

GELENCSÉR ANDRÁS: ÁBRÁNDOK BŰVÖLETÉBEN A FENNTARTHATÓ FEJLŐDÉS KORLÁTAI

Manapság a vízcsapból is szén-dioxid-kibocsátás-csökkentés és „dekarbonizációs” tervek folynak, elfeledkezve arról a tényről, hogy az ember által okozott üvegházhatásnak csak kb. feléért felelős a szén-dioxid. Tulajdonképpen ábrándok bűvöletében élünk, abban a hitben, hogy a kibocsátás csökkentésével fejlődésünk fenntartható, és elkerülhető a globális összeomlás. Azonban a csökkentésre való törekvés, az intézkedések, hogy a globális átlaghőmérséklet ne haladja túl a másfél fokot, csak rózsaszín álom.

A globális éghajlatváltozás csak egy kis szelete azoknak a problémáknak, amelyekkel szembe kell néznie az emberiségnek, és sajnos a szembenézésnél többet nem is tudunk tenni. Gelencsér András részletesen, szakszerűen, humoros címszavakkal és a fizikai jelenségek személetes példáival teletűzdelt, minden előképzettség nélkül megérthető – ám csak erős idegzetűeknek ajánlott – remek könyvében felfedi a valóságot, hogy a klímaváltozáshoz képest sokkal mélyebbek a problémák. A kulcsmondat már az előszóban előkerül: „véges rendszerben nem lehetséges végtelen növekedés”, és az erőforrások közeli jövőben várható kimerülése miatt a jelen állapot még akkor sem lenne fenntartható, ha korlátlan, zöld energiaforrások állnának rendelkezésünkre. Azonban a megújuló energia – ami valójában nem megújuló, ahogy azt a későbbiekben kifejti – is zsákutca. A második fejezetben említi, hogy ha a fosszilis energiahordozóktól való függőséget meg akarjuk szüntetni, akkor azt egy másik függőséggel helyettesítjük, mivel a nem fosszilis energia termeléséhez korlátozott mértékben hozzáférhető nyersanyagokra van szükség (lásd például a napelemek, akkumulátorok, szélerőművek igényeit).

A harmadik, „jól befűtöttünk” fejezetben részletesen beszél az üvegházhatásról és az éghajlatváltozásról. Ennek a fejezetnek a fő üzenete, hogy a szellemet már kiengedtük a palackból, és ha meg is szűnne az üvegházhatású gázok emberi kibocsátása, a felmelegedés akkor sem állna meg feltétlenül, több pozitív visszacsatolási folyamat hatása miatt. Az éghajlatot szabályozó fizikai rendszer ugyanis rendkívül bonyolult, sok bizonytalanság van ezek megismerésében, ami melegágya a – „gazdasági lobbicsoportok érdekei mentén” – létrejövő, ideológiát is termelő klímaszkeptícizmusnak. „Minek kell történnie ahhoz, hogy az éghajlatváltozást tagadókkal szembejöjjön a valóság?” – teszi fel a kérdést a szerző, jogosan.

A negyedik „végtelen energia mítosza” fejezetben sorba veszi az alternatív, nem fosszilis alapú, megújulónak nevezett energiaforrásokat. Sajnos ezekkel is csak baj van. A napelemes energiatermelés erősen évszak- és időjárásfüggő, nagyobb léptékben csak energiátárolással oldható meg. Egy napelemes energiátároló rendszer előállítása viszont összességében több energiát emészt fel, mint amennyit a teljes életciklusa alatt megtermelni és tárolni képes. Ez tehát nem megoldás. Mi a helyzet a szélenergiával? Sajnos a napelemekhez hasonlóan itt is tárolási gondok adódnak, nem is beszélve az életciklusukra számított negatív energiamérlegről és a rendkívül nagy nyersanyagigényükről. A geotermikus energia sem kiút, mivel ahogy a szerző megjegyzi: a világ geotermikus áramtermelésének elméleti határa a jelenlegi globális villamosenergia-termelési kapacitás 3%-a. A vízi- és atomenergia-termelés terén már jobb a helyzet, bár a környezeti károk és veszélyek itt sem elhanyagolhatók. A következő évtizedekben a világ jelenlegi vízi erőművi kapacitása megháromszorozható lenne, de a kapacitás további jelentős növelése előtt akadályok tornyosulnak. A Föld ismert uránérckészlete pedig még száz évre sem lenne elegendő. A fúziós reaktorok, amelyek az 1950-es évektől kezdve állandóan fix negyven évre vannak a megvalósulástól, egyrészt tríciumigényesek, amiből nem sok van. „Egy 3 gigawattos fúziós erőmű évi 150 kg tríciumot »eszik«, ami több száz nehézvízes atomreaktorban állítható csak elő.” Másrészt, a fúziós reaktorok rendelkezésre állás és energiahatékonyság tekintetében nem sokban különböznek a naperőművektől, viszont sokkal költségesebbek.

Az ötödik, *Teremtett anyag* című fejezetben leírja, hogy anyag nem teremődik, és nem is fogy el, csupán a nyersanyagok egyre korlátozottabb hozzáférhetőségének terén vannak gondok. 2010-ben a rendelkezésre álló erőforráskészletek szempontjából már tizenhét kritikus kémiai elemet azonosítottak. Kritikus elemeknek számítanak például a tellúr, a lítium, a platina, a terbium, az európium, a neodímium, a ritka földfémek, a nikkel, a kobalt, és a növénytermesztéshez szükséges foszforkészletek is egy évszázadon belül kimerülhetnek, lehetetlenné téve a több milliárd ember számára szükséges élelmiszer előállítását. Az elemek közül számos olyan van, amelyek a megújuló energiaforrások előállításához szükségesek, így például a napelemek, a szélenergia- és tárolókapacitásuk gyártásához. A viszonylag könnyen kitermelhető nyersanyagforrások, ásványok kimerülőfélben vannak, és egyre nagyobb energia-, víz-, anyag- és költségráfordítással termelhetők ki, mint például a rézérc. Ráadásul, a még ki nem használt források kritikus helyeken lelhetők fel, sarkvidékeken, trópusokon, óceánok mélyén. Még az olyan hétköznapi anyagból is, mint a homok, előbb-utóbb hiány mutatkozik, ugyanis a sivatagi homok nem alkalmas beton készítéséhez.

Az emberiségnek hamarosan szembe kell néznie a „Hamupipőke-effektussal”, miután a koncentrált forrásokból kinyert anyagok felhasználás után szétszóród-

nak, azaz nő az entrópia. Az újrakoncentráció, a hamuból a lencse kiválogatása csak Hamupipókének sikerült, neki is csak hatékony segítséggel. Számunkra viszont gyakorlatilag lehetetlen. Az újrahasonosításnak is gyakorlati korlátai vannak. A millió, sőt akár milliárd évekkézelőtt létrejött, könnyen hozzáférhető források nem termelődnek újra, „a természet ajándékkonzervjeinek nincs alternatívája”.

A megújuló energia felhasználásával egyre több energiát használunk fel kevésbé energiahatékony berendezések gyártására, emiatt a megújuló források hatékonysága negatív lesz, azaz több befektetett energiát igényelnek, mint amit életciklusuk során termelnek, ami a „róka fogta csuka” típusú esete.

Az űrbányászattal mint alternatívával kapcsolatos sommás és tényekkel is alátámasztott véleménye pedig: „az űrbányászat témája csupán arra jó, hogy idelelt a Földön elterelje a figyelmet a fenyegető kritikus nyersanyaghiányról, és hamis illúziót tápláljon a végtelen növekedés fenntarthatóságát illetően”.

Az *Ábrándos szép napok* című hatodik fejezetben említi, hogy „megújuló energiaforrások” nincsenek, mivel energia nem újulhat meg, nem keletkezhet, tulajdonképpen csak energiaátalakításról van szó. Ráadásul, a megújulóknak tekintett energiaátalakítók és tárolók jelentős mennyiségű fosszilis energia felhasználását igénylik. „Egy szélturbina tehát akár a gyártásához felhasznált fosszilis energia-hordozók emlékművének is tekinthető.” A „megújuló” ráadásul alacsony energiasűrűségűek, szétszórtak, nem koncentráltak, tárolást igényelnek, időjárásfüggők, és nagy földterületeket igényelnek.

Az erőforrások felélésének következményeire volt már példa, igaz, kicsiben. A szerző egy Húsvét-szigeteki példát idéz. A valaha dús erdővel rendelkező szigeten az őslakosok minden fát kivágtak, végül nem volt mivel fűteni, főzni, az erózió elhordta a termőtalajt, a népesség majdnem kihalt. „Cook kapitány a sziget felfedezésekor a megmaradt szigetlakókat sovány, félfélnk és nyomorult teremtményeknek írta le naplójában. Vajon hasonló sors vár-e a modern civilizáció ernyője alatt élő emberekre, azaz ránk is?” Most, hogy nagyban játszunk, milyen következményei lehetnek, hogy magunk alatt vágjuk a fát?

A 20. századra a fogyasztói társadalmak a *homo sapiens*ből fogyasztógépet, „homo shopienst” csináltak a fejlett országokban élő emberekből. Rohamosan éljük fel a természeti erőforrásainkat, a nyersanyagokat, az évmilliók során keletkezett és tárolt fosszilis energiát. Ezek gazdaságos kiváltására nincs remény. Ezzel párhuzamosan, illetve ennek hatására rohamosan rongáljuk a környezet és a természet állapotát. A korlátlan fogyasztásnak azonban van egy korlátja, mégpedig egy „betonfal a globálissá terebélyesedett túlfogyasztói társadalom száguldozó vonata előtt”. Mivel ezen a vonaton nincs fék, úgy tűnik, hogy az eddig sikeres „turbókapitalizmus” veri be az utolsó szöveget a modern civilizáció koporsójába. Ahogy a szerző az epilógusban megfogalmazza: „a globális energiafelhasználás drasztikus csökkentése elkerülhetetlen” (lenne). Kérdés, hogy ez a globális tár-

sadalom és gazdaság jelenlegi működési modellje mellett egyáltalán megvalósítható-e. Nem valószínű. A fenntartható fejlődés vagy akár a fejlődés nélküli fenntarthatóság is csak ábránd, amelynek bűvöletében élünk. Az viszont több mint valószínű, hogy az elkövetkező időszak nem lesz lakodalmas menet az emberiség számára.

(Gelencsér András: Ábrándok bűvöletében. A fenntartható fejlődés korlátai. Budapest: Akadémiai Kiadó, 2023, 119 o. ISBN 9789634548997)

Horváth László

az MTA doktora
meteorológia, légkörkémi