



Hidrogéntermelés megújuló forrásokból

A legtöbb elemző egyetért abban, hogy a fosszilis energiahordozók korszaka után a hidrogén lesz az energetika alapja. Az egyetértés ugyanakkor csak a távlatokkal kapcsolatban van meg, az oda-vezető utak, technológiák terén egyelőre sokféle vélemény, jóslat forog közkézen. Ez az összeállítás összefoglalja a hidrogén kinyerésének lehetőségeit főleg megújuló forrásokból, valamint a felhasználás gazdasági szempontból legelőnyösebbnek tűnő változatait. Kiemelt szerep vár azokra a megoldásokra, amelyek a hulladékok ártalmatlanításával kombinálják az új energiahordozók hasznosítását.

Tárgyszavak: hidrogén; megújuló energiaforrás; mikrobás tüzelőanyag-elem.

Egy az USA-ban 2002-ben megjelent, az energiagazdálkodás jövőjével foglalkozó monográfia szerzője szerint már egy-két évtizeden belül bekövetkezik az a fordulópont, amelyben a kőolaj termelése nem tudja kielégíteni a keresletet, és az egyre növekedő igény az 1973. évihez hasonló, világméretű kőolajválságot robbanthat ki. Ha ilyen válság nem is tör ki, a Kiotói Egyezményhez csatlakozott országokat a szén-dioxid kibocsátására vállalt korlátozások gátolják a fosszilis energiaforrások ki-

használásában. Ebből pedig le lehet vonni a már sokszor hangoztatott következtetést: a világnak sürgős szüksége van megbízható alternatív energiaforrásokra.

A hidrogén, mint energiaforrás

Az új energiahordozónak nagy mennyiségben kell rendelkezésre állnia, könnyen szállítható-
nak és járművek hajtására alkalmasnak kell

lennie. A megújuló forrásból előállított hidrogén környezetkímélő, de biomasszából fermentálva a nyersanyag energiájának csupán 15%-a nyerhető ki hidrogén formájában, a többi 85% hasznosítására gazdaságos eljárást kell találni.

A hidrogénipar éves növekedése 5–10%-ra becsülhető, a gáztársaságok által termelt és forgalomba hozott „kereskedelmi hidrogén” éves növekedése 12–17%. Az USA határain belül 2002-ben 9,2 Mrd m³-nyi hidrogénszállítmány cserélt gazdát 767 M USD értékben. A termelt hidrogén 59%-át a vegyipar, ennek 40%-át a kőolajfinomítás és 1%-át tiszta fémek termelésére használják fel. Az USA elsődleges energiafelhasználásából 2%-ot fogyasztanak el hidrogén előállítására.

Az USA szövetségi kormánya fontos stratégiai területként kezeli a hidrogénalapú energiatermelést, ezért 2003-tól évi 1,2 Mrd USD-vel egészíti ki az Energiaügyi Minisztérium (DOE) korábbi keletű, FreedomCAR elnevezésű támogatási programja által e célra fordított 0,5 Mrd USD-t. Maga az Egyesült Államok elnöke ígérte meg egy fontos beszédében, hogy a mai újszülöttek majdani autóit már hidrogén fogja hajtani. Néhány szövetségi állam (Kalifornia, Michigan, Ohio, Pennsylvania) külön támogatásokkal kívánja még vonzóbbá tenni a hidrogén- és a fűtőanyag-

elemek termeléséhez kapcsolódó, egyelőre kockázatos beruházásokat, magához vonzva a korszerű technológia úttörőit.

Az USA a hidrogéngazdaság jegyében nemzetközi együttműködést (International Partnership) kezdeményezett Ausztráliával, Brazíliával, az Európai Bizottsággal, Indiával, Izlanddal, Japánnal, az Egyesült Királysággal, Kínával, Koreával, Franciaországgal, Németországgal, Norvégiával és Olaszországgal azaz a gyakorlati célkitűzéssel, hogy a lakosság 2020-tól versenyképes áron vásárolhasson hidrogénüzemű gépkocsit és tankolhasson is bele üzemanyagot otthona és munkahelye közelében.

Prognózisok, vállalkozások

A jövő energiabázisának tekintett hidrogénnel és a tüzelőanyag-elemekkel kapcsolatban nincs hiány pozitív és negatív becslésekben és prognosztikai számításokban sem:

- a tüzelőanyag-elemes autó elérhető mérföldenkénti költsége 0,24–0,36 USD/gallon benzinének felel meg (2003),
- egy másik 2003. évi elemzés szerint a hidrogénüzemű autók a mai személyautókhöz képest túl költségesek, és egyedül az utántöltés infrastruktúrájának kiépítése járművenként 5000 USD-ba kerülne,

- a Science-ben megjelent vélemény szerint nem zárható ki az sem, hogy a nagy hidrogén- és vízkibocsátás (utóbbi mint égéstermék) klimatikus hatása problémát fog okozni.

Sem a fenntartások, sem az aggodalmak nem riasztják vissza a fejlesztéstől sem a nagy társaságokat, sem a kockázatot vállaló induló kisvállalkozásokat:

- jelenleg mintegy 100 kis és nagyvállalat gyárt az USA-ban tüzelőanyag-elemeket és alkatrészeket, köztük a General Electric és a Siemens-Westinghouse,
- az autóipar nagyjai közül a Honda és a General Motors elkészítették tüzelőanyag-elemes prototípusaikat,
- a kőolaj-, ill. petrolkémiai ipar sem akar kimaradni: a Royal Dutch/Shell-csoport leányvállalatot alapított Shell Hydrogen Corp. néven, a benzin helyettesítésére számítva.

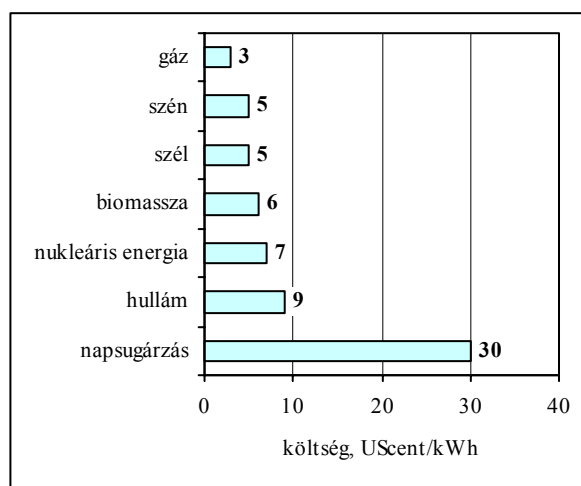
Honnan jöhet a hidrogén?

A hidrogén a Föld legnagyobb bőségben előforduló eleme, üzemanyagként azonban nem lehet a természetből begyűjteni, elő kell állítani természetes anyagokból, energiaigényes eljárással.

Az USA energiafogyasztása 2002-ben 97 kvad (ezer trillió BTU, British Thermal Unit), azaz 28 400 TWh volt, ebből 13 kvad, azaz 3800 TWh villamos energia volt (lásd 1. ábra). Amennyiben a hidrogén lesz a fő közlekedési üzemanyag, becslések szerint a vízből kiinduló előállításához további 12 kvad villamos energiára lesz szükség az USA-ban. Ezt a mennyiséget

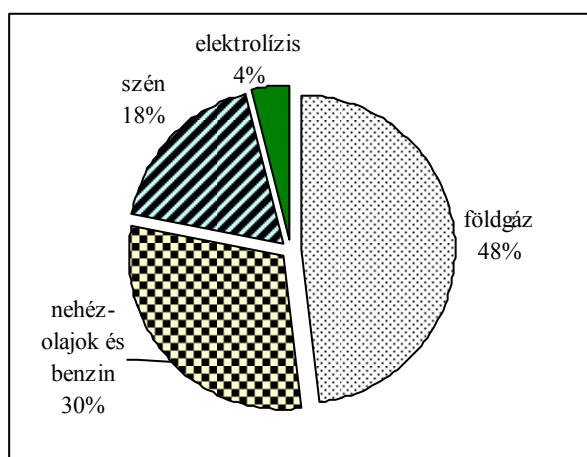
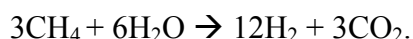
- szélerőművekkel 130 000 km² területen (kb. New-York állam mérete),
- napenergiával 20 000 km²-en,
- energianövényekből nyert biomasszából az USA művelés alatt álló teljes földterületének kb. 15%-án (Nevada államnyi területen)

lehetne megtermelni. Energetikai rendeltetésű biomassza helyett sokan javasolják a hasznos növények hulladékának (szalma, kukoricaszár stb.) felhasználását alkohollá erjesztés helyett hidrogéntermelésre.



1. ábra A villamosenergia-termelés költsége

Az összes előállított hidrogéngáz mintegy felét jelenleg földgázból állítják elő termokatalitikus eljárással (lásd 2. ábra). A második legjelentősebb forrás a nehézőlaj és a könnyűbenzin, ezt követi a szén. Hidrolízis segítségével vízből csak a mennyiség 4%-át állítják elő. A víz ugyanakkor közvetve fontos hidrogénforrás, még akkor is, ha a termelés fosszilis fűtőanyagokból indul ki. Ha pl. földgáz az alapanyag, akkor az ún. vízgőzös reformálás (vagy metánoxidálás) során a megtermelt hidrogén fele a reakcióhoz felhasznált vízből keletkezik:



2. ábra Hidrogénforrások

A cukor is jelentős forrás lehet, mivel számos ipari szennyvíz tartalmazza. A glükózt mikroorganizmusokkal, elsősorban clostridium-fajokkal, illetve enzimek segítségével lehet fermentálni. Ipari méretekben stabilan és gazdaságosan működő, jó kihozatalú eljárást egyelőre még nem sikerült kidolgozni.

A gazdaságosság kérdései

A fermentációs hidrogéntermelés kétféleképpen tehető gazdaságossá:

- ingyen rendelkezésre álló alapanyag felhasználásával,
- a hidrogén kinyerése után fennmaradó 67–85%-nyi maradék alapanyag piaci hasznosításával.

Az első változatra ideális megoldást kínálnak a szilárd (pl. tömeges mezőgazdasági), valamint az ipari és háztartási szennyvízben oldott hulladékok. Ezek lerakása és kezelése egyébként egyre nagyobb gonddal jár, közvetlen, fermentációs célú hasznosításukkal ki lehet alakítani egy fenntartható ciklust. E megoldás (ma még inkább vízió) előnyeit érzékletessé teszi néhány számadat: az USA-ban a következő 20 évben mintegy 2 billió USD-t kell költeni az ivóvízellátó és szennyvízhálózat kiépítésére, üzemeltetésére és karbantartására, ebből 45 Mrd jut a szennyvízrendszerre, a jelenlegi évi 25 Mrd USD folyó kiadásokon felül.

Mennyi energia van a szennyvízben? Az USA 350 milliós lakosságának évi szennyvizében levő szervesanyag-mennyiség energiatartalma 0,11 kvad, a képződő állattartási szennyvíz energiatartalma jóval többre, kb. 0,3 kvadra becsülhető. Az ipari szennyvizek közül 0,1 kvadra tehető energiatartalmával, csekély mik-

robás és egyéb szennyezettségével az élelmi-szer-feldolgozás a legértékesebb. Ezek az energiamennyiségek ugyan nem elégítik ki a hidrogéntermelés feltételezett igényét, hozzájárulásuk azonban jelentékeny. A mai villamos erőművek beruházási költségével (kb. 1000 USD/kW) akkor lehet majd konkurálni, ha sikerül évente szennyvízből kitermelni 0,1 kvad értékű energiát, 3,3 Mrd USD-nél kevesebb beruházási költséggel. Ennél nagyobb költség is elfogadható, ha a beruházás egyben a szennyvízkezelést is megoldja, vagyis része az imént említett 45 Mrd USD nagyságú, eleve szükséges kiadásnak.

A metán energiájának hasznosítása

Miután a hidrogént kinyertük szennyvízből, hasznosításra vár a szerves maradékban még meglevő energia, célszerűen metán formájában. A metán előállításának számos egy-két, és háromfokozatú technológiáját dolgozták ki a keverős tankoktól az iszapfedésű, anaerob reaktorokig. Az USA-ban elterjedt a szennyvízkezelés során a szennyvíziszap anaerob fermentálása, a keletkezett biogázt, azaz metánt azonban mint haszontalan mellékterméket még gyakran fáklyákban égetik el, esetleg melegítik vele a reaktort, csak ritkán termelnek belőle villamos energiát.

Célszerűnek látszik tehát a szennyvízből, iszapból stb. kiindulva kétlépcsős eljárással, kapcsolt módon hidrogént és metánt termelni. Az első fokozatban végbemegy a szerves rész hidrolízise és a hidrogénfejlődés, a második, hosszabb idejű, vízkivonást igénylő szakaszban pedig az erjedés metánná. A két szakasz elvileg a pH beállításával és a vízkivonási idővel szabályozható, de ez a technológia ipari méretekben ez idáig még nem valósult meg.

Mikrobás tüzelőanyag-elemek

A ma még fejlesztés alatt álló mikrobás tüzelőanyag-elemek várhatóan lehetővé teszik a szennyvíz hidrogéntermelés után megmaradt 85%-nyi energiájának hasznosítását. A hagyományos tüzelőanyag-elemben az anódkamrába juttatott hidrogéngáz protonjaira és elektronjaira hasad. Az elektronok a külső áramkörben a katód felé haladva áramot hoznak létre, a protonokat az elem belsejében a kamrák között protoncserélő membránon átvezetik. A platinabevonatú katódon oxigén, elektronok és protonok egyesüléséből víz képződik. A tüzelőanyag-elemben a fűtőanyagok csak kémiai átalakítással hidrogénné alakítva használhatók.

A mikrobás tüzelőanyag-elemekben baktériumok játsszák a katalizátor szerepét a szerves

anyagok oxidálásának meggyorsítására. Ennek során elektronokat fognak be, majd továbbadják őket energiát ATP-ben (adenozin-trifoszfát) tároló lélegző enzimeknek, majd ezek pedig elektron akceptoroknak, amelyek lehetnek többek között vas, nitrátok, szulfátok. Ilyen módon különféle anyagokkal, így acetáttal, laktáttal, glükózzal, sőt összetett anyagokkal, így szennyvízzel is lehet áramot termelni.

Különböző fajtájú mikrobás tüzelőanyag-elemek vannak a laboratóriumi vizsgálatok stádiumában. Az egyik jellegzetes konstrukció két tartályból áll, az egyik kamrában a baktériumok az anódon oxigénmentes közegben szaporodnak, a másikban levő katódon aerob feltételek mellett megy végbe az oxigén és a protonok egyesülése vízzé. A két kamrát polimer protoncserélő membránt tartalmazó híd köti össze. Ez megengedi az elektródok közötti protonáramlást, de ideális esetben kizárja az üzemanyag és az oxigén mozgását az edények között.

Egy másik változat levegővel közvetlenül érintkező katódot tartalmaz, amelyhez a protoncserélő membrán csatlakozik. Az egyetlen reakcióterű csőreaktor közepén levő katódot koncentrikus elrendezésben az anód funkcióját betöltő grafitrudak veszik körül. Ez a rendszer – a szakaszos kétkamrással ellentétben – alkalmas folytonos üzemű villamosenergia-termelésre háztartási szennyvízből.

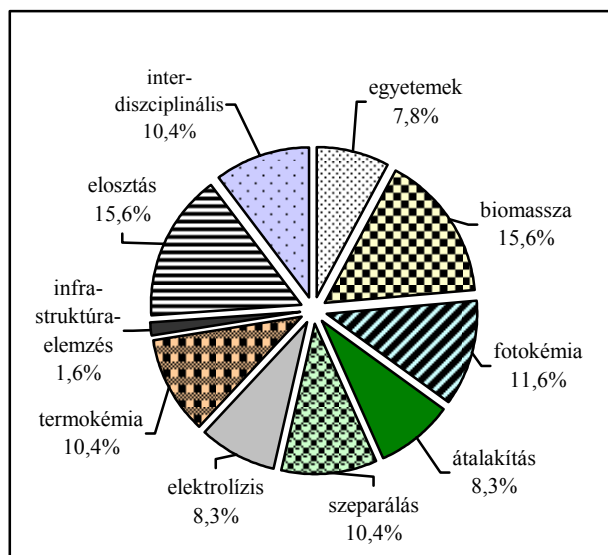
A mai mikrobás tüzelőanyag-elemek kis teljesítményük miatt még nem alkalmasak gazdaságos energiatermelésre, de fejlődésük ebben a vonatkozásban is biztató. Az első kísérleti példányok 1 m^2 anódfelületre számítva még csak 1–40 mW-ot termeltek, a közelmúltban a Pennsylvanai Állami Egyetem laboratóriumában szennyvízből 150, glükózból 250–500 mW/m² kihozatalt értek el. Egy 2003-ban közölt belgiumi eredmény glükózzal már 3600 mW/m².

Ezek az eredmények figyelemre méltók, de olcsón megvalósítható nagyobb felületekre van szükség a baktériumok megkötésére és az elektronátvitelre az anód irányába, hasonlóan a már a gyakorlatban használt csepegtető szűrős szennyvíztisztítók biofilmjeihez. A nagyobb méretű alkalmazáshoz a túl drága platinakatód és protoncserélő membrán helyett is valami kedvezőbb árú megoldást kell találni.

Kitekintés

Kétségtelen, hogy a fenntartható hidrogéngazdaság elterjedéséhez még meg kell oldani számos alapvető műszaki és tervezési feladatot. A Nobel-díjas Richard Smalley véleménye szerint az energia a legkritikusabb kihívás, amellyel ma szembe kell néznie az emberiségnek, ezért az energiatermelés merőben új és gazdaságos módszereit kell kifejleszteni.

Az USA Energiaügyi Minisztériuma által hidrogéntermelésre szánt keretek megoszlását mutatja a 3. ábra.



3. ábra Az USA Energiaügyi Minisztériuma hidrogéntermelésre irányuló kutatási támogatásai

Az olyan alternatív fűtőanyagok, mint a kátrány vagy a metánhidrát elégetése nem környezetkímélő. A hidrogén segíthet az energiaigény kielégítésében, de fenntartható termeléshez

lényegesen nagyobb beruházásokra van szükség. A DOE tervét a fermentáció támogatására a szakemberek a helyes irányba tett lépésnek tartják, de hiányolják többek között a hidrogén szénből és nukleáris energiából kiinduló előállításának támogatását. Hasonlóképpen fontos a szennyvíz energetikai hasznosításának és a biohidrogén kutatásának felvételét a támogatott tudományos és fejlesztési programokba.

Összeállította: dr. Boros Tiborné

Irodalom

- [1] Logan, B.E.: Extracting hydrogen and electricity from renewable resources. = Environmental Science and Technology, 38. k. 9. sz. 2004. máj. p. 160A–167A.
- [2] Ogden, J. M.: Prospects for building a hydrogen energy infrastructure. = Annual Review of Energy and the Environment, 24. k. 1999. nov. p. 227–279.

Kapcsolódó internetes honlapok:

A Nemzetközi Hidrogén Energetikai Szövetség (International Association for Hydrogen Energy, IAHE) honlapja. = <http://www.iahe.org/>

Az USA Energiaügyi Minisztériuma keretén belül működő Megújuló Energiaforrások Nemzeti Laboratóriumának (National Renewable Energy Laboratory, NREL) hidrogénnel foglalkozó kutatási portálja. = http://www.nrel.gov/clean_energy/hydrogen.html