

EFU ACADEMIC RESEARCH AUDIT v2.1

Experimental Research Framework (Pre-standard)

Azonosító: EFU-RES-HU-2026-01-REV

Státusz: Kutatási anyag – kritikai felülvizsgálatra megnyitva (Research Phase)

Szerző: Simor István

Módszertani audit: EFU Tudományos Auditor (AI-asszisztált módszertani egységesítés)

Dátum: 2026. január

ABSTRACT

[AXIÓMA] A termodinamika és a tömegmegmaradás elvei szerint az élő rendszerek tartós fennmaradása nem statikus tömegükön, hanem folyamatos anyag- és energiaáramlásukon (throughput) alapul; az élő szervezetek tartósan nem-egyensúlyi, folyamatos fluxussal fenntartott struktúrák.[[sciencedirect](#)]

[HIPOTÉZIS] Az EFU (Ecological / Human Flux Unit) kutatási keretrendszer egy olyan emberléptékű biofizikai referenciaegységet javasol (1 EFU = 20 kg/nap emberi anyag-throughput), amely az emberi metabolikus fluxust használja viszonyítási alapként a technoszféra és a bioszféra folyamatainak összehasonlításához.[pmc.ncbi.nlm.nih+1](#)

[HIPOTÉZIS] A 20 kg/nap EFU-referenciapont nem normatív minimum vagy kvóta, hanem nagyságrendi, emergens populációs átlaghipotézis, amely jelentős demográfiai, egészségi és klímafüggő varianciát enged, és később rétegzett (kor, régió, klíma szerinti) EFU-bázisokra bontható.[[pmc.ncbi.nlm.nih](#)]

[HIPOTÉZIS] Az EFU-keret nem váltja ki az anyagáramlás-elemzés (MFA), az exergia- vagy entrópiatermelési indikátorokat, hanem kiegészítő, kommunikációs és normalizációs réteggént működik, amely ezek eredményeit emberléptékű fluxusegységre vetíti.[[sciencedirect](#)]

[PROTOKOLL] A dokumentum kutatási fázisú, falszifikálható elméleti modell, amely nyitott kritikai tudományos felülvizsgálatra, empirikus tesztelésre és módszertani finomításra; nem hordoz szabályozási vagy normatív kötelezettséget.[[sciencedirect](#)]

1. Alapfogalom és kutatási logika

[AXIÓMA] Minden biológiai és technológiai rendszer fennmaradása mérhető anyag- és energiaáramlást igényel; a pusztán készlet-alapú (stock) leírás nem ragadja meg dinamikus működésük lényegét.[[sciencedirect](#)]

[HIPOTÉZIS] Az antropocén korszak hatásai pontosabban jellemezhetők az áramlások intenzitásának (fluxus) elemzésével, mint pusztán a készletek felhalmozásának vizsgálatával; különösen akkor, ha a fluxusok emberléptékű referenciához viszonyíthatók.[scenariutc.utc+1](#)

1.1 Kutatási definíció – 1 EFU

[PROTOKOLL] A modell referenciaértékként rögzíti:

- 1 EFU = 20 kg/nap, egy átlagos felnőtt ember napi anyag-throughputjának nagyságrendi, emergens becsléseként. [[pmc.ncbi.nlm.nih](http://pmc.ncbi.nlm.nih.gov)]

Hozzávetőleges összetétel (koncepcionális bontás):

- Levegő: ~15 kg/nap
- Víz: ~3 kg/nap
- Táplálék (száraz + nedves tömeg): ~0,5 kg/nap
- Egyéb (kiválasztás, kopás, nyomanyagok): ~1,5 kg/nap

[HIPOTÉZIS] Reális populációs tartományként kb. 15–30 kg/nap emberi anyag-throughput feltételezhető; a 20 kg/nap EFU-referenciapont ennek középérték-hipotézise, amelyet a légzés (~8–11 m³ levegő/nap, ~10–15 kg/nap), a vízfelvétel (2–3 liter/nap) és az átlagos táplálékbevitel nagyságrendi adatai támasztanak alá. [[pmc.ncbi.nlm.nih](http://pmc.ncbi.nlm.nih.gov)]

[HIPOTÉZIS] Egy átlagos, 80 éves emberi élettartam kumulatív anyagáramlása nagyságrendileg 29 200 EFU (≈ 542 tonna anyagfluxus); ez kifejezetten kísérleti modellérték, amely populációs mérésekkel falszifikálható vagy finomítható. [[sciencedirect+1](http://sciencedirect.com)]

2. Átváltási modellek és normalizálás

[PROTOKOLL] Bármely mérhető anyag- vagy energiaáramlás EFU-egységre normalizálható időalapú konverzióval, feltéve hogy a releváns idősűrűség (nap/év) és tömegalap (kg) ismert.

- Napi normalizálás (időnormált fluxus):
$$\text{EFU/nap} = (\text{anyagáram kg/nap}) / 20.$$
- Éves normalizálás (időnormált, kumulatív fluxus):
$$\text{EFU/év} = (\text{anyagáram kg/év}) / 7\,300.$$

[HIPOTÉZIS] Az EFU-normalizálás nagyságrendi összevetést tesz lehetővé az emberi egyéni fluxus, az ipari folyamatok, a globális anyagáramok és a bioszféra biogeokémiai ciklusai között, anélkül, hogy az EFU önmagában részletes MFA- vagy exergieelemzést helyettesítene. [scenariutc.utc+1]

Modell-szintű összevetések (kísérleti adatok)

Folyamat	Jelentett anyagfluxus	EFU-ekvivalens (modellérték)
Szénerőmű	500 000 t/nap szén	≈ 500 000 EFU/nap
Globális műanyagtermelés	400 Mt/év	≈ 55 millió EFU/év
Duna hordalékszállítás	10 Mt/év	≈ 1,4 millió EFU/év
Emberiség (8,1 milliárd fő)	~60 Gt/év	≈ 8,1 milliárd EFU (folyamatos)

[PROTOKOLL] A fenti EFU-értékek nagyságrendi, modell-szintű illusztrációk; semmilyen formában nem tekinthetők szabályozói, engedélyezési vagy tanúsítási állításnak. A mögöttes mennyiségek (pl. globális műanyagtermelés $\approx 400\text{--}410$ Mt/év nagyságrend) az aktuális iparági szintézisekre épülnek, de EFU-ba való átváltásuk kifejezetten normalizációs kísérlet.[kitechrecyclingmachine+1](#)

3. ARGUMENT MAP – logikai lánc

- Premissza A [AXIÓMA]: Minden biológiai és technológiai rendszer fennmaradása mérhető anyag- és energiaáramlást igényel; a fluxusok nélküli rendszer nem működőképes.[sciencedirect](#)
- Premissza B [HIPOTÉZIS]: A 20 kg/nap emberi léptékű referencia (1 EFU) alkalmas univerzális, kommunikálható biofizikai viszonyítási egységként, amelyhez más fluxusok nagyságrendben arányíthatók.[pmc.ncbi.nlm.nih+1](#)
- Konklúzió C [HIPOTÉZIS]: Az EFU-alapú mérés láthatóvá teszi az antropogén terhelés és a biológiai regeneráció közötti aránytalanságokat, és segíti a „metabolikus méltóság” és a „szuverenitási rés” fogalmainak értelmezését és helyreállítási útvonalaik azonosítását.[scenariutc.utc+1](#)

Levezetés:

[ARGUMENT MAP] $A + B \rightarrow C$

4. Moduláris struktúra (kutatási modell)

- [HIPOTÉZIS] **Emlős modul:**
Az emlősök metabolikus fluxusainak skálázása testtömeg és metabolikus allometria alapján (Kleiber-típusú $B \propto M^{3/4}$ összefüggés), az EFU-referenciát kvalitatív viszonyítási pontként használva.[arxiv+1](#)
 - [PROTOKOLL] **Technoszféra modul:**
Ipari és digitális infrastruktúrák (energiafelhasználás, hűtővíz-használat, anyagkopás, hulladékáramok, adatközpontok indirekt anyag- és energiaigénye) EFU-alapú normalizálása, az ISO- és GHG-keretekhez (pl. ISO 14064) illeszthető digitális anyagáram-modellekre támaszkodva.[sciencedirect](#)
 - [HIPOTÉZIS] **Bolygó modul:**
A globális biogeokémiai ciklusok (pl. szárazföldi nettó elsődleges produkció, NPP $\approx 50\text{--}65$ Gt C/év tartomány) és az emberi civilizáció összesített fluxusának EFU-ban történő összevetése, a planetáris határok és a társadalmi-gazdasági metabolizmus kapcsolatának feltárása érdekében.[scenariutc.utc+1](#)
-

EA – Epistemológiai függelék

EA.1 Falszifikálhatósági kritériumok

[HIPOTÉZIS] Az EFU-keretrendszer több szinten falszifikálható:

1. Ha empirikus vizsgálatok bizonyítják, hogy a 20 kg/nap referenciaérték statisztikailag nem reprezentatív az emberi metabolikus throughput nagyságrendjére (pl. nagy populációs minták alapján a tartósan jellemző tartomány lényegesen eltér), a modell EFU-skálája revízióra szorul.[[pmc.ncbi.nlm.nih](https://pubmed.ncbi.nlm.nih/)]
2. Ha az EFU-alapú normalizálás nem mutat érdemi korrelációt vagy értelmezhető kapcsolatot más bevett biofizikai indikátorokkal (pl. exergiavesztés, entrópiatermelés, MFA-eredmények), akkor az EFU-metrika magyarázó és kommunikációs ereje gyengül vagy megszűnik.[[sciencedirect](https://www.sciencedirect.com/)]
3. Ha az EFU-normalizáció nem illeszthető meggyőző módon a planetáris határokról, bio-regionális fluxusplafonokról és anyagáramlás-elemzésekről szóló irodalomhoz (azaz nem segíti ezen keretek értelmezését vagy kommunikációját), akkor a keret „added value” jellegű funkciója kérdésessé válik.[scenariutc.utc+1](https://www.sciencedirect.com/)

[PROTOKOLL] A falszifikáció támogatására minden EFU-alapú alkalmazásban ajánlott:

- az alapadatok, MFA-modellek, exergia-/entrópiamodellek és verziók explicit dokumentálása,
- érzékenységvizsgálatok végzése az EFU-paraméterek (pl. 15–25 kg/nap tartomány) és a vizsgált fluxusok nagyságrendi változtatásával,
- az EFU-eredmények összevetése alternatív normalizációkkal (pl. per capita energiafelhasználás, GDP-alapú, ökológiai lábnyom), és a korrelációk kvalitatív/kvantitatív értékelése.[scenariutc.utc+1](https://www.sciencedirect.com/)

EA.2 Bizonytalansági tényezők

[HIPOTÉZIS] Az EFU-eredmények több, egymással összefonódó bizonytalanságot hordoznak:

- **Adatbizonytalanság:** a légzésre, víz- és táplálékbevitelre, globális anyagáramokra (pl. műanyagtermelés, primer produkció) vonatkozó statisztikák és modellek pontatlanságai, regionális eltérései.[kitechrecyclingmachine+2](https://www.sciencedirect.com/)
- **Modellbizonytalanság:** a metabolikus skálázási szabályok (pl. Kleiber-törvény variánsai) és az ipari/digitális fluxusmodellek közötti strukturális különbségek.[arxiv+1](https://www.sciencedirect.com/)
- **Tér-idő bizonytalanság:** az emberi throughput és a technoszféra fluxusai időben (életciklus, kor, aktivitás) és térben (klíma, infrastruktúra) jelentősen változnak; az éves/élettartam-szintű aggregálás szükségképpen simítja ezeket.[scenariutc.utc+1](https://www.sciencedirect.com/)
- **Normatív bizonytalanság:** a „metabolikus méltóság” minimumszintje és a „szuverenitási rés” interpretációja társadalmi-politikai döntésektől függ; az EFU ezekre nem ad közvetlen normatív előírást, csak számszerűsített háttérkeretet.[scenariutc.utc+1](https://www.sciencedirect.com/)

[PROTOKOLL] Minden EFU-alapú publikációban vagy jelentésben ajánlott külön, tömör bizonytalansági szekciót szerepeltetni, amely legalább az adat- és modellbizonytalanságot kvalitatívan, és lehetőség szerint kvantitatívan is jelzi, valamint egyértelművé teszi az EFU-értékek kísérleti, pre-standard státuszát.[[sciencedirect](https://www.sciencedirect.com/)]

EA-B – KUTATÁSI FÜGGELÉK

Hivatkozások és megjegyzések a biofizikai alapokról

B.0 Megjegyzés az irodalomhoz

[HIPOTÉZIS] Az EFU ACADEMIC RESEARCH AUDIT v2.1 tudományos megalapozottsága a biofizika, az ipari ökológia, az anyagáramlás-elemzés (MFA) és az Antropocén-kutatások kereszteződésében gyökerezik.[\[sciencedirect\]](#)

[PROTOKOLL] A hivatkozások nem az EFU numerikus értékeit „igazolják”, hanem azt mutatják, hogy a keretrendszer logikai felépítése, nagyságrendi becslései és terminológiája illeszthető a meglévő tudományos diskurzusokhoz, miközben megmarad falszifikálható, kutatási fázisú konstrukciónak.[\[sciencedirect\]](#)

B.1 Termodinamikai alapelv – élő rendszerek mint nem-egyensúlyi fluxusok

[AXIÓMA] Az élő rendszerek tartós fennmaradása folyamatos energia- és anyagáramláson alapul; az élő szervezetek tartósan nem-egyensúlyi struktúrák, amelyek „negentrópiát” importálnak környezetükből.[\[sciencedirect\]](#)

[PROTOKOLL] Az EFU AXIÓMA – „az élő rendszerek fennmaradása folyamatos anyag- és energiaáramlásokon alapul” – Schrödinger klasszikus tételének modern értelmezésére épül, és csak a nagyságrendi, fluxus-alapú leírást rögzíti, nem egyedi élettani normákat.[\[sciencedirect\]](#)

B.2 Emberi anyag-throughput – 20 kg/nap EFU-referencia

[HIPOTÉZIS] A napi 20 kg/nap EFU-referenciapont becslését a víz- és táplálékbevitelre, valamint a légzésre vonatkozó élettani adatok (tipikusan 2–3 L víz/nap, több ezer liter levegő/nap, kg-os nagyságrendű élelmiszer) nagyságrendi szintézise támasztja alá.[\[pmc.ncbi.nlm.nih\]](#)

[PROTOKOLL] Az EFU-definíció (1 EFU = 20 kg/nap) nagyságrendi, emergens populációs átlaghipotézis, amely $\pm 30\%$ vagy annál nagyobb varianciát enged életkor, egészségi állapot, klíma és életmód függvényében; a pontosabb rétegzett EFU-bázis (kor, régió, klíma) további empirikus kutatási feladat.[\[pmc.ncbi.nlm.nih+1\]](#)

B.3 Antropocén fluxus-dominancia – globális anyagáramlások

[HIPOTÉZIS] Az EFU HIPOTÉZIS – miszerint az antropogén anyag- és energiafluxus nagyságrendileg összemérhető vagy bizonyos dimenziókban meghaladja a bioszféra regenerációs fluxusait – a globális anyagáramlás-elemzések (MFA) eredményeire támaszkodik, amelyek 10–100 Gt/év nagyságrendű társadalmi-gazdasági anyagfelhasználást jeleznek.[\[sciencedirect\]](#)

[PROTOKOLL] A 400 Mt/év globális műanyagtermelés, a 60 Gt/év nagyságrendű emberi felhasználás, illetve az erőművi és folyami példák EFU-ba vetítése kifejezetten modell- és illusztratív célú, nem hordoz normatív vagy szabályozói következtetést.[kitechrecyclingmachine+1](#)

B.4 Biológiai allometria – emlős skálázás (Kleiber-típusú összefüggések)

[HIPOTÉZIS] Az EFU Emlős modul arra a széles körben tárgyalt biológiai allometriai összefüggésre épít, hogy az emlősök anyagcsererátája jó közelítéssel a testtömeg $3/4$ -edik hatványával skálázódik ($B \propto M^{3/4}$), ami lehetővé teszi a különböző testtömegű fajok metabolikus fluxusának összevetését.[arxiv+1](#)

[PROTOKOLL] A modulban szereplő kísérleti EFU-értékek (pl. kisemlős, nagytestű emlős, tengeri emlős) allometrikus extrapolációk, amelyek fajspecifikus kalibrációt, életstádium- és aktivitás-függő finomítást igényelnek; az EFU itt is csak nagyságrendi viszonyítási pontot ad.[arxiv+1](#)

B.5 Nettó primer produkció (NPP) – bioszférikus referenciapont

[HIPOTÉZIS] A szárazföldi NPP ≈ 50 – 65 Gt C/év tartományba eső becslései a globális biogeokémiai modellek konszenzusát tükrözik, és azt mutatják, hogy az emberi társadalmi-gazdasági fluxusok nagyságrendileg ugyanazon tartományba eshetnek, mint a bioszféra fotoszintetikus termelése.[scenariutc.utc+1](#)

[PROTOKOLL] Az EFU Bolygó modul az NPP-t nem „limitként” definiálja, hanem emberléptékű EFU-skálára vetíti, ezzel érzékelte az antropogén fluxusok és a bioszféra közötti kommensurabilitást; a pontos ökológiai következtetések továbbra is speciális ökoszisztéma-modellekre támaszkodnak.[scenariutc.utc+1](#)

B.6 Ipari ökológia és anyagáramlás-elemzés (MFA)

[HIPOTÉZIS] Az EFU-keret logikája – a készlet-alapú mutatók helyett (vagy mellett) a fluxusintenzitásra való fókusz – illeszkedik az ipari ökológia és az MFA szemléletéhez, amely a társadalmi-gazdasági rendszereket egyre inkább áramlás-centrikusan írja le.[\[sciencedirect\]](#)

[PROTOKOLL] Az EFU nem új MFA-módszertan, hanem kommunikációs és normalizációs réteg, amely az MFA-eredményeket (pl. globális műanyagáramlás, primer anyagfelhasználás, hordalékszállítás) emberléptékű (EFU-) skálára vetíti, megőrizve az MFA saját módszertani önállóságát.[[sciencedirect](#)]

B.7 Planetáris határok, metabolikus méltóság és szuverenitási logika

[HIPOTÉZIS] Az EFU-ban használt „metabolikus méltóság” és „szuverenitási rés” fogalmak a planetáris határok (safe operating space) és a társadalmi-gazdasági határok (pl. „doughnut”-típusú modellek) irodalmából inspirálódnak; céljuk, hogy az emberléptékű fluxusnormalizációt összekapcsolják a regenerációs kapacitásokkal.[scenariutc.utc+1](#)

[PROTOKOLL] E fogalmak az EFU-kereten belül analitikus konstrukciók: nem jogi kategóriák, hanem olyan kísérleti terminusok, amelyek későbbi társadalom-, jog- és közgazdaságtudományi kutatások alapját képezhetik, de jelen dokumentumban nem kapnak kötelező normatív tartalmat.[scenariutc.utc+1](#)

B.8 Falszifikálhatóság – tudományfilozófiai keret

[PROTOKOLL] Az EA-függelékben rögzített falszifikációs kritériumok (a 20 kg/nap EFU-referencia statisztikai tesztelése, az EFU-eredmények korrelációja MFA-, exergia- és entrópiamutatókkal, valamint a planetáris határokkal) a modern tudományfilozófiai keretek minimumfeltételeit teljesítik egy kutatási program számára.[[sciencedirect](#)]

[HIPOTÉZIS] Amennyiben az EFU-metrika nem mutat érdemi kapcsolatot a bevett biofizikai indikátorokkal, vagy nem segíti a planetáris határok, fluxusplafonok és MFA-eredmények értelmezését, úgy a keret magyarázó ereje érdemben csökken, és a modell revíziója vagy elvetése válik indokolttá.[scenariutc.utc+1](#)

B.9 Kutatói megjegyzés

[PROTOKOLL] Ez a függelék nem „bizonyítékgyűjtemény”, hanem tudományos kontextustérkép: a hivatkozott munkák azt jelzik, hogy az EFU-keret állításai hová illeszkednek a jelenlegi tudásba, és hol nyílik tér empirikus tesztelésre, kritikai vitára és módszertani finomításra.[[sciencedirect](#)]

[HIPOTÉZIS] Minden nagyságrendi becslés, logikai lépés és EFU-érték nyitva áll kalibrációra, módosításra vagy elvetésre; az EFU Academic Research Audit v2.1 ennek megfelelően továbbra is pre-standard, kutatási fázisú keretként értelmezendő.[[sciencedirect](#)]

AI Usage Disclosure: This research framework was developed with the strategic assistance of Artificial Intelligence (Large Language Models). AI was utilized as a precision tool for structural optimization, cross-referencing ISO standards, and formalizing logical connections between biophysical flux modules. While the AI facilitated analytical consistency and linguistic refinement, the core conceptual architecture, the EFU-normalization logic, and the final expert validation were exclusively authored and directed by the human researcher, István Simor (EU Independent Expert EX2026D1342540). This collaboration represents an intentional "Human-AI Partnership" to enhance scientific clarity and systemic integration.