



Az energetikai ábrándok kegyetlen termodinamikája

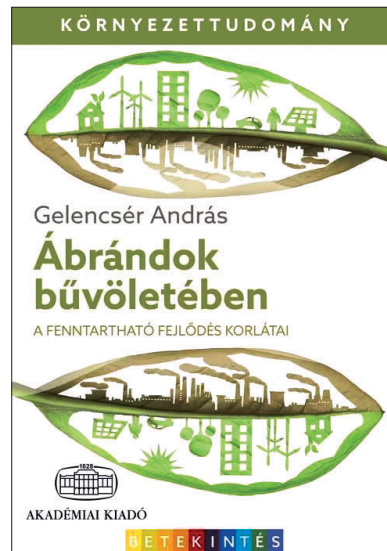
Gelencsér András: *Ábrándok bővületében. A fenntartható fejlődés korlátai.* Akadémiai Kiadó, 2023, <https://mersz.hu/gelencser-abrandok-buvoleteben/>

2020 számomra nem csak a Covid éve volt. Ebben az évben februárban szereltek fel a házunk tetejére mintegy hét kilowatt maximális összteljesítményű napelemet. Talán kivételes eset voltunk olyan szempontból, hogy egy forint állami támogatást sem igényeltünk hozzá, pusztán személyes meggyőződésből és felelősségtudatból vállaltuk ezt a befektetést (legalábbis a pozitív énképünk fenntartásához ez az indoklás igen hasznosnak tűnik, különösen utólag). Az áramszolgáltató EON-nak van egy nagyon kedves szolgáltatója a házi naperőműhöz: egy internetes oldalon percesnél alig rosszabb időfelbontással lehet követni, hogy mennyi energiát termelnek a napelemeink. Ugyanezen az oldalon van egy „Élettartam-bevétel” számláló is, amely forintban megadja a beüzemelés óta termelt elektromos áram összértékét. Gazdasági ábrándjaim már a rendszer telepítésekor sem voltak, de még így is mellbe vágó érzés, hogy 2024 márciusában, négy évvel az üzembe helyezés után az élettartam-bevétel mellett szereplő szám még mindig nem éri el a befektetett összeg 30%-át. Pedig az íráshoz készülődve még azt is ellenőriztem, hogy a jóval nagyobb lakossági árat használja a számláló, s nem a termelőt, vagyis igazából pozitív irányba torzítja az összképet.

Gyanúim szerint egy közgazdász azt mondaná erre, hogy a befektetés ingatlan-növelő értékét is figyelembe kell venni. De a házat történetesen nem akarjuk eladni, hanem élni szeretnénk benne. A tetőn lévő napelemek fő értelme az, hogy az alapfűtést már 2018 óta egy hőszivattyú adja, vagyis árammal megy. Mindazonáltal a régi, a házba eredetileg tervezett vegyes tüzelésű kazán is tökéletesen üzemképes. 2020-ban úgy becsültem, hogy a napelemekre fordított befektetés összegéből bő két évtizedre elegendő tűzifát tudtam volna venni. A legutóbbi két tél tapasztalata alapján a mostani becslésem már 30-nál is több év lenne. Vagyis a számláló révén az EON rendszeresen még emlékeztet is arra, mennyire rossz üzletet csináltam.

Az esetleg kis reménnyel tölthetne el, hogy az energiaárak jelentősen növekedni fognak a napelemek élettartama alatt. Lehet, hogy ez a lelkeknek jót tenne, de valójában alig változtatna egy befektetési elemzés értékítéletén, mert a napelemeink nyersanyagigénye alig több, mint két vödör homok. Az általunk megfizetett árban nagyrészt az előállításához szükséges energia költsége tükröződik, vagyis ha drágább az energia, akkor a napelem is az lesz. Ráadásul a gazdasági ösztöneimnek ellentmond, hogy egy befektetés megtérülését arra a hitre bízjuk, hogy valaminek az ára hosszú távon is folyamatosan növekszik. Valami ilyesmi vezethetett a devizaalapú hitelek egyidejű erkölcsi és anyagi csődjéhez egy jó évtizede.

Remélem, megbocsátja nekem az olvasó ezt a hosszabb kezdeti kitérőt, de Gelencsér András akadémikus, a Pannon egyetem professzorának könyve, az *Ábrándok bővületében. A fenntartható fejlődés korlátai* éppen ilyen témaköröket feszeget, csak talán kissé általánosabb, kevésbé egyéni költségvetésekre szabott formában. A könyv az Akadémiai Kiadó *Betekintés* című sorozatában jelent meg elsősorban a mersz.hu elektronikus tartalomszolgáltató felületen (<https://mersz.hu/gelencser-abrandok-buvoleteben/>). A sorozatban egy-egy szűkebb tudományterület rövid és kimondottan személyes összefoglalói olvashatók, elindí-



tásáról lapunk 2021-ben már beszámolt (Magyar Kémikusok Lapja, 2021, 76. kötet, 56. oldal). Az elektronikus megjelenés után Gelencsér András könyvét olyan élénk érdeklődés övezte, hogy a kiadó – a sorozatból egyedülként – nyomtatott formában is megvásárolhatóvá tette (<https://akademiai.hu/ptudx00402-abrandok-buvoleteben.html>). A B5-ös formátumban 120 oldal terjedelmű művet szűk két óra alatt el lehet olvasni papíron is és képernyőn is (számomra az előbbi adja az igazi élményt).

A cím nagyon jól tükrözi a szerző hozzáállását. A „megújuló energiaforrás” vagy a „fenntartható fejlődés” világunkban olyan elcsépelet kifejezésekké váltak mostanra, amelyekkel politikai vagy más szervezeti támogatást lehet szerezni, de igazából a felszín alatti valódi tudományos tartalomra nagyon kevesen gondolnak bele. Tizenöt éve még azt tanítottam, hogy hiába süt ingyen a nap, a napenergia valójában a legdrágább áram-előállítási módszerek egyike. Ma ezt már egyetemi előadásokon nem mondom, de az első néhány bekezdésben leírt személyes tapasztalatom még mindig ebbe az irányba mutat. Gelencsér Andrásra is a hurraóptimizmus hiánya jellemző, ami a legtöbb olvasóban akár a pesszimizmus benyomását is keltheti, de ezt azért ellensúlyozza az eredeti gondolatfűzés és a szellemes stílus. Ez utóbbi már a könyv lényegi fejezeteinek címéből is látszik:

- Az energia forradalma
- Jól befűtöttünk
- A végtelen energia mítosza
- A teremtett anyag
- Ábrándos szép napok...
- Leckék a múltból és a mából
- Epilógus
- A remény hal meg utoljára

A bevezetésből megtudhatjuk, hogy a szerző akkor kezdett el a témával foglalkozni, amikor 2014-ben a bécsi Természettudományi Múzeumban megnézett egy kiállítást, amely többek között a modern élet számára nélkülözhetetlen fémeket mutatta be. Minden tárló fölött volt egy olyan számláló, amelyből azt lehetett



megtudni, hogy az ismert készletek hány évig elegendőek a mai felhasználási ütem mellett. Egyetlen helyen sem szerepelt 25 évnél hosszabb idő. Gelencsér András a kiállítás ihletésére kezdett el utánajárni a tudományos szakirodalomban fellelhető információknak. A könyv tanúsága szerint arra (is) jutott, hogy nemcsak az egyes elemek, hanem általánosságban az energia hozzáférhetősége is a jelenleginél sokkal súlyosabb korlátozó tényező lesz a jövőben.

A megújulónak nevezett energiaforrások esetében sem elegendő pusztán azzal foglalkozni, hogy majd fúj a szél és süt a nap, s ebből lesz az emberiségnek a jövőben sok energiája, hanem át kell gondolni, hogy egy szélerőmű vagy napelemtelep a létrehozásába eleve befektetett energia hányszorosát fogja a teljes élettartama alatt megtermelni. Ilyen szemüvegen keresztül bizony elég rosszul néznek ki a dolgok: a megújuló energiaforrások növekvő felhasználása révén „fenntartható” irányba elmozduló világban már az energia-előállítás eszközeinek létrehozása is jelentősen megnöveli a társadalom energiaigényét. Ördögi kör ez? Talán még nem, de pozitív visszacsatolásnak azért igen kellemtelen.

A könyvből az egyes energia-előállítási módokra lebontva tudhatjuk meg a részleteket. Különösen nagy hangsúlyt kap az a gondolat, hogy az infrastruktúra előállításához és a működtetéséhez szükséges minden anyagi, emberi és energiabeli költséget egyaránt figyelembe kell venni. Ez néha egyáltalán nem könnyű feladat, s többnyire ilyesmi áll annak a háttérben, ha jó szakértők ugyanazokból az adatokból kiindulva lényegesen különböző következtetéseket vonnak le. A nap- és szélenergia esetében például a tényleges áramtermelés időbeli kiszámíthatatlanságának valódi költségeit szinte lehetetlen objektíven meghatározni. Már lapunk is foglalkozott a megújuló energiaforrások használatában élen járó Németország máshol ismeretlen paradoxonaival (Magyar Kémikusok Lapja, 2019, 74 kötet, 91–93. oldal): ha nyáron süt a nap, és egy kicsit a szél is fúj, akkor az elektromos energia pillanatnyi ára súlyosan negatívba fordul; egy ködös, szélcsendes, őszi végi napon viszont a szomszédos országok segítségével nélkül sötétség és hideg lenne. Ez utóbbi jelenség már külön, természetesen német nevet is kapott: Dunkelflaute.

A szerző légkörkémikus, ezért a könyv magától értetődően foglalkozik valamennyit a globális felmelegedés jelenségkörével is, de nem ezen van a hangsúly. A mondanivaló szempontjából csak annyiban lényeges, amennyiben a szén-dioxid-keletkezést elkerülő energia-előállítási módszerek terjedése (itt akár időnként az erőltetés szó használata sem lenne túlzás) ezt indokolja.

A megújuló energiaforrások politikai jelszóként való használatához hozzászokott olvasót a szerző mondanivalója akár egyfajta apokaliptikus jóslataként is érheti. Erre könnyű legyinteni azal, hogy tudományos ruhába bújtatott világvégevárás mindig is volt, de a valóságban ilyen kataklizmák soha nem következtek be. Rachel Carson igen nevezetes, *Silent Spring* című könyve 1962-ben jelent meg ugyan, de a kertemben az etető környékén a madarak csivitelése még 2024 tavaszára sem hallgatott el. Az első olajválságot 1973-ban elsősorban politikai tényezők okozták, de már az is tényező volt, hogy az akkori jóslatok a kőolajkészletek 30 éven belüli kimerülését vetítették előre. Most, 2024-ben úgy tűnik, még legalább 40 vagy 50 év is hátra lehet az olajkorból. Mindezek ellenére nem szabad félretenni az elemi logikát: véges rendszerben nem lehetséges végtelen növekedés. Gelencsér András megoldási javaslatát az egyik alfejezet címe foglalja magában: Merjünk kicsik lenni! Az erőforrások fenntartható használatának mindenekelőtt takarékoskosságot és a növekedés hiányát kell jelen-

tenie. A könyv végén szerepel egy érdekes javaslat is annak a valódi fenntarthatóság felé mutató jogi szabályozásnak a bevezetéséről, amely értelmében semmilyen termék nem lehetne olcsóbb, mint amennyibe az előállításához szükséges energia került. Ezt a javaslatot már több tudós kollégám minősítette reménytelenül utópisztikusnak. Ugyanakkor az Európai Unió tavaly hozta meg azt a döntést, hogy 2035-től tilos lesz működés közben szén-dioxidot kibocsátó új járművet eladni a területén. Az olvasóra bízom annak eldöntésével, hogy a két javaslat közül melyik a megvalósíthatóbb.

Lente Gábor



Részletek a könyvből

2. Az energia forradalma

2.1. A tűzcsiholástól az atomerőművekig

Másfél millió évvel ezelőtt, a tűz csiholásával megkezdődött az energia forradalma. A tűz felfedezése az emberiség történelmében kulcsfontosságúnak bizonyult. Nélküle az ember képtelen lett volna leigázni a természetet. A sütés-főzés révén a hús és a zöldségek tápértéke 40%-kal megnövekedett, ami elősegítette a rendkívül energiaigényes agy kifejlődését. Fény- és hőforrásként a tűz meghosszabbította a nap aktív részét, és a társas emberi kapcsolatok fejlődéséhez is hozzájárult. Az emberiség történelme legnagyobb részében a táplálékból nyerhető energiát használta, amit izommunkává és hővé alakított át. Ez mai fogalmaink szerint rendkívül csekély energiafelhasználást tett lehetővé. Ha egy almát egy másodperc alatt a földről felteszünk az asztalra, 1 watt teljesítményt fejtünk ki. Egy felnőtt ember tartósan legfeljebb 60–100 watt teljesítmény kifejtésére képes. Az utolsó jégkorszak után, a 11 ezer évvel ezelőtt kezdődött kellemes és viszonylag stabil éghajlatú időszakban (a holocénben) alakult ki a földművelésen alapuló emberi civilizáció. Eleinte még csak 4–8 millió ember élhetett a Földön, a népesség ekkor még alig növekedett. Energiát izomerejükön kívül csak a fa elégetéséből nyertek. Az egy főre eső felhasznált energiát célszerű ahhoz az energiamennyiséghez viszonyítanunk, amennyi egy aktív felnőtt ember életműködésének fenntartásához szükséges (ez napi kb. 2400 kilokalória vagy 10 megajoule, az egyszerűség kedvéért nevezzük rabszolga-egyenértéknek). Ez abban az időben kb. 2 rabszolga-egyenérték lehetett. Időszámításunk előtt 2500 körül az emberiség létszáma 27 millióra nőtt, az előző időszakhoz képest a népesség növeke-

Gőzturbina az 1930-as évekből (Kaboldy, CC BY_SA)





Svájci „látkép” (Jan Huber on Unsplash)

désének üteme megháromszorozódott. Megjelentek az első mezőgazdasági társadalmak Mezopotámiában, Egyiptomban, később Peruban és az Indus folyó völgyében is. Az energia forrásaaként a tűz mellett már megjelent az állati erő is. Mivel háziállataink nálunk lényegesen nagyobb teljesítmény leadására képesek (250–800 W, innen származik a lóerő fogalma), így az egy főre jutó becsült energiafelhasználás kismértékben (10%-kal) növekedett. Azt gondolhatnánk, hogy ez a többletenergia kényelmesebbé tette számunkra az életet, de éppen az ellenkezője történt. A munkamegosztás a többség számára kemény munkát és rövidebb életet jelentett, az energiafelesleg monumentális vallási építmények emelésére és háborúkra fordítódott. Később a tengerparti régiókban az élénkülő kereskedelem révén hatalmas birodalmak jöttek létre. Új energiaforrásként megjelentek a vízimalmok (2–4 kilowatt, egy erősebb fűnyíró teljesítménye), majd a szélmalomok (10 kilowatt, egy kisebb motorkerékpár teljesítménye). Az egy főre eső energiafelhasználás az időszak végére 3 rabszolga-egyenérték lehetett, a világ népessége pedig 1670-re 600 millióra duzzadt. Az ezt követő 180 évben (1850-ig) a népesség száma megnégyesződött (1,25 milliárd fő), az egy főre eső energiafelhasználás a vízimalmok, valamint a gőzgép elterjedésének (100 kilowatt, egy személyautó teljesítménye) és a bálnaolaj használatának köszönhetően 5 rabszolga-egyenértékre növekedett. Újabb száz év telt el, és a népesség megduplázódott (2,5 millióra nőtt). A gőzturbinák (25 megawatt) használatának, a víz-erőművek és a robbanómotorok elterjedésének köszönhetően az egy főre eső energiafelhasználás 1950-re már 7 rabszolga-egyenértékre növekedett. Az emberi népesség jelenleg 8 milliárd főt számlál, a népességnövekedés üteme évi 71 millió fő. De még ezt a mértéket is felülmúlja a felhasznált energiamennyiség növekedése. Az atomerőművek (több ezer megawatt) elterjedésével, a villamosenergia-termelés és -fogyasztás bővülésével, valamint a közlekedés és szállítás globálissá válásával az egy főre eső energiafelhasználás jelenleg 20 rabszolga-egyenérték, amelynek több mint 80%-a még mindig fosszilis energiahordozókból származik. Persze az eloszlás, mint annyi minden más, messze nem egyenletes, egy átlagos amerikai 93 rabszolgával rendelkezik, míg egy bangladesi csak négygel.

9. A remény hal meg utoljára

Természetesen tisztában kell lennünk azzal, hogy a múltba visszamennünk, a világ folyását megfordítanunk nem lehet. De nincs is rá szükség. Az energia és az anyag értékét a modern civilizáció eszközeivel kell helyreállítanunk. Noha nem vagyok közgazdász – vagy talán éppen ezért –, lenne egy ötletem. Azt javaslom, hogy a dollár helyett vezessük be a természet kőkevény valutáját, az energiaegységet minden dolog – anyag és energia – értékmérőjeként. Az egység lehetne például egy felnőtt ember egynapi energiafogyasztása (2400 kilokalória vagy 10 megajoule), amelynek lehetne valami divatos nevet adni, mondjuk a forint mintájára legyen naturint (Nt). Minden ország ezt használná, ebben kapná mindenki a fizetését, nyugdíját és járadékát, ezért vásárolnánk a boltokban, ebben történne az elszámolás. Minden áru (anyag) minimálisan annyi naturintot kell, hogy érjen, amennyi energia összesen a teljes gyártási és szállítási láncot, sőt a későbbi megsemmisítését is figyelembe véve az előállításához kellett. Főszabályként ennél kevesebért eladni nem lehet, többért persze igen. Így még véletlenül sem fordulhatna elő, hogy a hazai boltok polcain az ecuadori banán olcsóbb legyen, mint a magyar alma, vagy az, hogy filélérekért lehessen Budapestről Londonba repülni egy görbe hétvégére. A naturint helyre tenné az anyag és energia becsületét, persze alaposan átrendezné a világot. Iparágak szűnnének meg, emberek százmilliói veszítenék el biztosnak hitt megélhetésüket, inthetnének búcsút kényelmes és megszokott életüknek. Cserébe a modern emberi civilizáció megkapná a hosszú távon és méltósággal való továbbélés és akár egy boldogabb, nem GDP-alapú új élet esélyét. Nem kellene a demokrácia és a kapitalizmus keretei közül kilépünk, és valamilyen levitézlett vagy az emberi természet korlátai miatt működésképtelen új társadalmi rendszer felépítéséről ábrándoznunk. A naturint alapú elszámolás helyre tenné a világot, a rendszer az értékek átrendeződésével magától alkalmazkodna. A gyorsan megfizethetlenné váló fogyasztási cikkek halmozása és tulajdonlása helyett megjelenne a megosztott szolgáltatás alapú fogyasztói társadalom, ami legalább annyi embernek adna munkát és biztosítana megélhetést. A mosógépet nem megvásárolnánk, hanem szolgáltatásként fizetnénk érte, a rendelkezésre állás biztosítása, a javítás, karbantartás a szolgáltató cég feladata lenne. Így az eldobhatóság és elavulás eszméjét felváltaná a tartósság és a megbízhatóság. A cég abban lenne érdekelt, hogy az általa nyújtott szolgáltatás minél kisebb költséggel, anyag- és energiafelhasználással, minél hosszabb ideig biztosítható legyen. A használt készülékeket érdemes lenne megjavítani, alkatrészeit kicserélni, a tönkrement eszközök minden elemét felhasználni. Az újbóli használat, az újrahaznosítás új értelmet és roppant erős gazdasági ösztönzőket nyerne. A divat és újdonság varázsa, a pazarló fogyasztásra sarkalló időtöltések vonzereje alaposan megkopna. Helyébe a jóval szerényebb anyag- és energiafelhasználással járó tevékenységek (olvasás, sport, játék, közösségi programok) léphetnének. A hangsúly a luxusról az emberi szükségletek biztosítására helyeződne át. A technológiai és társadalmi innováció fókuszát nem illúziók táplálására, hanem egy ténylegesen fenntartható emberi civilizáció újratemtésének irányába kellene fordítanunk. Amennyiben az elhatározás meglenne rá, egy ilyen áthangoláshoz még lenne elegendő természeti erőforrás, idő és energia. Csak éppen ideje lenne neki-látunkunk.

