

Fenntartható fejlődés – ipari ökológia – kémia

SZÉPVÖLGYI János^{a,b,*}

^a MTA Kémiai Kutatóközpont, Anyag- és Környezetkémiai Intézet, Pusztaszeri út 59-67. 1025 Budapest, Magyarország

^b Pannon Egyetem, Műszaki Informatikai Kar, Műszaki Kémiai Kutatóintézet, Egyetem u. 2. 8200 Veszprém, Magyarország

Egyetlen probléma sem oldható meg abban a szemléletben, amelyben létrejött.

(Albert Einstein)

1. Bevezetés

A modern gazdaság a természeti hatásokkal összemérhető módon befolyásolja a Föld ökoszisztémáját. A bioszféra emberi tevékenységből eredő terhelése napjainkban megközelíti, esetenként felül is múlja a természet megújuló képességéből adódó határértékeket. A problémát súlyosbítja, hogy modern piacgazdaságban a növekedési kényszer mind mikro-, mind makroszinten igen erős; a gazdaság emiatt nem hajlandó önkorlátozásra sem az erőforrások igénybevétele, sem a termelés nagyságát illetően.¹

Konrad Lorenz már az 1980-as években a következőket írta:² „Miközben az emberiség az öt körülvevő természetet vandál módon pusztítja, saját magát is ökológiai katasztrófával fenyegeti. Ha már a gazdasági vonzatait is érzi, talán felismeri hibáit, de akkor valószínűleg már túl késő lesz.”

A WWF nemzetközi természetvédelmi alapítvány *Living Planet Report 2006*³ című tanulmányában arra figyelmeztet, hogy az emberiség jelenleg 25%-kal több természeti erőforrást használ el, mint amennyi a Földön megújulni képes. Ezzel összeesengenek a *New Economics Foundation* nevű brit szervezet számításai:⁴ az emberiség 2006-ban október 9-ig elhasználta a természeti erőforrások által „rendelkezésre bocsátott” éves víz- és energiamennyiséget, ráadásul a természeti környezet éves befogadó kapacitásánál több hulladékot termelt már addig is. Ettől, az Ökológiai Fekete Napnak nevezett időponttól az év végéig az emberiség - egy valójában nem létező - környezeti hitelből él.

Egyre nyilvánvalóbbá válik, hogy természeti erőforrásaink végesek. Számos jel utal arra, hogy korlátlanul nem terhelhetjük környezetünket. Az emberiségnek ebben a külső energiaforráson (a napenergián) alapuló, ciklikusan megújuló ökológiai rendszerben, a Föld - Űrhajón kell megtalálnia a helyét.⁵ Az alkalmazkodást nehezíti, hogy a társadalom lassan és nehézkesen reagál az ökológiai problémákra, és az idő múlásával a környezeti kockázatok egyre nagyobbak lesznek.

2. Fenntartható fejlődés

Mindeme problémákra a társadalom, a gazdaság és a természeti környezet működésének összehangolása, e három elem fenntartható rendszerének megvalósítása jelenthet megoldást. A társadalmi vonatkozások közé az életminőség javítása, a fejlődés és a növekedés konfliktusának feloldása, a jövő generációk érdekeinek figyelembe

vétele, a környezettudatos gondolkodásmód elterjesztése és a megfelelő ellenőrzési, döntési és beavatkozási mechanizmusok kialakítása sorolható. A gazdasági jellegű elemek közül a piacgazdaság növekedési kényszerének mérséklését, a nyitott termelési rendszerek zárttá való átalakítását, a környezeti költségek figyelembe vételét és a vállalatok környezeti viselkedésének megváltoztatását emeljük ki. Végül a környezeti tényezők közé a környezeti hatások minimalizálása, a nem megújuló erőforrások felhasználásának csökkentése, a megújuló erőforrások kimerülésének elkerülése, a gazdasági és természeti folyamatok időállandóinak egymáshoz közelítése és az újrahasznosítás gyakorlatának kiszélesítése tartozik.

A társadalom – gazdaság – környezet hármasságának összehangolásának igényét és alapelveit először az ENSZ által létrehozott ún. Brundtland bizottság 1987-es, *Our Common Future* című jelentése fogalmazta meg. Ezek az elvek később a fenntartható fejlődés alapelveiként terjedtek el világszerte. A fenntartható fejlődés olyan fejlődést jelent, amely biztosítja a jelenkor igényeinek kielégítését, miközben nem veszélyezteti a jövő generációk lehetőségeit saját szükségleteik kielégítésére.

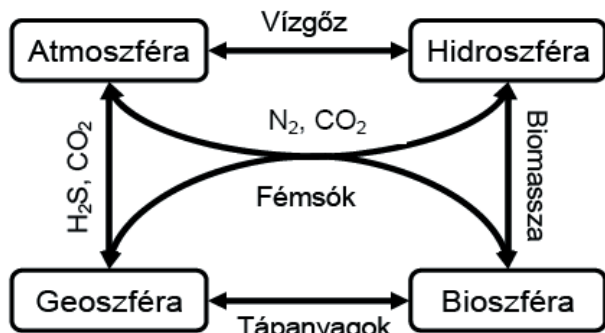
Daly⁶ és Opschorr⁷ szerint a fenntartható fejlődésnek a következő négy alapfeltétele van:

- A megújuló erőforrásokat nem használhatjuk nagyobb ütemben, mint ahogy azok újraképződnek.
- A nem megújuló erőforrásokat nem használhatjuk nagyobb ütemben, mint ahogy a megújuló helyettesítők újraképződnek.
- Nem bocsáthatunk ki több szennyező anyagot annál, amennyit környezetünk be tud fogadni.
- Az emberi beavatkozások időtényezőjének összehangban kell lenni a természeti folyamatok időtényezőjével, azaz a megújuló nyersanyagok képződési ütemével és a hulladékok lebomlási sebességével.

3. Ipari ökológia

A mai ipari technológiák döntően nyitott rendszerként, a természeti erőforrások (nyersanyagok és energia) intenzív igénybevétele és a környezet számottevő terhelése mellett működnek. Ezzel szemben a természeti környezet nem lineáris rendszerként, hanem körfolyamatként funkcionál (1. ábra). Működésének számos olyan sajátossága van, amelyeket az ipari termelésben is érdemes volna alkalmazni. Ezek közül néhány:

- A természetben hulladék, mint olyan, nem létezik; nem képződik ugyanis olyan anyag, amelyet a természeti rendszer valamely más eleme ne hasznosítana (példa: az állatok által kilélegzett szén-dioxidot a növények a fotoszintézis alapanyagaként használják fel).
- Az egyes élőlények által igényelt táplálékot más élőlények elpusztulása és lebomlása szolgáltatja (példa: a talajban levő baktériumok és gombák lebontják az állati és növényi eredetű hulladékokat, és tápanyagot szolgáltatnak a növényeknek).
- Az anyag és energia állandóan és folyamatosan áramlik a természetben, és „környezetbarát” módon alakul át egyik állapotból a másikba. A rendszer működéséhez szükséges energiát a napsugárzás biztosítja (példa: a nitrogén körforgalma a légkörből a fehérjékbe és vissza a légkörbe a bakteriális, növényi és állati tápanyagláncon keresztül).
- A természet dinamikusan, folyamatos információáramlás mellett működik. A szereplők identitását a folyamatokban betöltött szerepük határozza meg (példa: az egyes egyedek ösztönös tevékenységének kódját génjeik tartalmazzák).
- A természetben minden egyed önálló identitásként, ugyanakkor más egyedekkel összhangban létezik; a fajok együttműködése és a versengése egymással összekapcsolódik, és egyensúlyban van (példa: a fajok viselkedését interaktív módon befolyásolja a táplálék hozzáférhetősége, az időjárási körülmények alakulása, vagy új fajok megjelenése).



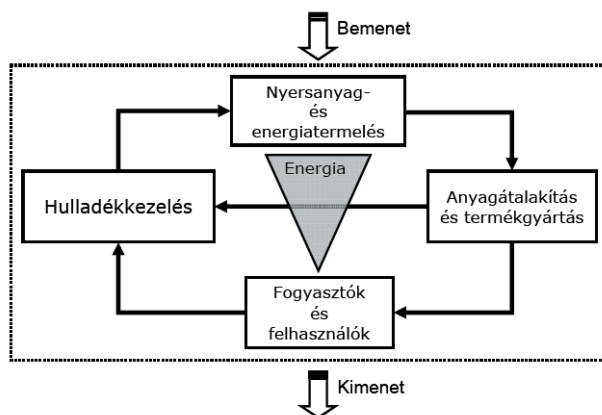
1. Ábra. A földi ökorendszerek zárt láncokat alkotnak

Az ipari ökológia célja, hogy a természeti rendszerek működési elveit részletesen megismerjük, és azokat célszerűen alkalmazzuk az ember által létrehozott, mesterséges rendszerekre, adott esetben az ipari technológiákra. Így a biológiai rendszerekhez hasonló módon, azokkal összehangoltan működő, zártciklusú, műszakilag és gazdaságilag hatékony, a természeti környezet tűrőképességét figyelembe vevő, ezáltal hosszabb távon is fenntartható termelési rendszereket lehet megvalósítani. Egy, a fenti elvek figyelembe vételével kialakított ún. ipari ökorendszerek elvi elépítését a 2. ábra mutatja.

Az ipari ökológia lényegében tehát a műszaki fejlesztés, valamint a folyamat- és terméktervezés újfajta közelítése. Legfontosabb sajátosságai, amelyek egyúttal alapvető feladataira és lehetőségeire is utalnak, a következők:

- az ipari és környezeti rendszerek kölcsönhatásainak rendszerszemléletű vizsgálata;
- a technológiai és környezeti problémák sokoldalú megközelítése;

- az anyag- és energiaáramok, és ezek átalakulásainak együttes figyelembe vétele;
- a nyitott termelési rendszerek átalakítása zárt rendszerekké úgy, hogy az egyik technológiában képződő hulladék egy másik technológiában alapanyagként hasznosulj;
- törekvés az ipari folyamatok környezeti hatásainak csökkentésére;
- az ipari rendszerek és a környezet működésének összehangolása;
- az ipari és természeti rendszerek hierarchiaszintjeinek meghatározása és azok összehasonlítása a további vizsgálódások és teendők meghatározása érdekében.



2. Ábra. Az ipari ökorendszerek elvi felépítése

4. A kémia szerepe

A gazdaság és környezet közötti kapcsolatrendszerben a kémiai folyamatoknak és eljárásoknak kitüntetett szerepe van: a gazdaság környezeti kapcsolatai döntően kémiai folyamatokon keresztül valósulnak meg. A kémia emiatt meghatározó módon járulhat hozzá a fenntartható fejlődéshez, elsősorban három területen. Ezek közül elsőként a gazdaság növekvő energiaigényének kielégítése említhető, újszerű, elsősorban megújuló energiaforrások bevonásával. Új kémiai eljárásokra van szükség ahhoz, hogy a napenergiát az eddiginél lényegesen jobb hatásfokkal lehessen átalakítani elektromos energiává, továbbá gazdaságos megoldásokat kell kidolgozni a napenergia kémiai energiává való átalakítására. Ide sorolhatók a hidrogén- és/vagy a metanolgazdaság megalapozásával kapcsolatos kémiai kutatások és fejlesztések is. A másik nagy területet a jelenleg döntően szénhidrogénre alapozott vegyipari és rokonipari termelés megújuló alapanyagokra való átállítása, ezzel együtt akémiai folyamatok hatékonyságának növelése jelenti. Új szintézis utakat és új technológiákat kell kidolgozni, különös hangsúlyt helyezve a környezetbarát („zöld”) katalizátorok és oldószerek alkalmazására. A harmadik nagy terület a környezetterhelő technológiák felváltása környezetbarát megoldásokkal. Ennek keretében törekedni kell a káros vagy toxikus, az élő szervezetekben felhalmozódó anyagok használatának elkerülésére, a kémiai és technológiai folyamatok hatékonyságának és szelektivitásának növelésére, és a környezetbarát folyamat- és technológiatervezés elveinek és gyakorlatának minél szélesebb alkalmazására.

Hivatkozások

1. Lorenz, K. *A civilizált emberiség nyolc halálos bűne*. IKVASZÁMALK: Budapest, **1988**.
2. Schumacher, E. *Jó munkát*. KJK: Budapest, **1994**.
3. *Living Planet Report 2006*. WWF International: Gland, **2006**.
4. www.neweconomics.org/gen/ecologicaldebt091006.aspx
5. Boulding, K. *The Economics of the Coming Spaceship Earth*. The MIT Press: London, **1993**.
6. Daly, H. E. *Steady-State Economics*. Island Press: Washington, DC, **1991**
7. Opschoor, H.; Opschoor, J.B. *Sustainable development, the economic process and economic analysis*. In: Opschoor, J.B., Ed. *Environment, Economy and Sustainable Development*. Wolters-Noordhoff: Groningen, pp. 25–53. **1992**

Sustainable Development – Industrial Ecology – Chemistry

The environmental impacts of modern economies are close to or - in some cases - above the capacity of the global ecosystem to regenerate. Nowadays there is a date each year, the *ecological debt day* from which the global economy operates with an ecological deficit. In 2006 the overshoot day fell on October 9. From this day until the end of the year we live well beyond our environmental means. Accumulation of the ecological deficit from year to year involves a serious risk of global resources and the natural environment. In order to overcome problems from the excessive use of resources and from the serious environmental impacts of human activities, we have to synchronize the functioning of our society with the economic activities and with the processes occurring in the natural environment on global scale. The needs and the main principles of such a coordination later on designated as sustainable development were first formulated in the *Our Common Future* report of the *Brundtland Committee* in 1987. The Report let it be distinctly understood that (i) all human beings have the fundamental

right to an environment adequate for their health and well being and (ii) states shall conserve and use the environment and natural resources for the benefit of present and future generations. There are four principal conditions of sustainable development including careful and sophisticated use of non-renewable and renewable natural resources, limitation of environmental impacts due to waste formation and synchronization of the time constants of human activities with those of environmental processes. A promising tool of sustainable development is industrial ecology which tries to apply the main specialties of natural ecosystems in industrial technologies. The main features and goals of industrial ecology are briefly outlined in the paper. Chemistry and chemical engineering have crucial roles in the industrial ecosystems, and hence, in the sustainable development: many environmental impacts due to human activities are realized through chemical processes. Tasks and possibilities of chemical R+D in the realization and operation of industrial ecosystems are discussed, as well.