal együtt hatnak – és csak rendszerszintű megközelítéssel lehet őket hatékonyan kezelni.

Mesterséges környezetünk erőforrásigénye

Mesterséges környezet alatt azokat az ember által létrehozott és fenntartott rendszereket értjük, amelyekben élünk, dolgozunk és közlekedünk: városok, épületek, infrastruktúra, digitális rendszerek, technológiai eszközök stb. Fejlesztéséhez és fenntartásához sokféle

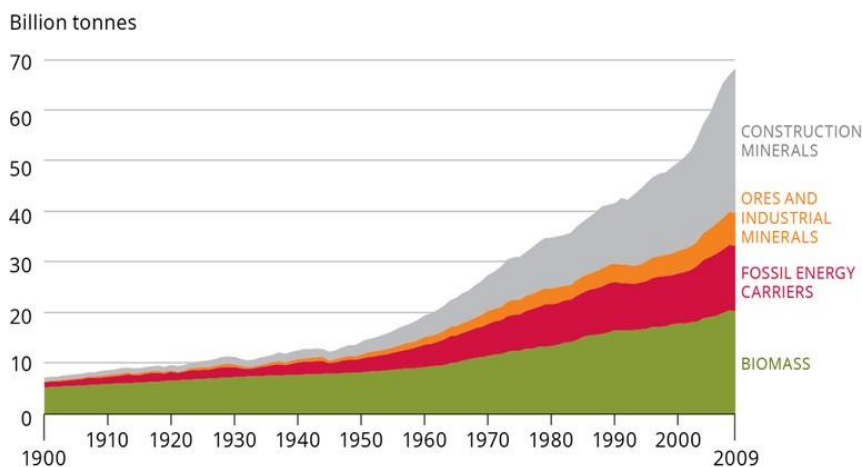
erőforrásra van szükség – ezek lehetnek természeti, technológiai, gazdasági, emberi vagy akár társadalmi jellegűek.

A mesterséges környezet növekedése az elmúlt évszázadban példátlan ütemet vett (3., 4. ábra), amely elsősorban a városiasodás, az infrastruktúra-építés és a gazdasági globalizáció következménye. A világszintű építkezések és ipari létesítmények terjeszkedése hatalmas anyag- és energiaigénnyel jár, jelentős nyomást gyakorolva a természetes ökoszisztémákra és az erőforrás-ellátási rendszerekre.

- A világ városi lakossága 1950 óta megháromszorozódott, és mára az emberiség több mint 56%-a városokban él – ez az arány 2050-re várhatóan 68% fölé nő.
- Az épített környezet évente több ezer négyzetkilométerrel terjeszkedik, különösen a globális dél gyorsan fejlődő régióiban (pl. Dél-Ázsia, Afrika, Latin-Amerika).
- A cement, acél, téglá, üveg és műanyag felhasználása minden korábbinál gyorsabban növekszik – ezek előállítása rendkívül energiaigényes és szén-dioxid-kibocsátással jár.

3. ábra

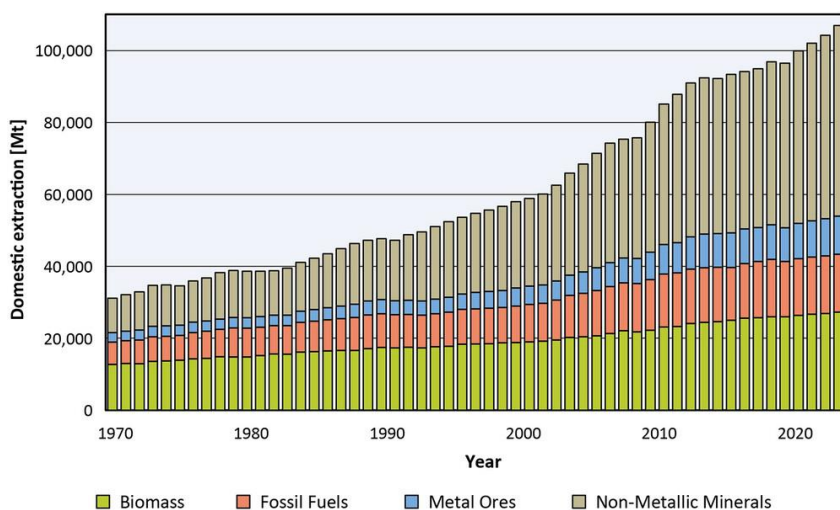
A globális anyagfelhasználás alakulása típusonként 1900–2009



Forrás: Krausmann (et al.) 2011.

4. ábra

Globális anyagfelhasználás 1970–2024



Forrás: Schandl 2024.

Az ENSZ Környezeti Programja (UNEP) szerint a globális anyagfelhasználás több mint 50%-át a mesterséges környezet kiépítése teszi ki. A rendelkezésre álló adatokból jól látható, hogy az építkezésekhez szükséges anyagok felhasználása növekszik a legnagyobb mértékben. Az építőipar évente több mint 40 milliárd tonna nyersanyagot használ fel, főként homokot, kavicsot, meszet, cementet, fémeket és vizet. A homok például a világ egyik legnagyobb mértékben kitermelt nyersanyaga, de készletei nem végtelenek, és a túlhasználat ökológiai katasztrófához vezethet. A cementgyártás önmagában a globális CO₂-kibocsátás mintegy 8%-áért felelős. Egy modern város fenntartásához szükséges energia- és anyagáramlások rendszerszintű, folyamatos utánpótlást igényelnek – ezt nevezzük metabolikus fenntarthatóságnak.

Mesterséges környezetünk nem létezhet és nem fejlődhet csak egyféle erőforrásból. A természeti és technológiai alapokra emberi, gazdasági és társadalmi tényezők épülnek rá. Ezek kölcsönhatása határozza meg, hogy a környezetünk mennyire lesz élhető, fenntartható és ellenálló – különösen a krízisekkel teli világban. Az építkezések anyag- és energiaigénye határt szab a növekedés fenntarthatóságának, ezért elengedhetetlen a hosszú távú gondolkodás, az adaptív, regeneratív építészet, valamint a természetes rendszerekkel való együttműködés.

Az épített környezet entrópiája és energiaigénye

A mesterséges környezet kitűnik a természetes környezetből azzal a tulajdonságával, hogy úgymond magától – természetes módon – nem teremődne meg. Kissé szakmaiban megfogalmazva a mesterséges környezet entrópiaszintje alacsonyabb az őt körülvevő fizikai környezet entrópia szintjétől (Sauerheber 2018).

Előre is elnézést kérek a kedves Olvasóktól, de ezen a ponton szükségesnek látom kitérni erre a fontos tényezőre, mivel ennek az aspektusnak a megértése nagyon szükséges és fontos. Az entrópia fogalmát a termodinamika és az információelmélet is használja, és leegyszerűsítve a rendezetlenség vagy a rendezetlenség felé való törekvés mértékét jelenti. Ha ezt alkalmazzuk a mesterséges és a természetes környezet összehasonlítására, akkor a különbség lényegében az, hogyan viszonyulnak ezek a rendszerek a rendezettséghez, önszerveződéshez, illetve a pusztuláshoz vagy káoszhoz.

A természetes ökoszisztémák önszervező, dinamikus rendszerek. Bár a termodinamika törvényszerűségei szerint a világ összességében egyre rendezetlenebbé válik, a természet képes lokálisan csökkenteni az entrópiát – például amikor élőlények rendszereket (sejtek, ökoszisztémák) hoznak létre és tartanak fenn. Egy erdő például magától képes regenerálódni: a növények, talaj, mikroorganizmusok egymással kölcsönhatásban egyensúly kialakítására törekszenek.

A városaink objektumai – épületek és egyéb infrastruktúrák – azonban nem önfenntartóak. Magas szervezési, energia és anyagbefektetést igényel a létrehozásuk és működtetésük. Amint azonban ezeknek a mesterséges objektumoknak a fenntartására fordított erőfeszítések mértéke csökken vagy a leáll, gyorsan romlani kezdenek: az elhagyott épületek lepusztulnak, utak tönkremennek, rendszerek összeomlanak – az entrópia gyorsan növekszik. Emellett a mesterséges rendszerek önmagukban nem képesek adaptív válaszokra a külső környezeti hatásokkal szemben (pl. klímaváltozás, árvizek, energiahány).

Míg az élő természetes környezet képes alacsonyabb entrópiaszinten stabilizálódni a saját belső működése révén, addig a mesterséges környezet csak folyamatos energia és anyagbefektetés árán tartható fenn alacsony entrópiájú állapotban. Más szóval: az élő természet rendet teremt a káoszból, míg az ember káoszba süllyed, ha nem tartja fenn maga körül a rendet.

De vajon lehet-e a mesterséges rendszerekben nemcsak csökkenteni az entrópia-növekedés ütemét, de akár stabilizálni is annak entrópia szintjét?

Ahhoz, hogy ezt képesek legyünk megvalósítani olyan alacsony entrópiájú forrásokra van szükség, amelyek rendezett energiát, anyagot vagy információt biztosítanak – ezek révén a mesterséges rendszerek tovább működhetnek, javíthatók, fenntarthatók

maradnak. Azonban, ha a jelenlegi tendenciákat nézzük ezek biztosítása egyre nehezebb és hamarosan talán már nem is lesz lehetséges!

Nézzük például az energia rendszereinket. A globális energiaigény biztosítására a mai napig is a fosszilis energiahordozók segítségével vagyunk csak képesek, amelyek részesedése még mindig 80% feletti annak ellenére, hogy már több mint negyven éve tudjuk: a használatuk negatívan befolyásolja a Föld energiamérlegét, amely így egy gyorsuló ütemű globális felmelegedési trendbe került. Ez megnöveli az időjárási szélsőségeket (viharok, széllekeések, szárazságok, hóhullámok). Mindez azonban nemcsak az ember számára nehezíti meg az életet, hanem a települési infrastruktúrákban is növekvő károkat okoz. Azaz növeli az entrópiájukat, avagy csökkenti a rendezettségüket.

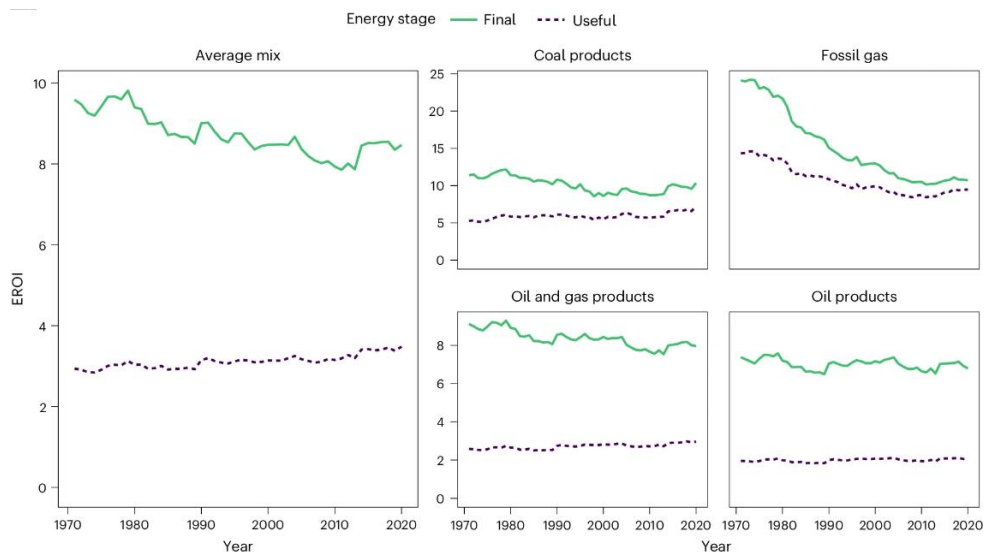
A modern ipari társadalmak kialakulásának és a települési rendszerek folytonos növekedésének egyik legfontosabb alapja a fosszilis energiahordozók – a kőolaj, földgáz és szén – rendelkezésre állása és energiatartalma volt. Az elmúlt évtizedekben azonban nemcsak az ezekhez való hozzáférés vált egyre költségesebbé, hanem az általuk biztosított nettó energiahozam – vagyis a ténylegesen hasznosítható energia aránya – is folyamatosan csökken (Armandia 2024). Ez a tendencia nem csupán gazdasági vagy technológiai, hanem alapvető termodinamikai és geológiai törvényszerűségekből fakad.

A fosszilis energiahordozók energiaszintjében bekövetkezett változások megértéséhez fontos megemlíteni az EROI (Energy Return on Investment) mutatót, amely azt jelzi, hogy egy egységnyi befektetett energia hány egység energia kinyerésére ad lehetőséget (Hall 2014). A 20. század elején, amikor még könnyen hozzáférhető, nagy energiasűrűségű olajmezőket tártak fel (pl. Texasban vagy a Közel-Keleten), az EROI értéke elérte akár a 100:1 arányt is. Ez azt jelentette, hogy egy egységnyi energiabefektetéssel százszor annyi energiához lehetett jutni.

Azóta azonban a könnyen hozzáférhető mezők kimerültek, és az újabb készletek feltárása egyre nagyobb energiabefektetést igényel. Napjainkra az olaj EROI-ja globálisan 10:1 alá csökkent, míg a palaolaj és olajhomok esetén akár 3:1 vagy még alacsonyabb értéket is mutathat (5. ábra).

5. ábra

A fosszilis energiahordozók EROI-értékeinek csökkenő trendje



Forrás: Aramendia (et al.) 2024.

Miért csökken az energiahozam?

A korábban feltárt fosszilis készletek kimerülését követően az újonnan feltárt források egyre mélyebben, nehezebben hozzáférhető helyeken találhatók, vagy alacsonyabb minőségűek. Néhány példa:

- A mélytengeri fúrásokat gyakran igen extrém körülmények között kell megvalósítani pl. a Mexikói-öbölben.
- A palaolaj és palagáz kinyeréséhez mélységi rétegekben megvalósított vízszintes fúrás és hidraulikus rétegrepszítés szükséges.
- Az olajhomokot, amely egy sűrű, bitumenszerű anyag, jelentős hő- és vízfelhasználással lehet csak feldolgozni.

Mindezek a módszerek jóval több energia- és anyagrafordítást igényelnek, így a végső energiamérleg – azaz a megtermelt energiának az a része, amely a termelés során felhasznált energiamennyiség felett megmarad – romlik.

Eközben a megtermelt energia minősége is romlik. Példaként említhetjük azt a tendenciát, amelyben végső felhasználásra kerülő energiahordozó energiasűrűsége folyamatosan csökken. Ilyen tendencia figyelhető meg a szén esetében: a korábban domináns

antracit vagy bitumenes szén helyett ma egyre több lignitet égetünk el, amely alacsonyabb fűtőértékű.

Csökkenti az energiahozamot a növekvő környezeti károk elhárításának energia igénye is. A fosszilis energiahordozók használatához kapcsolódó környezeti károk (pl. vízszennyezés, légszennyezés, széndioxid-kibocsátás) kezelése növeli az energia-termelés energia- és erőforrás-befektetés igényét (Barros 2015). Az elkerülésükre fordított többletenergia (pl. szűrés, helyreállítás, szénmegkötés) tovább csökkenti a rendszer hatékonyságát, és ezzel tovább romlik a nettó energiaszint.

De nem rózsás a helyzet a megújuló energiatermelési módok esetén sem. Míg a megújuló energiák fenntarthatósági indexe 0,39 és 0,80 között változik, ahol a 0 és 1 a fenntarthatósághoz való legkisebb és legnagyobb hozzájárulást jelenti, addig a hagyományos fosszilis energiatermelési módok esetén ez az érték 0,29 és 0,57 közé eszik (Daaboul 2023). Azaz egy megújuló erőmű által okozott környezetterhelés akár nagyobb is lehet egy jól teljesítő, jellemzően földgáz erőmű környezetterhelésénél.

Megújuló energiaforrások

A csökkenő energiahozam nem csupán technológiai kérdés. Mivel a modern gazdaságok és nagyvárosaik az olcsó és bőséges energia bázisára épültek, a fosszilis energiahordozók romló hozama megdrágítja a gazdasági működést, csökkenti a növekedési lehetőségeket, és súlyosbítja az egyenlőtlenségeket – különösen az energiainportra szoruló országokban.

A fosszilis energiahordozók energetikai hatékonysága – azaz az általuk biztosított nettó energia – folyamatos csökkenése részben geológiai szükségszerűség, részben a technológiai korlátok és a környezeti terhelés eredménye. Azonban következményként nemcsak az energiapiacok szükségszerű átalakulása jelentkezik, hanem a teljes gazdasági és társadalmi rendszer fokozatos újragondolásának igénye is.

Az energiaátállás paradoxona

Az emberiség jelenleg történelmi léptékű fordulóponthoz érkezett: a fosszilis energiahordozókon alapuló rendszereket fokozatosan megújuló energiaforrásokra szeretnénk cserélni a fenntarthatóság, klímavédelem és energiabiztonság érdekében. Ez az átmenet elengedhetetlen, de nem energiafüggetlen folyamat – sőt, az egyik legnagyobb kihívása

éppen az, hogy az átállás maga is jelentős fosszilis energiafelhasználást igényel. Ez egyfajta átmeneti energiaparadoxon: ahhoz, hogy megszabaduljunk a fosszilis energiaforrásoktól, még intenzívebben kell használnunk őket – legalábbis egy ideig.

A napelemek, szélturbinák, akkumulátorok, energiatároló rendszerek, intelligens hálózatok és az ezekhez kapcsolódó infrastrukturális fejlesztések (pl. erőművek, kábelek, út- és szállítmányozási rendszerek) nem a semmiből jönnek létre. A gyártásukhoz, szállításukhoz, beépítésükhöz és üzembe helyezésükhöz jelenleg elsősorban:

- fosszilis energiával működő gépekre és üzemanyagokra (pl. dízel),
- fosszilis alapú energiára (pl. acél és cement gyártásához),
- valamint fosszilis erőforrásokkal támogatott globális ellátási láncokra van szükség.

Egy-egy szélturbina vagy napelempark megépítése során hatalmas mennyiségű energiát kell befektetni – ez az az energia, amely már a termelés és telepítés során „el lesz költve”.

Mivel a fosszilis energiaforrások nem végtelenek és már eleve csökkenő hatékonyságúak (lásd EROI csökkenés), a megújuló gyors ütemű kiépítése rövid távon elvonja ezeket az erőforrásokat más gazdasági tevékenységek elől. Ez azt jelenti, hogy:

- kevesebb fosszilis energia jut közvetlen felhasználásra (pl. közlekedés, fűtés, ipar),
- több energia kerül „beruházásra” a jövőbeli rendszerek érdekében,
- az aktuálisan elérhető nettó hasznosítható energia jelentősen csökken.

Ez a jelenség a „Red Queen effect”-ként is ismert: azért kell futnunk (több energiát használni), hogy legalább a helyben maradás illúzióját fenntartsuk. Az energiaátmenet tehát az átállás idejére csökkenti a rendelkezésre álló, szabadon felhasználható energia mennyiségét, pedig ez az, amit a mesterséges környezetünk fenntartására és fejlesztésére fordíthatunk.

A kulcskérdés tehát nem csak az, hogy képesek vagyunk-e technikailag kiépíteni a megújuló rendszereket, hanem az is, hogy elég gyorsan tudjuk-e ezt megtenni, mielőtt:

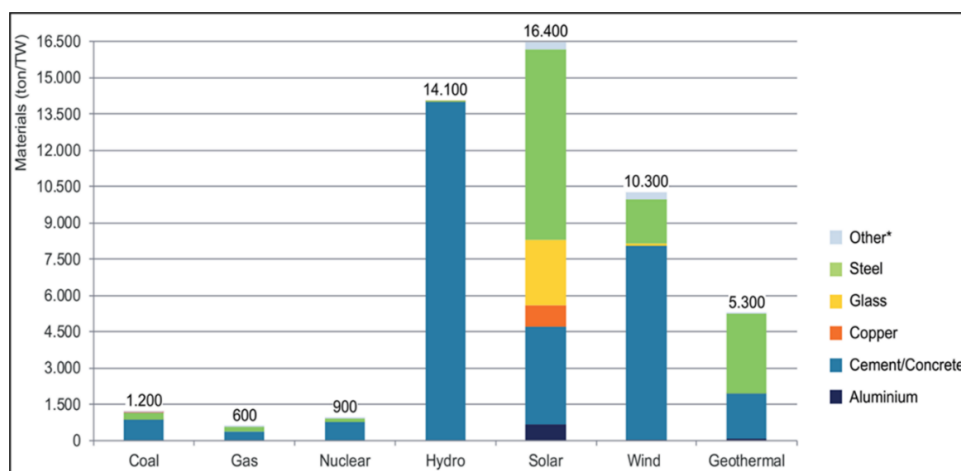
- a fosszilis készletek túl drágává vagy hozzáférhetetlenné válnak;
- az éghajlati visszacsatolások kezelhetetlen mértékű károkat okoznak;
- az energiadrágulás miatt társadalmi-gazdasági zavarok lépnek fel.

Minél tovább halasztjuk az energiaátmenetet, annál tovább lesz szükség a fosszilis energia használatára, de a késlekedés a fenti tényezők miatt energetikailag egyre drágábbá is teszi az átállást, egyre szűkebb mozgásteret hagyva az egyéb szektorok energiafelhasználására.

Az energiaátmenet nem csupán technológiai váltás, hanem erőforrásokkal való versenyzés az idővel. Rövid távon a megújuló rendszerek kiépítése tovább csökkenti a hasznosítható fosszilis energia mennyiségét, mert maguk a rendszerek jelenleg még fosszilis háttérrendszerekre támaszkodnak (Jackson 2021). Ez egy átmeneti energiaszüksületet eredményezhet, amelyet csak tudatos tervezéssel, hatékony energiafelhasználással és társadalmi összefogással lehet kezelni.

6. ábra

A fosszilis és a megújuló technológiák anyagigénye



Forrás: US Department of Energy 2015.

Az energiaátmenet sikere azon is múlik, hogy az utolsó fosszilis energiáinkat mire fordítjuk: elfüstöljük őket – vagy okosan beruházunk egy fenntarthatóbb jövőbe.

A megújuló energiák nyersanyag paradoxona

A megújuló energiára való globális átállás hosszú távon azt ígéri, hogy az emberiség képes lesz fenntartható és klímabarát módon biztosítani a szakadatlanul növekvő városai energiaigényét. A nap, a szél vagy a geotermikus energia forrásai valóban gyakorlatilag kimeríthetetlenek az emberi léptékhez képest. Azonban a megújuló energiát hasznosító

technológiák – napelemek, szélturbinák, akkumulátorok, hálózati infrastruktúrák – önmagukban nem „megújulók”, hanem nagymértékben támaszkodnak véges, nehezen hozzáférhető és geopolitikailag érzékeny nyersanyagokra (Mertens 2024).

Ez egy újfajta, kevésbé nyilvánvaló korlátot állít elénk: nem lehetséges végtelen energiarendszert építeni véges anyagkészletekből (EEA 2024, IEA 2021)!

A modern megújuló rendszerekhez szükséges alapanyagok közül több:

- ritkán fordul elő a természetben (pl. neodímium, tellúr, indium),
- koncentráltan helyezkedik el néhány országban (pl. kobalt Kongóban, lítium Chilében),
- nehéz, energiaigényes vagy környezetszennyező a kitermelésük és feldolgozásuk.

Számos kritikus nyersanyag szükséges az egyes technológiákhoz:

- Szilícium, ezüst, indium, gallium, tellúr a naperművekhez;
- Acél, réz, neodímium, prazeodímium, diszprórium a szélenergia-művekhez;
- Lítium, kobalt, nikkel, grafit, mangán az energia tároláshoz;
- Réz, alumínium a villamos átviteli hálózatokhoz.

A megújuló energiarendszerek tömeges elterjedése drasztikusan megnöveli az egyes nyersanyagok iránti igényt. Például:

- Egy elektromos autó akkumulátora akár 10 kg lítiumot, 15 kg nikkel és 10 kg kobaltot is tartalmazhat.
- Egyetlen szélturbina mágneses generátorához akár tonnákban mérhető ritkaföldfém mennyiség szükséges (pl. neodímium, diszprórium).
- A napenergia rendszerek ezüstfelhasználása miatt növekedett pl. az ezüst ára.

Mivel ezeknek az anyagoknak a kitermelése időigényes, és a világon korlátozottan állnak rendelkezésre, reális veszélye van annak, hogy a kereslet meghaladja a kínálatot – különösen, ha a környezeti és etikai szabályozásokat is figyelembe vesszük.

A nyersanyagok véges jellege nemcsak technikai, hanem politikai és etikai kihívásokat is felvet:

- A kulcsanyagok termelése néhány ország kezében összpontosul (pl. Kína – ritkaföldfémek, Kongó – kobalt).
- A kitermelés gyakran jár környezeti pusztítással, vízszennyezéssel, emberi jog-sértésekkel.
- A növekvő kereslet és az aszimmetrikus eloszlás újfajta függőségeket és akár konfliktusokat is generálhat (erőforrás nacionalizmus).

Bár a megújuló energiaforrások önmagukban gyakorlatilag kimeríthetetlenek, a technológiák, amelyek révén hasznosítani tudjuk őket, nagyon is földi korlátokhoz kötöttek. A véges nyersanyagok nem akadályozzák meg a zöld energiaforradalmat, de határokat szabnak annak sebességének, mélységének és egyenlőtlenségeinek (Kovalenko 2024).

Nem az a fő kérdés tehát, hogy van-e elég nap- vagy szélenergia, hanem az, hogy hogyan tudjuk az anyagi világ korlátain belül hatékonyan, igazságosan és fenntarthatóan felépíteni a technológiai hátteret, amely ezt az energiát felhasználhatóvá teszi a számunkra. Ez nemcsak urbanisztikai, mérnöki, hanem társadalmi és etikai kérdés is.

Bár elvileg a megújuló energiarendszerek kiépítése igazságosabb, decentralizáltabb energiamegosztást is lehetővé tenne, a jelenlegi geopolitikai és gazdasági realitások ezt nagymértékben akadályozzák. Az erőforrások feletti rendelkezésért folytatott globális verseny, a technológiai egyenlőtlenségek és a politikai akarat hiánya mind gátjai a méltányos energiaátmenetnek (Pommeret 2022). Az esélyegyenlőség helyett így sok esetben versenyfutás bontakozik ki a még hozzáférhető nyersanyagok birtoklásáért (IRENA 2023).

Véges erőforrások a korlátlan építés vágyával szemben

A modern civilizációt kiszolgáló mesterséges környezet – városok hálózata, épületek, utak, hidak, közüzemi rendszerek, adat- és energiahálózatok – folyamatos fejlődése az emberiség egyik legnagyobb teljesítménye. E struktúrák biztosítják a lakhatást, a közlekedést, az egészségügyi és oktatási infrastruktúrát, valamint a gazdaság alapvető működését. Ugyanakkor ezen rendszerek kiépítése és fenntartása hatalmas mennyiségű, túlnyomórészt nem-megújuló erőforrást igényel – kő, fém, cement, víz, energia – amelyek készletei nem végtelenek, és egyre nehezebben hozzáférhetőek (CYIS 2024).

A legtöbb mesterséges infrastruktúra természetből származó, bányászott vagy ipariilag előállított anyagokra épül. Példák: Cement – előállítása rendkívül energiaigényes és szén-dioxid-intenzív.

- Acél és vas – a modern városok és hidak alapszerkezete; előállításához vasércre és kokszolt szénre van szükség.
- Aszfalt – olajipari melléktermék, úthálózatok építésének fő komponense.
- Réz, alumínium, műanyag – közüzemi és elektromos hálózatokhoz, csövekhez, kábelekhöz.
- Homok és kavics – kulcsfontosságúak a betonhoz és üveghez, de a minőségi építési homok kezd elfogyni világszerte.

Mindezek nem megújuló, vagy rendkívül lassan, évmilliók alatt regenerálódó erőforrások (Hund 2023).

Ahogy a legkönnyebben elérhető erőforrások kimerülnek, a fennmaradó készletek:

- mélyebben helyezkednek el (mélyművelés),
- alacsonyabb minőségűek (ércben kisebb a hasznos anyag aránya),
- vagy környezetileg érzékeny térségekben találhatók (esőerdők, gleccserek alatt, sivatagokban).

A kitermelés tehát egyre energia- és költségigényesebb, valamint nagyobb környezeti és társadalmi áldozatokkal jár (vízhasználat, szennyezés, közösségek kiszorítása). Emellett a globális urbanizáció miatt a nyersanyag-kereslet is nő, különösen az olyan gyorsan fejlődő térségekben, mint India, Kína vagy Afrika nagyvárosai (ROCA 2024).

Az épített környezet növekedésének határai

Az elmúlt évtizedekben a városok által elfoglalt terület és az épített környezet exponenciálisan nőtt. Az emberiség által létrehozott anyagok tömege (beton, műanyag, acél stb.) 2020 körül meghaladta a bioszféra teljes élő biomasszáját – ez történelmi fordulópont. Az évente felhasznált nyersanyagok mennyisége mára több mint 100 milliárd tonna, ennek kevesebb mint 10%-a kerül újra felhasználásra.

A növekedési trend fenntartása anyagbázisában már nem fenntartható – a folyamatos építéssel párhuzamos egyre jobban fogynak a nyersanyag tartalékok (OECD 2024).

A mesterséges környezet építése és működtetése sosem volt „anyag-semleges” folyamat. Az ehhez szükséges nyersanyagok döntő többsége véges, nehezen újratemmelhető vagy geopolitikailag érzékeny, és a globális kereslet hosszú távon meghaladja majd az elérhető kínálatot.

Ahhoz, hogy az építés és fejlődés folytatható legyen a forma, mód és cél irányának radikális újragondolása szükséges! Napjaink mérnökei számára az egyik legfontosabb kihívás, hogy vajon lehet-e tartós, javítható, adaptív és anyagtakarékos mesterséges környezetet teremteni úgy, hogy az ne falja fel a bolygó maradék erőforrásait? Ez a kérdés nemcsak mérnöki kihívás, hanem kultúra, szemlélet és etikai felelősség is egyben.

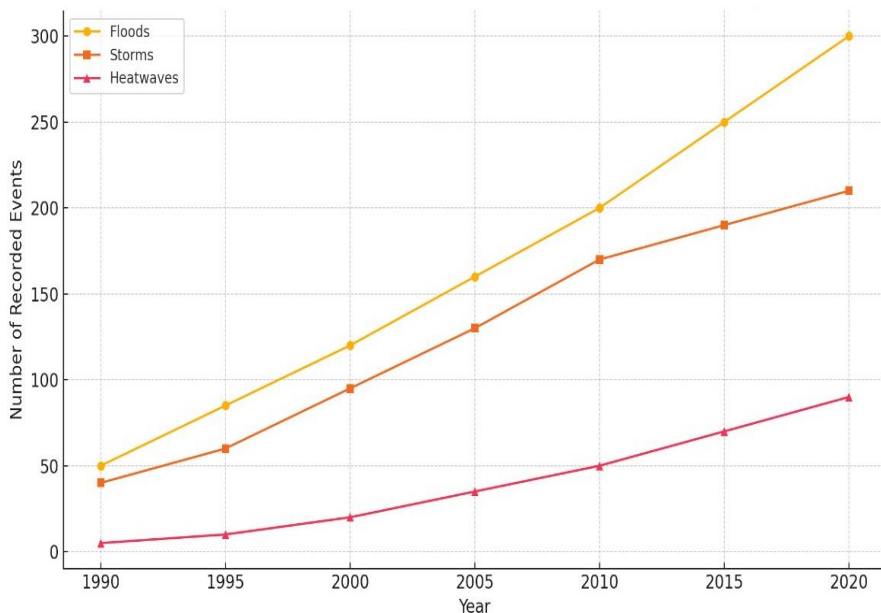
Éghajlati szélsőségek és az infrastruktúra sebezhetősége

Az elmúlt évtizedekben a globális éghajlati rendszerek egyre gyorsabb ütemben változnak. A légkör és az óceánok folyamatos melegedése, a jégtakarók és gleccserek visszahúzódása, valamint a tengerszint emelkedése mind a globális felmelegedés kézzelfogható jelei. Ugyanakkor az éghajlatváltozás egyik legsúlyosabb és leginkább érezhető következménye az időjárási szélsőségek számának, intenzitásának és gyakoriságának

növekedése. Ez a változás már nemcsak tudományos előrejelzésekben szerepel, hanem a mindennapi életünk részévé vált (7. ábra).

7. ábra

Extrém időjárási események számának növekedése (1990–2020)



Forrás: Our World in Data 2024.

A globális hőmérséklet-emelkedés egyenes következménye, hogy extrém meleg időszakok egyre hosszabb ideig tartanak és nagyobb területeket érintenek (IPCC 2007, 2014, 2023). Példák:

- Európában 2003-ban, 2010-ben, majd 2019-ben is rekordmeleg nyarakat regisztráltak, emberek ezrei haltak meg hőségutal vagy hőstressz következtében.
- Indiában és Pakisztánban rendszeressé váltak a 45–50°C-os hőmérsékletek, amelyek már az emberi tűrőképesség határait feszegetik.
- A hőhullámok városi hősziget-hatással, vízhiánnyal és áramkimaradásokkal súlyosbítják a lakosság életét.

A melegebb levegő több vízgőzt képes megtartani, így amikor lehűlés történik, nagy mennyiségű csapadék zúdulhat le rövid idő alatt:

- 2021-ben Németország és Belgium egyes részeit pusztító árvizek sújtották, több száz halálos áldozattal.
- Az ázsiai monszun egyre kiszámíthatatlanabb: időnként extrém szárazságokat, máskor özönvízserű esőzéseket hoz.
- Az intenzív csapadék nemcsak emberi tragédiákat, hanem mezőgazdasági károkat és infrastrukturális összeomlásokat okoz.

A globális felmelegedés következtében egyre hosszabbak a csapadéktelen időszakok, különösen a mediterrán, kaliforniai és ausztrál térségben:

- Kaliforniában az elmúlt évtized a valaha mért legszárazabb időszak volt, ami erdőtűzek egész évben való fenyegetéséhez vezetett.
- Ausztrália 2019–2020-as tűzvészeiben több mint 10 millió hektár égett le, milliárdnyi állat pusztult el.
- A szárazság nemcsak az erdőkre veszélyes: mezőgazdasági terméshozamok csökkennek, vízkorlátozások lépnek életbe, társadalmi feszültségek nőnek.

A melegedő óceánok több energiát biztosítanak a trópusi ciklonok, tájfunok és hurrikánok kialakulásához, emiatt az intenzitásuk és rombolóerejük jelentősen fokozódik:

- A Karib-térségben és Délkelet-Ázsiában évente sor kerül „szuperciklonokra” – ezek akár 250–300 km/h szélesebséggel érkeznek.
- A viharok nagyobb áradásokkal és tengerszint-emelkedéssel járnak, és gyakran szokatlan helyeket is elérnek.
- Az alacsonyan fekvő partvidékek egyre sebezhetőbbek – a természeti katasztrófák humanitárius válságokat okozhatnak.

Az időjárási szélsőségek nemcsak intenzívebbek, hanem sokkal kiszámíthatatlanabbá is váltak. Az éghajlati rendszerek instabilabbá válásával a megszokott évszakos ritmusok felborulnak:

- Tél közepén tavaszias napok, majd hirtelen fagy.
- Száraz évszakban porvihar, csapadékos időben áradás.
- Ez különösen veszélyes az élelmiszer-termelésre, vízgazdálkodásra és városelátó közműrendszerekre, amelyek a múltbéli éghajlati stabilitásra épültek.

A globális felmelegedés nem csupán az átlaghőmérséklet fokozatos emelkedését jelenti, hanem a teljes éghajlati rendszer „turbulensebbé” válását. A hőhullámok, árvizek, szárazságok és viharok mind gyakrabban, erősebben és nehezebben kezelhető módon jelennek meg (WMO 2023). Ezek a szélsőségek nem jövőbeli kockázatok, hanem

jelenlegi realitások, amelyekhez az emberiségnek alkalmazkodnia kell – infrastruktúrában, mezőgazdaságban, várostervezésben és nem utolsósorban gondolkodásmódban.

Ezeket a megállapításokat az IPCC (Éghajlatváltozási Kormányközi Testület) jelentései is megerősítik – különösen a 2021-ben publikált 6. jelentés („AR6 – The Physical Science Basis”), amely már konkrét kockázatmodelleket is tartalmaz az épített környezet sérülékenységére vonatkozóan.

Az időjárási szélsőségek hatása az infrastruktúrákra

A globális éghajlatváltozás következtében egyre gyakoribb és intenzívebb időjárási szélsőségek – például hóhullámok, árvizek, szélviharok, havazások vagy aszályok – súlyos károkat okoznak a mesterséges környezetünkben, vagyis az ember által létrehozott infrastruktúrában (EC). Ezek az események nemcsak anyagi veszteségeket eredményeznek, hanem rendszerszintű zavarokat is okoznak a mindennapi életben, a közszolgáltatásokban és a gazdaság működésében (EEA 2024, Tripathi 2023).

A hóhullámok megrongálják a beépített anyagokat (pl. dilatáció, repedések, deformációk), a tetőfedések felpuhulhatnak vagy leválhatnak. A viharok és tornádók ledöntöhetik a tetőket, megbontják a falakat, kárt tesznek ablakokban, homlokzatokban. Az árvizek eláztatják az alapozást, tönkreteszik a szigetelést, penészedést és szerkezeti károkat okoznak. A havazás és jég miatt összeomolhat a túlterhelt tetőszerkezet (pl. lapos tetős ipari csarnokoknál). A lakóépületek sérülése közvetlen lakhatási válsághoz és biztosítási kockázatok növekedéséhez vezet (EPA).

Az extrém hőség megolvashatja az aszfaltot, deformálja a vasúti síneket (Reuters 2025). A heves esőzések és árvizek előlönthetik, megrepeszthetik vagy teljesen kimoshatják az utakat, hidakat. Sziklaomlások és földcsuszamlások elzárják az utak és vasutak vonalát, ez egyre gyakoribb a hegyvidéki régiókban. Jég és hó megbénítja a közlekedést, baleseteket és torlódásokat idéz elő, fizikai károkat okoz az útburkolatokban. Ezek az események nagyfokú közlekedési fennakadásokat, gazdasági kiesést és mentési munkákat akadályozó hatásokat okoznak.

Hasonló veszélyek fenyegetik az energiarendszereket, a városi és egyéb közműveket is. Viharok, jégeső és jegesedés miatt megsérülnek elektromos vezetékek, transzformátorok, villanyoszlopok dőlhetnek ki. A hóhullámok alatt megnövekszik a hűtési igény, túlterhelődik a hálózat, áramkimaradások következnek be. Árvíz vagy tengerár miatt elöntött alállomások vagy erőművek működésképtelenné válhatnak (Reuters 2024). Extrém hideg esetén lefagyhatnak a gázvezetékek, tönkre mehetnek vízellátó rendszerek. Az energiarendszerek sérülése láncreakciót indíthat el: ha nincs áram, nem működnek a szivattyúk, közlekedési lámpák, informatikai rendszerek sem.

A kommunikációs és digitális infrastruktúrák zavarai is számolnunk kell. Adótoronyok és kábelek sérülése vihar vagy jégverés következtében, mobil- és internetleállásokhoz vezethet. Adatközpontok hűtése hőhullám idején kritikus lehet: ha nem megfelelő, rendszerek leállnak, adatvesztés történhet. A szélsőséges időjárás az informatikai hálózatok fizikai elemeit (optikai kábelek, szerverházak) is megrongálhatja. A digitális infrastruktúra sebezhetősége pedig a modern társadalom működésének alapjait érinti – különösen az automatizált rendszerek esetén.

Mezőgazdasági és vízgazdálkodási rendszerek sérülései is fenyegető valósággá váltak. Szárazság és vízhiány miatt az öntözőrendszerek túlterhelődnek és működésképtelenné válnak. Heves esőzések eróziót okoznak, megrongálják a víztározók és gátak szerkezetét. Az extrém időjárás tönkre teheti a mezőgazdasági infrastruktúrát: fóliasátrakat, gépeket, raktárakat. Mindez nemcsak az alapinfrastruktúrát érinti, hanem élelmiszerellátási láncokat is veszélyeztet.

Az időjárási szélsőségek már nem csupán „természeti események”, hanem mesterséges rendszereket fenyegető, rendszerszintű veszélyforrások. Épületek, utak, elektromos hálózatok, vízrendszerek és digitális infrastruktúrák mind túlterhelődnek, megsérülnek vagy összeomlanak, amikor szélsőséges időjárás éri őket – különösen akkor, ha ezek a rendszerek a múlt stabil éghajlatára lettek tervezve.

Az időjárási szélsőségek hatása az épített infrastruktúrák kártrendjeire és a biztosítási piacra

A 21. század elejére a globális klímaváltozás már nem csupán egy környezeti, hanem gazdasági és pénzügyi válságként is jelentkezik (Gaspar 2011; Sullivan 2024). Az egyik leglátványosabb tünete ennek a változásnak az, hogy egyre több és súlyosabb kár éri a mesterséges infrastruktúrákat, különösen extrém időjárási események – viharok, árvizek, hőhullámok – következtében (GCB 2024). Ez a tendencia alapvetően átalakította a biztosítási piac működését is, új kockázatértékelési módszereket, díjszabásokat és területi kizárásokat hozva magával (Münich RE 2023).

Az elmúlt évtizedekben világszerte megfigyelhetők a gyakoribb kárbejelentések. Egyre több kisebb, de rendszeres időközönként bekövetkező káresemény (pl. helyi vihar, jégeső, villámcsapás) adódik össze jelentős éves kárösszeggé. Növekszik a nagyobb mértékű káresemények száma is, mivel a szélsőséges időjárási események (pl. hurrikánok, villámárvizek, szélviharok) komoly szerkezeti károkat okoznak a városokban, épületekben, utakban, elektromos és digitális rendszerekben.

Az ismétlődő kisebb károk (pl. folyamatos beázások, hó okozta repedések) hosszú távon is súlyos értékvesztést és karbantartási költséget okoznak (CFR 2024). A globális biztosítási ipar szerint az időjáráshoz köthető természeti katasztrófákból eredő károk összege 1980 óta több mint megtízszereződött – és ez nem csak inflációval magyarázható.

A biztosítók nemcsak követik, hanem értékelik is a klímaváltozás kockázatait. A trendekre adott válaszaik:

- Emelkedő díjak: Magasabb kockázat = magasabb biztosítási díj, különösen árvízveszélyes, vihar- vagy erdőtűz által sújtott területeken;
- Kizárások bevezetése: Egyes események kizárása az alapfedezetből (pl. áradás, földcsuszamlás), esetleg még külön kiegészítő díjért kérhetők;
- Értékelési modellek átalakulása: Klímaalapú modellek beépítése a kockázati térképekbe, amelyek már figyelembe veszik a jövőbeli időjárási mintákat is, nemcsak a múltbélieket.
- Új típusú termékek: Parametrikus biztosítások (pl. automatikusan fizetnek, ha egy vihar erőssége meghalad egy szintet), mikro- vagy közösségi biztosítási formák megjelenése.

Egyre gyakoribb azonban, hogy a biztosítók kivonulnak bizonyos régiókból, vagy csak jelentősen drágábban hajlandók szerződést kötni. A világ több részén már ma is léteznek olyan térségek, ahol:

Nem lehet biztosítást kötni:

- Kalifornia (USA) – több biztosító leállt az új lakásbiztosításokkal az erdőtűzek miatt.
- Florida (USA) – a hurrikánok által sújtott part menti zónákban a biztosítók kivonultak, vagy csak állami programokon keresztül elérhető minimális védelem maradt.
- Ausztrália egyes vidékei – árvízveszélyes területeken gyakorlatilag lehetetlenné vált a biztosítás megkötése.

Nagyon drága a biztosítás:

- Alacsonyan fekvő tengerparti városok (pl. Miami, Jakarta): magas árvíz- és viharkockázat.
- Hegyi vagy erdőszelei települések: fokozódó erdőtűz- és földcsuszamlás-veszély.
- Közép- és Kelet-Európa folyóvízgyei: időszakos áradások, villámárvizek.

A „biztosíthatatlanság” jelensége már nemcsak elméleti: egyre több helyen válik normává, hogy csak a leggazdagabbak engedhetik meg maguknak a védekezést – ez a társadalmi egyenlőtlenségeket is tovább mélyíti.

A klímaváltozás következtében bekövetkező időjárási szélsőségek megváltoztatták az épített infrastruktúra kárképét: több kár, nagyobb kár és kiszámíthatatlanabb veszteségek jellemzik a mai viszonyokat. A biztosítási piac ehhez alkalmazkodva új kockázatértékelési módszereket, díjszabásokat és fedezeti korlátokat vezetett be. Azon területek száma, ahol nem lehet, vagy csak nagyon magas díj mellett lehet biztosítást kötni, folyamatosan növekszik.

A klímaválság a kapitalizmus pusztulása felé sodorja a világot, erre figyelmeztetett egy vezető biztosító, mivel az extrém időjárás hatásainak hatalmas költségei miatt a pénzügyi szektor képtelen lesz működni. Günther Thallinger, az Allianz SE, a világ egyik legnagyobb biztosítótársasága igazgatósági tagja szerint a világ gyorsan közelít azokhoz a hőmérsékleti szintekhez, ahol a biztosítók már nem tudják fedezni a sok klímakockázatot. 2025 áprilisi nyilatkozatában azt hangsúlyozta, hogy biztosítás nélkül sok más pénzügyi szolgáltatás is életképtelenné válik, a jelzáloghitelektől a befektetésekkig (Carrington 2025).

Ez a folyamat világosan jelzi, hogy az urbanisztika felfogásának, az infrastruktúra tervezésének és finanszírozásának logikáját is gyökeresen újra kell gondolnunk a klímaváltozás korában. Az „építs és biztosíts” paradigmáját felváltja a „tervezz adaptívan, építs rugalmasan, mérsékelj a kockázatot” logikája – mivel a biztosítás luxustermékké válik egy klímakockázatokkal terhelt világban.

Összefoglalás

A tanulmány felhívja a figyelmet arra, hogy milyen összetett módon hat a polikrízis – vagyis az egymással összefonódó, rendszerszintű válságok halmaza – az általunk létrehozott mesterséges környezetre. A globális gazdasági bizonytalanság, a klímaváltozás, az erőforrások rendelkezésre állásának problémái és a geopolitikai feszültségek egyre mélyebben hatolnak be mindennapi infrastruktúránk, városaink működésébe és fenntartásába.

Az írás kiemeli a mesterséges környezet fenntartásához szükséges erőforrások – köztük energia, víz, nyersanyagok – véges és egyre szűkülő elérhetőségét, valamint ezek globális egyenlőtlenségeit. A termodinamikai szempontú megközelítés pedig rávilágít arra, hogy az épített rendszerek entrópiája a természeti folyamatok hatására növekedne, így a fenntartásukhoz folyamatosan energia és anyag is szükséges.

A mesterséges infrastruktúrák állapotának fenntartását és még inkább azok fejlesztési lehetőségeit egyre negatívabban befolyásolja a fosszilis energiahordozók csökkenő nettó energiahozama (EROI), valamint a megújuló rendszerek kiépítésének fosszilis

energiaigénye is. Ezek miatt a mesterséges környezetünk fenntartására és fejlesztésére fordítható, szabadon felhasználható energia mennyisége csökkenő trendben van.

A szabadon beépíthető, felhasználható fémes és nem-fémes erőforrások mennyisége is korlátozott. Egyrészt mivel a bolygónkon ezek véges mennyiségben állnak rendelkezésre. Másrészt azonban azért is, mert a legtöbb esetben a könnyen hozzáférhető és feldolgozható nyersanyagkészleteinket már felhasználtuk.

Fontos trend továbbá, hogy az időjárási szélsőségek – melyeket a globális felmelegedés gyorsulása felerősít – egyre nagyobb kockázatot jelentenek az épített infrastruktúrákra: épületekre, utakra, közművekre és digitális rendszerekre egyaránt. Ez nemcsak a karbantartási és újjáépítési költségeket emeli, hanem a biztosítási piac működését is jelentősen átalakítja. Egyes térségekben már ma is tapasztalható, hogy bizonyos ingatlanokra nem, vagy csak nagyon magas díjért lehet biztosítást kötni, ami tovább mélyíti a társadalmi egyenlőtlenségeket.

A tanulmány legfontosabb célja, hogy rámutasson: a mesterséges környezet, a városok fenntarthatósága túlmutat a technológiai megoldásokon. A válságokkal átszótt korszakban új gondolkodásmódra van szükség, amely holisztikusan szemléli az erőforrások, az energia, a társadalmi igazságosság és a tervezés viszonyát. Csak így válhat lehetővé, hogy a jövő mesterséges környezete tartós, javítható, adaptív és anyagtakarékos legyen – anélkül, hogy felélnénk vele a bolygónk még megmaradt tartalékait.

A legfontosabb üzenet azonban az, hogy az épített környezet jövője nem a technológiai lehetőségek határainál, hanem a rendelkezésre álló természeti és társadalmi erőforrások szűkösségénél dől el. A modern civilizáció fizikai alapjai – kő, fém, víz, energia – nem korlátlanul hozzáférhetőek, és kiaknázásuk egyre növekvő környezeti és társadalmi árat követel. A városépítés, mint emberi tevékenység újra értelmezése, ezért nemcsak mérnöki, hanem etikai, kulturális és politikai kihívás is. A jövő nem az újabb szerkezetek bővítésében, hanem a már meglévők fenntartható átalakításában és megtartásában keresendő.

Irodalom

- Aramendia, A. (et al.) (2024): Estimation of useful-stage energy returns on investment for fossil fuels and implications for renewable energy systems. *Nature Energy*, 9, 803–816. <https://doi.org/10.1038/s41560-024-01518-6>
- Barros, R.M. (et al.) (2015): Assessing the global sustainability of different electricity generation systems. *Energy*, 89, 473–489. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2015.05.110>
- Carrington, D. (2025): Climate crisis on track to destroy capitalism, warns top insurer. *The Guardian*. <https://www.theguardian.com/environment/2025/apr/03/climate-crisis-on-track-to-destroy-capitalism-warns-allianz-insurer>
- Cascade Institute. *Global systemic stresses*. <https://cascadeinstitute.org/global-systemic-stresses/>

- Centre for Youth and International Studies (2024): *The dependency on critical raw materials for clean technologies*. <https://www.cyis.org/post/the-dependency-on-critical-raw-materials-for-clean-technologies>
- Council on Foreign Relations (2024): *How to address the economic costs of climate change*. <https://education.cfr.org/learn/reading/infrastructure-economic-damage-climate-change>
- Daaboul, J. (et al.) (2023): Net green energy potential of solar photovoltaic and wind energy generation systems. *Journal of Cleaner Production*, 415, 137806. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.137806>
- EC European Commission. *Consequences of climate change*. https://climate.ec.europa.eu/climate-change/consequences-climate-change_en
- European Environment Agency (2024): *Economic losses from weather- and climate-related extremes in Europe*. <https://www.eea.europa.eu/en/analysis/indicators/economic-losses-from-climate-related>
- European Environment Agency (2024): *Global total material use by resource type*. <https://www.eea.europa.eu/en/analysis/maps-and-charts/global-total-material-use-by>
- Gaspar, R. (et al.) (2011): Social and economic impacts of climate change on the urban environment. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 3(3), 150–157. <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2010.12.009>
- Green Central Banking (2024): *Climate-related infrastructure failure has complex and far-reaching economic impacts*. <https://greencentralbanking.com/research/climate-related-infrastructure-failure-economic-impacts/>
- Hall, C.A.S. (et al.) (2014): EROI of different fuels and the implications for society. *Energy Policy*, 64, 141–152. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2013.05.049>
- Heinberg, R. (2024): *From climate crisis to polycrisis*. <https://www.resilience.org/stories/2024-05-13/from-climate-crisis-to-polycrisis/>
- Heinberg, R.; Miller, A. (2023): *Üdvözöljük a nagy felbomlás korában!* https://cassandraprogram.info/wp-content/uploads/2024/03/GU_book_hun_0110.pdf
- Hund, K. (et al.) (2023): *Minerals for climate action: The mineral intensity of the clean energy transition*. World Bank. <http://documents.worldbank.org/curated/en/099052423172525564>
- International Energy Agency (2021): *The role of critical minerals in clean energy transitions*. <https://www.iea.org/reports/the-role-of-critical-minerals-in-clean-energy-transitions>
- International Energy Agency (2025): *Electricity 2025 prices*. <https://www.iea.org/reports/electricity-2025/prices>
- Intergovernmental Panel on Climate Change (2007): *Climate change 2007: Synthesis report (AR4)*. <https://www.ipcc.ch/report/ar4/syr/>
- Intergovernmental Panel on Climate Change. (2014): *Climate change 2014: Synthesis report (AR5)*. <https://www.ipcc.ch/report/ar5/syr/>
- Intergovernmental Panel on Climate Change. (2023): *Climate change 2023: Synthesis report (AR6)*. <https://www.ipcc.ch/report/sixth-assessment-report-cycle/>
- International Renewable Energy Agency (2023): *Geopolitics of the energy transition: Critical materials*. <https://www.ourenergypolicy.org/resources/geopolitics-of-the-energy-transition-critical-materials/>
- Jackson, A.; Jackson, T. (2021): Modelling energy transition risk: The impact of declining energy return on investment (EROI). *Ecological Economics*, 185, 107023. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2021.107023>
- Kovalenko, V. (2024): *Critical raw materials for the energy transition – how to achieve the targets*. https://www.ey.com/en_bg/insights/energy-resources/critical-raw-materials-for-energy-transition
- Mertens, L. (et al.) (2024): From emissions to resources: Mitigating the critical raw material supply chain vulnerability of renewable energy technologies. *Mineral Economics*, 37, 669–676. <https://doi.org/10.1007/s13563-024-00425-2>

- Mowbray, S. (2024): Polycrisis threatens planetary health; UN calls for innovative solutions. *Mongabay*. <https://news.mongabay.com/2024/08/polycrisis-threatens-planetary-health-un-calls-for-innovative-solutions/>
- Munich Re. (2023): *Climate change and La Niña driving losses: The natural disaster figures for 2022*. <https://www.munichre.com/en/company/media-relations/media-information-and-corporate-news/media-information/2023/natural-disaster-figures-2022.html>
- Organisation for Economic Co-operation and Development. (2024). *Infrastructure for a climate-resilient future*. https://www.oecd.org/en/publications/infrastructure-for-a-climate-resilient-future_a74a45b0-en.html
- Pommeret, A. (et al.) (2022): Critical raw materials for the energy transition. *European Economic Review*, 141, 103991. <https://doi.org/10.1016/j.euroecorev.2021.103991>
- Reuters (2024): Europe had most widespread floods for more than a decade in 2024, scientists say. <https://www.reuters.com/sustainability/cop/europe-had-most-widespread-floods-more-than-decade-2024-scientists-say-2025-04-15/>
- Reuters (2025): 2024 was the hottest year on record, scientists say. <https://www.reuters.com/business/environment/2024-was-first-year-above-15c-global-warming-scientists-say-2025-01-10/>
- ROCA Galler (2024): *Material challenges amid an ecological polycrisis*. <https://www.rocagallery.com/articles/material-challenges-amid-ecological-polycrisis>
- Sauerheber, R. (2018): Thermodynamics and entropy in natural and artificial systems. *American Research Journal of Chemistry*, 2(1), 1–26. <https://www.arjonline.org/papers/arjc/v2-i1/1.pdf>
- Schandl, H. (et al.) (2024): Global material flows and resource productivity: The 2024 update. *Journal of Industrial Ecology*, 28(6), 2012–2031. <https://doi.org/10.1111/jiec.13593>
- Siirila, J.; Salonen, A.O. (2024): Towards a sustainable future in the age of polycrisis. *Frontiers in Sustainability*, 5, 1436740. <https://doi.org/10.3389/frsus.2024.1436740>
- Sullivan, K. (2024): *Understanding the climate crisis in an era of polycrisis*. <https://core.verisk.com/Insights/Emerging-Issues/Articles/2024/September/Week-1/Polycrisis-and-Insurance-Risks>
- Tripati, B. (2023): Climate change damage to infrastructure poses 'huge' financial risks. *Context News*. <https://www.context.news/climate-risks/climate-change-infrastructure-damage-poses-huge-financial-risk>
- United Nations. *Five ways the climate crisis impacts human security*. <https://www.un.org/en/climatechange/science/climate-issues/human-security>
- U.S. Environmental Protection Agency. *Climate change impacts on the built environment*. <https://www.epa.gov/climateimpacts/climate-change-impacts-built-environment>
- World Meteorological Organization. (2023): *State of the global climate 2023*. <https://wmo.int/publication-series/state-of-global-climate-2023>.