

VIRÁG ATTILA

# KREATIVITÁS, A JÖVŐ ENERGIÁJA – GLOBÁLIS ENERGETIKAI ÁTMENETEK ÉS KIHÍVÁSOK AZ EROI-MUTATÓ TÜKRÉBEN

## CREATIVITY, ENERGY OF THE FUTURE – GLOBAL ENERGY TRANSITIONS AND CHALLENGES IN THE LIGHT OF THE EROI INDICATOR

„Deglobalizáció”, „blokkolás”, a „kapitalizmus katabolizmusára” utaló megélhetési válság... Szakmai körökben ezek egyre népszerűbb kifejezések. A szerző úgy gondolja, hogy a mindennapi empirikus tapasztalatoknál magasabb absztrakciós szinten, a „befektetett energia megtérülése” (EROI) alapján, az energiára való összpontosítás a megalapozott elméleten keresztül megvilágíthatja az elmúlt években tapasztalt egyre intenzívebb és változatosabb válságok mélyebb összefüggéseit. Egy olyan értelmezési elméleti keret kidolgozását vagy feltalálását javasolja, amely elbeszélhetőbbé teheti az egyre érthetlenebb valóságot. A fő állítása az, hogy az EROI-alapú megközelítés rávilágít arra, hogy a mai válságok tünetei nem feltétlenül független indikátorok, hanem könnyen lehetnek egy mélyebb, energetikai vonatkozású kontextus következményei. Úgy gondolja, hogy az EROI-mutatóra épülő valóságértelmezési kereten keresztül az értelmezett valóság sajátos válaszút elé állít bennünket, ismét hangsúlyozva az emberi kreativitás szerepét.

**Kulcsszavak: a befektetett energia megtérülése, EROI, értelmezési elméletek, megalapozott elmélet, komplex rendszerek, innováció, energiaátmenetek**

„Deglobalization,” „blocking,” the livelihood crisis pointing to the „catabolism of capitalism” - expressions that are becoming increasingly popular within professional discourse. It is the author’s contention that an analysis of energy return on energy invested (EROI) at a level of abstraction higher than that of everyday empirical experience can illuminate the deeper connections of the increasingly intense and diverse crises experienced in recent years. He proposes the development or invention of an interpretative theoretical framework that can make the increasingly incomprehensible reality more narratable. The main claim is that the EROI-based approach sheds light on the fact that the symptoms of today’s crises are not necessarily independent indicators but may easily be consequences of a deeper energy-related context. The author suggests that through the interpretative reality-interpretation framework based on the EROI indicator, the interpreted reality places us at a particular crossroad, once again emphasizing the role of human creativity.

**Keywords: energy return on energy invested, EROI, interpretative theories, grounded theory, complex systems, innovation, energy transitions**

### Finanszírozás/Funding:

A szerző a tanulmány elkészítésével összefüggésben nem részesült pályázati vagy intézményi támogatásban. The author did not receive any grant or institutional support in relation with the preparation of the study

### Szerző/Author:

Dr. Virág Attila<sup>a</sup> (attila.virag@uni-corvinus.hu) egyetemi docens

<sup>a</sup> Budapesti Corvinus Egyetem (Corvinus University of Budapest) Magyarország (Hungary)

A cikk beérkezett: 2023. 12. 09-én, javítva: 2024. 02. 15-én, elfogadva: 2024. 04. 07-én.

The article was received: 09. 12. 2023, revised: 15. 02. 2024, accepted: 07. 04. 2024.

A tanulmány kiindulópontja, hogy az ember különleges *képalkotási képességének* köszönhetően egy sajátos történetekben gondolkodni *képes* kreatív, mesélő, közösségi lény. A létezésünk egzisztenciális alapját jelentő energia vilá-

gát is fogalmi *képzetek* – a biztonság, a versenyképesség és a fenntarthatóság – keretében törekszünk jövőképpé tenni. Az elmúlt évek többek között azért is tűnnek sajátosnak, mivel az említett értékek mindegyike kihívások előtt áll.

A pandémia és az ukrajnai háború is rávilágított arra, hogy a világ a jelenlegi komplexitási szinten rendkívül instabil és sérülékeny, ami az energetika területén egyszerűen jár együtt ellátásbiztonsági, versenyképességi és fenntarthatósági kockázatokkal különösen Európában. Önmagában nem csupán az vált kérdésessé, hogy a társadalmi, gazdasági és politikai rendszereink működéséhez szükséges energia versenyképes áron beszerezhető lesz-e, hanem az is, hogy rendelkezésre állnak-e egyáltalán megfelelő mennyiségben és minőségben ezek a létezésünkhöz nélkülözhetetlen erőforrások. A probléma természetesen jelentős fenntarthatósági kockázatokat is hordoz. A jelzett polikriszis olyan ellátásbiztonsági szempontból indokolható transzformációk megindítását tesz ki és teheti szükségessé, amelyek a tisztább energiák elől vonhatják el a szükséges forrásokat.

Bár napjaink kríziseit számos dolog magyarázhatja, azonban feltételezésem szerint az előttünk álló kihívások ezeknek a jelenségeknek nem kizárólag okai, hanem egy önmagukon túlmutató energetikai természetű válságnak a tünetei is. Meglátásom szerint az emberi természet sajátosságai és a globális erőforrások szűkössége mellett a jelenlegi létszerveződésünk a globalizáció mostani komplexitási szintjén nem fenntartható.

Ahhoz, hogy a fenti feltételezéseim tudományos értelemben is keretezhetőek, fogalmi szinten konceptualizálhatók, valamint racionális és empirikus értelemben vizsgálhatók legyenek nélkülözhetetlen az ezt megalapozó tudományos igényű elméleti keretrendszer tisztázása. Ehhez az ún. interpretatív diszciplináris megközelítést hívom segítségül, melynek rövid – a téma szempontból releváns sajátosságainak – bemutatására a soron következő fejezetben kerül sor. Ennek révén megvalósul a jelentésalkotási megalapozás (Gummesson, 2003), ami egyrészt biztosíthatja az elméletalkotási törekvés tudományos jellegének indoklását, másrészt igazoltá teszi a problémafelvetés létjogosultságát, egyben az ezen keretek közötti jövőbeli vizsgálódások tudományos igényű lehetőségét.

A teória elméleti megalapozását követően kerül sor az elméletalkotás kulcselemének, azaz egy már létező, a tudományos elméletalkotás (grounded theory) metszetében is értékes kvantitatív bázisú energiahatékonysági megközelítés bemutatására, amely véleményem szerint amellyel, hogy az innovatív és energetikai átmenetek sajátosságait állítja fókuszba, kitüntetett narratív relevanciával bír egy jövőképes létszervezési mód megalapozásához. Ennek az ún. EROI mutatószámhoz az ismertetésével foglalkozik a tanulmány módszertani fejezete, rávilágítva a történelmi átmenetek megatrendjeinek értelmezésében nyújtott kulcsfontosságú szerepére is.

Ezt követően sajátos megvilágításba kerül egy energiahatékonysági fókuszú megközelítés, az ún. energy return on energy invested (EROI vagy EROEI) alapú narratív megközelítés jóvoltából az az energetikai valóság, amely minden korábbinál jelentősebb kihívás elé állítja emberi valóságunkat. (AZ EROI fogalmának konceptualizálására a tanulmány módszertani részében kerül sor.) Végül a cikk fel kívánja hívni a figyelmet az emberi kreativitás

és innováció aktuális szerepére az energiaátmenetekkel összefüggésben.

A tanulmányban bemutatott elméletalkotási törekvés szükségességét abban látom, hogy a főáramú közgazdaságtani megközelítések elemzéseinek napjainkban is többnyire figyelmen kívül hagyják azt a létezésünk alapjait biztosító tényezőt, ami nem más, mint maga az energia. Robert Ayres munkáira támaszkodva az energiát sokkal fontosabb tényezőnek tekintem, mint azt a kis költségnyada sokáig csak sejteni engedte. Szoros összefüggést látok ugyanis a modern gazdasági növekedés kezdete és az olcsó, nagy energiasűrűségű fosszilis tüzelőanyagok energiahatékonysága között (Ayres, 2016, 2017).

## Elméleti keretezés, avagy interpretatív diszciplináris alapok

Az ember mindig „képpen” akar lenni. Ehhez képesnek kell lennie választ találnia arra, hogy 1.) mi történt? 2.) mi történik? 3.) minek kellene történnie? Utóbbi kérdés esetében pedig tisztázni, hogy 4.) mit kellene tennie?

Az alternatív válaszok megfogalmazásának eszköze a nyelv. Csányi Vilmos szerint „az ember a nyelv segítségével gondolatokat, hiedelmeket kommunikál és ezek a saját tapasztalatainál nagyságrendekkel bővebb forrásként szolgálnak a világról szereshető ismereteknek, mivel tartalmazzák a közösség, sőt az ősök hiedelmekben kifejezett tapasztalatait is. Ezzel a képességünkkel hódítottuk meg a bolygót, és lehet, hogy ennek a képességnek a negatív hatásai miatt fogjuk majd tönkretenni” (Csányi, 2022, p. 39). Szavakból szövődik közös dolgaink elbeszélése, története, azaz narratívája és az azok mögött álló nagy keret-történetek, metanarratívák is.

A tudományban az ún. „nyelvi fordulat” (linguistic turn) valóságos paradigmaváltást jelentett, hiszen ettől kezdve – különösen a diskurzuselméleti irányzatok – a nyelvet nem tartották többé semleges médiumnak. Ennek a szemléletmódnak az értelmezéséhez Martin Heidegger és nyomában Ludwig Wittgenstein filozófiai munkássága számít megkerülhetetlennek. A nyelv eszerint a filozófia irányából érkező, posztmodern megközelítés szerint nem csak leírja, tükrözi, hanem alakítja és formálja is a valóságot. A nyelvi objektumok viselkedése a nyelvhasználó kreatív képességének függvénye.

Az állatokkal szemben – akik az egyed bőrtönébe zárva csak a saját tapasztalataik alapján képesek a világ megismerésére – „az emberi nyelv a külső és belső körülményekre, állapotokra vonatkozó gondolati reprezentációk mintázatának cseréjére alkalmas médium, amellyel jelent, múltat, jövőt, szándékot, tervet, elképzelést, változatokat lehet – egy teljesen nyitott és elvileg végtelen számú üzenetet alkalmazó rendszerben – megjeleníteni. Alkalmas arra, hogy a környezetben (beleértve a nyelvet használó közösséget is) előforduló jelenségeket, tárgyak, akciók és aktorok nyelvi reprezentációiként jelenítse meg. Ezáltal absztrakt, virtuális realitás jön létre” (Csányi, 2022, p. 271).

Mivel csak azt tudjuk elbeszélni, ami nyelvileg kifejezhető, a nyelv minden más kognitív funkciót megelőzni lát-

szik relevancia tekintetében. Ludwig Wittgenstein szerint a nyelvünk határai világunk határait jelenti (Wittgenstein, 1989, p. 34). Én is ebből az interpretatív elméleti alapvetésből indulok ki tanulmányomban (részletesen lásd Virág, 2014).

Az elmúlt évek társadalmi, gazdasági, politikai tapasztalatai nyomán az egyéni és közösségi lelkiállapot a sokkhatás, túl sok változás történik túl rövid idő alatt és az információs túltelítettség az emberi psziché korábban nem ismert kitettségéhez vezet. Ahhoz, hogy továbbra is értelmezési keretet adhassunk a világban zajló eseményeknek, a változások turbulenciája és átfogó jellege miatt nehéz a tisztánlátás, mégis minden korábbinál fontosabbnak látszik az erre való törekvés. Minőségi létezés ugyanis nem lehetséges a valóság narratív tisztázása nélkül.

John Casti (2012) matematikus, kaoszelméleti kutató szerint az első lépés a realizmus felé, ha kukába dobjuk az utópiákat! Ehhez viszont az emberi természettel kapcsolatban megfogalmazott kiindulási pontunk okán egy, a valósághoz igazodó narratíva szükséges. Az emberi képzelet által felvillanó képek révén vagyunk valamiképpen jövőképesek. Ez azonban önmagában véve nem könnyű feladat, ráadásul sajátos anomáliákat eredményezhet.

Egy elbeszélés félig már politika, hiszen felkelti kollektív képzeletünket, társas tanulsággal szolgál, erkölcsi dimenzióban helyezkedik el és ennek mentén ítéletképzésre készítet (Békés, 2020, p. 298). Eszerint az ember nem használ egy nyelvet teljesen ártatlanul. Minden nyelv értékrendet, értelmezések és valóságképek egész sorát hordozza magában, amivel befolyásolja annak a személynek a tudatát, aki ezt a nyelvet használja (Berger, 1998, p. 20). A diskurzusaink eszerint sosem a valóságot tükrözik, hanem azt, amit és ahogyan beszélünk róla. Ahogy a világunk a komplexitás felé halad, úgy válunk egyre kiszolgáltatottabbá a valóságértelmezés tekintetében. Vonatkozik ez a különböző részterületeket ismerő és ismertető szakértőkre is!

Eszerint a nyelv hatalmi tényezőként is felfogható. Michel Foucault ezt úgy fogalmazta meg, hogy „a diskurzus nem egyszerűen tolmácsolja a küzdelmet és az uralmi rendszereket, hanem érte folyik a harc, általa dúl a küzdelem; tehát a diskurzus az a hatalom, amelyet az emberek igyekeznek megkaparintani” (Foucault, 1991, p. 869–870). A nyelvpolitika fegyvertára igen széles, egyaránt beletartozik a szavak csatasorba állítása, a fogalmak szelektálása, az értelmezés hatalmának megszerzése, az események (át)keretezése, egyes kifejezések jelentésének megadása és érzelmi felhangjuk megteremtése (Békés, 2020).

Mindebből következik, hogy a politikai viszonyrendszer megváltoztatható a diskurzus viszonyainak átrendezésével, de nem feltétlenül jár a tágabb valóság összefüggéseinek mélyebb megértésével vagy megértetésével. A professzionális hatalmi diskurzusok által ellenőrzött társadalmi cselekvésekkel járó hegemonia a pillanat uralására ugyan elegendő lehet (van Dijk, 2000, p. 450), de a valóság fundamentumainak megváltoztatására nem feltétlenül képes. (A valóság közelítésére törekvő elbeszéléssel nem minden esetben lehet választásokat nyerni. Így a diskurzus, mint hatalmi tényező, valamint a valóság lei-

rását biztosító eszköz a legritkább esetben vezethet ugyanarra a létmagyarázatra.)

Raadásul az egyre nagyobb létszámú és összetett társadalmi rendszerekben az elbeszéléseken alapuló vélt vagy valós tudás többnyire valamilyen közvetítőn keresztül érkezik, ami a belé fektetett bizalom tekintetében sem tekinthető ideálisnak, hiszen általa nem közvetlenül a valósággal találkozunk, hanem többnyire a történetet gyakran tovább torzító médiumával.

A mindenkori tudományos és hatalmi elit mellett és annak ellenében is zajló, széles körben tapasztalható, hagyományos egyszerűsítő történetmesélés és kategorizálás sokszor ahhoz vezet, hogy elhisszük, többet tudunk, mint valójában. Azt várjuk például, hogy minden hatvány fehér legyen, és megdöbbenünk, amikor egy fekete úszik el mellettünk (Taleb, 2007).

Mivel együttműködésre ítéltünk, közös történetünknek közös feltevésekre kell épülnie. Ehhez viszont közös értelmezési keret szükséges. A képek pluralitása miatt nem egyszerű a jövőbe vezető történet megragadásánál a következő kérdésekre választ találni: 1.) Mit kellene megőriznünk/minek kellene megmaradnia? 2.) Min kell változtatnunk/minek kell megváltoznia? És a legfőbb dilemma: 3.) Hogyan?

Niels Bohrnak igaza van: Jósolni nehéz, pláne, ami a jövőt illeti. Így erre nem is vállalkozom. Egyetértek viszont Tilo Schaberttel, aki szerint a jövő a kreativitás. „Nem ismerjük a jövőt. De ismerjük a jövő képeit, amelyeket a múlt alkotott. És ezek megmutatják számunkra a jövőbe vezető utat: a kreativitásunkat” (Schabert, 2022, p. 379).

Míg az állatok az örök jelenben élnek, így nem képesek a múltat tetszőlegesen felidézni, illetve a jövőt elképzelné, és ennek megfelelően alakítani a viselkedésüket, addig az ember nem csak képes emlékezni, hanem alternatív jövőképet is tud alkotni (Csányi, 2022, p. 261). Képesek vagyunk tehát képeket formálni a múltból és a jövőből és így lehetünk valamiképpen jövőképesek is. A jövőképeség hasonló egy távolugráshoz, ahol a nekifutás távolsága és iránya (múlt és a múltból szóló történetek), illetve az elrugaszkodás mikéntje (jelen és a múlt elbeszéléseinek összekapcsolása az elgondolható jövő képével) jelentősen befolyásolja a jövőképeség minőségi jellemzőit.

Az emberi kreatív képalkotási tevékenységnek természetesen megvannak a sajátos korlátjai, a kauzális interpretációk sokszor illúziókeltők, és nem várt irányba vezethetnek. Ha nem megfelelő irányból és távolságból futunk neki a megugrani kívánt távolságnak, akkor a landolás sem végződhet ideális eredménnyel. Bár a narratívák segítenek abban, hogy értelmezni tudjuk a valóságot, azonban gyakran válunk saját alternatív valóságértelmező és -teremtő történeteink rabjaivá. Komplex rendszereinkben nemcsak az információ mennyisége nő ugyanis, de a szakadék is aközött, amit valóban tudunk és amiről csak azt hisszük, hogy tudjuk (Silver, 2012).

Még ha a diskurzusok konstruálása éberré is tesz minket, de a kialakult elgondolások paradigmatis erejénél fogva akadályozhatják a valódi értelmezéshez szükséges erőfeszítéseket. Az agyunk előnyben részesíti a már meg-

lévő elképzeléseinket igazoló és megerősítő adatokat, így a rosszul menedzselte információ nemhogy tágitja, hanem szűkíti látókörünket (Johnson, 2012). Ez pedig ahhoz vezet, hogy a politikai és gazdasági jelenségek, ahogy bekövetkeznek, már „magyarazzák” is önmagukat.

További nehézséget okozhat a változások dinamikája is. Sajnos nem vagyunk képesek a hétköznapi, azaz lineáris gondolkodásmódunkkal az exponenciális természetű változásokat és különösen azok következményeit időben detektálni. Nem vesszük észre, ha a változás üteme maga is gyorsul.

Jamie Susskind a „Politika a jövőben” című művében Pedro Domingos példáját idézi:

„Próbáljunk elképzelni egyetlenegy, mikroszkopikus méretű *E. coli* baktériumot. Ez a baktérium nagyjából tizenöt-húsz percenként kettéosztódik. Megfelelő körülmények között néhány óra alatt egész baktériumteleppé fejlődik, amely azonban még mindig túlságosan kicsi lesz ahhoz, hogy szabad szemmel is lássuk. Huszonnégy óra alatt azonban abból az egyetlen *E. coli*-ból akkora baktériumtömeg fejlődik ki, mint maga a Föld. Hát ilyen az exponenciális növekedés” (Susskind, 2021, p. 38).

Ez akkor következik be, amikor az életkörülmények gyorsabban változnak a biológiai (genetikai) és kulturális (memetikai) tulajdonságoknál. Bár az utóbbi sajátosságok sokkal gyorsabban képesek alkalmazkodni az emberi genomhoz képest, azonban a turbulensen átalakuló körülmények akár ezt az emberi memetikum transzformációs képességet is megelőzhetik. Erre a pandémia rendkívül érzékletesen hívta fel a figyelmet. Leginkább arra gondolok, hogy a járvány eredetének, rövid távú hatásának és hosszabb távú következményeinek tisztázására sem voltunk kollektíve képesek. Mindez pedig a képalkotó ember frusztrációjának elsődleges indikátorát adja.

Az elménkben szereplő képek, a dolgokról való elképzelések nem egyeznek meg teljes mértékben a dolgok valós természetével, ezért a tapasztalati úton nyert tudás mellett olyan racionális rendszerre is szükség van, amivel a kép és a valóság közötti szakadék áthidalható. Lépéseket kell tennünk tehát az empirikus megközelítés kiegészítéseként a világ működésének valamiféle absztrakt megértése felé.

A tudományosság metszetében a fent áttekintett *képalkotási képességért* az ún. grounded theory kvalitatív kutatási módszer felel, mely egy sajátos kvalitatív forradalmat hozott a társadalomtudományok területén. Barney G. Glaser és Anselm L. Strauss szociológusok „The Discovery of Grounded Theory” (1967) című műve tisztázza az irányzat módszertanát, az elméletalkotás teljes folyamatát az empirikus adatgyűjtéstől az interpretálásig. A kötettel a szerzők célja az volt, hogy képessé tegyék a kutatókat az elméletalkotásra az által, hogy elszakadva a túlzott pozitívizmustól és a korszakos teoretikusok (pl. Durkheim, Marx, Weber) nagy elméleteitől (grand theory) saját elméleteket hozzanak létre, melyek ténylegesen az adatokból emelkedjenek ki. „A grounded theory úgy küzd, mint egy belső ellenálló. Valójában a pozitívizmusban született, de mégis az ellen küzdő módszertanról van szó” (Horváth & Mitev, 2023, p. 92).

Az eddigiekben vázolt elméleti kereteken belül a valóság megértésének fundamentumát egy energetikai fókuszú megközelítésben látom. Úgy vélem, hogy az előtünk tornyosuló fenyegető jelenségek (legyenek azok akár a pandémia, az ukrajnai háború és a velük is összefüggésbe hozható energetikai és gazdasági, pénzügyi krízis) elsősorban nem független okozói a válságnak, hanem egy mögöttes probléma, azaz egy energiahatékonysági kihívás tünete!

## A megközelítés módszertani alapjai, avagy a kauzalitás absztrakció indikátora

A közgazdászok számos indikátort nevesítenek és alkalmaznak gazdasági fókuszú interpretációik alkalmával, melyek relevánsak lehetnek az üzleti környezet elemzésénél. Ugyanakkor napjaink energiaválságaiig a létünk alapját adó energia legtöbbször kimaradt a figyelem és az elemzői kalkulációk fókuszából, vagy csupán egy ember alkotta tőkének tekintették. A szolgáltató szektor felértékelődése miatt a jövő reálgazdaságának dematerializációs tendenciái sokáig elterelték a figyelmet az energia és az anyagi erőforrások szűkösségének problematikájáról, ami ahhoz a tévképzethez járult hozzá, hogy az energia-, valamint anyagszükségletek leválaszthatók a gazdasági növekedésről.

Jelen tanulmány kvalitatív jellegű megközelítése nem veti el a kvantitatív módszerek és feltételezések létjogosultságát, sőt; egy kvantitatív jelzőrendszer bevonására teszket javaslatot a mélyben meghúzódó energetikai folyamatok narratív értelmezéséhez.

A valóságnak ehhez az alternatív interpretációjához az ún. energy return on energy invested (EROI vagy EROEI) mutatót hívom segítségül, amely megmutatja, hogy mennyi energia áll rendelkezésre egy adott energiahordozó esetén azon energiafelhasználás figyelembevételével, amelyre az adott energiaforrás előállításához szükség volt. Röviden ez annyit jelent, hogy egy egységnyi energiabefektetéssel hány egységnyi energia állítható elő. Még egyszerűbben: mennyi energiára van szükségünk, hogy energiához jussunk. Az EROI kiszámolásának módja a következő:

$EROI = \frac{\text{Visszaadott energia}}{\text{Befektetett energia}}$

Míg a magas EROI-mutatók általában azt jelzik, hogy az energiahordozó hatékonyabb és kevésbé környezetkárosító, addig az alacsonyabb EROI esetén éppen fordítva, nagyobb költségeket és környezeti hatásokat jelez.

Az EROI-mutató kidolgozója Charles A. S. Hall, a New York-i Állami Egyetem professzora volt, aki ökológiai és biológiai evolúciós szaktudásából kiindulva a mainstream közgazdaságtudománytól eltérő nézőpontból közelített a globális gazdaság kihívásaihoz. Kiindulási pontja az volt, hogy a domináns közgazdasági nézőpont marginális figyelmet szentel az energetikai, anyagi és környezeti előfeltételeknek, holott minden élő szervezetnek, így az emberi társadalmak fennmaradásának is előfeltétele, hogy képes legyen több nettó energiát nyerni bármely tevékenységből, mint amennyit annak végrehajtásakor felhasznál. Eszerint a létszerveződési módjaink során az

ehhez szükséges energia és anyagmennyiség nem hagyható figyelmen kívül, ezek használata nem választható szét a gazdasági növekedés perspektívájától. Hall és szerzőtársainak munkája tehát rendkívül figyelemreméltó az energiahordozók fenntarthatósága és az energiafogyasztás hatásainak elemzésében (Hall, Balogh & Murphy, 2009; Hall & Klitgaard, 2011; Hall, Lambert & Balogh, 2014).

A területen kiemelendő Cutler J. Clevelandnek, a Bostoni Egyetem, valamint David Murphynek, a St. Lawrence University professzorainak a munkássága, akik Hall mellett nagy mértékben járultak hozzá az EROI alapú megközelítés széles körű ismertségéhez. Jelentős eredményeket értek el az energiaforrások fenntarthatóságának elemzésében és az energiatermelés hatékonyságának értékelésében (Cleveland, 2005; Murphy, Hall, Dale & Cleveland, 2011; Murphy, 2014).

Az energia mindig is alapját jelentette a társadalmi működés szinte minden elemének, legyen az egyéni létfenntartás, gazdasági teljesítmény, katonai képességek, kommunikáció stb., így annak mennyisége, ára, továbbá a termelés, a szállítás, a tárolás és a fogyasztás körülményei a legtöbb gazdasági-társadalmi folyamatban tükröződnek. Ebben az értelemben az energia „totális” termék” (Ciuta, 2010). A homo sapiens korszakait kiemelkedő mértékben határozták meg az általa alkalmazott energiaforrások.

Geoffrey West, brit részecskefizikus (2017) szerint a világon minden organizmus rendkívül hasonló logikájú hálózatokon alapszik, melyek biztosítják a működéshez szükséges erőforrásokhoz való hozzáférést a lehető leghatékonyabb módon, azaz pazarlás nélkül. Nincs ez másként a homo sapiens esetében sem, akinek nagyjából 300.000 éves létezésének túlnyomó része nem különbözött más földi fajkétől. Az emberi élet évezredekig nem változott és a létfenntartásra korlátozódott, létezésünk legnagyobb részében a táplálékból nyerhető energiát használtuk, ami izommunkává és hővé alakult át (Gelencsér, 2022). Ez annyit tesz, hogy az energia megtérülését jelző EROI 1 és 2 között ingadozott az emberiség hajnalán más élő organizmusokhoz hasonlóan. Ebben a több százezer éves periódusban vadászó, halászó, gyűjtögető létforma jellemezte közösségeinket, ahol a növények jelentették az egyetlen hőforrást.

Ebben az időszakban lényegében minden erőfeszítésünk arra fordult, hogy megszerezzük a szükséges energiát. Mindez stabil, de alacsony összetettségű rendszerek kialakulását tette lehetővé kis létszámú, rokoni kapcsolatokon alapuló törzsi társadalmak képében, ahol az állatok háziasítása előtt az egyetlen hajtóerőt az emberi izomzat jelentette. Amennyiben minimális többletenergia rendelkezésre állt, az lehetővé tette, hogy az ember nem csak a természetben készen talált tárgyakat használja eszközként, hanem tudatosan, egyre komplexebb rendszerekké építse össze vagy át azokat, saját előnyére fordítva őket. Azaz már ebben a prehisztorikus időszakban is jelen volt az emberi invenció képessége.

Ilyen korai találmánynak számított mindenekelőtt a tűz, ami rendkívül potens energiaforrásnak bizonyult, elősegítve az emberi közösségek komplexitásának lehetőségét. A biomasszából álló tüzelőanyagok – olyanok

mint a fa, faszén, szalma, szárított trágya – révén a tűz és ezáltal a főzés csökkentette a rágáshoz és az emésztéshez szükséges energiát, ezáltal könnyebben hozzáférhetővé téve a kalóriákat, amik növelték a létezés EROI-vel mérhető szintjét.

Mindez azonban az EROI alacsony értéke miatt csak limitált potenciált jelentett a mai szóhasználatnál élve „technológiai fejlődés” elnevezésű jelenség kibontakoztatására. „A nagy mértékben tehetetlenségen alapuló mintázatok rendkívül alacsony népességnövekedést, korlátozott élelmiszer kínálatot, továbbá (a fa alacsony energiasűrűségének, valamint a nyílt tűz és az egyszerű tűzhelyek alkalmazásából adódó gyenge átalakítási hatékonyságnak a kombinációja miatt) alacsony energiaigényű energiaátalakítást, valamint alig változó gazdasági teljesítményt hoztak” (Smil, 2023, p. 16).

Mintegy 12.000 évvel ezelőtt, azaz az utolsó jégkorszakot követően egy jelentős fordulat vette kezdetét, amikor az ún. mezőgazdasági, más néven neolitikus forradalom mindössze néhány ezer év alatt szinte mindenhol lezajlott a Földön. A mezőgazdasági módszerek különböző ütemben terjedtek el a bolygón, ennek földrajzi okairól részletesen ír Jared Diamond „Háborúk, járványok, technikák” című könyvében (Diamond, 2000).

Ennek az átmenetnek a következtében a társadalmak létszámukban jelentős növekedésnek indultak. Ezzel a különböző termékek előállítására szakosodó egyének és közösségek révén az egyes populációk között szélesebb körű együttműködések váltak szükségszerűvé, amit a korábbi, döntően rokoni, családi kötelékekre alapuló létforma már nem tudott kielégíteni.

A fordulat energetikai alapja a következő: az első fejlett gabonaalapú civilizációk szerveződésének energia-költségeit csökkentette az a tény, hogy más terményekkel szemben a gabona mérése, szállítása, tárolása, így a szüret első birodalmak számára az adóztatása is könnyebb volt, ami a hatalmi és gazdasági struktúrák komplexitásának kibontakozását segítette (Scott, 2017). Ezzel az EROI értéke a korábban stabilan 1 és 2 közötti értékről egészen 5-re emelkedett. Azaz egy egységnyi energiával már nem legfeljebb további egy, hanem akár annak négyszerese is elérhetővé vált.

A létszerveződési rendszereink előtt tehát megnyílt az út a korábbi komplexitási szint jelentős emelkedéséhez. Megjelentek az összetett politikai, vallási, gazdasági rendszerek, az ókori, majd középkori birodalmak és velük együtt a sok esetben még a mai napig is megcsodálható épített környezet hatalmas templomokkal, erődökkel és öntözéses rendszerekkel. Felgyorsulhatott a korábbi dinamikaéhoz képest az innovációk üteme is, főként a mezőgazdaság, az állattenyésztés és a dinamizálódó kereskedelem területén. Egyre több régióban a helyhez kötött feladatok elvégzését az emberi és állati erő mellett kisméretű vízke-rekek és vízimalmok egészítették ki. Az ember biológiai értelemben is alkalmazkodott ehhez az új életformához. A mezőgazdaság megjelenésével lehetővé vált idővel a keményítő megemésztése (Gibbons, 2021), az állatok háziasításával pedig 6-10.000 évvel ezelőtt megjelent az ún. laktázperzisztencia, melynek révén már nem csak a

csecsemők fogyaszthatnak tejet (Ségurel & Bon, 2017). Mindez azonban sokáig érdemi fordulatot nem hozott az életszínvonal és a társadalmi komplexitás terén a prehisztórikus korszak utáni EROI-ugrást követően. A népesség mennyiségi értelemben gyarapodott ugyan, de minőségi változásra a hosszú távú trendek figyelembevételével nem került sor. A rendelkezésre álló tüzelőanyagokat nyílt tűzön, hatékonyságot nélkülöző kandallókban vagy egyszerű kályhákban égették el, melyek az energia több mint 90%-át pazarolták el jelentős beltéri levegőszennyezés mellett (Smil, 2023, p. 156).

A bizonyítatlan termelés, az elégtelen energiaellátás csupán minimális gazdasági növekedést produkált, a stagnálás, a marginális demográfiai gyarapodás, valamint a műszaki és gazdasági fejlődés szakaszai váltakoztak a technikai újítások lassú üteme mellett. „A legjobb elemzések szerint a globális gazdasági termék átlagos éves növekedési aránya az időszakunk kezdetét követő első évezredben mindössze 0,01% volt. Ilyen növekedés mellett hét évezredre lett volna szükség ahhoz, hogy az össztermék megduplázódjon. A következő 500 évben elért tízszeres nagyságrendű fejlődés is csupán 0,1%-os arányt eredményezett, amely mellett még mindig hét évszázad kellett volna a duplázáshoz” (Smil, 2023, p. 27). Sőt, a korábbi korokból fennmaradt maradványok tanúsága szerint a korai mezőgazdasági társadalmak nem mutattak javulást a korábbi halászó, vadászó, gyűjtögető életmódhoz képest az életszínvonal és a várható élettartam tekintetében, a leletek inkább hanyatlásra mutatnak ebben az összevetésben (Cohen, 1989).

Ezzel párhuzamosan az EROI esetében sem történt érdemi változás. Oded Galor az amerikai Brown Egyetem közgazdász professzora szerint azzal a tudással, ami az ókori Jeruzsálemben a rendelkezésre állt, még a XIX. század fordulóján is nagyjából naprakésznek számított volna. Az egy főre eső jövedelem továbbra sem ugrotta meg a létminimumot, gyakori járványok és éhínség tizedelte a népességet, négy újszülöttről egy nem érte meg az első születésnapját, és a várható átlagos élettartam csak nagyon ritkán haladta meg a negyven évet (Galor, 2022, 12, p. 59).

Az első energiaátmenet a XIII. századi Nagy-Britanniában vette kezdetét a fáról a szénre való fokozatos áttéréssel, ami nagyobb léptékben csak a XVI. századi Angliában bontakozott ki. Mindez a munkaintenzív textilgyártást megalapozó bányászat és vaskohászat területén elért innovációk nélkül nem lehetett volna sikeres, melynek alapját a lángkemencék által lehetővé vált üveggyártásra alkalmas magas hőmérséklet elérése biztosította (Smil, 2023, p. 156).

A szén előnye kezdetben az olcsó ár és a hozzáférhetőség volt, nem a magasabb fűtőérték, érdemi kitermelésre akkor kerülhetett sor, amikor a bányák vízszivattyúzásának technológiai feltételei adottá váltak erre. 1709 januárjában egy bizonyos Abraham Darby nevű vasolvasztó kemencét üzemeltető angol fémmunkás vállalkozó jött rá arra, hogy miként tisztítható meg a szennyeződésektől a kőszén, koksszá, jobb minőségű szén alakítva azt. Ezzel kezdte el a szén érdemben kiszorítani a fát a kohászat standard üzemanyagaként, ami lehetővé tette a kisüzemi

kohászat térnyerését és a kézművestermék-előállításra alapuló protoindusztrializációról a teljes körű iparosításra való áttérést.

A szén a vasgyártás egyik alapanyagaként meghatározó jelentőséget kapott. Az új eljárás ugyanis leszorította a kohászat árát, így a vas sokkal szélesebb körben vált elérhetővé az ipar számára. Mindez tovább gyorsított az ipari forradalom tempóján. 1712-ben már a Thomas Newcomen-féle gőzgépet is a szén hajtotta, melynek révén lehetővé vált a bányák vízszivattyúzása is, fokozva az így elérhető szén EROI-értékét. Newcomen szerkezetét James Watt fejlesztette tovább (1763-1775), amivel már gyári gépsorok meghajtása is lehetővé vált (Yergin, 2023, p. 368).

A XIX. század közepére a gőzmozdony és a gőzhajó térnyerésével a szárazföldi és vízi személy- és teher szállítás fejlődése révén a távolságok minden korábbinál hatékonyabban váltak leküzdhetővé, egyben a piacok integrálódásának intenzív kibontakozása is megkezdődött. Erre az időszakra esik a textilipar automatizálása, a már említett vasérc megolvasztásának új, olcsóbb módjai, amik szintén mind visszavezethetők a magas EROI-potenciált biztosítani képes szén egyre tömegesebb használatára nemcsak az iparban, hanem a lakosság egyre szélesebb köreiben is a háztartási fűtésben, a melegvíz előállításában. „A belső égésű motorok és gőzturbinák nagyobb hatékonysággal alakították át az üzemanyagot, minden addiginál nagyobb sebességre voltak képesek, és olyan kapacitásokkal rendelkeztek, amelyek lehetővé tették az autók és repülőgépek kifejlesztését” (Smil, 2023, p. 27).

A fejlett világ szénkorszakát követően megjelent és hamarosan teret is nyert a kőolaj és a földgáz, melyek mindössze évtizedek leforgása alatt tovább emelték a rendelkezésünkre álló energiatöbbletet. A XIX. század közepén a második ipari forradalom idején a gőzgépeket fokozatosan kiszorította a gyárakból az elektromos áram. A sötétség megszüntetésével (petróleum-, majd izzólámpák) meghosszabbították a munkára, az oktatásra, az időöltésre és testmozgásra szánható időt, ami javuló munkatermelékenységgel, mellékhatásként pedig széles körű alváshiánnyal is párosult.

A XIX. század végén megjelentek az első autók. Utóbbi járművek nagyüzemi gyártása 1908-tól kezdve jelentős keresletet teremtett a benzint iránt, melynek alapanyaga a szénél nagyobb energiasűrűségű és könnyebben szállítható és tárolható kőolaj volt. A jelentős közel-keleti lelőhelyek feltárása és az olcsó export nyomán az 1960-as évek derekától globálisan az olaj több energiát kezdett szolgáltatni a szénél (Smil, 2023, p. 164). Ekkoriban az energiahordozó EROI-értéke extrém módon megemelkedve a 100-as értéket is elérte!

Az olaj villamosenergia-termelésben növekvő relatív emelkedését elsősorban a földgáz, mint globális tüzelőanyag fogta vissza. Bár a szobahőmérsékleten légnemű energiahordozó fajsűrűségében mindössze egy ezreléke a kőolajnak, így szállítása és tárolása is nehezebb, azonban a XX. század második felében folyamatosan bővülő infrastruktúra-fejlesztések (csővezetékek,

cseppfolyósító és visszagázosító létesítmények, úszó LNG-platformok és LNG-szállító tartályhajók) jóvoltából, a globális energiamixen belüli aránya fokozatosan emelkedett az 1970-es 17%-ról 2019-re valamivel több mint 24%-ra (BP, 2020). A földgáz a szénnél nagyobb égési hatásfokot, könnyebb kezelhetőséget hozott, ami magasabb fokú kényelemmel és relatíve kisebb környezetszennyező hatással párosult.

Fontos látni, hogy a szénhidrogének, így a szén, a kőolaj, majd a földgáz térnyerése nem egyik pillanatról a másikra történt. Václav Smil energiaátmenetről szóló munkájában (2017) rögzíti, hogy az iparban használt gépek elterjedése ellenére energiaforrásként a fa, a faszén és a mezőgazdaság melléktermékeinek dominanciája még sokáig megmaradt és csak 1900-ra éri el a szén az energiaigény fedezetében globálisan az 50 százalékot. A legkorábban Angliában és Walesben szárnyalta túl a széntüzelés a fát. Míg 1700-ra az Egyesült Királyságban a szén adta az energia 75%-át, addig ugyanez az energiahordozó Franciaországban és Németországban csak a XIX. századra vált meghatározóvá, Kínában pedig csak 1970-ben lett kiemelt jelentőségűvé a primer energiában. A kőolaj is csak több mint egy évszázaddal a felfedezését követően, az 1960-as évekre előzte meg a szenet a világ elsőszámú energiahordozójaként. Ezzel sem ért azonban véget a szénkorszak, hiszen annak felhasználása a világban azóta is nő.

Míg a szén átalakította a termelési tevékenységeket, a szállítást és megnyitotta az utat egy példátlan gazdasági globalizáció felé, a szénről a szénhidrogénekre való átállás elsősorban a nagyobb hatékonyság, a fokozottabb kényelem és a relatíve kisebb környezeti hatás felé való elmozdulást eredményezett. A szénnek ekkorra a villamosenergia- és a kokszttermelés maradt a két fő piaca.

A feltárt és termelés alá vont magas EROI-potenciálú szénhidrogének tehát néhány évtized leforgása alatt exponenciálisan megnövelték a politikai, gazdasági, társadalmi rendszereink komplexitását, ami az életminőség javulásának lehetőségét (beleértve az aktív életkor meghosszabbítását és a magasabb iskolai végzettséget és jövedelmet), a kényelmesebb életet biztosító termékek megfizethetőségét, a mobilitás fokozódását és az információ, valamint a kommunikáció elérhetőségének korábban nem tapasztalható javulását eredményezték. A többlet fosszilis energia alapozta meg a globális civilizáció működését. A ráérő idő és a gyorsan változó technológiai környezet tovább katalizálta a kreativitást, ezen keresztül pedig az innovációt, mely az általános iskolázottsági szint növelésével – kiemelten az írás és olvasás tömeges terjedése mellett – további multiplikátor hatást fejtett ki a humántőke, a technológia és a szervezeti fejlődés területén.

1820-ban a földön élő felnőtt korú lakosság mindössze 12 százaléka tudott írni és olvasni. Ez az arány a XX. század közepére átlépte az 50 százalékot és mára 86 százalékon áll (Galor, 2022, p. 87). Mindez további pozitív visszacsatolást biztosíthatott a modern tudományos vívmányokon keresztül a közegészségügyi állapot javulásában (gyógyszerek, vakcinák stb.), valamint a nők munkaerőpiaci részarányának növekedésével a társadalmi

egyenlőtlenségek csökkenésében is. A megnövekedő várható élettartam és a hosszabb időn át fenntarthatóvá váló egészséges életmód kitolta a hosszabb ideig tartó iskolai tanulmányokba való befektetés megtérülési idejét. A humántőke progressziójában elvülhetetlen szerepe van a kora újkor első tömegméretű iparának: a könyvnyomtatás elterjedése mellett a reformációnak, előbbi esetében szintén kiemelkedő jelentősége van a terjesztéshez szükséges anyag és energia meglétének, ami mint szellemi innovációs katalizátortényező elindíthatta Luther Márton is a maga útján.

Az invenció ugyan a kezdetektől végig kíséri az emberiség történetét, de a rendelkezésre álló többletenergia révén egy másfajta léptékben, mint ami a szénhidrogének korszaka óta tapasztalható. Míg az emberi kultúrák hajnalán megjelenő vívmányok a véletlen művének tűnhettek, azonban ehhez is szükséges volt az inspirációk generálásához nélkülözhetetlen energiátöbblet.

A mezőgazdaság modernizációja és az ipari gépesítés nyomán a felszabaduló munkaerő egyre jelentősebb hányada az egyre szélesebb körű szolgáltató szektorban talált munkát. Az egyre komplexebb társadalmi, gazdasági és politikai rendszereinkben egyre jellemzőbbé vált a tömeggyártás, a szüntelen műszaki innováció és specializáció.

A legutóbbi ezredforduló első évében, 2001-ben egyetlen év alatt nagyságrendileg ugyanannyi új információ keletkezett, mint a civilizáció története során összesen. Ez a szám 2002-ben ismét megduplázódott, azóta évente a sokszorosára nő (Gurri, 2018). Az összes kézzel másolt könyvtárban és magángyűjteményben a mozgatható betűs nyomtatás előtt a teljes szöveges információ 100 GB nagyságrendű lehetett. Ezzel szemben ma a világszerte tárolt összes információ 3 EB-ra becsülhető, ami azt jelenti, hogy 1450 és 2000 között százmilliós nagyságrenddel nőtt a tárolt információ mennyisége (Smil, 2023, p. 261).

Ennek alapját szintén az energiáig visszavezethető innovációk is elősegítették az információáramlás új technológiáinak megjelenésével (az első ipari forgalomba állított elektromágneses távirótól (Morse, 1844) kezdve a fonográfot át (Edison, 1877), a rádió keresztlől (Marconi, 1895) egészen napjaink telekommunikációs eszközeiig). A már módszeresen keresett újítás a kutatás és fejlesztési tevékenység révén egyre jobban csökkenti az újszerű ötletek megfogalmazása és az azokból megszületett termékek és szolgáltatások hasznosulása közötti eltelő időt. Az első gőzgéptől a vasút elterjedéséig 150 évre volt szükség. A rádiózás esetében a kibontakozás 70 évig tartott. A személyi számítógépek elterjedésére már csak 25 év kellett, a mobiltelefonok térnyerésére pedig mindössze 15.

Az EROI-mutató kiugrása az ipari forradalomtól kezdődően azt eredményezte, hogy a XIX. század eleje óta az egy főre eső jövedelem az egész világon átlagosan tizenegyszeresére, míg a születéskor várható élettartam több mint a kétszeresére nőtt (Galor, 2022, p. 60). Mindezek a komplexitási folyamatok számos kutatót arra a következtetésre juttattak, hogy a világban ezek a pozitív tendenciák a jövőben is folytatódni fognak (Rosling, 2018; Pinker, 2018).

A soha véget nem érő fejlődésről olyan neves gondolkodók fejtik ki szélesebb nyilvánosságban is a véleményüket, mint a szingularitás téziséhez hangoztató Ray Kurzweil (2022), vagy a Homo Deus koncepciójával Yuval Harari (2017). Ezeknek a transzhumanista nézeteknek az alapja, hogy az exponenciálisan növekvő intelligencia végtelen sebességet elérve képes leválni a természetről, nem számolva vagy éppen meghaladhatónak látva azt a szempontot, hogy társadalmaink és gazdaságaink a bioszférából származva annak tulajdonképpeni alrendszerét jelentik, vagyis energia- és anyagszükséglettel rendelkeznek.

## Eredmények, avagy mire világít rá az EROI-mutató alapú narratíva?

Az élet, benne az emberi létezés is leírható az összetettség és a rendezetlenség erői közötti időtlen küzdelemként, ahol a káoszban a komplexitás a rendező erő, amit az entropia semmisít meg (Christian, 2018).

Vaclav Smil szerint az energetikai átmenet négy alapvető változást hozott:

1. a fotoszintetizált fitomasszára támaszkodó globális rendszert a fosszilis tüzelőanyagok felé mozdította el,
2. az alacsony energiasűrűségű tüzelőanyagok helyébe közepes és nagy sűrűségű tüzelőanyagok léptek,
3. a nehezen tárolható üzemanyagokat kényelmesen és olcsón tárolható üzemanyagok váltották fel,
4. megnövekedett az üzemanyagok földfelszíni mennyiségére vetített teljesítménysűrűsége (Smil, 2023, pp. 179-180).

A jelenlegi komplexitási szintű világ nem jöhetett létre annak az energiaátmenetnek a hiányában, amely a hagyományos biomassza- és élő energiák helyett a fosszilis energiahordozók és az ezek elégetésével működő motorokon alapul. A szénhidrogének korlátlanul tűnő gazdasági fejlődést tettek lehetővé. A rendelkezésünkre álló többletenergia egyre nagyobb létszámú társadalmakat hozott létre, melyekben minden korábbinál jelentősebb volt a specializáció, a szakmai tapasztalat, az információ mennyisége és annak áramlási sebessége. Az így előálló rendszer egy önmagát gerjeszteni képes visszacsatolási szisztéma formájában tovább növelte az új technológiák megjelenésének lehetőségét és gyorsuló elterjedését. Azonban a jelenlegi egyensúlyinak gondolt vagy mondott konstrukciók extrém komplexitása miatt meglehetősen bonyolultak, törékenyek és instabilak.

Ma már számos olyan kutatóműhely van a világon, ahol interdiszciplináris módon vizsgálják a komplex rendszereinkkel összefüggő kihívásokat, így azok megértése érdekében a természetet és benne az emberi világot átszövő matematikai szabályszerűségeket. Ilyen a Santa Fe Institute vagy a bécsi X-Center, ahol az ember által okozott szélsőséges események előrejelzésével foglalkoznak a bonyolult rendszerek tanulmányozásának fényében.

Nem számít újkeletű gondolatnak kultúrtörténetünkben, hogy – a modernitás óta a fejlődésként aposztrofált változások, melyek által a világunk egyre komplexebbé

vált – a jó, a rossz és az igaz vonatkozásaiban nem feltétlenül számít sikertörténetnek. Gilbert K. Chesterton szerint „az emberiség nem élvez ki a saját találmányait, és azzal, hogy újabb és újabb találmányokat állít elő, egyre messzebb és messzebb hagyja maga mögött saját boldogságának és örömeinek erejét” (Chesterton, 2021, p. 114). A Nobel-díjas közgazdász Daniel Kahneman és munkatársai (2021) úgy látják, hogy az életünk növekvő komplexitásának egyik árnyoldala, hogy a modern társadalom egyre zajosabb és egyre kevésbé következetes.

Raadásul egyre többen vélik úgy, hogy elérkeztünk a növekedés határaihoz. A világgazdaság további bővüléséhez szükséges eszközök hatékonyságának növekedése már ma is évről évre lassul, így a XXI. század gazdaságpolitikai küldetése a fokozatosan, de biztosan bekövetkező stagnálás megfelelő menedzselése lehet. A szénhidrogén-készletek vége miatt a fosszilis-tüzelőanyag-korszak is elkerülhetetlenül időkorlátokba ütközik. A nem konvencionális kőolaj- és földgázlelőhelyek termelés alá vonása az ún. hidraulikus rétegrepressztési technológiák révén a rendelkezésre állás időtartamát kitolhatja, de a készletek behatárolt nagyságán változtatni nem tudnak.

Mindezek hátterében egy faék egyszerűségű, bár nem kellően hangsúlyozott tény áll: zárt rendszerben a magas EROI-potenciállal bíró fosszilis készletek csökkennek és nem látszanak a jelenlegi mainstream technológiai tudás mellett a korábbiakhoz hasonló EROI-értékeket produkálni képes helyettesítők. Raadásul nemcsak az energiahordozók, hanem az ún. megújuló energiák hasznosítására szolgáló nyersanyagok is végesek. Jelenlegi ismereteink alapján kémiai elemeket teremteni nem tudunk. Földünk az anyagfogalom szempontjából lényegét tekintve zárt rendszer. Bár az anyagmegmaradás törvénye alapján kémiai elem nem tűnik el, de egyre nagyobb energia-, víz-, anyag- és költségráfordítással termelhető ki (Gelencsér, 2022).

A legmagasabb EROI-értékű szénhidrogéneket, mint alacsonyán csüngő gyümölcsöket már a XX. század folyamán elhasználtuk. A kihívást fokozza, hogy digitális életmódunk is ásványkincseken alapul. Az akkumulátorok, a képernyők és a nélkülözhetetlen alkatrészek gyártásához véges mennyiségű nyersanyag áll rendelkezésre, raadásul ezek jelentős része a bolygó problémás szegleteiben koncentrálódnak (Parikka, 2015).

A XX. század második felétől a konvencionális fosszilis energiahordozók EROI-értéke a korábbi 100 körülről napjainkra gyorsuló ütemben csökken és nagyjából a kőolaj esetében ez 20-30-ra esett vissza. Az újabb mezők feltárása, készleteik elérése, kitermelése nehezebb, technológiailag sem egyszerű feladat, így azok EROI-értelemben rosszabb minőségűek. Az ún. nem konvencionális fosszilis készletek, a palaolaj és palagáz lelőhelyek EROI-értéke már csak 5-10 között mozog. A megújuló energiák közül a nap, a szél és a biomassza ezekkel számíthatnak versenyképesnek. Ugyanakkor ezeknek a zöldnek nevezett energiáknak az ipari és lakossági hasznosításánál az anyag- és a tárolás költségeivel is kalkulálva az EROI már alig több mint 1.

A teljes életciklus alatt megtermelt energia mennyisége a teljes rendszer gyártásához és felszereléséhez szükséges



energia mennyiségéhez a fotovoltaikus erőművek esetén 1:4. Hasonlóképpen kalkulálva egy szélerőmű EROI-értéke alig kétszerese ennek, a geotermikus rendszer energiahatékonysági mutatója pedig csupán 3 körül van. Az összes energiatermelési mód közül az atomerőművek energetikai hasznosítási tényezője az egyik legmagasabb, 75 körüli értékével (Gelencsér, 2022). Ugyanakkor tény, hogy mindezek ellenére a globális villamos-energiatermelés mindössze 10%-a köthető nukleáris erőművekhez.

Mindezek alapján a világ gazdaság újraszervezése a megújuló energiaforrásokra épített alapokon nem reális és belátható időn belül nem is lesz az. Energy transmission helyett legfeljebb energy addition lehetséges. Önmagában a megújuló energiák térnyerése tehát nem jelent megoldást a kihívás léptékére. Egy száz százalékos megújuló energiára épülő nemzetgazdaság százszor annyi földet használna el energiatermelésre, mint a mai gazdaságaink. Ezt a területet az élelmiszertermeléstől kellene elvenni (Yergin, 2023).

Ráadásul a probléma nagyságát tetézi, hogy nem pusztán a jelenlegi kultúránk fenntartását szolgáló fejlődés költséges, hanem a meglévő rendszereink pusztító karbantartása, a növekedési szükségszerűséggel nem is számolva. A legnagyobb kérdés, hogy mindezeket figyelembe véve milyen módon juthatunk el a karbonsemleges állapotáig egy olyan globális gazdasági környezetben, ahol 2019-ben a megtermelt primer energiákinálát 85 százaléka fosszilis energiahordozókból, így szénből, kőolajból és földgázból áll és a villamosenergia több mint háromötödét fosszilis tüzelőanyagok elégetésével állítjuk elő (Smil, 2023, p. 362).

Bár a szél- és napenergia mennyisége is folyamatosan nő, de ez az ugyancsak egyre nagyobb mértékben felhasznált, hagyományos energiahordozók kiegészítését jelenti. Ráadásul számos területen, így kiemelten a hosszú távú kereskedelmi repülés és a tömeges interkontinentális hajózás terén nincsenek olyan könnyen elérhető helyettesítők, amelyeket alkalmazni lehetne, így a turbóventilátorok és a dízelmotorok még évtizedekig nélkülözhetetlenek tűnnek (Smil, 2010).

A fosszilis tüzelőanyagokra való áttérés globális szinten még be sem fejeződött, ami a szénhidrogének iránti jelentős többletigényt vetítenek előre. A megújuló energiákra való áttéréssel kapcsolatban napjainkban van egy közkeletű vélekedés, miszerint az viszonylag rövid időn belül megvalósítható, azonban ez „az energetikai átmenetek természetének alapvető félreértését takarja: mindig évtizedekbe telik ugyanis, mire ezek kibontakoznak” (Smil, 2023, p. 201).

A tények azt mutatják, hogy a fosszilis tüzelőanyagokon alapuló civilizációnk a közelmúltban az eltávolodás helyett sokkal inkább versenyt fut a szénhidrogénekért. Bár részarányuk a primer energiaellátásban az 1950-es mintegy 98-ról 90%-ra csökkent 2000-re (a víz- és atomenergia-termelés bővülésének köszönhetően), azonban abszolút fogyasztásuk 5,3-szorosára nőtt. Ráadásul ez az arány a 2010-es évek második felében sem változott érdemben még akkor sem, ha eközben a megújulóenergia-források hányada jelentősen nőtt az elmúlt negyed-

évszázadban. Még ha a következő 25 évben meg is háromszorozódik a szél- és a napenergia együttes aránya globálisan, 2040-re a fosszilis tüzelőanyagokkal való termelés még mindig a teljes termelés több mint felét teheti ki (Smil, 2023, pp. 355-358).

Csupán a meglévő olajmezők ellensúlyozására az olajiparnak fel kell kutatnia és ki kell termelnie újabb 3-5 milliárd hordónyi olajat évente. A Nemzetközi Energiaügynökség kalkulációi szerint mintegy 20.000 milliárd dollárt kellene a földgáz- és kőolajipari fejlesztésekbe fektetni a következő két évtizedben, nem számolva az ukrajnai háború nyomán előálló transzformációs költségekkel (Yergin, 2023, p. 405).

Ami az energiaátmenethez szükséges nyersanyagigényt illeti, a Nemzetközi Energiaügynökség úgy látja, hogy a nettó nulla kibocsátás 2050-es céldátuma a legfontosabb ásványkincsek iránti kereslet túlfeszítéséhez fog vezetni, ahogy a világ az üzemanyag-igényes rendszer felől az ásványianyag-igényes rendszer felé halad. Mindez számos szűk keresztmetszethez, hiányokhoz és az árak elszabadulásához vezethet (IEA, 2021).

Egy villanyautóhoz hatszor annyi ásványi anyagra van szükség, mint egy hagyományos változathoz, egy szélturbínához kilencszer annyi kell, mint egy gázüzemű erőműhöz. Az akkumulátorgyártáshoz szükséges lítium iránti kereslet 4300 százalékkal, a kobalté és a nikkelle 2500 százalékkal nőhet a jelenlegi technológiai és keresleti színvonallal számolva. A lítium esetében a három vezető kitermelő az ellátás 80 százalékát adja, az ismert kobaltkészletek 70 százaléka pedig a Kongói Demokratikus Köztársaságban van (Yergin, 2023, p. 430).

Amikor egy szervezet eléri e képesség határait, működésében a javítás és a karbantartás veszi át a főszerepet, majd jöhet az összeomlás (West, 2017). Összeomlás alatt értve a meglévő komplexitási szint relatíve gyors és látványos elvesztését. Sokak szerint ez várható a jelenlegi globális emberi társadalmak esetében is (Ehrlich & Ehrlich, 2013, p. 1; Bendell, 2018, p. 2). Ez a gondolat nem számít újnak. Polübiosz már a Kr.e. II. században Róma bukását jósolva úgy vélte, hogy az emberi közösségek az élő szervezetekhez hasonlóan öregszenek és buknak el. Ami a helyzetet drámaivá teszi az a glóbusz szinte egészét átfogó, a létszervezési módunkból adódóan növekedésorientált komplexitás fenntarthatósága körüli kockázat.

Ha organizmusok között keresünk analógiát arra, hogy a bármi áron történő növekedés az egyedüli rendeltetés, hamar eljutunk a ráksejtekhez, amelyek saját életük árán is terjeszkednek. Jelenleg egyetlen olyan mikrokozmoszt ismerünk, ahol a bővülés véges természetét nem kezeljük tényként, ez pedig a mainstream közgazdaságtan. Václav Smil (2019) egyenesen úgy fogalmaz, hogy nincs is olyan, hogy gazdaság – amit annak hívunk, csupán az energia-konverzió egy formája.

Bár Smil nem tartja meggyőzőnek az összeomlás elkerülhetetlensége mellett érvelő nézeteket, ugyanakkor úgy véli, hogy közeledünk több olyan határhoz, amelyet nem szabad átlépni a bolygó hosszú távú lakhatóságának megőrzése érdekében. „Még ha nem is következik be hirtelen összeomlás, a szerkezet végül olyan mértékben meggyen-

gül, hogy elkezd elmozdulni és akkor már a jelenlegitől nagyon eltérő feltételekkel kell megküzdenünk. Ezek nem mások, mint a folytatódó antropogén klímaváltozás, a talajfedettség pusztulása és módosulása, a tömeges urbanizáció, valamint az üzemanyagok és anyagok gigaléptékű kitermelésének a hatásai” (Smil, 2023, pp. 337-338).

Összességében megállapítható, hogy jelenleg több energiát fordítunk egy egység új energia előállítására, mint valaha. „A modern élelmiszer-termelés legmeghatározóbb fejleménye, hogy kizárólag a napenergia fotoszintetikus átalakításától függő tevékenységből hibrid tevékenységgé vált, amely alapvető függésbe került a fosszilis tüzelőanyagok és a villamos energia növekvő ráfordításától (Smil, 2008).

Václav Smil (2019) számításai szerint egy hektár termőföldön ma tízszer annyi ételmet és ezzel energiát vagyunk képesek megtermelni, mint száz évvel ezelőtt, de ez a tízszeres hatékonyság kilencvenszeres növekedést igényel energiaráfordítás tekintetében, ha figyelembe vesszük azokat az erőforrásokat, amik – pl. a mezőgazdasági gépek legyártásától az elektromos ellátáson át a trágyázásig – a teljes termelési folyamat során szükségesek. „A világ lakossága ma már egzisztenciálisan a nitrogénalapú műtrágyától függ, amelyek a világ népességének mintegy 45%-a, vagyis több mint 3 milliárd ember esetében biztosítják az alapvető élelmiszerellátást (Smil, 2023, p. 306). A modern mezőgazdaság eszerint nettó energiafogyasztóvá vált, azaz az előállított élelmiszer energiataralma kevesebb, mint amennyi energia összesen ahhoz kell (Gelencsér, 2022).

Egyre többen látják úgy, hogy az emberi civilizáció növekvő bonyolultsága inkább veszély, mint erény. Az evolúció csak ritkán részesíti előnyben a komplexet az egyszerűvel szemben (Coker, 2015). A globalizáció rendszere megfelelő erőforrás- és energia-utánpótlás nélkül nem fenntartható, mivel annak látszólagos stabilitását éppen a gazdasági növekedés által generált komplexitás fokozási kényszere adja. A megoldás jelenleg túlmutat a ma tételezhető emberi tudáshorizonton. Nem a kevésbé komplex rendszerek összetettségének a fokozása a megoldás, hanem a bonyolult rendszerek egyszerűsítése (Casti, 2010).

## Konklúzió, avagy kreativitás a komplexitás fenntarthatatlanságában

A szénhidrogének használata előtt az emberi létezés energiaszükségeit helyben elégítették ki emberi vagy állati izomerővel, a biomassza elégetésével. Ekkor még sem az energiafogyasztás nagysága, sem az energiahordozók kereskedelme nem volt jelentős, így az energiával kapcsolatos dilemmák nem voltak relevánsak. Ez a helyzet a XVIII. és XIX. században az ipari forradalom korszakában kezdett jelentősen megváltozni.

Az energia, azon belül is a szénhidrogének használatának globális elterjedése az energiafelhasználás korábbiakhoz képest soha nem tapasztalt iramú növekedésével jelentkezett, kialakítva a globális módon komplex politikai, társadalmi, gazdasági, kulturális kapcsolódások és

szerveződés kibontakozását, így juttatva el a globális különböző térségeit arra az életszínvonalra, ahol ma vannak. „A XIX. század hajnala óta eltelt időszak alatt, ami a Homo Sapiens megjelenése óta eltelt időszak parányi töredéke csupán, a várható élettartam több mint kétszerezésére ugrott, az egy főre eső jövedelem mértéke pedig a leggazdagabb országokban a hússzorosára, illetve az egész világon átlagosan tizennégyszeresére nőtt” (Galor, 2022, p. 14).

A globalizáció elképzelhetetlen lett volna a növekvő energiafelhasználás kielégítése nélkül, ugyanakkor az ember által napjainkra létrehozott rendszerek nem térnek el alacsonyabb komplexitású elődeitől, hogy ezek léte is állandó energia- és anyagszükségeiknek biztosításától függ. Sajnálatos módon a közgazdaság-tudomány főárama évtizedeken át figyelmen kívül hagyta, hogy „az energia az univerzum anyaga, hogy minden anyag egyben az energia egyik formája, és hogy a gazdasági rendszer lényegében olyan rendszer, amely az energia, mint erőforrás kitermelését, feldolgozását, valamint termékekben és szolgáltatásokban megtestesülő energiává alakítását végzi” (Ayres, 2017, p. 40).

Figyelemmel a jelenlegi globális demográfiai trendekre, a fejlődő országokban is tapasztalható sokszorozódó igények miatt is exponenciálisan növekvő energiafogyasztásra és az ennek biztosítását szolgáló egyre szűkülő és egyre nagyobb költséggel elérhető anyagi erőforrások problematikájára, fokozódhatnak az energiahordozókért és energiahordozókért, valamint az azok termelését és tárolását biztosító nyersanyagokért folytatott küzdelmek, felértékelődik az energiabiztonság és a geopolitika kérdésköre.

Egyetértve Gelencsér Andrással (2022) úgy vélem, hogy a világ napjainkban a nehezen elérhető energiahordozók és ásványi nyersanyagok korszakába lépett. A tanulmányban bemutatott EROI-alapú energetikai fókuszú interpretáció által megvilágított tendenciákra a jelenlegi technológiai tudásszintünk ismereteire és a modern társadalmaink igényeire is figyelemmel kijelenthető, hogy a XXI. századra felépített komplex rendszereink fenntartása több mint bizonytalan.

A világunkban folyamatban lévő transzformációk, melyek döntően a globális értelemben vett EROI-mutató révén beazonosíthatók a szűkülő látszó energetikai tendenciákra is visszavezethetők és az eddigi globalizációs folyamatok átalakulásával, megtorpanásával, de akár visszafordulásával is fenyegetnek. Könnyen lehet, hogy az ukrajnai háborúhoz hasonló válságok, ha nem is feltétlenül okai, de azok elhúzódó jellege az összetett rendszereink fenntarthatóságából fakadó komplexitás-csökkenési folyamat megnyilvánulásaként is értelmezhetők, ami egy sajátos gazdasági, politikai blokkosodás formájában lehet a szélesebb nyilvánosság számára is megnyilvánuló, ekképpen pedig értelmezhetők akár a tanulmányban vázolt probléma egyik markáns válságtüneteiként is. Így az orosz agresszió elsődlegesen nem az esetleges deglobalizációs folyamatok oka, hanem annak egy szembeötlő megnyilvánulása. A háború katalizálhatja azt a sajátos átrendeződést, amely során az energiabiztonság megteremtése kerülhet a fókuszba és ahol

a transzformáció akár új gazdasági és katonai blokkosodást is eredményezhet.

Az elhúzódó válságok hozzájárulhatnak a globális diskurzusokban megjelenő blokkosodási folyamatokról szóló narratívák létjogosultságához is, ami a nyelv teremtő erejét megmutatva – egyfajta önbeteljesítő jóslatként – az eddigi piaci és nemzetközi keretfeltételeket is megváltoztathatja.

Mindezek a változások is megerősítik, hogy a XXI. században is kiemelt jelentősége van a geopolitikai, világ-gazdasági folyamatok és az azokat övező koncepcióalkotási folyamatok szakszerű tanulmányozásának, melyek fundamentumainál lényeges elem a tanulmányban bemutatott EROI-alapú megközelítés alkalmazása a kibontakozó helyzet értelmezésénél.

Fontos jelezni, hogy a tanulmány elsődleges célja nem a korábban vázolt kihívásokkal kapcsolatos megoldások felkutatása, hanem a keresés szükségességére való felhívás indokát adó elméleti keretezés megalapozása volt. A kihívásokkal szembeni reziliencia fokozásához a társadalmi, gazdasági, politikai és tudományos megfontolások összehangolása nélkülözhetetlen. Ugyanakkor a tanulmány arra is fel kívánta hívni a figyelmet, hogy kiindulópontként elengedhetetlen, hogy valamiképpen valós képet alkossunk a kialakuló globális energetikai helyzetéről. Úgy vélem, hogy e tekintetben jó szolgálatot tesz az ún. EROI-mutatón alapuló absztrakt megközelítés, amely a körülöttünk zajló hétköznapi tapasztalat útján kialakítható elbeszéléseknek egy stabilabb keretrendszerrel adhat; ami alapján képesek lehetünk átfogóbban elbeszélni a kialakult helyzetet. Ennek révén úgy válhatunk jövőképessebbé, hogy nem csupán elgondolható, hanem megvalósítható megoldásokat is találhatunk a valósabbnak tetsző helyzet szerinti létezésre. Céлом volt tehát, hogy közelebb hozzam egymáshoz a képzeletet és a valóságot, melynek segítségével a hétköznapi szintjén is megkülönböztethetővé válik és magyarázatot nyerhet az igények és a szükségletek szerinti élet közötti különbségtétel és a valasztásnál annak háttere.

Nem érzem magam feljogosítva arra, hogy elhamarkodott, mi több determinisztikusnak tetsző következtetéseket fogalmazzak meg a jövő folyamataival kapcsolatban. Nem áll tehát szándékomban a vázolt tendenciák áttekintésével egyfajta kollektív melankóliába sodorni a tanulmány olvasóit, pusztán néhány esetleges illúzió eloszlatását kívántam megalapozni egy EROI-fókuszú elméleti koncepció alapjainak az áttekintésével.

Dan Breznitzet (2021) idézve az innováció nem más, mint a saját fejlődési pálya megalkotásába vetett remény. Szükségünk van reményre, de azoknak illúziómentes alapokon kell nyugodniuk. E nélkül nem szülehetnek szilárd alapokon nyugvó, megvalósítható és megvalósítandó ötletek. Bár a tudományosság, azaz a megismerhető tényeken alapuló realizmus nem minden esetben és szempontból alkalmas az emberi közösségek összetartására – azaz elfogadva, hogy az inspiráció eszközeként szolgáló gondolatok esetében nem az a kizárólagos szempont, hogy mennyire pontosan képezi le a valóságot, hanem hogy milyen cselekedetekre ösztönzi a közösség tagjait –, azonban ez nem jelenti azt, hogy légvárra építhetnének jövőnket.

Hiszek tehát az ún. adaptív innovációban rejlő potenciálban, azaz abban, hogy a meglévő vívmányok és a tudás kerüljön átvételre, alkalmazásra saját környezetben, a saját szükségleteknek és a változó adottságoknak megfelelően, persze mindig szem előtt tartva, hogy az innovációhoz szükséges kreativitás kibontakoztatásához szükséges emberi agy is elképesztő mennyiségű energiát fogyaszt, tehát az ötleteknek is biztosítani kell az energiafedezetét. (Az emberi agy tömege a testtömegünk mindössze két százalékát teszi ki, ez a szervünk ugyanakkor a testünk energiafogyasztásának nem kevesebb mint húsz százalékáért felel (Galor, 2022, p. 27).)

Úgy látom, hogy a jelenlegi korszak kihívása abban áll, hogy az elmúlt évszázadokban döntően a fosszilis energiahordozók által elérhetővé vált EROI-ben mérhető energiátöbblet révén a mára kialakított extrém komplexitású rendszereink segítségével (vagy éppen azok ellenére) rendelkezésünkre áll-e annyi idő és kreatív potenciál, hogy forradalmi innovációk révén – amibe kiemelten értem bele az emberi természet által is meghatározott kulturális keretek transzformációs képességét is – az emberi létezést a kor kihívásainak megfelelően jövőképesse formáljuk.

Véleményem szerint a tanulmányban vázolt energetikai origóból levezetett gondolatmenet egy sajátos magyarázatát adhatja a jelenlegi deglobalizációs és blokkosodási folyamatokról szóló narratíváknak, ami mentén a jövőben további interpretatív és geopolitikai kutatásokat tartok szükségesnek.

A tanulmány hangsúlyosan kívánt rávilágítani arra, hogy valamennyi energiaátmenet alapvető részét képezte – az egyes energiahordozó váltások pusztá ténye mellett – az energiahatékonyság növekedését szolgáló innovatív megoldások (rendszerátalakítások, új átalakító berendezések) térnyerésének, melyek az energiaintenzitás csökkentésével jártak. Belátható, hogy önmagában az egyes energiahordozók alkalmazása nem hozta magával automatikusan a társadalmi komplexitás fokozódását, így az egyes áttörések fontos eleme volt – az energiahordozók alkalmazásán túl – az ún. teljes tényezőjű termelékenység (total factor productivity, TFP), ami a gazdasági növekedésnek azt a részét jelenti, ami munkaerő- és tőkeinputokkal nem magyarázható, és amely a termelési technikák fejlődését és az innovációt világitja meg.

Nem szabad leértékelni a kulturális tényezők és a kreatív potenciál szerepét a gazdasági fejlődés esetében, így a műveltség mértékét, az intézményi kereteket, a külföldi piacokhoz való hozzáférést és a történelmi körülményeket (Nunn, 2009). Ugyanakkor az átmenetek fundamentumaként az új energiaforrások és energiahordozók is megkerülhetetlenek.

Ami pedig a kreativitás és innovációs potenciállal kapcsolatos jövőbeli perspektívákat illeti, könnyen lehet, hogy ezek fókuszába már nem lesz elegendő pusztán az energiaárak csökkentő hatékonyságát állítani. A magas jövedelmű országok dezindustrializációja és az importtól való függés növekedése ugyanis az ezzel kapcsolatos globális számításokat teszi egyedül relevánssá, ami viszont azt mutatja, hogy a világszerte felhasznált energia és anyagok abszolút összértéke még a relatív

értékelések vagy teljesítmények javulása mellett is kimutathatóan nőtt mind a globális népességnövekedés, mind az egy főre jutó fogyasztás magasabb szintje miatt (Smil, 2023, p. 367).

Tény, hogy zárt rendszerben a termodinamikai minimum ugyan technikailag elméletben mindig közelíthető, de egy ponton túl azok túlzott költsége miatt gazdaságilag már nem racionális, ráadásul rövid távon nincs kilátás a világgazdaság anyagfelhasználásának érdemi abszolút csökkenésére vagy az abszolút energiabevitel jelentős csökkentésére (Smil, 2023, p. 368).

Véleményem szerint az emberi kreativitást, mint a jövő energiáját elsősorban olyan innovációk megvalósítására kellene fordítanunk, melyek az emberi karakter révén kialakuló és egyben folyamatosan változó szokásokat egy reziliensebb létszervezési mód felé képesek mozdítani, figyelemmel a tanulmányban bemutatott EROI-fókuszú tendenciákra és bízva az ember reagálási és alkalmazkodási képességeiben. Egy új, korszakos átalakulás van kibontakozóban, amelynek kimenete nem előre elrendelt sorsszerűség: a mi döntéseinktől függ (Smil, 2023, p. 386). Fontos látnunk, hogy a bemutatott energetikai folyamatok mögött meghúzódik egy nagyon is emberi talány. „Létezik egy sokkal szörnyűbb válság is, mint az energia, mégpedig a Homo sapiens sapiens bölcsességének a válsága” (Georgescu-Roegen, 1986, p. 18). Ennek a problémának az áttekintése és kezelése azonban már meghaladja ennek a tanulmánynak a kereteit, de a kreativitásnak, a jövő energiájának az elsősorban célpontjai között kell szerepelnie ennek a tartománynak.

## Felhasznált irodalom

- Ayres, R. (2016). *Energy, Complexity and Wealth Maximization*. Springer.
- Ayres, R. (2017). Gaps in mainstream economics: Energy, growth, and sustainability. In Shmelev, S. (ed.), *Green Economy Reader: Lectures in Economical Economics and Sustainability* (pp. 39-54). Springer.
- Békés M. (2020). *Kulturális hadviselés*. Közép- és Kelet-európai Történelem és Társadalom Kutatókért Közalapítvány.
- Bendel, J. (2018). *Deep Adaptation: A Map for Navigating Climate Tragedy*. [https://www.lifeworth.com/deep-adaptation.pdf?\\_ga=2.41501794.1569713297.1699739883-771555146.1667942174](https://www.lifeworth.com/deep-adaptation.pdf?_ga=2.41501794.1569713297.1699739883-771555146.1667942174)
- Berger, P.L. (1998). A globális kultúra négy arca. *2000*, (júl.-aug.), 16-21.
- BP (2020). *Statistical Review of World Energy*. <https://www.bp.com/content/dam/bp/business-sites/en/global/corporate/pdfs/energy-economics/statistical-review/bp-stats-review-2020-full-report.pdf?fbclid=IwAR3ThmnlSk6U05HDpp8bMAYLfyKwQ12Ay7lQGejrpvd5K5vNzRzLCCxQv5Y>
- Breznitz, D. (2021). *Innovation in Real Places: Strategies for Prosperity in an Unforgiving World*. Oxford University Press.
- Casti, J. (2010). *X-Events: Complexity Overload and the Collapse of Everything*. Harper Collins.
- Ciuta, F. (2010). Conceptual Notes on Energy Security: Total or Banal Security? *Security Dialogue*, 41(2), 123-144. <https://doi.org/10.1177/0967010610361596>
- Chesterton, G.K. (2021). *A józan ész nevében*. Századvég Kiadó.
- Christian, D. (2018). *Origin Story: A Big History of Everything*. Little, Brown Spark.
- Cleveland, C. (2005). Net energy from the extraction of oil and gas in the United States. *Energy*, 30(5), 769-782. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2004.05.023>
- Cohen, M.N. (1989). *Health and the Rise of Civilisation*. Yale University Press.
- Coker, C. (2015). *Future War*. Polity.
- Csányi V. (2022). *Íme az ember!* Open Books.
- Diamond, J. (2000). *Háborúk, járványok, technikák: A társadalmak fátumai*. Typotex.
- Ehrich, P.R. & Ehrich, A.H. (2013). Can a collapse of global civilization be avoided? *Proceeding of the Royal Society B*, 28, 20122845. <http://dx.doi.org/10.1098/rspb.2012.2845>
- Foucault, M. (1991). A diskurzus rendje. *Holmi*, 3(7), 868-889. <http://hu.scribd.com/doc/31184449/Michel-Foucault-A-diskurzus-rendje>
- Galor, O. (2022). *Az emberiség utazása: A modern világ egyenlőtlenségének okai*. Libri.
- Gelencsér A. (2022). *Ábrándok bővületében: A fenn tartható fejlődés korlátai*. Akadémia Kiadó.
- Georgescu-Roegen, N. (1986). The entropy law and the economic process in retrospect. *Eastern Economic Journal*, 12(1), 3-25.
- Gibbons, A. (2021). How farming shaped Europeans' immunity. *Science*, 373(6560), 1186. <https://doi.org/10.1126/science.acx9047>
- Glaser, B.G. & Strauss, A.L. (1967). *The Discovery of Grounded Theory: Strategies for Qualitative Research*. Aldine.
- Gummesson, E. (2003). All research is interpretive! *The Journal of Business & Industrial Marketing*, 18(6/7), 482-492. <https://doi.org/10.1108/08858620310492365>
- Gurri, M. (2018). *The Revolt of the Public and the Crisis of Authority in the New Millennium*. Ideas for Progress.
- Hall, C., Balogh, S.B., & Murphy, D. (2009). What is the Minimum EROI that a Sustainable Society Must Have. *Energies*, 2, 25-47. <https://doi.org/10.3390/EN20100025>
- Hall, C., & Klitgaard, K.A. (2011). *Energy Return on Investment*. Springer Science+Business Media, LLC.
- Hall, C., Lambert, J.G., & Balogh, S.B. (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>
- Harari, Y. (2017). *Homo Deus: A holnap rövid története*. Animus.
- Horváth D., & Mitev A. (2023). *Alternatív kutatási kézikönyv*. Alinea Kiadó.
- IEA (2021. május). *Net Zero by 2050: A Roadmap for the Global Energy Sector*. <https://www.iea.org/reports/>

- net-zero-by-2050 Johnson, C.A. (2012). *The Information Diet. A Case for Conscious Consumption*. O'Reilly Media.
- Kahneman, D., Sibony, O., & Sunstein, C. (2021). *Noise. A Flaw in Human Judgment*. Little, Brown Spark.
- Kurzweil, R. (2022). *Hogyan alkossunk elmét? Az emberi gondolkodás titkainak nyomában*. Pallas Athéné Books.
- Murphy, D., Hall, C., Dale, M., & Cleveland, C. (2011). Order from Chaos: A Preliminary Protocol for Determining the EROI of Fuels. *Sustainability*, 3(10), 1888-1907. <https://doi.org/10.3390/su3101888>
- Murphy, D. (2014). The implication of the declining energy return on investment of oil production. *Philosophical Transaction of the Royal Society A. Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 1-19. <https://doi.org/10.1098/rsta.2013.0126>
- Nunn, N. (2009): The importance of history for economic development. *Annual Review of Economics*, 1. 65-92. <https://doi.org/10.1146/annurev.economics.050708.143336>
- Parikka, J. (2015). *A Geology of Media*. University of Minnesota Press.
- Pinker, S. (2018). *Enlightenment Now: The Case for Reason, Science, Humanism, and Progress*. Viking.
- Rosling, H. (2018). *Factfulness*. Flatiron Books.
- Schabert, T. (2022). *Boston Politics: A kreatív hatalomgyakorlás művészete*. MCC Press – Alapjogokért Központ.
- Scott, J.C. (2017). *Against the Grain: A Deep History of the Earliest States*. Yale University Press.
- Ségurel, L. & Bon, C. (2017). On the evolution of lactase persistence in humans. *Annual Review of Genomics and Human Genetics*, 18, 297-319. <https://doi.org/10.1146/annurev-genom-091416-035340>
- Silver, N. (2012). *The Signal and the Noise. Why So Many Predictions Fail, but Some Don't*. Allen Lane.
- Smil, V. (2008). *Energy in Nature and Society*. MIT Press.
- Smil, V. (2010). *Prime Movers of Globalization*. MIT Press.
- Smil, V. (2017) *Energy Transitions: Global and National Perspectives*. Praeger.
- Smil, V. (2019). *Growth. From Microorganisms to Megacities*. MIT Press.
- Smil, V. (2023). *Nagy átmenetek: Hogyan született meg a mai világunk, és mit tegyünk, ha sokáig meg akarjuk őrizni?* Pallas Athéné Könyvkiadó, MIT Press.
- Susskind, J. (2021). *Politika a jövőben: Életünk a technológia uralta világban*. Athenaeum.
- Taleb, N.N. (2007). *The Black Swan. The Impact of the Highly Improbable*. Random House and Penguin Books.
- van Dijk, T.A. (2000). A kritikai diskurzuselemzés elvei. In Szabó M., Kiss B., & Boda Zs. (Szerk.), *Szövegváltozatok a politikára: Nyelv, szimbólum, retorika, diskurzus* (pp. 442-477). Nemzeti Tankönyvkiadó.
- Yergin, D. (2023). *Változó világtérkép. Energia, klíma és a nemzetek közti konfliktusok*. MCC Press.
- Virág A. (2014). Diskurzuselemzés a politika- és vezetés-tudományban. *Vezetéstudomány*, 45(3), 30-38. <https://doi.org/10.14267/VEZTUD.2014.03.03>
- West, G. (2017). *Scale. The Universal Laws of Life and Death in Organisms, Cities and Companies*. Weidenfeld & Nicolson.
- Wittgenstein, L. (1989). *Logikai-filozófiai értekezés*. Akadémia Kiadó.