

FENNTARTHATÓ FEJLŐDÉS – IPARI ÖKOLÓGIA – KÉMIA

Szépvölgyi János

az MTA doktora, egyetemi tanár,
MTA Kémiai Kutatóközpont Anyag- és Környezetkémiai Intézet,
Pannon Egyetem Műszaki Informatikai Kar Műszaki Kémiai Kutatóintézet
szepvol@chemres.hu

*Egyetlen probléma sem oldható meg
abban a szemléletben, amely létrehozta azt.*
Albert Einstein

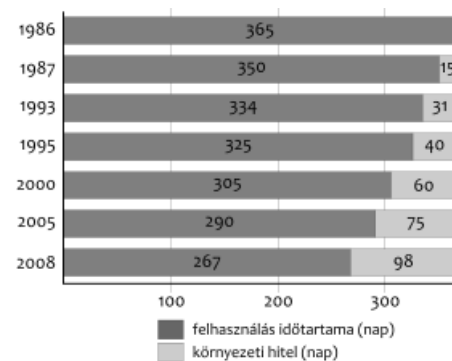
Bevezetés

A modern piacgazdaság a természeti folyamatokhoz hasonló mértékben, olykor azokat felülmúlva befolyásolja az ökoszféra állapotát. A helyzetet bonyolítja a mikro- és makrogazdasági szinten egyaránt erős növekedési kényszer, melynek hatására a gazdasági szereplők a legutóbbi időkig kevés hajlandóságot mutattak az önkorlátozásra, akár az erőforrások igénybevételét, akár a termelés nagyságát, akár a környezet terhelését tekintjük.

Konrad Lorenz az 1980-as években a következőket írta: „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.” (Lorenz, 1988). Húsz évvel később, a WWF nemzetközi természetvédelmi alapítvány *Living Planet Report 2008* című tanulmányában (Hails, 2009) – mintegy az előzőek megerősítéseként – a következőket olvashatjuk: „A világgazdaság legutóbbi visszaesése nyomatékosan felhívja a figyel-

met arra, milyen következményekkel jár, ha lehetőségeinket meghaladó módon élünk.” 1986-ban az emberiség éppen 365 nap alatt használt fel annyi megújuló természeti erőforrást, amennyi abban az évben képződött. Azóta egyre rövidebb idő alatt éljük fel a természeti folyamatokban évente újratermelődő erőforrásokat (1. ábra). Immár több mint húsz év óta minden évben az emberiség a *Túllövés Napjának* (Earth Overshoot Day) elnevezett időponttól az adott év végéig egy valójában nem létező környezeti hitelből él. A *túllövés* 2008-ban szeptember 23-án következett be, ami azt jelenti, hogy 2008-ban mintegy 40%-kal több természeti erőforrást használtunk fel, mint amennyi a Földön újraképződött. Ha ez az irányzat folytatódik, a 2030-as évek közepére már két földgolyónyi területre lenne szükség életmódunk fenntartásához.

Egyre nyilvánvalóbbá válik természeti erőforrásaink véges volta, és számos jel utal arra, hogy korlátlanul nem terhelhetjük tovább környezetünket. Az elmúlt százötven év minden korábbit felülmúló műszaki és gazdasági fejlődésének motorja a növényi és állati maradványokból évmilliók alatt kialakult fosszilis energiahordozók, azaz közvetten a



1. ábra • Az évente képződő megújuló felhasználásának (a *Túllövés Napjának*) alakulása 1986–2008 között

– kémiai energiává átalakult – napenergia felhasználása volt. Mindez oda vezetett, hogy napjainkban a világon használt energia közel 90%-át fosszilis energiahordozóból állítjuk elő. E helyzetnek viszonylag rövid időn belül meg kell változnia, több okból is.

Az egyik ok, hogy a fosszilis energiahordozók véges mennyiségben állnak rendelkezésre. Arról lehet vitatkozni, hogy elértük-e már az *olajcsúcsot*, azaz azt a pontot, amikor a valaha felfedezhető kőolajkészletek felét már ismerjük, és a készletek, jóllehet még messze vannak a teljes kimerüléstől, már csökkenni kezdenek, vagy ez tíz, húsz, esetleg harminc év múlva következik be. Az azonban biztos: rövid időn belül elérjük ezt az állapotot, azzal együtt is, hogy az ismert és viszonylag könnyen kitermelhető előfordulásokon túl jelentős kőolajkészletek találhatók olajpalákban és aszfalthomokokban. Becslések szerint a Föld szénkészletei is még mintegy kétszáz évig fedezik az emberiség energiaigényeit. A fosszilis energiahordozókkal kapcsolatban ugyanakkor nem feledkezhetünk meg kitermelésük esetenként súlyos környezeti hatásairól sem. Csupán idő kérdése, mikor mondjuk azt,

hogy elég az effajta környezetrombolásból, ne tovább ezen az úton!

A másik tényező a klímaváltozás. Az elmúlt száz évben a földi átlaghőmérséklet 0,6 °C-kal emelkedett. A legutóbbi időkig ezt kizárólag a gazdasági fejlődéssel, azaz az emberi társadalom működésével hozták kapcsolatba. Ám újabban egyre több szakembernek az a véleménye, hogy a földi átlaghőmérséklet és a napfolttevékenység szorosan összefügg egymással (*New Scientist*, 2006). Noha a globális felmelegedés kizárólag a Nap mágneses jellemzőinek változásával nem magyarázható, egyetértés kezd kialakulni arról, hogy a felmelegedésben természeti és emberi hatások is jelentős szerepet játszanak. További érdekes kérdés: a jelenlegi felmelegedés egy újabb „kis jégkorszak” előjelének tekinthető-e, amint arra az 1400-as években és az 1600-as évek második felében már volt példa a Földön.

Ami az emberi tevékenység környezeti hatását illeti, a globális melegedés egyik kiváltója kétségtelenül az üvegházhatású gázok légköri koncentrációjának – elsősorban a fosszilis forrásokon alapuló energiatermelésből eredő – növekedése. Manapság minden percben 12 ezer tonna szén-dioxid kerül a földi légtérbe, és 17 tonna kénsav hull – savas esők formájában – az északi féltekére. E folyamatok hatásait már érzékeljük, gondoljunk csak a gleccserek zsugorodására, vagy az óceánok felső rétegében a savas jelleg erősödésére. Ha akár csak a jelenlegi szinten akarjuk tartani a légkörben a szén-dioxid koncentrációját, a 21. század közepéig számottevően csökkenteni kell annak kibocsátását. (Ennek sebességéről és mértékéről – éppen az előzőekben leírtakkal összefüggésben – megoszlanak a szakértői vélemények.)

Az emisszió csökkentésének egyik célszerű módja lehet az energiafelhasználás haté-

konyságának javítása. Tudomásul kell vennünk azonban, hogy az energetikai hatékonyság növeléséhez jelentős befektetésekre van szükség, és ezek a ráfordítások meghaladhatják az energiacsökkentésből származó megtakarításokat.

A megváltozott természeti feltételekhez történő alkalmazkodást tovább nehezíti, hogy a társadalom lassan és nehézkesen reagál az ökológiai problémákra, és az idő előrehaladásával egyre nagyobbak lesznek a környezeti kockázatok. A kialakult helyzetben minél előbb felelősségteljes és hatékony döntésekre és intézkedésekre van szükség, mert „A mostani irányban maradván az emberi társadalom és az őt fenntartó környezet pozitív visszacsatolásban pusztul.” (Vida, 2007).

Fenntartható fejlődés

Mindeme problémákra általános értelemben a társadalom, a gazdaság és a természeti környezet működésének összehangolása jelenthet megoldást. A társadalom és a gazdaság működése során a geoszférából, a hidroszfé-

rából, az atmoszférából és a növény- és állatvilágból származó javakat, erőforrásokat használ fel, és oda anyagokat és energiát juttat vissza, egy bonyolult kapcsolatrendszer keretében (2. ábra).

Ez a kapcsolatrendszer még néhány évtizeddel ezelőtt is többnyire helyi szinten működött: a környezeti hatások egy-egy jól körülhatárolható térségben jelentkeztek. Az utóbbi fél évszázadban azonban az ipari termelés világszerte óriási mértékben növekedett, és a környezeti hatások már globális léptékűvé váltak. Ezzel párhuzamosan folyamatosan nőtt az ipari rendszerek viszonylagos súlya a környezethez képest. Már az 1980-as évek végén a világ ipara évenként közel azonos tömegű nitrogént és foszfort mozgatott meg, mint amennyi – ugyanazon idő alatt – a természetben mozgott. Egyes fémek, így a kadmium, a cink, az arzén, a higany, a nikkel és a vanádium ipari tömegáramai pedig közel kétszer nagyobbak természetes áramaiknál.

A gazdasági, társadalmi és környezeti tényezők között hosszabb távon csak akkor

biztosítható kellő összhang, ha a jövőnk elsősorban fejlődésen és nem korlátlan növekedésen alapul. Fejlődés alatt olyan változásokat értünk, amelyek a meglévő modellek és rendszerek mellett vagy helyett valami mást, újszerűt és hatékonyabbat hoznak. A fejlődés egyik kulcsszava az innováció, a korábbiaktól eltérő megoldások keresése és bevezetése.

Az innováció társadalmi vonatkozásai közé az életminőség javítása, a fejlődés és a növekedés konfliktusának feloldása, a jövő generációk érdekeinek figyelembevétele, a környezettudatos gondolkodásmód elterjesztése és a megfelelő ellenőrzési, döntési és beavatkozási mechanizmusok kialakítása sorolható. A gazdasági elemek közül a piacgazdaság növekedési kényszerének mérséklését, a nyitott termelési rendszerek alakítását, a környezeti költségek beszámítását és a gazdasági szereplők 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 közelítése¹ és az újrahasznosítás gyakorlatának kiszélesítése tartozik.

A természet–társadalom–gazdaság hármas rendszer összehangolásának igényét és alapelveit először az ENSZ által létrehozott ún. Brundtland-bizottság 1987-es, *Közös jövőnk* című jelentése fogalmazta meg.² Ezek az elvek később a fenntartható fejlődés alapelveiként terjedtek el világszerte. A fenntartható fejlődés lényege: oly módon biztosítjuk a jelenkor igényeit, hogy közben nem veszé-

lyeztetjük az utánunk jövő generációk lehetőségeit saját szükségleteik kielégítésére. Herman E. Daly (1991) és J.(Hans) B. Opschorr (1992) szerint a fenntartható fejlődésnek négy alapfeltétele van:

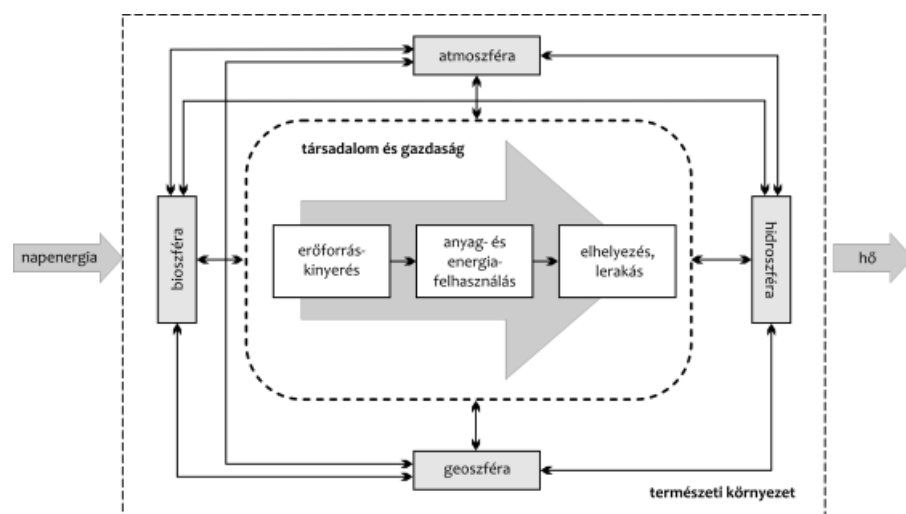
- a megújuló erőforrásokat nem használhatjuk nagyobb ütemben, mint ahogy azok újraképződnek;
- a nem megújuló erőforrásokat nem használhatjuk nagyobb ütemben, mint ahogy a megújuló helyettesítők újraképződnek;
- nem bocsáthatunk ki több szennyezőanyagot annál, amennyit környezetünk be tud fogadni;
-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

Ahhoz, hogy e négy feltétel teljesüljön, a mai állapotokhoz képest mélyreható változásokra van szükség tudományos és műszaki vonatkozásban, gazdasági és társadalmi, valamint szemléletmód terén is. Érdemes újragondolnunk – többek között – értékrendünket, fogyasztási szokásainkat, hozzáállásunkat a természethez, a társadalmi kérdésekhez és embertársainkhoz is.

Az utóbbi időben a fenntarthatósághoz kapcsolódóan gyakran hangzik el az *utolsó csepp* kifejezés. Legyen szó a földi éghajlatról, a sarki jégmezők zsugorodásáról, vagy az északi tundra állandóan fagyott talajának felengedéséről és az ott bezárt metán kiszabadulásáról, az *utolsó csepp* szimbolikusan arra a kritikus állapotra utal, amikor bizonyos paraméterek már megközelítik a pozitív visszacsatoláshoz szükséges értékeket. Ez azért veszélyes, mert ha e visszacsatolások működésbe lépnek, az adott paraméter kis változása is jelentősen felgyorsíthat, vagy akár visszafor-

¹ A gazdasági folyamatok időállandói jóval rövidebbek, mint a természeti folyamatok időállandói.

² A Brundtland-bizottság munkájában Magyarországról Láng István akadémikus vett részt.



2. ábra • A társadalom, a gazdaság és a természeti környezet kapcsolatrendszere

díthatatlanná is tehet bizonyos kedvezőtlen folyamatokat.

A következőkben a fenntarthatósággal kapcsolatban néhány műszaki és környezeti vonatkozást kívánunk röviden érinteni, különös figyelmet szentelve a kémia és a vegyipar szerepének.

Ipari ökológia

A mai ipari technológiák döntően lineáris, nyitott rendszerként, a természeti erőforrások (nyersanyagok és energia) intenzív igénybe vétele és a környezet számottevő terhelése mellett működnek. Ezzel szemben a természeti rendszerek körfolyamatokat alkotnak (3. ábra). Utóbbi esetben a rendszeremlék kétirányú anyag-, energia- és információáramokkal kapcsolódnak egymáshoz. A 3. ábra alsó részében néhány jellemző anyagáram feltüntetésével érzékeltetjük a kapcsolatrendszerét.

A természeti rendszerek működésének számos olyan vonása van, amelyeket az ipari termelésben is érdemes volna alkalmazni. Ezek közül néhány:

Nincs hulladékképződés: a természetben hulladék mint olyan nem létezik; nem képződik ugyanis olyan anyag, amelyet a rendszer

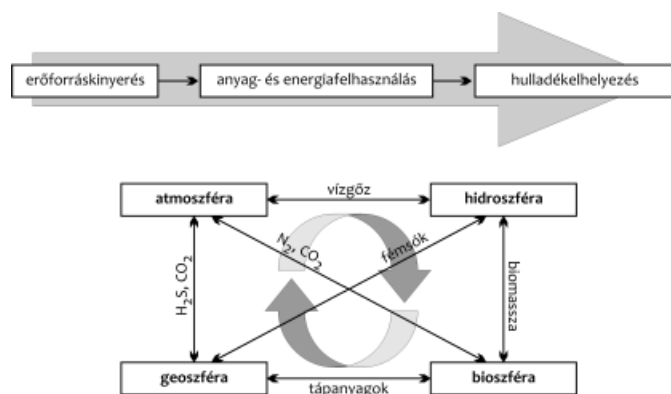
valamely más eleme ne hasznosítana (példa: az állatok által kielégzett szén-dioxidot a növények a fotoszintézis alapanyagaként használják fel).

Újrahasznosítás: egyes élőlények táplálékát más élőlények elpusztulása és lebomlása szolgáltatja (példa: a talajban levő baktériumok és gombák lebontják az állati és növényi maradványokat, és tápanyagot szolgáltatnak a növényeknek).

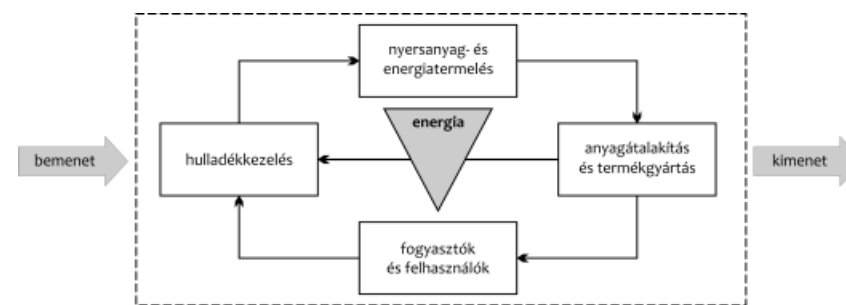
Anyag- és energiaáramlás: az anyag és energia állandóan és folyamatosan áramlik a természetben, és „környezetbarát” módon alakul át egyik állapotból a másikba; a rendszer működéséhez szükséges energiát a nap-sugárzás biztosítja (példa: a nitrogén körforgalma a légkörből az élő szervezetekbe és vissza a légkörbe a bakteriális, növényi és állati tápanyagláncon keresztül).

Folyamatos információcsere: a természet dinamikusan, folyamatos információáramlás mellett működik; a szereplők identitását a rendszerben betöltött szerepük határozza meg (példa: az egyes egyedek ösztönös tevékenységének kódját géneik tartalmazzák).

Egyidejű együttműködés és verseny: a természetben minden egyed önálló identitás-



3. ábra • Az ipari és természeti folyamatok általános modelljei



4. ábra • Az ipari ökoszisztemek elvi felépítése

ként, ugyanakkor más egyedekkel összhangban létezik; a fajok együttműködése és versengése egymással összekapcsolódik, és egyensúlyban van (példa: a fajok viselkedését interaktív módon befolyásolja a táplálék hozzáférhetősége, az időjárási körülmények alakulása vagy új fajok megjelenése).

Amint a fentiekből is kiténik, a *természeti környezet mint rendszer* igen elmésen működik, és nagy az alkalmazkodóképessége. Nem kétséges azonban, hogy a még benne kis mennyiségben megtalálható anyagokból is csak véges mennyiségeket tud befogadni, nem beszélve a nagy tömegben jelenlevőkről. Sajnos hajlamosak vagyunk erről megfeledkezni, és környezetünket sokszor végtelen kapacitású lerakóhelynek tekintjük. Azt sem mindig tartjuk szem előtt, hogy mai ipari és mezőgazdasági technológiáink csak egészséges ökoszisztemben működhetnek megfelelően. Az egészséges ökoszisztem nemcsak tiszta levegőt és vizet, megfelelő mennyiségű csapadékot és termékeny talajt jelent, hanem fontos szerepe van például az időjárási szélsőségek tompításában vagy a természetes és ipari hulladékok lebontásában.

Egyre nyilvánvalóbb, hogy ha a globalizálódó világ igényeit az utánunk jövő nemzedékek életfeltételeinek ellehetetlenülése nélkül kívánjuk kielégíteni, a lineáris termelési

modelleket fel kell váltani a természeti környezetbe sokkal jobban integrálódó modellekkel, az ún. ipari ökoszisztemekkel.

Az *ipari ökológia* (amelyet gyakran a *fenntarthatóság tudományának* is hívnak) célja, hogy feltárja a természeti rendszerek működési elveit, és azokat alkalmazza az ember által létrehozott, mesterséges rendszerekre, adott esetben az ipari technológiákra. Így az ökológiai rendszerekhez hasonló, azokkal összehangolt, zártciklusú, műszakilag és gazdaságilag hatékony, a természeti környezet tűrőképességét figyelembevevő, ezáltal hosszabb távon is megfelelően működtethető termelési rendszereket lehet megvalósítani (4. ábra).

Az ipari ökológia tehát lényegében a műszaki fejlesztés, valamint a technológia-, folyamat- és terméktervezés újfajta közelítésmódja. Legfontosabb sajátosságai a következők:

- az ipari és környezeti rendszerek kölcsönhatásainak rendszerszemléletű vizsgálata (holisztikus szemlélet);
- az anyag- és energiaáramok, és ezek átalakulásainak együttes figyelembevétele (ipari metabolizmus);
- a nyitott termelési rendszerek átalakítása zártakká úgy, hogy az egyik technológiában képződő hulladék egy másik technológiában alapanyagként hasznosuljon (közel zérus hulladékkibocsátás);

- törekvés az ipari folyamatok környezeti hatásainak csökkentésére (ökotervezés);
- az ipari rendszerek és a környezet működésének összehangolása (ipari szimbiózis).

Az ipari ökológia fontos vonása a teljes életciklusban való gondolkodás. Ennek egyik eszköze a *teljeséletciklus-értékelés*, egy olyan módszer, ami lehetővé teszi a környezeti hatások mennyiségi értékelését a termékek és szolgáltatások teljes élettartama alatt. A teljes életciklus a nyersanyagok kitermelését és feldolgozását, a termékek és szolgáltatások előállítását és felhasználását, a fenntartást és az életciklusukat befutott termékek elhelyezését egyaránt magában foglalja. Az értékelés figyelembe veszi a ciklus elemei közötti anyag- és energiaáramlásokat és a kiegészítő folyamatokat, így az újrafeldolgozást, az újrahasznosítást és a hulladékok kezelését és feldolgozását is.

Teljeséletciklus-elemzéssel elkerülhető, hogy az életciklus egyik szakaszából a másikba áttevődő környezeti hatást elhanyagoljunk. Ez azért fontos, mert előfordulhat, hogy az egyik fázisban végrehajtott, környezeti szempontból kívánatos változtatás az életciklus egy másik fázisában esetleg sokkal súlyosabb környezeti hatást eredményez.

Az ipari ökológia vázolt elveit a gyakorlatban igen széles körben lehet és célszerű alkalmazni, így

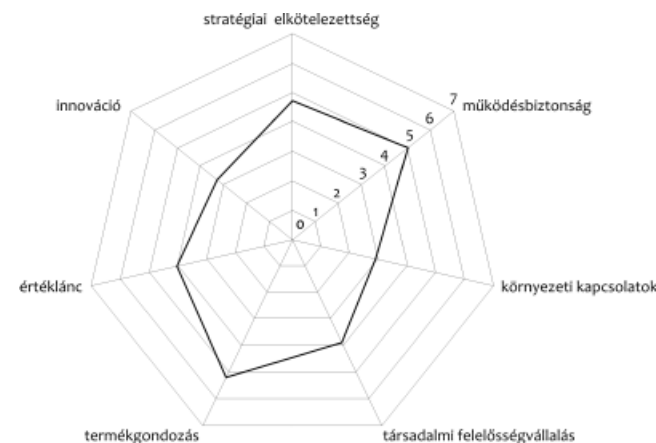
- a különböző iparágak közötti együttműködések elősegítésére, ún. ipari ökorendszerek létrehozására,
- az ipar környezeti hatásai és a természeti környezet befogadóképessége közötti összhang megteremtésében,
- anyag- és energiatakarékos technológiák kidolgozásánál,
- az erőforrások felhasználási hatékonyságának növelésében,

- a megújuló erőforrások alkalmazásának elterjesztésében és
- új, a természeti és gazdasági tényezőket egyidejűleg figyelembe vevő gazdaságfejlesztési és irányítási elvek kialakításában és bevezetésében (környezetvédelmi törvénykezés, zöld adók stb.).

A kémia szerepéről és lehetőségeiről

A gazdaság és környezet kapcsolatában a kémiai folyamatoknak és eljárásoknak kitüntetett szerepük van: a környezeti kapcsolatok jelentős részben kémiai jelenségek révén alakulnak ki. A kémia tehát meghatározó módon járulhat hozzá a fenntartható fejlődéshez és az ipari ökológia gyakorlatának elterjedéséhez. A meg nem újuló és környezetre káros anyagokat és energiahordozókat felváltó, megújuló alapanyagokból előállított termékek és energiahordozók fejlesztése napjainkban a kémia és a vegyészmérnöki tudomány egyik legfontosabb feladata.

A vezető vegyipari cégek és szervezetek hazánkban és a világ többi részén is felismerték kulcsszerepüket a fenntartható fejlődésben. Példaként említjük az Amerikai Vegyészmérnök Szövetséget (American Institute of Chemical Engineers – AIChE), amely 2004-ben – saját keretei között –, létrehozta a Fenntarthatósági Intézetet (IFS). Az intézet célja a fenntartható és zöld mérnökségből származó kedvező társadalmi, gazdasági és környezeti hatások érvényesülésének elősegítése a vegyiparban és rokon területeken. Az IFS munkatársaiból valamint a petrokkémiai és a vegyipar képviselőiből 2005-ben létrehozták a Fenntarthatósági Mutató Munkacsoportot. A csoport 2007-re kidolgozta az AIChE *Fenntarthatósági Mutatóját* (Sustainability Index – SI), amely az alábbi hét elemből épül fel:



5. ábra • Az AIChE *Fenntarthatósági Mutató* tizenegy kiválasztott vegyipari cégre

- fenntarthatósággal szembeni stratégiai elkötelezettség
- működésbiztonság
- környezeti kapcsolatok
- társadalmi felelősség
- termékgyógyozás
- értéklánc-kezelés
- innováció.

Valamennyi elem négy-hat mérőszámot és mutatót tartalmaz, melyek között mennyiségi jellegűek (például egységnyi eladott értékre vonatkozó üvegházhatású gázkibocsátás) és minőségi mutatók (például a fenntarthatósággal kapcsolatos döntéseket támogató eszközök bizonyítható alkalmazása) egyaránt szerepelnek (Cobb et al., 2009). Az SI számításához szükséges adatokat a felmérésben résztvevő cégek szolgáltatják. Minden adatsornál rangsorolják a vállalatokat, majd a kapott értékeket egy 0 és 7 közötti skálára normalizálják. A lehető legjobb ipari gyakorlatot a hetes érték jelenti. Az AIChE–SI előnye, hogy ismert és jól meghatározott működési adatokat és mutatókat használ, és figyelembe veszi az innovációt és a társadalmi szempontokat is. Az 5. ábra tizenegy kiválasztott vegy-

ipari cégre³ mutatja a 2007-ben meghatározott AIChE Fenntarthatósági Mutatót (Cobb, 2007).

Az 5. ábrából kitűnik, hogy a kiválasztott cégeknél a fő prioritások közé a termékgyógyozás, a működésbiztonság és a fenntarthatóság iránti elkötelezettség tartozik. Ugyanakkor az innováció és környezeti kapcsolatok kezelése meglehetősen háttérbe szorul a vizsgált vegyipari cégek gyakorlatában.

Utóbbi azért tekinthető figyelmeztető jelnek, mert a kémia és a vegyipar különösen nagy szerepet játszhat az ipari ökológiában és a fenntarthatóságban, főként három területen. Ezek közül *elsőként* a gazdaság jövőbeli energiaigényének kielégítése említendő, elsősorban megújuló energiaforrások bevonásával. Új kémiai eljárásokra van szükség ahhoz, hogy a napenergiát az eddiginél jobb hatásokkal lehessen közvetlenül átalakítani elektromos energiává. Megoldásokat kell kidolgozni arra, hogy a napenergiát ne csak fotoszintézissel, hanem más úton is hatékonyan és

³ Air Products, Akzo Nobel, Ashland, BASF, Celanese, Dow, DuPont, Eastman, Lyondell, Praxair, Rohm&Haas

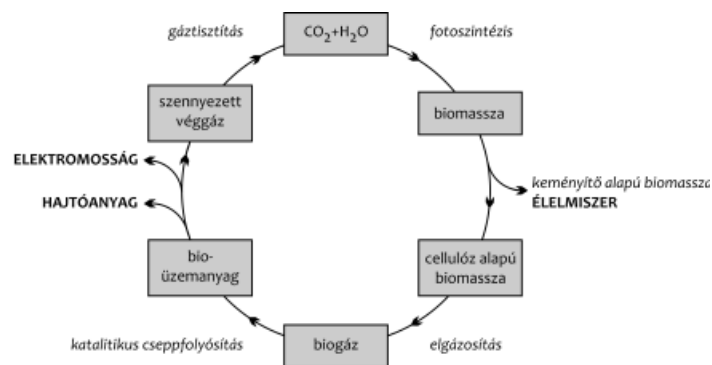
gazdaságosan át lehessen alakítani kémiai energiává. A teendők közé sorolhatók a hidrogén- és a metanológazdaság megalapozásával kapcsolatos kémiai kutatások és fejlesztések is. Jelentős feladatai vannak a kémiai tudománynak és a vegyiparnak a bioüzemanyagok mint megújuló energiahordozók előállításának technológiáinak továbbfejlesztésében és elterjesztésében is. Jóllehet napjainkban vita folyik a bioüzemanyagok gazdasági és ökológiai előnyeiről és hátrányairól, többek közt arról, hogy előállításuk és felhasználásuk valóban csökkenti-e az üvegházhatású gázok kibocsátását, nagy valószínűséggel állítható: a közeljövőben a világ számos országában ezek az üzemanyagok jelentős szerepet játszanak a gazdaság működésében.

Bioüzemanyagok felhasználásakor is a napsugárzás energiáját használjuk. A fotoszintézis során ugyanis a növények a napsugárzás energiájának felhasználásával – a légkörben levő CO_2 -ből és vízből – az energiát kémiai kötésben tároló cukrokat és cukor-polimereket (keményítőt, cellulózt) hoznak létre. Utóbbiakból biológiai és kémiai eljárásokkal állíthatunk elő üzemanyagokat. Ezek szélesebb körű alkalmazásához elsősorban a következő három problémára kell megoldást találni:

- Hogyan tudjuk elkerülni az „élelmiszer vagy üzemanyag” csapdát, azaz hogyan lehet bioüzemanyagokat élelmiszerként nem hasznosítható növényfélésekből, célszerűen cellulózból felépülő növényekből előállítani?
- Az energetikai célú biomassza termelése és feldolgozása milyen környezeti hatásokkal jár, és ezek miként csökkenthetők a lehető legkisebbre?
- Hogyan lehet a bioüzemanyagokat műszakilag és gazdaságilag is elfogadható módon beilleszteni a meglévő technikai (belső égésű motorok, sugárhajtóművek) és logisztikai (szállító és elosztó hálózat) rendszerekbe?

További, műszaki, gazdasági és környezeti szempontból egyaránt fontos feltétel, hogy a bioüzemanyagok körfolyamatban, például a 6. ábrán vázolt séma szerint hasznosuljanak.

A másik terület, ahol a kémiának meghatározó jelentősége van, a jelenleg döntően szénhidrogénekre alapozott vegyipari és rokonipari termelés átállítása megújuló alapanyagokra, összekapcsolva ezt a kémiai folyamatok hatékonyságának növelésével. Új előállítási módszereket és újszerű technológiákat kell kidolgozni, különös hangsúlyt he-



6. ábra • A bioüzemanyagok életciklusa

lyezve a környezetbarát („zöld”) katalizátorok és oldószerek alkalmazására.

A kémia–fenntarthatóság problémakör *harmadik eleme* a most működő környezetterhelő technológiák felváltása környezetbarát megoldásokkal. Ennek keretében foglalkozni kell

- a korábbi technológiai folyamatokból származó környezeti hatások megszüntetésével (hulladékok hasznosítása másodnyersanyagként, korábbi víz- és talajszennyezések felszámolása);
- a jelenleg működő technológiák környezeti hatásainak csökkentésével (a kémiai folyamatok hatékonyságának és szelektivitásának növelése, a folyamatok anyag- és energiaáramainak összehangolása) és
- a környezetterhelő technológiák környezetbarát megoldásokkal való felváltásával (a termelő eljárások anyag- és energiafelhasználásának minimalizálása, megújuló erőforrások használata, környezetbarát folyamat tervezés, az élő szervezetekben esetlegesen felhalmozódó káros vagy toxikus anyagok alkalmazásának elkerülése, és a Föld népessége által igényelt mennyiségű és minőségű vízkészlet biztosítása).

Zárógondolatok

Az emberiség egésze jelenleg természeti lehetőségeit meghaladó módon él. Ugyanakkor a javak eloszlása nagyon egyenlőtlen: a népesség mintegy 20%-a rendelkezik a megtermelt értékek közel 85%-ával, míg a legszegényebb 20%-nak mindössze 1,5% jut azokból. A hosszabb távon is működőképes, a természettel összhangban lévő, a Föld valamennyi lakójának alapszükségleteit biztosító társadalmi és gazdasági rendszer kialakításához szemléletváltásra van szükség mind technológiai vonatkozásban, mind a környezetünkkel és az általa biztosított erőforrásokkal kapcsolatban, mind pedig életvitelünkben és szemléletmódunkban. Csak ily módon tudjuk kezelni azokat a problémákat, amelyek közül napjainkban az energiaigények biztosítása és a környezet túlzott terhelése különösen égetőnek tűnnek. Megállapítható, hogy a kémiának, a vegyiparnak és rokon területeinek különösen fontos szerepe van és lesz e problémák megnyugtató megoldásában. A kémiai kutató- és fejlesztőhelyek és a vegyipari vállalatok az utóbbi időben egyre inkább igyekeznek megfelelni e kihívásoknak.

Kulcsszavak: fenntartható fejlődés, ipari ökológia, kémia, vegyipar, életciklus, környezeti hatások

IRODALOM

- Coob, Calvin – Beloff, B. – Tanzil, D. (2007): Benchmarking Sustainability. Chemical Engineering Progress. June, 38–42.
- Coob, Calvin – Beloff, B. – Tanzil, D. (2009): The AIChE Sustainability Index: The Factors in Detail. Chemical Engineering Progress. January, 60–63.
- Daly, Herman E. (1991): *Steady-State Economics*. Island Press, Washington, DC, USA
- Hails, Chris (ed.) (2009): *Living Planet Report 2008*. WWF International, Gland, Switzerland

- Lorenz, Konrad (1988): *A civilizált emberiség nyolc halálos bűne*. IKVA–SZÁMALK, Budapest
- New Scientist Magazine (2006) *Scientists Predict Solar Downturn, Global Cooling*. 16 September 2006.
- Opschoor, J. (Hans) B. (1992): Sustainable Development, the Economic Process and Economic Analysis. In: Opschoor, J. (Hans) B. (ed.): *Environment, Economy and Sustainable Development*. Wolters-Noordhoff, Groningen, 25–53.
- Vida Gábor (2007): Fenntarthatóság és a tudósok felelőssége. Magyar Tudomány. 168, 12, 1600–1606. <http://www.matud.iif.hu/07dec/15.html>