

BARTUS GÁBOR

Van-e a gazdasági tevékenységeknek termodinamikai korlátja?

A környezetvédelmi problémák előtérbe kerülése után számosan vetették fel, hogy a közgazdaságtan nem foglalkozik a gazdaság optimális méretének meghatározásával, pedig a Föld véges anyagi keretei között a gazdaság nagyságát nem lehet minden határon túl növelni. Az ökológiai közgazdaságtani irányzat képviselői e méretkijelölés egy megfelelő természettudományos alapját a termodinamika második tételében (az entrópia törvényben) vélték megtalálni. A tanulmány arra a következtetésre jut, hogy egyrészt a közgazdaságtan figyelembe vesz számos természettudományos korlátot vizsgálata során – bár e megállapításai nem hangsúlyosak –, másrészt a gazdálkodási aktivitás kívánatos aggregált mértékét (ha létezik egyáltalán ilyen optimum, aminek megállapítása ennek az írásnak nem tárgya) biztosan nem lehet a termodinamika második tétele alapján megállapítani.

Journal of Economic Literature (JEL) kód: A12, Q50, Q57.

Milyen viszonyban állnak egymással a közgazdaságtan és a természettudományok törvényei? Mennyiben része a gazdaság a természeti környezetnek, a Föld biológiai–geológiai–kémiai rendszerének? A gazdaság szakadatlan növekedésének vannak-e materiális, fizikai korlátai? Ezek a kérdések a 20. század második felében egyre erősödő környezeti válságtudat miatt merültek fel, és többek között a válaszadás során született meg a „fenntartható fejlődés” fogalma vagy a „Gaia-hipotézis”.

A közgazdaságtan bírálói felvetették, hogy az ökonómia súlyos problémája a gazdaság optimális (értsd: a természeti erőforrásokat még éppen nem kifosztó) méretére vonatkozó kérdések negligálása, a növekedés korlátainak figyelmen kívül hagyása. Csaba [2008] szerint sem sikerült utólagosan igazolt előrejelzésekre jutni például a gazdasági növekedés fenntartható üteme vagy a nyersanyagkincsek kimerülésének időpontja tekintetében. Kerekes [2002] úgy véli, a közgazdászok zöme nem is foglalkozik azzal a problémával, hogy a gazdaság „megengedhető” méretét alapvetően meghatározza a Föld eltartó képessége.

Az 1989-ben – a International Society for Ecological Economics megalakulásával – intézményesült ökológiai közgazdaságtani (*ecological economics*) irányzat¹ szerint a gazdálkodás egyik alapvető, ha nem a legfontosabb problémája a gazdaság optimális méretének meghatározása, a növekedés elkerülhetetlen korlátozása. Érvelésük szerint a gaz-

¹ Az ökológiai közgazdaságtanról részletesebben magyarul lásd például: Kiss [1994], Zsolnai [2001], Pataki-Takács-Sánta [2004]. Angol nyelven többek között a 4. lábjegyzetben felsorolt irodalmak, valamint az *Ecological Economics* folyóirat ajánlható.

daság nem létezhet természeti erőforrások nélkül, márpedig a természeti erőforrások korlátosan állnak rendelkezésre, tehát a gazdaságnak létezik egy olyan mérete, amelynél nagyobbra növe elkezd ezen erőforrásokat véglegesen felélni, megújulásukat ellehetetleníteni (*Costanza–Daly–Bartholomew* [1991] 7–9. o. és 16–17. o., továbbá *Daly* [1991b]). Erős az a meggyőződés az ökológia iránt érzékeny közgazdászokban, hogy a gazdaság jelenlegi mérete túlnőtt a biológiai értelemben hosszú távon fenntartható nagyságon: „a természeti ökoszisztémák és a mai, gigantikus léptékű piaci rendszerek semmiképpen sem létezhetnek együtt hosszú távon” – szól *Zsolnai* [1996] (580. o.) ítélete.

Az ökológiai közgazdaságtan a gazdaság optimális méretének meghatározása lehetséges és lényeges kritériumaként – az eltartó képesség (*carrying capacity*) vagy az ökológiai gazdasági hatékonyság (*ecological economic efficiency*) (*Daly* [1996], *Lawn* [2001]) mellett – az entrópiakorlátot emeli ki. Ezzel azt hangsúlyozza, hogy a gazdálkodásnak jelentős, a fizika, illetve a termodinamika által meghúzott határai vannak. 1971-ben megjelent írásában *Georgescu-Roegen* (magyarul: [2004]) arra a megállapításra jutott, hogy az alacsony környezeti entrópia szűkösségének alapvetően meg kellene határoznia a gazdálkodás mikéntjét, vagyis a fizika, azaz a termodinamika törvényszerűségeinek alapvető iránymutatást kell adniuk a gazdálkodás számára.

Ezzel szemben Karl Popper az Utópia és erőszak című, 1948-ban publikált esszéjében azt az álláspontot foglalta el, mely szerint: „Semmilyen mennyiségű fizika sem fogja megmondani a mérnöknek, helyes-e, hogy ekét vagy repülőt vagy atombombát alkosson.” (*Popper* [2007] 34. o.) Mivel a szerző ezt a megállapítást szisztematikusan nem igazolta, ezért „Popper-nézetként” fogunk hivatkozni rá.

Vizsgálatunk menete a következő lesz. Először vázlatosan összefoglaljuk, hogy a közgazdaságtan főáramát jelentő elméletek miként veszik, vagy nem veszik figyelembe a gazdaság természettudományos fogalmakkal leírható környezetét. Másodszor röviden bemutatjuk az ökológiai közgazdaságtan nézetrendszerét, kiemelve a termodinamikai korlátot. Harmadszor összefoglaljuk a fizika álláspontját a társadalom entrópiaviszonyairól, majd ezt szembesítjük az ökológiai irányzat nézetével, azaz igyekszünk eldönteni, hogy a Georgescu-Roegen-állítás és a Popper-nézet közül melyik lehet az igaz.

A gazdálkodás fizikai korlátai a közgazdaságtanban

A klasszikus közgazdaságtani irodalom, így például az egyetemi könyvtárak polcain minden diák által könnyen elérhető tankönyvek is, igen szűkszavúak a gazdálkodás esetleges természeti, fizikai korlátairól. Ez azonban nem jelenti azt, hogy a közgazdaságtani elméletek ne vennék figyelembe ilyen-olyan módon a természeti erőforrások véges voltát, és az általánosan elérhető monográfiákat figyelmesen és kreatívan olvasók ne figyeljenek fel az ezzel kapcsolatos megállapításokra. A következőkben néhány tipikus megközelítési módot sorolunk fel.

Általános egyensúlyelméleti megközelítés. A természeti erőforrások a termelési tényezők olyan típusaként jelennek meg, amelyek szintje, növekedési vagy fogyási üteme külső, gazdaságon kívüli adottság. Az már további elméleti, iskolák közötti viták kérdése, hogy a természeti erőforrások szűkössége milyen mértékben jelent termelési korlátot. Fontos hangsúlyoznunk, hogy a gazdálkodás tárgyai a szűkös dolgok, ezért minden olyan elemzés, ahol a természeti erőforrások szűkösségét a modellező nem érzékeli, nyilvánvalóan el fogja hanyagolni a természeti tényezőt.²

² A természeti tényező megjelenéséről a közgazdasági modellekben számos információ áll rendelkezésre, például *Zalai* [2000] művében.

A termelési lehetőségek értékelése során. A közgazdaságtani elméletek hangsúlyozzák, hogy nincs ráfordítás, azaz adott esetben természeti erőforrás-felhasználás nélküli kibocsátás (Zalai [2000] 81. o), és a vállalati tevékenységet leíró termelési terv akkor megvalósítható, ha a szükséges inputok és a megfelelő technológia rendelkezésre áll (lásd például Milgrom–Roberts [2005] 102–103. o.).

Praktikus növekedésméleti megközelítés. A természeti erőforrások korlátossága mint a gazdasági növekedést megkötő tényező jelenik meg. A természeti erőforrások szűkössége, állományának nagysága figyelembe vehető az elemzésekben.³ Az értékelések visszatérő megállapítása, hogy a szükségszerűen felmerülő és nagyságukban növekvő környezetvédelmi költségek forrásokat vonnak el a beruházásoktól vagy a technikai fejlesztéstől, így a növekedés üteme hosszabb távon kisebb lehet (Erdős [2003] 247–267. o.).

Optimalizációs megközelítés. A fenntartható hozam koncepciója megmutatja, hogy a biológiai úton megújuló erőforrásból mekkora a lehetséges kitermelés. Tömören fogalmazva, a fenntartható hozam az a legnagyobb kitermelhető mennyiség, amely a populáció adott mérete mellett éppen egyenlő az éves gyarapodással. A biológiai úton megújuló erőforrások kitermelését tehát az adott ökoszisztéma ökológiai korlátai (a fenntartható hozam nagysága) és a kitermelő gazdasági tevékenység jellemzői (a kitermeléssel elérhető bevételek és költségek) együttesen határozzák meg.

Az ökológiai közgazdaságtan alternatív ideái⁴

Az ökológiai közgazdaságtan deklarált célja egy egységes elmélet megalkotása, amelynek keretében összefüggésükben leírhatók és megmagyarázhatók a gazdaság jelenségei, tekintettel a környezettel kapcsolatos valamennyi kölcsönhatásukra (Costanza [1989]). Az ökológiai közgazdaságtan tehát a „hagyományos” közgazdaságtan, a környezet-gazdaságtan (*environmental economics*), a természeti erőforrások gazdaságtana és az ökológia rendszerszerű egyesítését kívánja elérni (lásd 1. táblázat).

A gazdasági rendszeren belül maradó kezdő- és végpontú eseményekkel a *közgazda-*

1. táblázat

Az ökológiai közgazdaságtan által egyesítendő tudományágak

		A kölcsönhatást „fogadó” rendszer	
		gazdaság	környezet
A kölcsönhatást „indító” rendszer	gazdaság	„hagyományos” közgazdaságtan	környezet-gazdaságtan (vagy: szennyezések gazdaságtana) és környezeti hatásvizsgálat
	környezet	erőforrás-gazdaságtan és környezeti hatásvizsgálat	„hagyományos” ökológia

Forrás: Costanza–Daly–Bartholomew [1991].

³ A természeti tényezők integrálhatók például a Cobb–Douglas termelési függvénybe, lásd Pezzey–Toman [2002].

⁴ E fejezet alapvetően a következő forrásokra támaszkodik: Costanza [1989], [1991], [1997], Costanza–Daly–Bartholomew [1991], Costanza és szerzőtársai [1997], Daly [1990], [1991a], [1991b]; Daly–Cobb [1994], Faber–Mamstetten–Proops [1996].

ságtan foglalkozik, míg az ökológia vizsgálati terepe a természeti környezet határain belül maradó kapcsolatok vizsgálata. A két rendszer kölcsönhatásait eddig a környezet-gazdaságtan (a gazdaságból a környezet felé menő zavarások: szennyezések, hulladékok) és az erőforrás-gazdaságtan (a megújuló és nem megújuló erőforrások kitermelésével kapcsolatos kérdések) vizsgálta. Az ökológiai közgazdaságtan szerint (2. táblázat) szükséges e négy, eddig egymástól elszigetelt vizsgálati módszer és elmélet egyesítése, hogy a gazdaság és környezete kérdéseit egységben tudjuk szemlélni.

Még tovább halad a rész tudományok egyesítési szándékában *Faber–Manstetten–Proops* [1996]. Szerintük nemcsak a közgazdaságtant és az ökológiát kell integrálni, hanem az ökológiai közgazdaságtan fogalmába bele kell tartozniuk a többi természettudománynak, sőt a mérnöki tudományoknak is, mivel ezek is vizsgálnak a környezettel kapcsolatos jelenségeket (például a szennyezőanyagok terjedését vagy éppen a szennyezőanyag-kibocsátást mérséklő technológiákat).

2. táblázat

A környezet-gazdaságtan és az ökológiai közgazdaságtan néhány jellemző különbözősége

	Környezet-gazdaságtan	Ökológiai közgazdaságtan
Tudományág	A közgazdaságtani paradigma része, a közgazdaságtani módszerek és tételek kiterjesztése a gazdaság–környezet kapcsolatra is	A hagyományos közgazdaságtani paradigma részbeni elvetése, az ökológia és a közgazdaságtan egyesítésének szándéka
Módszer	Metodológiai individualizmus, analitikus megközelítés (marginális elemzés, egyensúlyi modellek)	Metodológiai pluralizmus, holisztikus szemlélet, transzdiszciplináris, horizontális megközelítés
Természeti erőforrások kezelése	Az erőforrások megóvása az egyének jólétének javításához, szinten tartásához szükséges	Az erőforrások önmagukban értékesek, más fajoknak ugyanolyan joguk van a túléléshez, mint az embernek
Értékelés	Az egyének preferenciáin alapul, antropocentrikus, instrumentális	Az ökoszisztéma egyedeinek és elemeinek belső értékét (<i>intrinsic values</i>) próbálja megközelíteni
Szűkösség	Ricardói relatív szűkösség	Malthusi abszolút szűkösség
A természeti tőke fenntartása	Az „enyhe” fenntarthatóság: a természeti és az emberi tőke általában helyettesíthető	A „szigorú” fenntarthatóság: a természeti tőke állománya nem csökkenhet
A gazdaság biogeokémiai korlátai	Marginális szerepe van	Központi vizsgálati és elméleti szerepe van
Technológiai fejlődés	Innovációs optimizmus: a műszaki fejlődés elősegíti a környezeti problémák megoldását	Technológiai szkepticizmus: az új technológiák új környezeti problémákat okoznak
Jólét és egyenlőség	Politikai filozófiai semlegesség, nem foglal állást a jövedelmi egyenlőség kérdésében	Elkötelezettség az egalitárius nézetek mellett, az erőforrásokhoz való egyenlő hozzájutás – a méret és a hatékonyság mellett – alapkérdés

Forrás: a táblázat az ezen fejezethez felhasznált irodalmakon és különösen *Venkatachalam* [2007] munkáján alapul.

Az ökológiai közgazdaságtan egyértelműen hangsúlyozza, hogy a gazdaság csak rész-rendszer a természeti rendszernek, azaz a gazdaság nem vonhatja ki magát a természet-tudományos igazságok és korlátok alól. Így például nem lehetséges állandó és vég nélküli gazdasági növekedés egy véges anyagi rendszerben.

Az elméletek egyesítésének célja a világ jobb megértésén túl, hogy megfelelő alapot adjon az emberi jólét olyan kiteljesítéséhez, amely a gazdasági fejlődés mellett a természeti környezet megóvását és a szociális-gazdasági egyenlőséget is biztosítja a fenntartható fejlődés fogalomrendszerének alkalmazásával.

Az ökológiai közgazdaságtan hangsúlyozza, hogy a jelenlegi gazdasági rendszer képtelen különbséget tenni a méretbeli változás, a növekedés, valamint a minőségi javulás, a fejlődés között, továbbá két fundamentális kérdést képtelen megfelelően kezelni: az elosztást (az egyenlőséget) és a gazdaság egésze optimális méretének meghatározását.

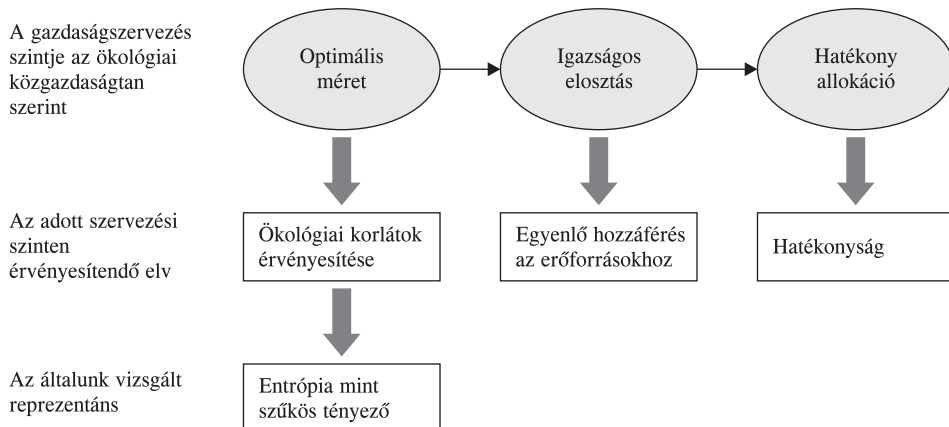
Az ökológiai irányzat képviselői általában a fenntarthatóság szigorú értelmezése mellett foglalnak állást, kiemelve, hogy a természeti tőkejavak tudás- vagy technológiai tőkével való helyettesítése leértékeli a természeti javakat. Úgy látják, hogy a humán tőke megfelelő fenntartásának előfeltétele a természeti tőke megőrzése, hiszen az ember nem nélkülözheti biológiai környezetét. Ezért kiemelt cél a biodiverzitás fenntartása. S ezért jelentős kutatási terület a környezet által nyújtott „szolgáltatások” gazdasági értékének meghatározása.

Az ökológiai közgazdaságtani szemlélet elterjedésének egyik lényeges jelensége, hogy a környezeti problémák deperszonalizálódtak. Míg a klasszikus környezetgazdasági analízisekben mindig is jelen voltak olyan személyek, akiket valamilyen kár ért, a modern elemzésekben már sok esetben szó sincs személyekről, hanem általában a környezetnek, a természetnek okozott kárról (lásd erről például: *Cordato* [2004]). Felmerül a kérdés, mi is tulajdonképpen a „környezetszennyezés”? Egy adott anyag mennyiségének növekedése a környezeti elemekben, amelynek ökológiai következményei vannak, vagy az emberek egymás közötti kölcsönhatásainak egyfajta speciális anomáliái, konfliktusai? Másképpen fogalmazva: lehet-e környezetszennyező Robinson Crusoe (még Péntek felbukkanása előtt)? Az ökológiai közgazdaságtan válasza határozott igen.

Valamelyest leegyszerűsítve az ökológiai közgazdaságtan elemzési logikája három, sorba kapcsolt kérdést vizsgál (*1. ábra*):

1. ábra

A gazdaságszervezés szintjei az ökológiai közgazdaságtan szerint és vizsgálatunk tárgya



Az első lépésben a feladat a gazdaság optimális méretének meghatározása. A méret kérdésében kitüntetett szerepe van az ökológiai, természettudományos tényezőknek. (Ezt az elemet, illetve ennek egyik, termodinamikai oldalát vizsgáljuk majd részletesen a továbbiakban, így ebben az írásban az entrópia szűkösségére vonatkozó elv reprezentálja az ökológiai, természettudományos korlátokat.)

A második lépésben már adottnak veszik az optimális méretet, melyen belül el kell dönteni az igazságos elosztás kérdését. A javak – de különösen a természeti erőforrások – egyének és nemzetek közötti elosztásában az egyenlő hozzáférés biztosításának kívánalma lesz a vezérlő elv.

A harmadik lépésben a már megállapított optimális méret és elosztás létrehozása érdekében kell hatékony allokációt megvalósítani, mely a piac feladata lehet.

Az ökológiai közgazdaságtan tehát kritizálja a „neoklasszikus” közgazdaságtant, mert a gazdasági szempontból lényeges három alapvető kérdéskört – hatékony allokáció, igazságos elosztás, optimális méret – nem kezeli egyenlő súllyal. *Costanza és szerzőtársai* [1997] szerint e három alapkérdés azonos figyelmet érdemel, miközben a „neoklasszikus” elmélet az allokációra koncentrál, még valamennyire figyelembe veszi az elosztást, de teljesen elhanyagolja a méret kérdését.

Az entrópia kitüntetett szerepe az ökológiai közgazdaságtanban

Az ökológiai közgazdaságtan lényeges tétele, hogy mivel a Föld termodinamikai értelemben zárt rendszer, így az „alacsony” entrópia szűkös jószág, azzal gazdálkodni kellene.

Az ökológiai közgazdászok szerint a gazdaság és annak környezete egységes rendszert alkot, amely ráadásul nem írható le részeinek algebrai összegeként. A Föld több mint a gazdaság + élő rendszerek összeadás eredménye. Az ember alkotta gazdasági rendszer csak részhalmaza a földi biológiai, kémiai, geológiai rendszernek, nem növekedhet túl annak határain (*Costanza és szerzőtársai* [1997] 56–63. és 79. o.). A gazdasági rendszert tehát szembe kell vetni fizikai alapjaival, az anyagi, természetes világ valóságával.

Az emberi tevékenységek kiterjedt, a Föld ökoszisztémáját alaposan elfoglaló módjára legbeszédesebben az az adat mutat rá, amely szerint az emberiség használja fel a szárazföldeken zöld növényekben fotoszintézissel létrehozott úgynevezett nettó primer biomassza 40 százalékát (*Vitousek és szerzőtársai* [1986]).

Az ökológiai közgazdaságtan a gazdaság aktivitása környezeti hatásainak egyik mércéjéül az entrópia mennyiségének a változását választotta. Megállapította, hogy a gazdaság rendkívül gyors mértékben növeli a Föld entrópiáját, s a jelen generációk, kimerítve az alacsony entrópiájú lehetőségeket, ilyen módon is hátrányos helyzetbe hozzák az utáunk következő nemzedékeket.

Az ökológiai közgazdaságtan szerint a termodinamika második törvénye korlátozza a fogyasztást és a termelést, nemcsak a folyamatos gazdasági növekedés lehetetlen, hanem az állandósult állapotú gazdaság is illúzió. A gazdasági tevékenységek által előidézett entrópiaváltozás tulajdonképpen a fenntarthatóság mércéje. A piaczgazdaság korlátozottságára utal, hogy e termodinamikai törvényszerűségek nem tükröződnek a piaci árakban (*Faber–Mamstetten–Proops* [1996] 125. o.).

Daly [1986] ezt a problémát így foglalta össze: „... a fenntarthatóság, akár az igazságosság, olyan érték, amely nem valósítható meg tisztán individualista piaci tevékenységek révén. Ezek az értékek, amelyekre tehát az individualista piac vak, csak úgy tükröződhetnek a piaci árakban, ha a piac a közösség által konstruált makroszintű, az előbbi értékek megvédésére tervezett korlátok között működik.” (320. o.)

Az entrópia – mint makroszintű korlát – fontosságának hangsúlyozását a gazdaság

működése szempontjából nemcsak az ökológiai irányzat képviselői tartották fontosnak, de ez a megközelítés megjelent a hagyományos környezet-gazdaságtani gondolkodásban is. Csutora-Kerekes [2004] erről például így ír: „az »értékkeremtés«, amit a gazdasági rendszer végeze (...) kis entrópiájú természeti erőforrásoknak nagyobb entrópiájú hulladékká történő átalakítása. (...) Az a vállalat, amelyik az emberi szükségleteket kis entrópiánövekedéssel elégíti ki, értékkerentőbb, mint az, amelyik a szükséglet ugyanolyan mérvű kielégítése közben nagyobb entrópiánövekedést idéz elő.” (13–14. o.)

Hasonlóan hangsúlyozza az „entrópiatörvény” jelentőségét Szlávik [2005] (34–35. o.) is.

Entrópia és gazdaság

Az entrópia – Rudolf Clausius 1854-ben bevezetett, a termodinamika második főtételében kulcsszerepet játszó – fogalma azokat a jól ismert jelenségeket segít megmagyarázni, amelyek szerint a hő nem áramlik magától a hidegebb testről a melegebb felé, illetve hogy lehetetlen másodfajú *perpetuum mobilét* konstruálni, azaz a hőt nem lehet százszázalékos hatásfokkal mechanikai munkává alakítani (lásd erről például Simonyi [1986] 348–350. o.). Más megközelítésben az entrópia a rendezetlenség mértéke, azt jelzi, hogy az energiafajták nem egyenlő „hasznosságúak”, s ez a „hasznosság” attól függ, mennyire rendezett körülmények között létezik az adott energiafajta. Lényeges azonban, hogy az entrópia a termodinamikai rendszerek extenzív állapotjelzője (mértékegysége: Joule/Kelvin), ráadásul absztrakció (nem dolog vagy anyag), hiszen a rendszerekben belüli vagy rendszerek közötti folyamatok eredményeképpen az anyagi rendszerekben létrejött állapot megváltozását segít leírni (lásd erről részletesen Floyd [2007] 1029–1044. o.).

Szűkös tényező-e az entrópia?

Az ökológiai gazdaságtan hívei éppen a gazdasági tevékenységek nagymértékű entrópianövelő hatását tartják az egyik leglényegesebb megoldandó problémának. Ezen tudományág létrejöttét nagyban befolyásolta Nicholas Georgescu-Roegen 1971-ben megjelent cikke Az entrópia törvénye és a gazdasági probléma címmel. A szerző szerint „a végkiemenetel 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 közeljövőben, ám 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 a létért folytatott küzdelemben.” (Georgescu-Roegen [2004] 52. o.)

A szerző következtetése az volt, hogy „az ember gazdasági igyekezetének középpontjában az alacsony környezeti entrópia áll”, továbbá, hogy az alacsony környezeti entrópia szűkösségének alapvetően meg kellene határoznia a gazdálkodás mikéntjét. Vagyis az ökológiai közgazdaságtan szerint az entrópia – pontosabban annak alacsony értékű állapota – szűkös jószág, amivel gazdálkodnunk kellene. Ugyan Georgescu-Roegen nem mondja ki, mondanivalójukból az következik, hogy korlátozni kellene az úgynevezett

luxuszjavak fogyasztását – amilyen egy Cadillac is – annak érdekében, hogy a jövőben is lehetőségünk legyen ekét és lapátot előállítani.

Ez a gondolatmenet feltűnően hasonlít Hermann von Helmholtz 19. századi német fizikus borúlátó jóslatára a világegyetem haldoklásáról, amely elgondolás hőhalál-elméletként lett közismert. Mivel a termodinamika második főtétele egyetemes törvényszerűség, továbbá a világegyetem izolált rendszer – mert a definíció szerint nincs környezete, hiszen rajta kívül semmi sem létezik –, ezért a világegyetem egészében az entrópia csak nőhet. Márpedig akkor valamikor el kell érnie termodinamikai egyensúlyi állapotát (amikor is minden hőmérséklet-különbség megszűnik), s „ennek elérése után valószínűleg egészen az örökkévalóságig semmi említésre érdemes esemény nem fog történni” (Davies [1994] 22. o.). Egyetlen reményünk talán az lehet, hogy ez a folyamat rendkívül lassan következik be, azaz az entrópiánövekedési folyamatot, amennyire lehetséges, érdemes csökkenteni, azaz lemondani Cadillacek gyártásáról.

Daly az eredeti entrópiaelmélet finomításával igyekezett a tételt a gyakorlatban is alkalmazhatóvá tenni és a kritikáktól megvédeni (Daly [1991a] 227. o.). A módosított elképzelés az entrópiaváltozás vizsgált időtartam szerinti felosztásán nyugszik.

Az entrópia alakulását megfigyelhetjük rövid távon, pillanatról pillanatra. Ekkor az entrópiát mint az idő irányát meghatározó tényezőt vehetjük figyelembe. Az idő ugyanis „abba az irányba folyik”, amerre az entrópia növekszik. Hosszú távon, az univerzum létezési idejét tekintve értelmezhető az entrópia mint egy végleges egyensúlyi helyzet, a tökéletes rendezetlenség jellemzője. Daly szerint az entrópiának ezen két szélsőséges időkeretben nincs relevanciája az ökológiai közgazdaságtanban.

Amit ellenben vizsgálni érdemes és szükséges, az az entrópia középtávú alakulása. Középtávon, mint amennyi például egy embergeneráció vagy egy ember átlagos idő- vagy élettartama, tehát 25–75 éves periódusban – állítja Daly – az alacsony entrópiát szállító energiafluxus, a napsugárzás konstans, ugyanakkor áramában korlátos, miközben az emberi társadalom működése jelentősen apasztja az alacsony entrópia földi forrásait, készleteit.

Georgescu-Roegen gondolatmenete – még a Daly-féle kiegészítéssel is – több ponton kiegészíthető, vitatható. *Käberger-Månsson* [2001] a Georgescu-Roegen-tétel problémáját alapvetően két tévedésre vezeti vissza: egyfelől az anyagi és energiaentrópia szétválasztására, másfelől a klasszikus termodinamika és a statisztikus mechanika összekapcsolására.

Ebben az írásban azzal kívánunk e vitához hozzájárulni, hogy a következőkben megkíséröljük szisztematikusan összefoglalni a gazdaság entrópiakorlátjával kapcsolatos érveket.

Először is az entrópia akkor is növekedne, ha nem lenne ember, s nem lenne gazdaság. Az entrópiánövekedés a világegyetemre jellemző általános sajátosság, a létezés inherens velejárója.

Másodszor az entrópia megállíthatatlanul csak izolált rendszerben növekszik. Egy a környezetével energetikai kölcsönhatásban álló (nyílt vagy zárt) rendszerben ugyanis az entrópia csökkenthető energiabefektetéssel a környezet entrópiánövekedésének árán, miközben a vizsgált rendszer és a környezete összes entrópiájának növekednie kell. Azaz míg a világegyetem összes entrópiája növekszik, mindeközben egyes lokális tartományokban az entrópia csökkenhet (Barrow [1994] 37. o.).

Tekintsünk egy rendszert, amelynek belső entrópiája S_i , s álljon energetikai kapcsolatban környezetével, amely által entrópiája dS_e mennyiséggel megváltozhat. E nyílt rendszer összes entrópiaváltozása tehát két tényezőtől fog állni, a rendszeren belüli entrópiánövekedésből és a környezetből érkező entrópiafluxusból:

$$dS = dS_i + dS_e \quad (1)$$

dS_i értéke a második főtételek szerint csak pozitív lehet, dS_e azonban lehet nullánál kisebb is, nagyobb is (vagy éppen azzal egyenlő). Valószínű lehet akár a következő eset is:

$$\text{ha } dS_e < 0 \text{ és } |dS_e| > dS_i, \text{ akkor } dS < 0. \quad (2)$$

Ezért téves Georgescu-Roegen azon állítása, hogy egy Cadillac előállításával visszavonhatatlanul elpusztítunk egy adag alacsony entrópiát. Természetesen minden gazdasági aktus növelheti az entrópiát, de nem visszavonhatatlanul, mert energiabefektetéssel az entrópia csökkenthető. Ez történik például akkor, amikor a csomagolóeszközöket újrahasznosítjuk, vagy rávesszük gyermekeinket, hogy rakjanak rendet a szobájukban.

Másképpen megfogalmazva: az entrópia „nem marad egy helyben”, az importálható és exportálható. A Földön képződő entrópia legnagyobb mennyisége infravörös sugárzással távozik a világűrbe. Vagyis hiába termelnek entrópiát például az emberi civilizációs tevékenységek, a Föld állapota entrópiikus szempontból éppen ennek folyamatos exportja miatt nagyjából állandó (lásd erről *Scott* [2002]; *Rosen-Scott* [2003]).

Megjegyezzük, hogy az sem feltétlenül igaz, hogy a gazdasági tevékenységek inputjai mindig alacsony, kimenetei pedig magas entrópiájú anyagok lennének. A tengervíz-sótalanítás során például a nagy entrópiájú tengervízből kisebb entrópiájú ivóvíz készül. A települési szilárdhulladék-lerakókban pedig az anyagok viszonylag alacsony entrópiájú állapotba kerülnek (*Kåberger és Månsson* [2001]).

Ayres [1998] is arra hívja fel a figyelmet, hogy a napsugárzás bár áramában korlátos, óriási mennyiségű alacsony entrópiájú energiát szállít a Földre. A napsugárzás energiájának jelenleg 3 százalékát hasznosítjuk (elsősorban a növények a fotoszintézissel s elhanyagolható mértékben mi magunk a különböző technológiákkal, például a napelemekkel), s a gazdaság akár megtízszerezhetné a napenergia felhasználását. *Ayres* kiemeli, hogy maga a bioszféra is alacsony entrópiát teremt, amikor az élővilágban magasan szervezett struktúrákat (élő szervezeteket) hoz létre. Amivel gazdálkodni kell tehát, azok a gazdaságba bevonható alacsony entrópiájú energiaforrások (*exergy*), amelyek földi készletei – tehát a napsugárzástól különböző forrásai – valóban korlátosan állnak rendelkezésünkre. A szűkösség tehát pusztán abból fakad, hogy a napsugárzás helyett földi energiakészleteket használunk energiaforrásként, ami a napenergia bővülő alkalmazásával feloldható, s ami *Ayres* szerint nem az entrópiával kapcsolatos fundamentális kérdés, hanem technológiai, műszaki probléma.

A kételkedők még azt szögezhetik ez ellen, hogy ha a Föld entrópiája csökkenthető energiabefektetéssel a Föld környezete entrópiánövekedésének rovására, akkor mi van abban az esetben, ha a környezet entrópiánövekedésének korlátai vannak? Meddig növelhető a világegyetem entrópiája, hogy közben a Föld entrópiáját helyenként csökkenteni lehessen?

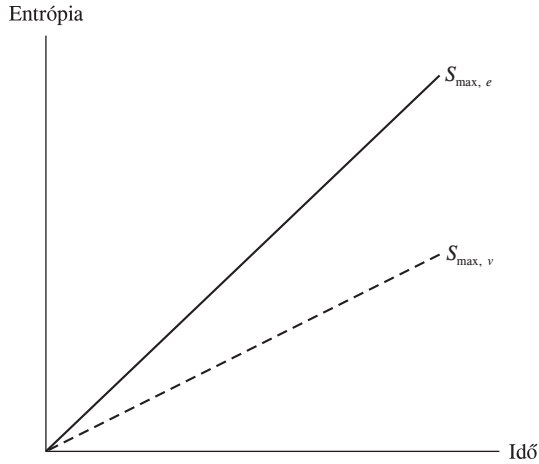
A válasz az, hogy nagyon sokáig. Az az időtartam, amíg minden csillag eltűzelve üzemanyagát összeomlik, a fekete lyukak gravitációs energiája is elenyészlik, s a világegyetem egy fotonokból, neutrínókból és egyéb atomi részecskékből álló „nagyon híg leves lesz”, minden emberi képzeletet meghalad. „Nincs olyan természeti törvény, amely lehetetlenné tenné fajunk örök életét” (*Davies* [1994] 107–108, illetve 110. o.).

Mindez a világegyetem rendezettségével és tágulásával van összefüggésben. Egyfelől a világegyetem összes entrópiája – mintegy 15 milliárd évvel annak keletkezése után – még mindig meghökkentően alacsony érték, a világegyetem roppant rendezett állapotban van (*Barrow* [1994] 39. o.). Másfelől bár a táguló világegyetem entrópiája folyamatosan nő, ezzel párhuzamosan – a tágulással együtt – annak az entrópiaplafonnak az értéke is nő, amit el kellene érniünk a hőhalál állapotának bekövetkezéséhez.

A táguló világegyetemben az entrópia lehetséges maximális nagysága folyamatosan nő (a 2. ábrán az $S_{\max,e}$ görbe ábrázolja), ráadásul gyorsabban, mint a világegyetem adott

2. ábra

A világegyetem entrópiájának alakulása Barrow [1994] (39. o.) szerint



pillanatra jellemző összes tényleges entrópiája (a 2. ábrán az $S_{\max, v}$ görbe reprezentálja) (Barrow [1994] 39. o.).

Azaz – *harmadszor* – a földi entrópia csökkentésének nem akadálya az, hogy mindenközben mennyivel növeljük a világegyetem entrópiáját, mivel ez a lehetőség gyakorlatilag kimeríthetetlen (habár nem végtelen), de legalábbis az emberiség entrópiánövelő képességeihez képest jóval nagyobb.

Ráadásul – *negyedszer* – az emberi civilizáció jelentéktelen mértékben járul hozzá a Föld entrópiatermeléséhez (lásd a 3. táblázatot).

Az ugyan kétségtelen, hogy a termelési-fogyasztási technológiák kifejlesztésével az emberi faj entrópiatermelése mintegy kétszázszorosára növekedett, de ez még így is négy nagyságrenddel kisebb a Föld geokémiai rendszerének, élettelen alkotóinak entrópiaproduktumához képest.

3. táblázat

Entrópiatermelők hozzájárulása a Föld entrópiaprodukciónak Rosen–Scott [2003] szerint

Entrópiatermelők	Az entrópiatermelés nagysága (TW/K)
<i>A Föld bolygó élettelen alkotói (élőlények nélkül)</i>	
– minden beérkező napsugárzás figyelembevételével	580–680
– a napsugárzás nettóinput-értéke alapján	400–600
Bioszféra (minden élőlény az ember kivételével)	0,32
<i>Az emberi civilizáció energetikai rendszere</i>	
– minden energiaforrás figyelembevételével	0,048
– csak az exogén energiaforrások figyelembevételével	0,042
– csak a nem exogén energiaforrások figyelembevételével	0,006
<i>A Föld népessége</i>	
– átlagos emberekkel számolva	0,0027
– kisméretű, inaktív emberekkel számolva	0,0020
– nagy növésű, aktív emberekkel számolva	0,0033

Mindez persze nem jelenti azt, hogy az entrópiaviszonyok teljesen érdektelenek lennének. Mivel életünk során rendezett struktúrákat szeretnénk létrehozni (rendrakás az íróasztalon, házépítés, egy Cadillac összeszerelése), ehhez energiát kell befektetni. Ha az energia „energiakonzervekből” (fosszilis források, urán) származik, az ezen energiahorodozók anyagának átalakítása (például szén kibányászása, szállítása és eltüzelése) számos környezetszennyezés forrása lesz. Minél nagyobb mértékben és hatékonyabban (olcsóbban) tudjuk a Nap folyamatosan érkező energiáját munkába állítani, annál inkább „pazarolhatunk” azzal, hiszen a megújuló energiaforrások használata kisebb szennyezéssel jár.

Egy másik eset, ahol az entrópiaváltozásnak jelentősége van, amikor egy adott elem rendezett készletét (például szén, szénhidrogének) úgy használjuk fel, hogy a vizsgált elem rendkívül rendezetlen állapotba (a szén-dioxid egyenletesen eloszlik a légkörben) kerül. Ekkor, ha már minden rendezett készletet elfogyasztottunk, s még mindig szükségünk van az adott elemre, kénytelenek leszünk rendkívül bonyolult technológiákkal, magas költséggel kinyerni az adott elemet a rendezetlen állapotú előfordulásaiból. A melléktermékek, hulladékok jelentős részét (így például szemet is, mondjuk a műanyag palackok alkotórészeként) azonban rendezett módon tároljuk, például a hulladéklerakókban. Fontos megállapítani, hogy a szén átalakítása szén-dioxiddá elsősorban nem azért jelent veszteséget a gazdaság számára, mert így abban a folyamatban az entrópia növekedett, hanem azért, mert a szén oxidált állapotba került (oxidációs száma 0-ról +4-re növekedett).

Következtetések

Nem teljesen tagadva tehát az entrópia jelentőségét az emberi élet számára, állításunk az, hogy nincs oka annak, hogy gazdasági rendszerünket alapvetően az entrópia alakulására alapozzuk. Az emberi élet szempontjából az entrópia aktuális nagysága közömbös. Nincs olyan összefüggés, amely szerint az élet minősége növekedne az entrópia csökkenésével. (Sőt, a világegyetem kezdőpillanata, amikor az entrópia minimális volt, igen barátságatlan környezet lett volna az ember számára.) A Föld entrópiája nagyjából állandó, az emberi tevékenységek révén keletkező entrópiatöbbletet a világűrbe exportáljuk, ráadásul az emberi civilizáció entrópiatermelése eltörpül négy nagyságrenddel a Föld élettelen alkotóinak és egy-két nagyságrenddel a bioszférának az entrópiatermelése mögött. Ez persze nem jelenti azt, hogy egyes, az entrópiát növelő tevékenységek kapcsán ne lenne ok a módosításra, azonban a problémát ez esetekben nem önmagában az entrópiaváltozás (hanem például az oxidáció vagy a folyamat környezeti, ökológiai hatásai) jelenti.

Georgescu-Roegen és követői (például *Daly* [1997] 261–266. o.) tehát egyszerűen olyan területre terjesztették volna ki az entrópia fogalmának érvényességét, ahol az definíció szerint érvénytelen. A „[m]inden alkalommal, amikor gyártunk egy Cadillacet, visszavonhatatlanul elpusztítunk egy adag alacsony entrópiát, amit egyébként eke vagy lapát előállítására is lehetne használni” típusú érvelés azt a félreértést reprezentálja, hogy az entrópia anyag lenne.

Nincs olyan termodinamikai kényszer tehát, aminek hatására mindenképpen le kellene mondanunk egyes termékek előállításáról. Úgy tűnik, nem lehet, mert nincs semmi értelme az emberi gazdaság működésének optimális méretét a gazdaság entrópiatermelése alapján megállapítani. Az entrópia (vagy az „alacsony környezeti entrópia”) e szerint tehát nem szűkös jószág.

Általában érdemes óvatosan bánni egyes tudományok tételeinek más tudományokba történő exportálásával. A gazdaság aggregált méretének, illetve a gazdasági növekedés kérdéseinek természettudományos törvényekkel való összevetésekor alapvető probléma, hogy a gazdaság mérete vagy a gazdasági növekedés számítása gazdasági mértékegység-

ben (pénzben) történik, míg a Föld anyagi világát tömeg- (vagy más fizikai) egységekben mérjük. Az „anyagilag véges Földön lehetetlen a korlátlan gazdasági növekedés” jellegű érvelés nehézsége, hogy tonnát vagy milligrammot vetünk össze dollárral vagy euróval. Ami természetesen lehetetlen, az az anyagfelhasználás minden határokon túl való növelése, ami nem azonos a gazdasági növekedés, a gazdasági értékteremtés korlátozásának szükségességével. Az ökológiai fenntarthatóság biofizikai probléma, s nem gazdasági, ezért a természeti erőforrások gazdaságba való bevonásának vagy elszennyezésének még elviselhető mértékét biofizikai elemzés mutathatja meg (*Lawn* [2001]).

A fizika, a kémia, a biológia és az ökológia törvényszerűségeit természetesen figyelembe lehet és kell venni, de elsősorban azon a szinten, olyan aggregátság mellett, ahogyan a környezetet fenyegető kockázat megjelenik. A fakitermelést korlátozza az erdő reprodukciós képessége, a mezőgazdasági tevékenységeket a talaj hosszú távú termőképessége és más biológiai adottságok (lásd erről például *Eichner–Pethig* [2006]), a levegőszennyező anyagokat kibocsátó termelőket az, hogy az egyes anyagokat az élő egyedek szervezete milyen mennyiségben képes még elviselni, s a példákat még hosszsan sorolhatnánk. Ezekben az esetekben a természettudományos ismeretek alapján ésszerűen korlátozhatjuk adott tevékenységek volumenét, intenzitását.⁵ A gazdaság teljes méretének meghatározását, a gazdaságszervezés alapvető kérdéseinek megválaszolását azonban a fizika nem fogja tudni megoldani. Karl Popper nézete egyelőre kiállja az idő próbáját.

Hivatkozások

- AYRES, R. U. [1998]: Eco-thermodynamics: economics and the second law. *Ecological Economics*, Vol. 26. 189–209. o.
- BARROW, J. D. [1994]: A világegyetem eredete. Kulturtrade, Budapest.
- CORDATO, R. [2004]: Toward an Austrian Theory of Environmental Economics. *The Quarterly Journal of Austrian Economics*, Vol. 7. 3–16. o.
- COSTANZA, R. [1989]: What is Ecological Economics? *Ecological Economics*, Vol. 1. 1–7. o.
- COSTANZA, R. (szerk.) [1991]: *Ecological Economics: The Science and Management of Sustainability*. Columbia University Press, New York.
- COSTANZA, R. [1997]: *Frontiers in Ecological Economics: Transdisciplinary Essays*. Edward Elgar, Cheltenham (Egyesült Királyság)–Lyme (Egyesült Államok).
- COSTANZA, R.–CUMBERLAND, J.–DALY, H. E.–GOODLAND, R.–NORGAARD, R. [1997]: *An Introduction to Ecological Economics*. CRC Press, Boca Raton, FL, Egyesült Államok.
- COSTANZA, R.–DALY, H. E.–BARTHOLOMEW, J. A. [1991]: Goals, Agenda, and Policy Recommendation for Ecological Economics. Megjelent: *Costanza* [1991] 1–20. o.
- CSABA LÁSZLÓ [2008]: Módszertan és relevancia a közgazdaságtanban. *Közgazdasági Szemle*, 4. sz. 285–307. o.
- CSUTORA MÁRIA–KEREKES SÁNDOR [2004]: *A környezetbarát vállalatirányítás eszközei*. KJK–Kerszöv, Budapest.
- DALY, H. E. [1986]: Thermodynamic and economic concepts as related to resource-use policies: comment. *Land Economics*, Vol. 62. 319–322. o.
- DALY, H. E. [1990]: Toward some operational principles of sustainable development. *Ecological Economics*, Vol. 2. 1–6. o.
- DALY, H. E. [1991a]: *Steady-State Economics*. Island Press, Washington, DC.
- DALY, H. E. [1991b]: *Elements of Environmental Macroeconomics*. Megjelent: *Costanza* [1991] 32–46. o.
- DALY, H. E. [1996]: *Beyond Growth*. Beacon Press, Boston.

⁵ A halászat példáján, játékelméleti módszertant alkalmazva jut például ugyanerre az eredményre *Scheffran* [2000] is.

- DALY, H. E. [1997]: Georgescu-Roegen versus Solow/Stiglitz. *Ecological Economics*, Vol. 22. 260–266. o.
- DALY, H. E.–COBB, J. B. JR. [1994]: For the common good: Redirecting the economy toward community, the environment, and a sustainable future. Beacon Press, Boston.
- DAVIES, P. [1994]: Az utolsó három perc. Feltevések a világegyetem végső sorsáról. Kulturtrade, Budapest.
- EICHNER, TH.–PETHIG, R. [2006]: Economic land use, ecosystem services and microfounded species dynamics. *Journal of Environmental Economics and Management*, Vol. 52. 707–720. o.
- ERDŐS TIBOR [2003]: Fenntartható gazdasági növekedés. Akadémiai Kiadó, Budapest.
- FABER, M.–MANSTETTEN, R.–PROOPS, J. [1996]: *Ecological economics: Concepts and methods*. Edward Elgar, Cheltenham (UK)–Northampton (MA, US).
- FLOYD, J. [2007]: Thermodynamics, entropy and disorder in futures studies. *Futures*, Vol. 39, 1029–1044. o.
- GEORGESCU-ROEGEN, N. [2004] (angol eredetiben: 1971): Az entrópia törvénye és a gazdasági probléma. Fordította: *Kaucsik Zoltán*. Megjelent: *Pataki György–Takács-Sánta András* (szerk.): *Természet és gazdaság – ökológiai közgazdaságtani szöveggyűjtemény*. Typotex, Budapest.
- KÁBERGER, TH.–MÄNSSON, B. [2001]: Entropy and economic processes – physics perspectives. *Ecological Economics*, Vol. 36.165–179. o.
- KEREKES SÁNDOR [2002]: Védhető-e a környezet közgazdasági alapon? Megjelent: *Pálvölgyi Tamás–Nemes Csaba–Tamás Zsuzsanna* (szerk.): *Vissza vagy hova? Útkeresés a fenntarthatóság felé Magyarországon*. Tertia, Budapest, 55–64. o.
- KISS KÁROLY [1994]: *Ezredvégi Kertmagyarország*. V-Kiadó, Budapest.
- LAWN, PH. A. [2001]: Scale, prices, and biophysical assessments. *Ecological Economics*, Vol. 38. 369–382. o.
- MILGROM, P.–ROBERTS, J. [2005]: *Közgazdaságtan, szervezetelmélet és vállalatirányítás*. Fordította: *Szabó Andrea és Ujhelyi Gergely*. *Közgazdasági tankönyvek*, Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest.
- PATAKI GYÖRGY–TAKÁCS-SÁNTA ANDRÁS (szerk.) [2004]: *Természet és gazdaság – ökológiai közgazdaságtani szöveggyűjtemény*. Typotex, Budapest.
- PEZZEY, J. C.V.–TOMAN, M. A. [2002]: *The Economics of Sustainability: A Review of Journal Articles*. Discussion Paper 02–03. Resources for the Future, Washington, DC.
- POPPER, K. [2007] (angol eredetiben: 1948): *Utópia és erőszak*. Fordította Molnár Attila Károly. *Kommentár*, 1. sz. 30–38. o. http://www.kommentar.info.hu/karl_r_popper_utopia_es_eroszak.pdf.
- ROSEN, M. A.–SCOTT, D. S. [2003]: Entropy production and exergy destruction: Part I – hierarchy of Earth's major constituencies. *International Journal of Hydrogen Energy*, Vol. 28. 1307–1313. o.
- SCHEFFRAN, J. [2000]: The dynamic interaction between economy and ecology – Cooperation, stability and sustainability for a dynamic-game model of resource conflicts. *Mathematics and Computers in Simulation*, Vol. 53. 371–380. o.
- SCOTT, D. S. [2002]: Entropy. *International Journal of Hydrogen Energy*, Vol. 27. 985–989. o.
- SIMONYI KÁROLY [1986]: *A fizika kultúrtörténete*. Gondolat, Budapest.
- SZLÁVIK JÁNOS [2005]: *Fenntartható környezet- és erőforrás-gazdálkodás*. KJK–Kerszöv, Budapest.
- VENKATACHALAM, L. [2007]: Environmental economics and ecological economics: Where they can converge? *Ecological Economics*, Vol. 61. 550–558. o.
- VITOUSEK, P. M.–EHRlich, P. R.–EHRlich, A. H.–MATSON, P. A. [1986]: Human appropriation of the products of photosynthesis. *BioScience*, Vol. 34. 368–373. o.
- ZALAI ERNŐ [2000]: *Matematikai közgazdaságtan*. KJK–Kerszöv, Budapest.
- ZSOLNAI LÁSZLÓ [1996]: *Környezet-gazdaságtan „haladóknak”*. Könyvajánlat, *Közgazdasági Szemle*, 6. sz. 580–581. o.
- ZSOLNAI LÁSZLÓ [2001]: *Ökológia, gazdaság, etika*. Helikon (helymegjelölés nélkül).