

Nicholas Georgescu-Roegen: Az entrópia törvénye és a gazdasági probléma*

Fordította: Kacsuk Zoltán

Témák: antropocentrizmus, energia, entrópia, erőforrás, fejlődés, fenntarthatóság, gazdaság, hulladék, közgazdaságtan, növekedés, technológia, termodinamika

Különös esemény volt a közgazdasági gondolkodás történetében, hogy évekkel azután, hogy a mechanisztikus dogma elvesztette uralkodó pozícióját a fizikában és szorítása enyhült a filozófia világán, a neoklasszikus iskola alapítói a mechanika mintájára fogtak hozzá a közgazdaságtan tudományának kimunkálásához – amely *Jevons* szavaival “*a hasznosság és az önérték mechanikája*” (Jevons [1924], 21. o.). S bár a közgazdaságtan nagyot fejlődött azóta, semmi sem történt annak érdekében, hogy a közgazdasági gondolkodás szakítson a standard közgazdaságtan ősatyáinak gépies módszertanával. Fényes bizonyítéka ennek a gazdasági folyamat szokásos tankönyvi bemutatása, az önmagába záródó körfolyamat diagramja: ingamozgás a termelés és a fogyasztás között egy teljesen zárt rendszerben (Bye [1956], 253. o.; Bach [1957], 60. o.; Dodd–Hasek–Hailstones [1957], 125. o.; Havens–Henderson–Cramer [1966], 49. o.; Samuelson [1970], 42. o.). Ugyanaz a helyzet a standard közgazdasági irodalmat díszítő analitikus elemekkel: azok is egy önfenntartó mechanikai analógiára egyszerűsítik a gazdasági folyamatot. Azt a nyilvánvaló tényt, hogy a gazdasági folyamat és az anyagi környezet között folyamatos kölcsönhatás létezik, ami történelemformáló, egyáltalán nem veszik figyelembe a standard közgazdaságtanban. S ugyanez igaz a marxista közgazdászokra, akik Marx ama dogmájára esküsznek, hogy minden ajándék, amit a természet nyújt az embernek (Marx I/84., I/169., I/200., I/564. o. és II/XX. fejezet). Marx híres újratermelési diagramjában is körfolyamatként és teljesen önfenntartó rendszerként jelenik meg a gazdasági folyamat (Hull [1899]; Marx II/27. o.).

Korábbi írók azonban más irányba mutattak, ahogy Sir William *Petty* is, amikor amellettt érvelt, hogy a munka az atyja, a föld pedig az anyja az anyagi gazdagságnak (lásd még Hull [1899]; Marx I/49. o.).¹ Az emberiség egész gazdaságtörténete megkérdőjelezhetetlenül bizonyítja, hogy a természet is fontos szerepet játszik a gazdasági folyamatban, csakúgy mint a gazdasági érték létrehozásában. Eljött az ideje annak, hogy elfogadjuk ezt a tényt, és figyelembe vegyük az emberiség gazdasági problémáira vonatkozó következményeit. Már csak azért is, mert – ahogy ebben az írásban megkísérlem megmutatni – ezeknek a következményeknek egy része kivételes jelentőséggel bír az emberi gazdaság természetének és evolúciójának megértésében.

* A tanulmány *The Entropy Law and the Economic Process* címmel jelent meg (University of Alabama Distinguished Lecture Series, No. 1, 1971). A fordítást Pataki György és Takács-Sánta András vetette egybe az eredetivel.

¹ Érdekes módon Marx követte *Petty* elképzelését, de azt állította, hogy a természet “*csak mint használati érték, mint hasznos tulajdonságokkal rendelkező dolog szolgál, és ezért semmiféle értéket nem [ad] át a terméknek*”. (Marx, I/194. o.)

Néhány közgazdász utalt arra a tényre, hogy az ember nem képes sem létrehozni, sem elpusztítani anyagot vagy energiát (például Marshall [1924], 63. o.); azaz arra az igazságra, amely az anyag- és energiamegmaradás elvéből, más néven a termodinamika első törvényéből következik. Látszólag mégsem ütközött meg senki azon a kérdésen – ami pedig oly rejtélyes ennek a törvénynek a fényében: “Mi is történik akkor a gazdasági folyamat során?” Mindössze egy-egy megjegyzést találunk az alapirodalomban, amely szerint az ember csak hasznosságokat tud előállítani – egy megjegyzést, amely tulajdonképpen még inkább hangsúlyozza a rejtélyt. Hogyan tud az ember valami anyagi jellegűt létrehozni, tekintve, hogy nem tud sem anyagot, sem energiát előállítani?

Ahhoz, hogy megválaszoljuk ezt a kérdést, tekintsünk a gazdasági folyamatra mint egészre, és vizsgáljuk meg tisztán fizikai szempontból. Amit elsőként meg kell állapítanunk, az az, hogy a gazdasági folyamat pusztán részfolyamat, és mint minden részfolyamatnak kijelölhetők a határvonalai, amelyeken keresztül anyagot és energiát cserél az anyagi univerzum többi részével.² A válasz arra a kérdésre, hogy ez az *anyagi* folyamat mit csinál, egyszerű: nem hoz létre és nem pusztít el anyagot és energiát, azt csak felvesz és folyamatosan kibocsát. Ez az, amit a tiszta fizika tanít. A közgazdaságtan azonban – mondjuk ki bátran és hangosan – nem tiszta fizika, még csak nem is fizika valamilyen más formában. Joggal bízhatunk abban, hogy annak az álláspontnak, mely szerint a természeti erőforrásoknak semmi közük az értékhez, még a legharcosabb partizánja is el fogja ismerni a végén, hogy van különbség aközött, ami belép a gazdasági folyamatba, és aközött, ami kijön belőle. Biztos, hogy ez a különbség csak minőségi lehet.

A nem ortodox közgazdász – mint amilyen jómagam is vagyok – azt mondaná, hogy a gazdasági folyamatba *értékes természeti erőforrások* lépnek be, és *értéktelen hulladék* kerül ki belőle. Ezt a minőségi különbséget igazolja – bár más megfogalmazásban – a fizika egy konkrét (és különös) ága, a termodinamika. A termodinamika nézőpontjából az anyag és az energia *alacsony entrópiájú* állapotban lép be a gazdasági folyamatba, és *magas entrópiájú* állapotban hagyja el azt.³

Nem könnyű feladat részletesen elmagyarázni, hogy az entrópia mit jelent. E fogalom annyira bonyolult, hogy ha hihetünk a termodinamika egy szaktekintélyének, “*még fizikusok számára sem könnyen érthető*” (Harr [1959], 37. o.). Tovább bonyolítja a helyzetet – nemcsak a hétköznapi ember, hanem mindenki más számára is –, hogy a kifejezés ma már több jelentéssel van forgalomban, és ezek nem mindegyike köthető a fizika világához.⁴ A Webster’s Collegiate Dictionary 1965-ös kiadásában három bekezdés szerepel az “entrópia” címszó alatt. Ráadásul a gazdasági folyamat szempontjából releváns jelentéshez tartozó definíció inkább összezavarja, mint megvilágosítja az olvasót: “*a nem hozzáférhető energia mértéke a zárt termodinamikai rendszerben, amely úgy függ össze a rendszer állapotával, hogy a mértékében bekövetkező változás a szerint – az abszolút hőmérsékleten vett – hőnövekmény rátájának változása szerint alakul, amelyen elnyelődik*”. Ám (mintha csak azt akarnák bizonyítani, hogy nem minden fejlődés jelent javulást) némely régebbi kiadások érthetőbb definícióval szolgálnak. “*A nem hozzáférhető energia mértéke egy termodinamikai rendszerben*” – ahogy az 1948-as kiadásban olvashattuk – ugyan nem elégítheti ki a szakértőt, de megteszi általános

² A folyamat analitikus bemutatásának problémájáról lásd Georgescu-Roegen (1971), 211–231. o.

³ Ez a különbségtétel, azzal a ténnyel együtt, hogy senki sem cserélne természeti erőforrásokat hulladéokra, meg szabadít minket Marx megállapításától, hogy “*még egyetlen vegyész sem fedezett fel a gyöngyben vagy a gyémántban csereértéket*”. (Marx, I/85. o.)

⁴ Az egyik jelentés, amely borzasztóan népszerűvé tette a kifejezést az utóbbi időben, az az “információ mennyisége”. Az érvelést, mely szerint ez a kifejezés félrevezető, valamint az információ és a fizikai entrópia állítólagos kapcsolatára vonatkozó bírálatot lásd Georgescu-Roegen (1971), B Függelék.

használat céljából. Azt megmagyarázni (megint csak nagy vonalakban), hogy mit jelent a nem hozzáférhető energia, most már viszonylag könnyű feladat.

Az energia két, minőségileg különböző állapotban létezik: *hozzáférhető* vagy *szabad* energiaként, ami felett az embernek majdnem teljes az uralma, és *nem hozzáférhető* vagy *kötött* energia formájában, amit az ember egyáltalán nem tud használni. A széndarabban tárolt kémiai energia szabad energia, mert az ember átalakíthatja hővé, vagy, ha akarja, mechanikai munkává. Ám a tengerek vizeiben raktározott fantasztikus mennyiségű hőenergia például kötött energia. A hajók ezen az energiatengeren hajóznak, de ahhoz, hogy ezt megtegyék, szükségük van valamilyen üzemanyagának vagy a szélnek a szabad energiájára.

Amikor egy darab szenet elégetünk, kémiai energiája nem csökken, és nem is növekszik. Ám a kezdeti szabad energia annyira szétszóródik hő, füst és hamu formájában, hogy az ember azt már nem tudja használni: kötött energiává degradálódott. A szabad energia olyan energiát jelent, amely megkülönböztető szintet mutat, ahogyan azt legegyszerűbben egy bojler belsejének és külsejének a hőmérséklete közötti különbség példázza. A kötött energia ezzel szemben kaotikusan szétszórt energia. Ezt a különbséget másképp is kifejezhetjük. A szabad energia valamilyen rendezett struktúrára utal, amely megfeleltethető egy olyan helyzetnek, amikor a boltban az összes hús az egyik pulton van, az összes zöldség egy másikon, és így tovább. A kötött energia a rendezetlenségbe szétszóródott energia; olyan, mintha tornádó söpört volna végig a boltban. Ezért van az, hogy az entrópiát a rendezetlenség mértékeként is definiálják. Ez egybevág azzal a ténnyel, hogy a rézlemez alacsonyabb entrópiát képvisel, mint a rézérc, amiből előállították.

A szabad és kötött energia közötti különbségtétel egyértelműen emberi (antropocentrikus) megközelítés. Ám ennek az egyszerű ténynek nem kell zavarnia azt, aki az embert tanulmányozza, sőt még azt sem, aki az anyagot tanulmányozza, annak egyszerű formájában. Minden elem, ami által az ember megpróbál mentális kapcsolatba lépni a valósággal, csakis ember-szerű lehet. Csak a termodinamika esetében ez még szembetűnőbb. A lényeg, hogy a gazdasági különbségtétel a gazdasági értékkel rendelkező dolgok és a hulladék között az, ami elősegítette a termodinamikai különbségtételt, és nem fordítva. Valójában a termodinamika diszciplínája abból a tanulmányból nőtt ki, amelyben Sadi Carnot (1824) francia mérnök először vizsgálta a hőerőgépek *ökonómiáját*. A termodinamika tehát a gazdasági érték fizikájaként indult, és ez így is maradt a számos későbbi, elvontabb természetű eredmény ellenére.

Hála Carnot tanulmányának, az alapvető tény, hogy a hő önmagától mindig csak a melegebb test felől áramlik a hidegebb felé, a fizikai igazságok közé került. Még fontosabb volt annak a másik igazságnak a rákövetkező fölismerése, hogy ha egyszer a hő egy zárt rendszerben már úgy eloszlott, hogy a hőmérséklet egyformává vált az egész rendszerben, a hő mozgását nem lehet visszafordítani külső beavatkozás nélkül. A jégkockák egy pohár vízben, ha egyszer elolvadtak, nem fognak maguktól újra összeállni. Általában elmondható, hogy a zárt rendszer szabad hőenergiája folyamatosan és visszavonhatatlanul kötött energiává silányul. Ennek a tulajdonságnak a kiterjesztése a hőenergiáról minden másfajta energiára vezetett a termodinamika második törvényéhez, más néven az entrópia törvényéhez. Ez a törvény tehát azt mondja ki, hogy a zárt rendszer entrópiája (azaz a kötött energia mennyisége) folyamatosan növekszik, vagy hogy a zárt rendszer rendezettsége fokozatosan rendezetlenségbe fordul.

A zárt rendszerre utalás döntő fontosságú. Képzeljünk el egy zárt rendszert: egy szobát, benne egy elektromos tűzhellyel és egy lábas vízzel, amelyik éppen fölforrt. Az entrópia törvénye először is azt mondja, hogy a fölforrt víz hője folyamatosan szét fog szóródni a rendszerben. Végül a rendszer el fogja érni a termodinamikai egyensúlyt – egy olyan állapotot, amelyben a hőmérséklet azonos mindenütt (és minden energia kötött). Ez minden fajta energiára vonatko-

zik egy zárt rendszerben. Például a széndarab szabad kémiai energiája végső soron kötött energiává fog degradálódni, még akkor is, ha a szenet a földben hagyják. A szabad energia mindenféleképpen így alakul át.

A törvény azt is kimondja, hogy ha egyszer megvalósult a termodinamikai egyensúly, a víz nem fog elkezdni magától forrni.⁵ De, mint azt mindenki tudja, újra el tudjuk kezdeni forralni a tűzhely bekapcsolásával. Ez azonban nem jelenti azt, hogy legyőztük az entrópia törvényét. Ha a szoba entrópiája csökkent a víz forralásával létrehozott hőmérsékletkülönbség eredményeként, az csak azért van, mert alacsony entrópia (szabad energia) került a rendszerbe kívülről. S ha az elektromos erőművet is a rendszerbe foglaljuk, akkor az új rendszer entrópiájának növekednie kellett, ahogy azt az entrópia törvénye állítja. Ez azt jelenti, hogy a szoba entrópiájának csökkenése csak egy máshol bekövetkezett nagyobb arányú entrópia növekedés árán volt elérhető.

Egyes szerzők, akiket lenyűgözött, hogy az élő szervezetek rövid időszak alatt majdhogynem változatlanok maradnak, azt a gondolatot vetették föl, hogy az élet megkerüli az entrópia törvényét. Nos, lehet, hogy az élet rendelkezik olyan tulajdonságokkal, amelyekről nem lehet a természeti törvények alapján számot adni, de a pusztá gondolat, hogy képes lenne az anyag valamely törvényét (ami egy egészen más dolog) kikerülni, teljes képtelenség. Az igazság az, hogy minden élő szervezet csak arra törekszik, hogy saját entrópiáját állandó szinten tartsa. Mindezt csak úgy érheti el, hogy alacsony entrópiát szív el környezetéből, hogy kompenzálja entrópiája növekedését, aminek, mint minden anyagi struktúra, folyamatosan ki van téve. Ám az egész rendszer – a szervezet és a környezete – entrópiájának növekednie kell. Tulajdonképpen a rendszer entrópiájának gyorsabban kell növekednie, ha élet van jelen, mint ha nincs. Az, hogy minden élő szervezet harcol saját anyagi struktúrájának entrópiikus romlása ellen, lehet az élet olyan jellemző tulajdonsága, amelyet nem magyaráznak meg az anyag törvényei, de az akkor sem jelenti ezeknek a törvényeknek a megszegését.

Gyakorlatilag minden szervezet az entrópia azon formáiból él, amelyek közvetlenül a környezetében föllelhetők. Az ember a legszembetűnőbb kivétel: megfőzi ételei nagy részét és a természeti erőforrásokat átalakítja mechanikai munkává vagy különböző hasznos tárgyakká. Itt megint nem szabad félrevezetni hagyni magunkat. A rézfém entrópiája alacsonyabb, mint a rézérc entrópiája, amiből kinyerték, de ez nem jelenti azt, hogy az ember gazdasági tevékenysége kikerülné az entrópia törvényét. Az érc feldolgozása akkora növekedést okoz a környezeté entrópiájában, hogy ez jóval meghaladja azt az entrópia csökkenést, amelyet a fém az érchez képest képvisel. A közgazdászok szeretik azt mondogatni, hogy ingyen semmit sem kaphatunk. Az entrópia törvénye azt tanítja, hogy a biológiai élet szabálya – és az ember esetében annak gazdasági kiterjesztése – sokkal kíméletlenebb. Az entrópia szempontjából ugyanis bármilyen biológiai vagy gazdasági vállalkozás költsége mindig nagyobb, mint a lét-

⁵ A álláspont magyarázatra szorul. Valamennyi fizikus és tudományfilozófus egyetért abban, hogy ellentét van az egyirányú minőségi változással jellemezhető entrópia törvénye és a bármilyen mozgást önmaga megváltozása nélkül elfogadó mechanika törvénye között. A mechanisztikus dogma azonban (mind a mai napig) megtartotta befolyását a tudományos tevékenységre, holott a fizika ezt már visszavonta. Az eredmény: a mechanika bekerült a termodinamikába, a véletlen társaságában. Különös mellérendelés, mivel a véletlen ellentmond a mechanikai törvények előre meghatározott (determinisztikus) természetének. Annyi bizonyos, hogy az új elméleti struktúra (amit statisztikus mechanika néven ismernek) nem tudta a mechanikát a falakon belül tartani úgy, hogy mindenképpen kizárja a megfordíthatóságot. Így a statisztikus mechanikának azt kell tanítania, hogy egy vödör víz önmagától is elkezdhet forrni. A gondolatot később azzal söprik a szőnyeg alá, hogy e csodát még nem figyelték meg végtelenül kicsi valószínűsége miatt. Mindenesetre a statisztikus mechanika táplálja annak hitét, hogy lehetséges a kötött energia szabadabbá alakítása, vagy ahogy P. W. *Bridgman* szellemesen fogalmazott, az "entrópia csempészet". A statisztikus mechanika logikai hibáinak bírálatáról és a kijavításukra irányuló számos próbálkozásról lásd Georgescu-Roegen (1971), VI. fejezet.

rehozott termék értéke. Az entrópia fogalmai szerint tehát bármilyen ilyesfajta tevékenység szükségszerűen deficitet eredményez.

A korábban (tisztán fizikai szemszögből) tett kijelentés, hogy a gazdasági folyamat az értékes természeti erőforrásokat (alacsony entrópia) csak átalakítja hulladékká (magas entrópia), így teljesen igazolva van. Ám az a rejtély, hogy egy ilyen folyamatnak miért kell folytatódnia, továbbra is jelen van, és rejtély is marad mindaddig, amíg nem látjuk be azt, hogy a gazdasági folyamat igazi végterméke nem a hulladékok anyagi folyama, hanem egy nem anyagi jellegű áramlás: az élet élvezete. Ha nem ismerjük föl ennek az áramlásnak a létezését, akkor nem a gazdasági világban vagyunk. Ezenkívül akkor sincs teljes képünk a gazdasági folyamatról, ha figyelmen kívül hagyjuk azt, hogy ez az áramlás – amelynek entrópikus érzésként az élet minden szintjét jellemeznie kell – csak addig létezik, amíg folyamatosan táplálni tudja magát az alacsony környezeti entrópiával. S ha egy lépéssel tovább megyünk, fölfedezzük, hogy minden gazdasági értékkel bíró tárgy – legyen az a fáról frissen szedett gyümölcs vagy egy ruhadarab vagy bútor stb. – jól rendezett struktúrával, és így alacsony entrópiával rendelkezik.⁶

Számos tanulságot kell ebből az elemzésből levonni. Az első az, hogy az ember gazdasági igyekezetének középpontjában az alacsony környezeti entrópia áll. Másodszor, az alacsony környezeti entrópia más értelemben szűkös, mint a ricardói föld. A ricardói föld és a szénkészletek egyaránt korlátozott mennyiségben állnak rendelkezésre. A különbség köztük az, hogy egy darab szén csak egyszer lehet használni. S tulajdonképpen az entrópia törvénye az oka annak, hogy minden motor (még a biológiai szervezet is) végül elkopik, és ki kell cserélni *újra*, ami az alacsony környezeti entrópia újabb megcsapolását jelenti.

A természeti erőforrások ember általi folyamatos használata olyan tevékenység, amely történelmet formál. Ez a legfontosabb hosszú távú eleme az emberiség sorsának. Az anyag és az energia entrópikus silányulásának visszafordíthatatlansága miatt történt például, hogy az ázsiai sztyeppék lakói, akiknek a gazdasága a birkatenyésztésen alapult, megkezdték “nagy népvándorlásukat” az egész európai kontinensen át az első évezred kezdetén. Ugyanez a tényező – a természeti erőforrásokra nehezedő nyomás – kétségtelenül szerepet játszott más népvándorlásokban is, beleértve az Európából az Újvilágba tartót. A Hold elérésére tett fantasztikus erőfeszítések is tükrözhetnek valami homályosan érzett reményt, hogy újabb alacsony entrópiájú forrásokhoz férhetünk hozzá. Szintén az alacsony környezeti entrópia rendkívüli szűkössége miatt van, hogy a történelem hajnala óta az ember folyamatosan törekedett az alacsony entrópia hatékonyabb kinyerésére alkalmas módszerek föltalálására. Az ember legtöbb (bár nem minden) találmányában határozottan látni lehet az alacsony entrópia egyre jobb kihasználását.

Semmi sem lehetne tehát távolabb az igazságtól, mint az elképzelés, hogy a gazdasági folyamat elszigetelt és önmagába záródó körfolyamat – miként azt Marx és a standard elemzés bemutatja. A gazdasági folyamat szilárdan kötődik egy olyan anyagi alaphoz, amely egyértelmű korlátoknak alávetett. A korlátok miatt a gazdasági folyamat evolúciója egyirányú és visszafordíthatatlan. A gazdasági világban csak a pénz áramlik oda és vissza az egyik gazdasági szektorból a másikba (bár valójában még a pénzérme is lassan elkopik, és készleteit folyamatosan pótolni kell az ásványi készletekből). Visszatekintve úgy tűnik, hogy mindkét

⁶ Ez nem jelenti azt, hogy minden, aminek alacsony az entrópiája, szükségszerűen gazdasági értékkel rendelkezik. A mérgező gombának is alacsony az entrópiája. Az alacsony entrópia és a gazdasági érték közötti kapcsolat hasonló a gazdasági érték és az ár közötti kapcsolathoz. Egy tárgynak csak akkor lehet ára, ha gazdasági értéke van, és csak akkor lehet gazdasági értéke, ha alacsony az entrópiája. Ám ennek a fordítottja nem igaz.

meggyőződés közgazdászai a legrosszabb fajta gazdasági fetisizmusnak lettek az áldozatai – a pénz fetisizmusának.

A közgazdasági gondolkodást mindig befolyásolták az adott kor aktuális gazdasági kérdései, valamint – némi lemaradással – tükrözte a természettudományos elképzelések trendjét is. Szembetűnő példája ennek az összefüggésnek az, hogy amikor a közgazdászok elkezdtek figyelmen kívül hagyni a természetet a gazdasági folyamat bemutatásában, ez az egész tudományos világ beállítottóságában bekövetkezett fordulópontot tükrözött. Az ipari forradalom példátlan eredményei annyira elkápráztattak mindenkit azzal, hogy az ember mire képes gépek segítségével, hogy az általános érdeklődés a gyárra korlátozódott. Az új technikai lehetőségek kiváltotta látványos tudományos felfedezésekben földindulásszerű előrelépés következett be, ami erősítette a technológia hatalma iránti általános bámulatot. Ennek következménye lett az is, hogy az írástudók túlértékelték és így felülértékelve tálták a nagyközönségnek a tudomány teljesítményeit. Természetesen egy ilyen piedesztálról még csak elképzelni sem lehetett, hogy bármilyen igazi akadály alapvető eleme lenne az emberi állapotnak.

A józan igazság azonban másképp fest. Még az emberi faj élethossza is csak egy villanást jelent, ha a galaxiséval vetjük össze. Hiába utazunk a világűrbe, az emberiség a térnek csupán egy piciny pontjába marad bezárva. Biológiai természetünk is korlátokat állít az ember elé. A túl magas vagy a túl alacsony hőmérséklet, ugyanúgy számos sugárzás összeegyeztethetetlen a létezésével. Nemcsak arról van szó, hogy az ember nem érhet fel a csillagokig, leérni sem képes egyetlen elemi részecskéhez, sőt még egy atomhoz sem.

Pontosan azért, mert az ember érezte – bármennyire jámborul is –, hogy élete a szűkös, visszanyerhetetlen, alacsony entrópiától függ, folyamatosan dédelgette azt a reményt, hogy végül fölfedezhet egy örökmozgó erőt. Az elektromosság fölfedezése sokakat ringatott abba a hitbe, hogy a remény beteljesedett. A termodinamika és a mechanika furcsa házassága nyomán egyesek elkezdtek komolyan gondolkodni a kötött energia felszabadításának lehetőségeiről.⁷ Az atomenergia fölfedezése a nagyra törő csalfa remény újabb hullámát indította el, mintha ezúttal valóban szert tettünk volna egy örökmozgó energiaforrásra. Az elektromosság hiányának, ami New Yorkot sújtja és napjainkban egyre több város gondja lesz, elegendőnek kell lennie, hogy kijózanítson bennünket. A nukleáris energiával foglalkozó tudósok és az atomerőművek működtetői egyaránt azt hangoztatják, hogy mindez alapvetően a költség problémája. Az állítás ezen írás nézőpontjából entrópiái fogalmakban értelmezett elszámolási problémát jelent.

Miközben a természettudományok azt prédikálják, hogy a tudomány minden emberi korlátot le tud küzdeni, a közgazdászok pedig nyomukba lépnek azzal, hogy nem hozzák kapcsolatba a gazdasági folyamat elemzését az ember anyagi környezetének korlátaival, nem csoda, hogy senki sem veszi észre: nem tudunk “jobb és nagyobb” hűtőgépeket, gépkocsikat vagy repülőgépeket előállítani anélkül, hogy “jobb és nagyobb” hulladékot állítanánk elő. Így amikor mindenkit (a “jobb és nagyobb” ipari termeléssel rendelkező országokban) szó szerint arcul csapott a környezetszennyezés, a tudósok, csakúgy mint a közgazdászok, meg voltak lepődve. Ám még most is úgy tűnik, senki sem látja, mindennek az oka az, hogy nem sikerült elismernünk a gazdasági folyamat entrópiikus természetét. Meggyőző bizonyíték minderre, hogy a különböző környezetvédelmi szaktekintélyek most egyrészt a hulladékot nem termelő gépek és vegyi folyamatok gondolatát, másrészt a hulladék folyamatos újrahasznosítása általi megváltást próbálják eladni nekünk. Tagadhatatlan, elvben legalábbis, hogy még a tengerek homokjában szétszóródott aranyat is újrahasznosíthatjuk ugyanúgy, ahogy a forró vizet is újra-

⁷ Lásd az 5. jegyzetet korábban.

hasznosíthatjuk a korábbi példában. Ám mindkét esetben sokkal nagyobb, újabb adag alacsony entrópiát kell alkalmaznunk, mint az újrahasznosított dolog entrópiájában bekövetkezett csökkenés. Nincs ingyenes újrahasznosítás, ugyanúgy, ahogy nem létezik hulladékmentes ipar sem.

A bolygó, amelyhez az emberi faj kötve van, ha úgy tetszik, a szabad energia kozmikus tárházában lebeg, és ez az energia akár végtelen is lehet. Ám az előző részben említett okok miatt az ember nem férhet hozzá mindehhez a fantasztikus mennyiséghez, sem a szabad energia minden lehetséges formájához. Az ember például nem képes közvetlenül megcsapolni a Napot hatalmas termonukleáris energiájáért. A legnagyobb akadály az (ami a "hidrogénbomba" ipari felhasználására is érvényes), hogy nincs olyan anyag, amelyből készült tároló képes lenne ellenállni a heves termonukleáris reakciók hőmérsékletének. Ilyen reakciók csak a világűrben játszódhatnak le.

A szabad energia, amihez az ember hozzáférhet, két különböző forrásból származik. Az első forrás egy *állomány*, a Föld gyomrában található ásványraktárak szabad energia állománya. A másik forrás egy *áramlás*, a Föld által fölfogott napsugárzás áramlása. Néhány különbséget határozottan hangsúlyozni kell e két forrás között. Az ember majdnem teljes uralommal rendelkezik a földi hozomány felett: elképzelhető, hogy akár egyetlen év alatt az egészet felhasználhatnánk. De, minden gyakorlati megfontolás szerint, az embernek semmilyen hatalma nincs a napsugárzás folyama fölött. S a jövő napsugárzását sem tudja *most* felhasználni. A két forrás közötti másik különbség jellegzetes szerepeikhez kapcsolódik. Csak a földi forrás lát el minket azokkal az alacsony entrópiájú anyagokkal, amelyekből a legfontosabb eszközeinket előállítjuk. Ugyanakkor a napsugárzás az elsődleges forrása minden életnek a Földön, ami a klorofill általi fotoszintézissel kezdődik. Végül a földi állomány csupán jelentéktelen forrás a Napéval összevetve. Minden valószínűség szerint a Nap aktív élete – ami alatt a Föld jelentős intenzitású napenergia áramlásban fog részesülni – újabb ötmilliárd évig fog tartani (Gamow [1958], 493. oldaltól). Ám bármennyire nehéz is elhinni, az egész földi állomány csak néhány napnyi napfényt lenne képes nyújtani.⁸

Mindez új megvilágításba helyezi a népesedési problémát, ami annyira aktuális manapság. Egyes tudósok aggódnak amiatt, hogy a világ népessége i. sz. 2000-re eléri a hétmilliárdot – az Egyesült Nemzetek Szövetsége demográfusai által megjósolt szintet. A másik nézőpontot képviselők, mint Colin *Clark*, azt állítják, hogy az erőforrások megfelelő adminisztrációjával a Föld akár negyvenötmilliárd embert is képes táplálni (Clark [1963], 35. o.). Úgy tűnik, egyetlen népességszakértő sem tette föl az emberiség jövője szempontjából sokkal életbevágóbb kérdést: milyen sokáig lehet adott nagyságú világnépességet – legyen az egymilliárd vagy negyvenötmilliárd – fenntartani? Csak ha ezt a kérdést tesszük föl, vehetjük észre, hogy milyen bonyolult a népesedési probléma. Még az optimális népesség analitikus koncepciója is, amire számos népesedéssel kapcsolatos tanulmányt alapoztak, gyakorlati megvalósításra alkalmatlan fikcióként jelenik így meg.

Ebből a szempontból árulkodó történet az ember entrópiával folytatott küzdelme az elmúlt kétszáz évben. Egyrészt a tudomány látványos haladásának köszönhetően a gazdasági fejlődés egy majdnem csodálatos szintet ért el. Másrészt ez a fejlődés arra kényszerítette az embert, hogy a Föld forrásainak megcsapolását elképesztő mértékben növelje (például már láthatunk part menti olajfúrást). Ezenkívül fenntartott egy olyan népességnövekedést, amely kiéleztette az élelemért folyó küzdelmet, és egyes területeken kritikus szintre fokozta ezt a

⁸ Eugene *Ayres* szerint négy nap, lásd *Ayres* (1950), 16. o. A helyzet akkor is változatlan, ha elismerjük, hogy a számítások akár ezerszeres hibát is tartalmazhatnak.

nyomást. Az egyöntetűen javasolt megoldás a mezőgazdálkodás növekvő mechanizálása. Ám nézzük csak meg, mit jelent ez a megoldás az entrópiában kifejezve.

Először is, a földművelő hagyományos társának – az igavonó állatnak – a kiküszöbölésével a mezőgazdálkodás gépesítése lehetővé teszi a teljes földterület átállítását élelemtermelésre (és takarmány termesztésre kizárólag a hús iránti szükséglet mértékében). A végső és legfontosabb eredmény azonban az elmozdulás az alacsony entrópia bevitelében a Naptól a földi források felé. Az ökör vagy a vízi bivaly – amelyek mechanikai erejüket a klorofill általi fotoszintézis során megkötött napsugárzásból nyerik – helyére a traktor kerül, amit pedig a földi alacsony entrópia segítségével állítanak elő és üzemeltetnek. S ugyanez vonatkozik a trágyáról a műtrágyára való áttérésre. A végeredmény, a mezőgazdálkodás mechanikussá tétele, egy olyan megoldás, amely, bár elkerülhetetlen a jelen patthelyzetben, hosszú távon gazdaságtalan. Az ember biológiai létezése a jövőben a két alacsony entrópia forrás közül egyre inkább a szűkösebbiktől válik függővé. Annak is fennáll a veszélye, hogy a mechanizált mezőgazdaság zsákutcába vezet az emberi fajt amiatt, hogy a mezőgazdálkodás másik formájában részt vevő fajok egy részét kihalásra ítéli.

Tulajdonképpen az alacsony entrópia földi állománya gazdaságos használatának problémája nem korlátozódik csupán a mezőgazdálkodás mechanikussá tételére: ez a fő probléma az emberi faj jövőjére nézve. Azért, hogy belássuk ezt, jelölje S a jelenlegi földi alacsony entrópia állományt, és r az ebből évente átlagosan elfogyasztott mennyiséget. Ha elvonatkoztatunk (ahogy itt nyugodtan meg is tehetjük) az S lassú degradációjától, az évek számának *elméleti* maximuma az állomány teljes kimerítéséig S/r . Ez egyben azon évek száma is, ami alatt az emberiség evolúciójának *ipari* szakasza kényszerű véget ér. Tekintve a fantasztikus aránytalanságot S és az évenként a földet érő napenergia folyama között, vitán felül áll, hogy még S nagyon takarékos használatával is az ember evolúciójának ipari szakasza sokkal hamarabb véget fog érni, minthogy a Nap sugarai kihunynának. Azt, hogy mi fog akkor történni (ha nem okozza az emberi faj kipusztulását még korábban valamilyen teljesen ellenálló kórokozó vagy valamilyen alattomos vegyszer), nehéz megmondani. Az ember élhetne tovább visszatérve a bogyószedő faj szintjére – ahogy egykoron volt. De annak fényében, amit az evolúcióról tudunk, egy ilyen evolúciós visszafordulás nem tűnik túl valószínűnek. Akárhogy is lesz, tény, hogy minél magasabb fokú a gazdasági fejlődés, annál nagyobbak kell lennie az éves r kimerítésnek, és ezáltal annál rövidebb lesz az emberi faj várható élettartama.

A végkimenetel világos. Minden alkalommal, amikor gyártunk egy Cadillacet, visszavonhatatlanul elpusztítunk egy adag alacsony entrópiát, amit egyébként eke vagy lapát előállítására is lehetne használni. Más szavakkal, minden alkalommal, amikor előállítunk egy Cadillacet, a jövőbeli emberi életek számának csökkentése árán tesszük. Az ipari bőséget nyújtó gazdasági fejlődés áldás lehet számunkra, akik most élünk, és azok számára, akik még élvezhetik a köz-eljövőben, de határozottan az emberi fajnak mint egésznek az érdeke ellen való, amennyiben érdeke az, hogy olyan hosszú élete legyen, amilyen csak összeegyeztethető az alacsony entrópia hozományával. A gazdasági fejlődés ezen ellentmondásában jelenik meg az az ár, amelyet az embernek meg kell fizetni azért az egyedi kiváltságért, hogy képes meghaladni biológiai korlátait az életért folytatott küzdelemben.

A biológusok szeretik emlegetni, hogy a természetes kiválasztódás fantasztikus balfogások sorozata, mivel a jövő feltételei sohasem vétetnek figyelembe. A megjegyzés, hogy az ember bölcsőbb a természetnél és át kéne vennie a feladatát, azt bizonyítja, hogy az ember hiúsága és a tudósok önbizalma határtalan. A gazdasági fejlődés versenye, ami a modern civilizáció ismertetőjegye, nem hagy kétséget az ember rövidlátósága felől. Csupán biológiai természete (az örökölt ösztön) miatt van, hogy az ember csak közvetlen leszármazottai egy részének a

sorsával törődik, általában a dédunokáig bezárólag. Nincs abban sem cinizmus, sem pesszimizmus, ha úgy hisszük, még ha tudatosulna is az emberi fajban az entrópia problémája, az emberiség nem lesz hajlandó feladni a jelen luxusait azért, hogy könnyítsen azoknak az életén, akik tízezer vagy akár csak ezer év múlva fognak élni. Ahogy egyszer az ember már kiterjesztette biológiai képességeit az ipari eszközök által, ipso facto nemcsak függővé vált egy igen szűkös életadó forrástól, hanem egyben függővé vált az ipari luxustól. Olyan ez, mintha az emberi faj arra lenne rendeltetve, hogy rövid, de izgalmas életet éljen. Legyen a kevésbé nagyra törő fajoknak hosszú, de eseménytelen létezésük.

Az olyan kérdések, mint amilyenekkel ebben az írásban foglalkoztunk, a hosszú távon ható erőkkel kapcsolatosak. Mivel ezek az erők rendkívül lassan hatnak, hajlamosak vagyunk figyelmen kívül hagyni létezésüket, vagy ha fölismerjük őket, lekicsinyelni jelentőségüket. Az ember természete olyan, hogy mindig az érdekli, mi fog történni holnap, és nem az, hogy mi lesz ezer év múlva. A lassan ható erők azonban általában végzetszerűek. A legtöbb ember nem hirtelen hal meg – tüdőgyulladásban vagy autóbalesetben –, hanem a lassan ható erők következtében, amelyek az öregedést okozzák. Ahogy egy jainista filozófus megjegyezte, az ember a születése pillanatában kezd el meghalni. A lényeg az, hogy egyáltalán nem lenne merészebb vállalkozás az ember gazdaságának távoli jövőjéről néhány gondolatot megkockáztatni, mint nagy vonalakban előre jelezni egy újszülött gyermek életét. Ilyen gondolat lenne az, hogy az ipari fejlődés modern láza által létrehozott, az ásványi erőforrások állományára nehezedő megnövekedett nyomás, a környezetszennyezés veszélytelenebbé tételének növekvő problémájával együtt (ami további igényeket támaszt ugyanarra az állományra nézve), az ember figyelmét szükségszerűen olyan módszerek felé fogja fordítani, amelyek segítségével nagyobb hasznát lehet venni a napsugárzásnak, a nagyobb bőségben rendelkezésre álló szabad energia forrásának.

Egyes tudósok ma büszkén állítják, hogy elérkeztünk az élelemmel kapcsolatos problémák végleges fölszámolásának küszöbére azért, hogy az ásványi olajat ipari léptékben leszünk képesek ehető fehérjévé alakítani a közeljövőben. Ez azonban képtelen gondolat az entrópia problémájáról szóló ismereteink fényében. A probléma logikája inkább azt az előrejelzést igazolja, hogy a szükség nyomása alatt az ember végül a fordítottjához, a zöldegek gázolajjá alakításához fog fordulni (ha ugyan még bármi hasznát fogja látni ennek).⁹ Majdnem biztosak lehetünk abban is, hogy ugyanezen nyomás alatt föl fog fedezni olyan eljárásokat, amelyek révén a napsugárzást a motort közvetlenül hajtó erővé alakíthatja. Egészen biztos, hogy egy ilyen felfedezés fogja a legnagyobb áttörést jelenteni az ember entrópia problémájára nézve, mert a hatalma alá fogja helyezni az életben maradás sokkal bőségesebb forrását is. Az újrafelhasználás és a szennyezések fölszámolása még akkor is alacsony entrópiát emésztene föl, de nem bolygónk sebesen kimeríthető állományából.

HIVATKOZÁSOK

Ayres, E. [1950]: *Power from the Sun*; Scientific American, augusztus

Bach, G. L. [1957]: *Economics*; 2. kiadás, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ

Bye, R. T. [1956]: *Principles of Economics*; 5. kiadás, Appleton-Century-Crofts, New York

Clark, C. [1963]: *Agricultural Productivity in Relation to Population*; in. Wolstenholme, G. (szerk.): *Man and his Future*, Little Brown, Boston

⁹ Azt, hogy az ötlet nem is olyan légből kapott, bizonyítja, hogy Svédországban a második világháború idején a gépkocsik olyan, egyébként rossz minőségű benzint tankoltak, amelyet fa fán történő hevítésével nyertek.

- Dodd, J. H. – Hasek C. W. – Hailstones, T. J. [1957]: *Economics*; South-Western Pub. Co., Cincinnati
- Gamow, G. [1958]: *Matter, Faith and Sky*; Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ
- Georgescu-Roegen, N. [1971]: *The Entropy Law and the Economic Process*; Harvard University Press, Cambridge, MA
- Harr, D. ter [1959]: *The Quantum Nature of Matter and Radiation*; in. Blin-Stoyle, R. J. et al. (szerk.): *Turning Points in Physics*; North-Holland, Amsterdam
- Havens, R. M. – Henderson, J. S. – Cramer, D. L. [1966]: *Economics*; Macmillan, New York
- Hull, C. H. (szerk.) [1899]: *The Economic Writings of Sir William Petty*; 2 kötet, University Press, Cambridge, Eng.
- Jevons, W. S. [1924]: *The Theory of Political Economy*; 4. kiadás, Macmillan, London
- Marshall, A. [1924]: *Principles of Economics*; 8. kiadás, Macmillan, New York
- Marx, K. [1906–1933]: *Kapital*; 3 kötet, C. H. Kerr & Company, Chicago, magyarul: *A tőke – A politikai gazdaságtan bírálata*; 3 kötet, Kossuth Könyvkiadó, Budapest, 1973 (a főszöveg oldalszám-hivatkozásai a magyar kiadásra vonatkoznak!)
- Samuelson, P. A. [1970]: *Economics*; 8. kiadás, McGraw-Hill, New York