



BME OMIKK
ENERGIAELLÁTÁS, ENERGIATAKARÉKOSSÁG
VILÁGSZERTE

44. k. 4. sz. 2005. p. 22–35.

Energiatermelés, -átalakítás, -szállítás és -szolgáltatás



Megújuló forrású energiával előállított hidrogén – az új gazdaság alapja

A jövő energetikája a hidrogéneken mint energiaforráson fog nyugodni – ezzel a kijelentéssel egyre több szakértő egyetért. A hidrogén előállítása is energiát igényel azonban, és nem is keveset, így ezt fosszilis forrásokból nyerve könnyen el lehet veszteni a réven, amit a vámon nyertünk. A megoldás kulcsa a megújuló forrású energiával előállított hidrogén, a szóba jöhető nap- és szélenergia viszonyai, energetikai hatásfokuk. Egy fontos együttműködés az állam és a vállalatok között: az amerikai FreedomCAR projekt a jövő közlekedésének kutatására.

Tárgyszavak: hidrogénalapú gazdaság; megújuló energiaforrás; tüzelőanyag-elem.

A sűrűn lakott fejlődő országok gazdasági expanziójával és energiaigényességük fokozódásával a kőolaj iránti kereslet jelentős mértékű növekedése fenyeget a nem túl távoli jövőben. E problémát fokozza az is, hogy az USA továbbra is a világ olajtermelésének aránytalanul nagy hányadát (többet, mint az utána következő öt legnagyobb felhasználó együttvéve) fogyasztja el. A fosszilis fűtőanyagoktól való jelentős mértékű függés komoly problémák forrása a levegőtisztaság és az éghajlatváltozás szempontjából is.

Ha sikerülne a gazdaságot fokozatosan hidrogénre, mint energiaforrásra átállítani, az USA (és Európa) függetlenné válhatna a politikailag instabil régiók olajszállításaitól, mivel a hidrogént különféle (fosszilis, megújuló, nukleáris) hazai forrásokból nyert villamos energiával lehet előállítani. Erre támaszkodva a hidrogénnel hajtott tüzelőanyag-elemekkel mind a helyhez kötött, mind a mozgó fogyasztók (járművek) energiaigényét ki lehetne elégíteni. Nem meglepő tehát, hogy a 90'-es évek közepétől kezdődően fokozódó érdeklődés mutat

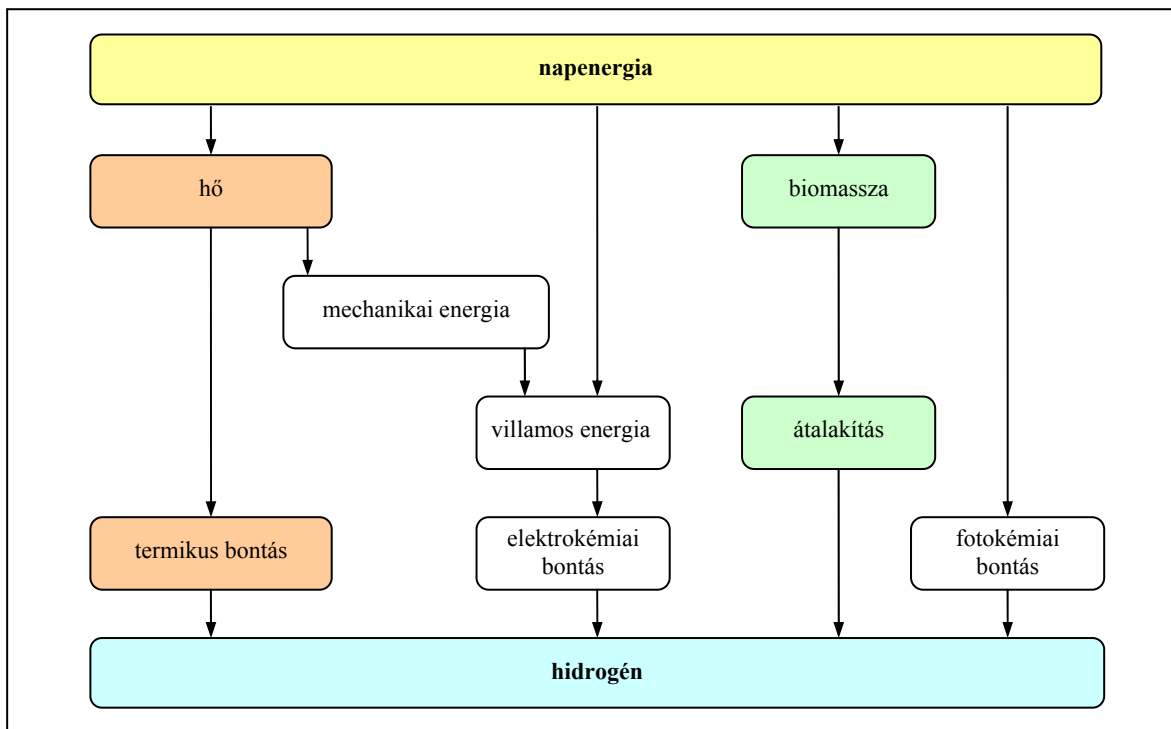
kozik a megújuló forrásokból származó hidrogénre és tüzelőanyag-elemekre támaszkodó gazdaság iránt világszerte. A becslések szerint 2050-re 10–30 TW-nyi (10^{12} W) környezetkímélő energiaforrásra lesz szükség, amelynek előállítására az atombomba kifejlesztését eredményező Manhattan-programhoz, vagy az Apollo űrprogramhoz mérhető nagyságú és sürgősségű állami erőfeszítésre lesz szükség.

Az előző számunkban közölt hasonló témájú írás (Hidrogéntermelés megújuló forrásokból = Energiaellátás, energiatakarékosság világszerte, 2005/2, p 32-38) a kutatások támogatási rendszerére, az ágazat úttörő vállalkozásaira és

a termelés és felhasználás biokémiai vonatkozásaira összpontosított, a most következő összeállítás viszont röviden áttekinti a hidrogénre alapozott gazdaság főbb jellemzőit, különös tekintettel a hidrogén megújuló energiaforrásokra (szél és nap) alapozott előállítására és hasznosítására (ld. az 1. ábrát).

A hidrogén mint fűtő- és üzemanyag

A következő néhány fontos sajátosságának köszönhetően a hidrogén fűtő- és üzemanyagként is kiválóan felhasználható:



1. ábra A hidrogén fenntartható forrásokból való előállításának sémája

- Bármely ismert fűtőanyaghoz viszonyítva a legnagyobb a tömegegységre jutó fajlagos energiataralma – 134 200 Btu/font¹, ami közel háromszorosa a benzinének (1. táblázat).
- Normál hőmérsékleten és nyomáson egy térfogategységre jutó energiasűrűsége ugyan kicsi, de ezt a nyomás fokozásával, vagy igen alacsony hőmérséklet alkalmazásával növelni lehet. Emellett a hidrogén fém-hidridek formájában is tárolható.
- Mivel igen gyúlékony, kis energiával lángra lobbantható és elégethető. E tulajdonsága miatt a levegőben 4–74%-ban jelen levő hidrogén elégethető.
- Halványkék, alig látható lánggal ég, ennek során sem szén-dioxid, sem lebegő részecske, sem káros kénkibocsátás nem keletkezik. Meghatározott feltételek mellett viszont a hidrogén elégetése nitrogénoxidok (NO_x) kibocsátásával járhat.

1. táblázat
Egy kilogramm (kb. 12 normálköbméter)
oxigénnel vízzé átalakuló hidrogén
energiataralma

Nagyobb fűtőérték	Alacsonyabb fűtőérték
134 200 Btu	113 400 Btu
39,3 kWh	33,2 kWh
141 600 kJ	119 600 kJ
33 800 kcal	28 560 kcal

A hidrogén a Föld egyik legegyszerűbb, legnagyobb mennyiségben megtalálható kémiai eleme, amely természetes feltételek között

mindig csak más elemekkel – például oxigénnel és szénnel – együtt fordul elő. Leválasztva igen tiszta energiahordozó. Tisztaságát mi sem jellemzi jobban, mint az a körülmény, hogy az USA úrsikló-programjában a kozmikus jármű villamos energiáját hidrogénnel üzemelő tüzelőanyag-elemek szolgáltatják, amelyek melléktermékét a légénység igen tiszta ivóvízként hasznosítja. A szénhidrogén fűtőanyagok nyilvánvaló alternatívájának tekinthető hidrogén biztonságosan és környezetkímélő módon előállítható. Ami hasznosítását illeti, már ma is működnek személy- és teherautók, villamos erőművek, épület-villamossági rendszerek stb. hidrogénnel, de e gáz előállításához, szállításához és nagy mennyiségű tárolásához szükséges infrastruktúra hiánya miatt erre csak kevés helyen kerül sor. Pedig a hidrogén széles körű hasznosítása az USA-ban több előnnyel járna.

Erősödne az energetikai biztonság, mivel a hidrogénre és a tüzelőanyag-elemes technológiára támaszkodva mérsékelni lehetne a függést a külföldi olajszállításoktól. Az USA ugyanis jelenleg naponta körülbelül 20 millió hordó kőolajat használ fel, ami hetente közel 2 milliárd dollár kiadással jár. E mennyiség jelentős részét gépjármű-üzemanyag előállítására használják fel – a benzintartályokba kerülő üzemanyag közel fele importból származó olajból készül. Pedig hidrogént különböző

hazai energiaforrások révén, köztük fosszilis fűtőanyagokból, megújuló forrásokból és atomenergiából is elő lehetne állítani.

Az üvegházhatású gázok (GHG, greenhouse gas) kibocsátásának csökkentésével mérsékelhető a globális éghajlatváltozás. Ezek a gépkocsik közlekedése, fűtés vagy világítás kapcsán felszabaduló gázok ugyanis elnyelik a nap infravörös sugárzásának egy részét. Ha viszont a közlekedésben és az energiatermelésben is az igen jó hatásfokú tüzelőanyag-elemeket lehetne alkalmazni, a GHG-kibocsátás számottevő mértékben mérséklődne – különösen akkor, ha a hidrogént megújuló, nukleáris forrásból vagy igen tiszta fosszilis technológiával lehetne előállítani.

A levegőszennyezés csökkentése nyilvánvaló előny, hiszen az erőművek, a gépjárművek és más források káros kibocsátása kapcsán füstköd (szmog) keletkezik és az egészségre ártalmas lebegő részecskék is jutnak a levegőbe. Az alapanyagként földgázt, metanolt vagy benzint felhasználó tüzelőanyag-elemek átalakítói viszont ennél jóval kisebb mennyiségben bocsátanak ki káros anyagokat (például szén-monoxidot).

Az energiahatékonyság javulása következne be annak köszönhetően, hogy a tüzelőanyag-elemek (lásd a keretes írást p. 35-ön) hatásfoka

jelentős mértékben meghaladja az égési folyamatok energetikai hatásfokát. Egy hagyományos, égési folyamatokra támaszkodó villamos erőmű rendszerint 33–35%-os hatásfokkal üzemel, míg a tüzelőanyag-elemes erőművek hatásfoka elérheti a 60%-ot. Ha pedig a tüzelőanyag-elemeket kapcsolt villamosenergia- és hőtermeléssel működtetik, a hatásfok akár 85% is lehet. A jelenleg használatos gépkocsik üzemanyaguk energiataralmának kevesebb mint 30%-át alakítják át hasznos teljesítménnyé, míg a hidrogénes tüzelőanyag-elemekkel működő, villamos motorok hajtotta autók energetikai hatásfoka elérheti a 40–60%-ot. A tüzelőanyag-elemes kocsik hatásfoka még benzin reformálásával előállított hidrogén-üzemanyag esetében is körülbelül 40%.

A hidrogén gyártása

A világon jelenleg évente mintegy 40 millió tonna hidrogént gyártanak, ebből az USA-ban 9 millió tonnát (ez elegendő lenne 20–30 millió személygépkocsi hajtásához vagy 5–8 millió lakóház energiaigényének fedezéséhez). A gyártás fő alapanyaga a metán (földgáz), amelyet vízgőzzel reformálnak; a gyártott mennyiség közel 95%-a ezzel a technológiával készül. Emellett alkalmazzák az USA-ban hidrogén előállítására a fosszilis fűtőanyagok (pl. szén), valamint a biomassza termikus vagy biológiai átalakítását is.

Ma a hidrogént elsősorban közbülső vegyi anyagként vegyszerek és műtrágya gyártásához szükséges ammónia előállítására, olajfinomítóknál, fémek kezelésénél, villamos alkalmazásokra, valamint az élelmiszer- és a szappan/mosószergyártásban használják fel. Energetikai célokra főleg a NASA alkalmazza, ami jól mutatja, hogy a felhasználási technológiák még csak kísérleti stádiumban vannak. A hidrogént jelenleg csővezetékben, közúton hengeres tartályokban, csöves trélereken vagy mélyhűtött tartálykocsikban szállítják. A hidrogént előállító és forgalmazó cégek tulajdonában levő csővezetékek csak az USA néhány körzetében működnek, ahol nagy hidrogén-finomítók és vegyi üzemek vannak (főként Indiana, California, Texas és Louisiana államokban). A nagynyomású hengeres tartályokban és csöves trélereken végzett szállítás távolsága a termelőüzemtől a felhasználókig 160–320 km, ennél nagyobb távolságra (akár 1600 kilométerre is) a szállítást általában folyékony halmazállapotban, kiválóan szigetelt hűtő-tartálykocsikban bonyolítják le.

Megújuló energiaforrások

A legfontosabb megújuló energiaforrások között a nap-, a szél- és a geotermikus, valamint a biomasszából előállított energia említendő. Bármelyikük fenntartható kiaknázásához meg-

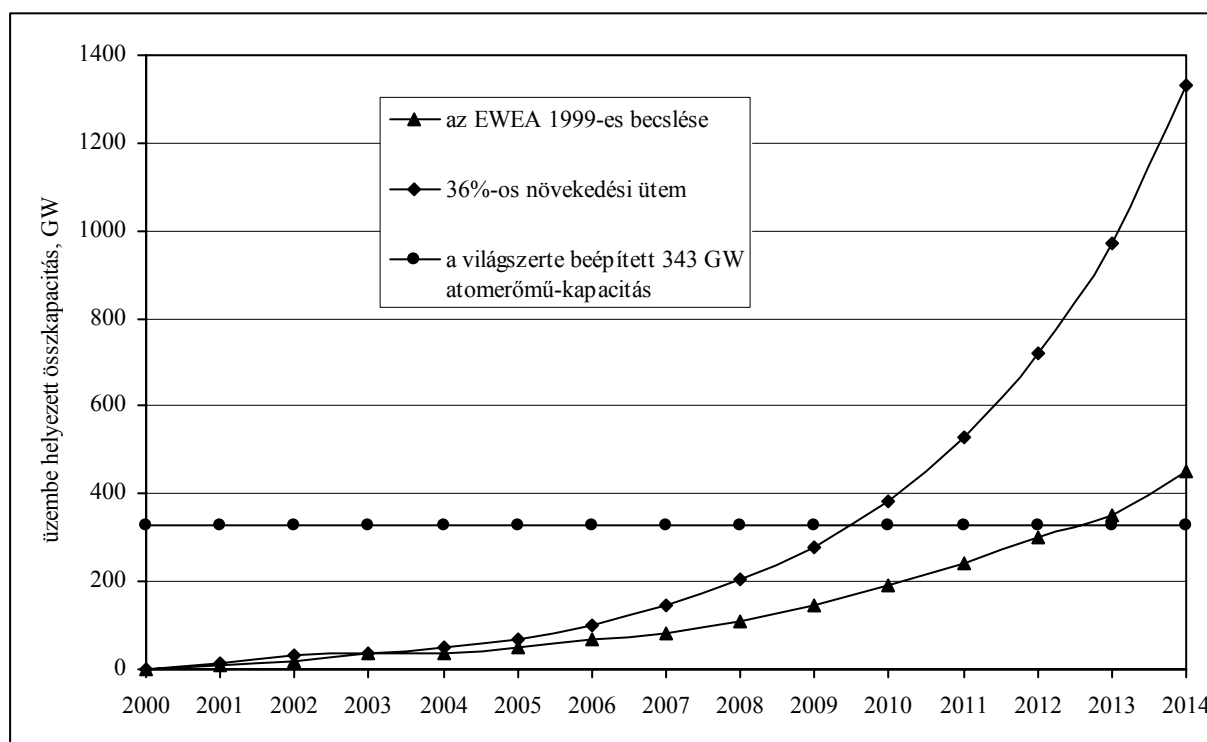
felelő energiátároló kapacitás beiktatása szükséges. Erre a célra a hidrogén mellett megfelelőek lehetnek a bio-üzemanyagok, az akkumulátorok, a vízenergia és a lendkerék is – mindegyikük közös jellemzője, hogy segítségükkel próbálják összhangba hozni az energia időben eltérő kínálatát a kereslettel. Egyébként energiahordozónak számít a metanol is, mivel megfelelő tüzelőanyag-elemben ebből is előállítható villamos energia, nemcsak hidrogénből – a megújuló energiaforrások nagyszabású kiaknázásához azonban kétségtelenül az utóbbi a „nyerő” megoldás.

Induljunk ki például 40 millió tonna hidrogén előállításának energiaigényéből, különböző megújuló források felhasználása esetén. Ennek során feltételezzük, hogy a hidrogént mindegyik esetben elektrolízis útján, 70%-os hatékonysággal lehet előállítani az adott, megújuló forrásból származó villamos energiával. Azért éppen 40 millió tonna a kiindulás, mert ebből fedezni lehetne az USA tüzelőanyag-elemes hajtásra feltételezetten átállított könnyű járművek üzemanyagának 50%-át – mégpedig a jelenleginél mintegy kétszer jobb átlagos hatékonysággal. Ekkora mennyiségű megújuló energia megtermelésére szélenergiából 555 GW, napelemekkel 740 GW, nukleáris forrásból pedig 216 GW kapacitásra lenne szükség. Ehhez képest jelenleg az USA szélerőművekkel 4,67 GW, napelemekkel valamivel több mint 0,1

GW, nukleáris forrásokból pedig 98 GW előállítására képes. A hidrogén használatának felváltásához ezért jelentős beruházásokra lenne szükség. Ezek megtérülését a pénzügyi szempontok mellett energetikai szempontok szerint is vizsgálni kell, mert e a rendszereknek csak akkor van értelmük, ha több energiát képesek termelni, mint amennyit gyártásuk és egész élettartamukra kiterjedő üzemeltetésük során együttesen felhasználnak – ellenkező esetben az adott technológia nem fenntartható. Egy szélkerék 3–4 hónap alatt szolgáltatja vissza az általa a fent említett módon felhasznált energiát (beleértve hulladékként való feldolgozását is lebontása után), napelemes panelek esetében viszont e mutató nagymértékben függ a fény-

elemek anyagától. Félvezető egykristály alkalmazása esetén 4 év, vékonyréteg eszközök esetében viszont csak 3 év ez a megtérülés, beleértve a napelemek mellett a keretek és állványok előállításának energiaigényét is. Bár a szerves anyagokra épülő napelemek megtérülési ideje ennél rövidebb, még mindig 1–2 év, míg nukleáris forrásból (a sugárzó hulladék 10 000 éven át történő biztonságos tárolásának garانتálása nélkül) már csak 1 év ez az energetikai megtérülés.

A megújuló energiatermelést az elektrolitikus vízbontáshoz a széleenergia révén lehetne előnyösen csatolni, ahogy azt a szélerőművek tervezett kapacitását is megjelenítő 2. ábra



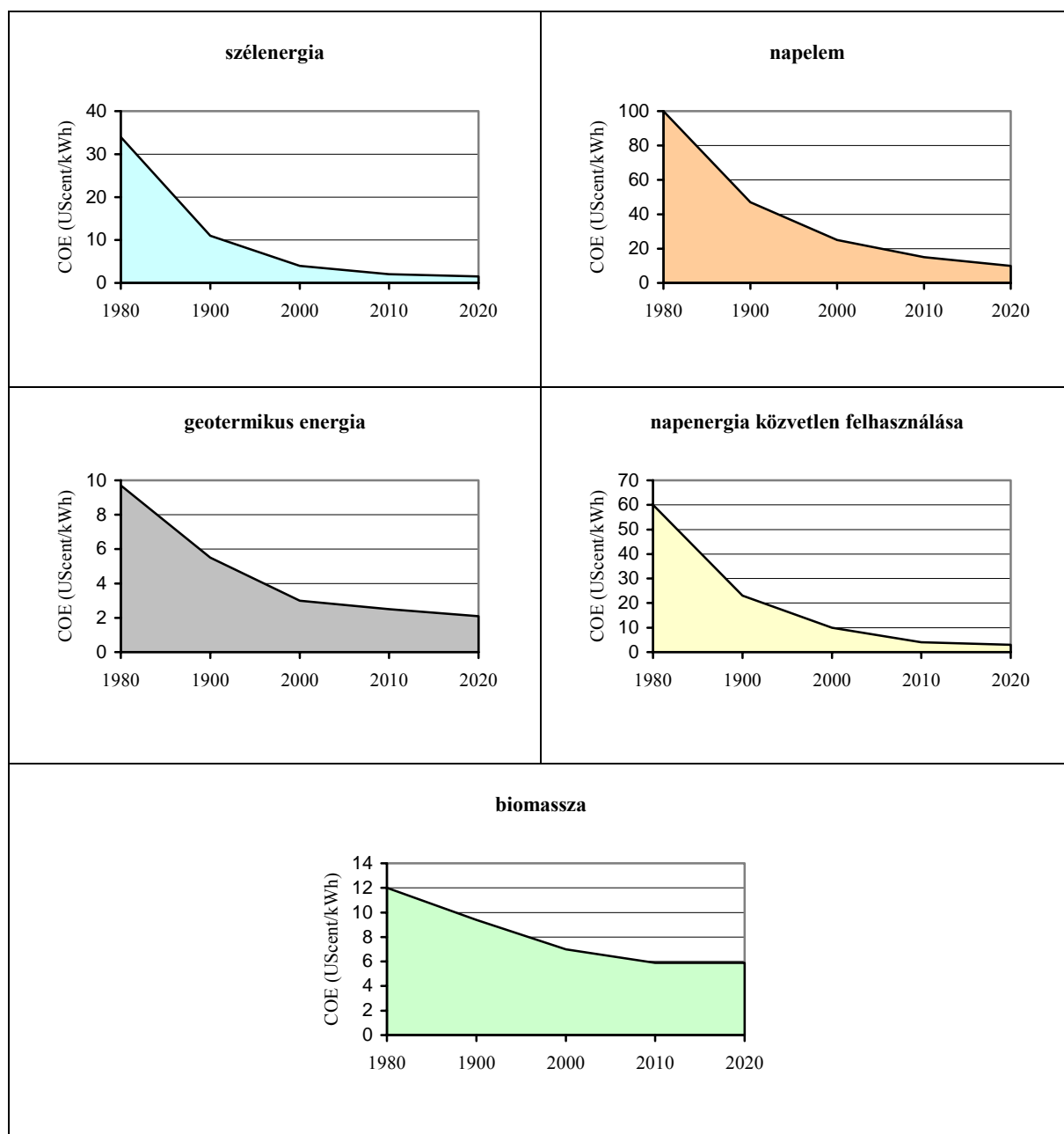
2. ábra A széleenergia termelésének tervezett növekedése az USA-ban 2014-ig

mutatja. A General Electric eddig egy 3,6 MW-os, egy Boeing 747-es szárnyainak fesz-távolságával közel megegyező kerékátmérőjű prototípust épített Spanyolországban, az USA keleti partvidékén pedig Californiában és Texasban létesítettek számottevőbb mértékben szélkerekes energiatermelő egységeket, és a jövőben e trend várhatóan fokozódni fog. A 3. ábra a különféle megújuló forrásból származó energia költségeinek feltételezett jövőbeni alakulását mutatja be. Az energiaköltséget (COE) minden esetben egy kilowattóra vetítve, 2000. évi USD értékére átszámítva állapították meg. E becslés nem is annyira a pontos éves adatok szempontjából, hanem a költségek változási irányzatának bemutatása miatt érdemel figyelmet.

A napelemes energiatermelés az USA számos körzetében bőségesen rendelkezésre álló napenergiát környezetszennyezés nélkül hasznosítva több megoldást kínál a hidrogéntermelésre is. E technológia alapja a félvezető alapanyagból előállított napelem, amelyben a különböző vezetési típusú tartományok között úgynevezett p-n átmenetet alakítanak ki, ahol a napsugárzás hatására keletkező elektron-lyuk párok elkülönülnek egymástól – megfelelő ohmos ellenálláson keresztül elektromos erőtérrel és feszültséget keltve. Az erre a célra az utóbbi évek folyamán alkalmazott különböző típusú félvezető anyagoknak köszönhetően a

napelemek hatásfoka folyamatosan javul. Mindazonáltal az így előállított áram fajlagos költsége (22 UScent/kWh) még mindig egy nagyságrenddel meghaladja a szénre jellemző értéket (2,1 cent), az atomenergiáét (6,5 cent), a földgázét (3,6 cent), a fűtőolajét (3,9 cent) és a szélenergiáét (5,5 cent). További költségcsökkenés az úgynevezett harmadik generációs napelemektől várható, amelyek nanonagyságrendű méreteket alkalmazó vékonyréteg struktúrákra, kvantum-sűrűsödési helyekre (quantum dots) és elektromos szempontból aktív szerves anyagokra támaszkodnak.

Amennyiben a napenergiát a fotoelektromos eszközben közvetlenül lehetne hidrogénné alakítani, úgy a víz elektrolitikus elbontására épülő technológiai fázisra nem lenne szükség. E rendszerben a bemeneten a napsugár és a víz közvetlenül reagál, míg a kimeneten hidrogén, oxigén, hő és víz keletkezik. E különleges napelemben a kulcsszerepet a félvezető-víz aktív felület tölti be. A víz hidrogénre és oxigénre bontásához (mindkét esetben légköri nyomáson és 25 °C-on) 1,23 V feszültség szükséges. Az ohmos feszültség-esést és a kinetikus veszteséget is beszámítva, a gyakorlatban is működőképes ilyen eszköz feszültsége körülbelül 2 V. Megfelelő eszköz létrehozásához optimálisan kell illeszteni a félvezető napelem fényelnyelési sávját a beérkező napsugárzáshoz; megvilágított állapot-



3. ábra Megújuló energiák fajlagos költsége (COE) UScent/kWh-ban (2000. évi vásárlóértéken)

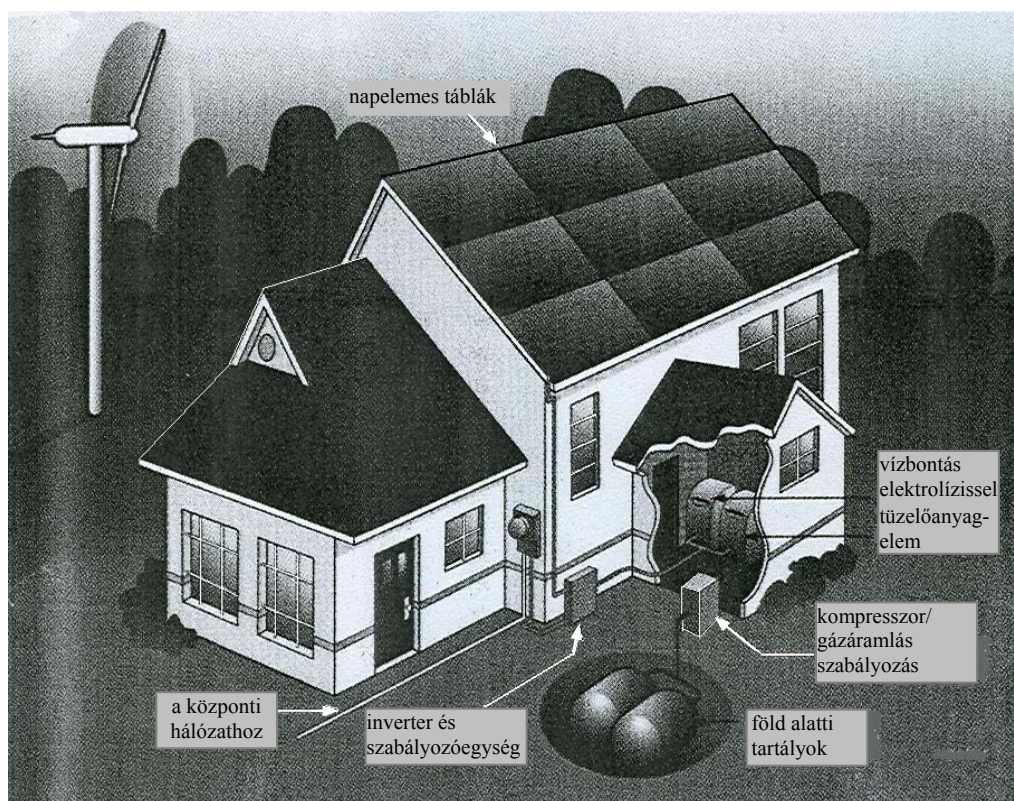
ban és vízzel érintkezve is stabil félvezető felületet kell találni, miközben kellőképpen illeszkednie kell a félvezető energiaszintjének és a víz oxidációs-redukációs szintjének is

egymáshoz. Egy TiO_2 vékonyrétegből kialakított eszköz például a napsugárzásnak csupán kis hányadát képes elnyelni, ezért a világszerte működő kutatólaboratóriumokban megfelelő

adalékanyagok segítségével és más módszerekkel próbálják fokozni ezen anyag napsugárzás iránti érzékenységét. Ebből a szempontból a több n- és p-típusú félvezető-folyadék p-n átmenetet tartalmazó eszközök hatékonyabbak, és laboratóriumi feltételek között már működnek is ilyenek.

Más technológiákkal is lehet napsugár segítségével vízből hidrogént fejleszteni – fotobiológiai úton, oldott állapotba hozott komplex fémvegyületeket katalizátorként alkalmazó

homogén vízbontással, de folynak kísérletek a vízbontást a nap hőenergiájának közvetlen igénybevételével megoldó eljárással is. A megújuló forrásokból előállított energiát a közlekedés mellett akár lakóházak komplex energiaellátására is fel lehetne használni – ahogy azt a 4. ábrán szereplő futurisztikus séma is szemlélteti. Az energiát itt a nap és a szél szolgáltatja, ami pedig a tüzelőanyag-elemeket illeti, jelenleg helyhez kötött felhasználók céljaira is számos cég forgalmaz már ilyeneket.



4. ábra Szél- és napenergiából előállított hidrogént felhasználó lakóház – valamikor a jövőben

A víz és a hidrogénes tüzelőanyag-elemek

Az elkövetkező 50 évben a vízellátás az emberiség egyik legkiélezettebb problémája lehet, mivel a háztartások mellett a mezőgazdaságban és az energetikában és másutt is nőni fog a víz iránti igény. Az USA-ban a fosszilis fűtőanyaggal üzemelő erőművek létesítésénél ez már ma is problémát okoz. Amennyiben a megújuló energiát hidrogénné alakító megoldásban gondolkodunk, a víz technológiai segédanyagként van jelen a rendszerben. A közlekedési hálózat számára szükséges hidrogén-üzemanyag előállítását vizsgálva, ehhez az országos vízfelhasználás mintegy 1%-os növekedésével kell kalkulálni – világos tehát, hogy ezt a mennyiséget csak tengervíz-sótalanító üzemek beállításával lehetne biztosítani. Az elektrolízishez szükséges nagy tisztaságú vizet központi tisztítóművek állíthatnák elő, ami a költségek és a hatásfok szempontjából is hatékony megoldás. A tisztított vizet ugyanis a meglévő folyékony üzemanyag szállítására használt vezetékeken szállíthatnák a tengerparti sómentesítő üzemekből a parttól távoli hidrogényárakba. A nagy tisztaságú víz előállításának problémáját a tengervíz feldolgozására kidolgozott fejlett fotoelektrolitikus és fotobiológiai technológiák kidolgozásával lehetne megoldani.

A leírt módon előállított hidrogénből tüzelőanyag-elemekben termelnének villamos energiát. Egy világprognózis szerint 2015-re a tüzelőanyag-elemes hajtású távolsági buszok száma 130 000–150 000-re nő, személyautóból pedig 17–80 millió darabra lenne majd szükség. Az ezekhez szükséges éves hidrogénmennyiség 20–90 millió tonnára becsülhető – jelenleg kereskedelmi célokra a világon évente csupán 2,5 millió tonnát termelnek. A tüzelőanyag-elemek piacának megfelelő kialakulása nélkül aligha lehet számítani arra, hogy ekkora beruházásokra sor kerül. A tüzelőanyag-elemek elterjedéséhez viszont könnyen elérhető hidrogén-újratöltő rendszerek szükségesek – ellenkező esetben a cégek nem hajlandók vállalni az új fűtőanyagra való átállást. Az állami támogatás mellett az adott területen működő vállalatok összefogására is szükség van a káros kibocsátás nélkül üzemelő járművekben rejlő lehetőségek gyakorlati bemutatásában. Ilyen irányú kezdeményezés a Kaliforniai Üzemanyagelem Társulás (California Fuel Cell Partnership) vagy a Dow Chemical Co., amely utóbbi már jelezte is, hogy kész összefogni a tüzelőanyag-elemek gyártóival a két technológia ötvözése érdekében. A következő pont a gépjárműipari kutatások kereteit és célkitűzéseit ismerteti.

A FreedomCAR gépjármű-technológiai kutatási/fejlesztési program

A FreedomCAR and Fuel Partnerships (gépjármű- és üzemanyag-társulás) nevet viselő hosszú távú kutatási/fejlesztési program mindenekelőtt azokat az önállóan még nem versenyképes, nagy kockázatú kutatási irányokat fogja össze, amelyek a gyakorlatban is megvalósítható, új rendszerű személy- és könnyű tehergépkocsik szerkezeti elemei, valamint a használatukhoz szükséges infrastruktúra létrehozásához szükségesek. A program stratégiai célja az USA importált üzemanyagoktól való függőségének és a gépjárművek káros kibocsátásainak mérséklése oly módon, hogy közben ne sérüljön sem a mobilitás, sem pedig az állampolgárok szabadsága a számukra szükséges gépjárműtípusok kiválasztásában és anyagi lehetőségeiknek megfelelő üzemeltetésében.

Az érdekelt kormányzati szervezetek és üzleti vállalkozások által alakított társulás ambíciózus céljai megfelelő kutatási/fejlesztési programra támaszkodnak és a következő főbb területekre terjednek ki:

- integrált rendszerek elemzése;
- tüzelőanyag-elemes villamosenergia-termelő rendszerek;
- hidrogént tároló rendszerek;

- a gépjárművek kellő mozgékonyágához szükséges hidrogényártási és -elosztási technológia;
- a hidrogénhajtású gépjárművek és a megfelelő infrastruktúra, illetve az egymáshoz illeszkedésüket elősegítő jogszabályok és szabványok technikai alapjai;
- a tüzelőanyag-elemes és belsőégésű/villamos hajtású hibrid járművekben egyaránt alkalmazható hajtórendszerek (pl. teljesítményelektronikai eszközök, villamos motorok);
- ultrakönnnyű szerkezeti anyagok;
- rendszerek a villamos energia tárolására (pl. akkumulátorok, nagyteljesítményű kondenzátorok);
- korszerű szabályozórendszerek belsőégésű motorok égési folyamatainak és kibocsátásának kézbe tartására (különbféle üzemanyagok – köztük dízel, hidrogén és bioüzemanyagok alkalmazása, valamint olyan új megoldások vizsgálata, mint például a homogén töltéseloszlású, túlnyomásos gyújtási rendszerek; a változtatható sűrítési arány; a kipufogógáz visszavezetése még a hengeren belül stb.).

Az együttműködésben érdekelt partnerek a hosszú távra szóló közös célkitűzések megvalósításában elért előrehaladás mérésére számos, 2010-ig és 2015-ig szóló, de menet közben szükség szerint kiegészíthető technológia-

specifikus célt is meghatároztak. Ezek elérése érdekében elsősorban az egyes alkotóelemekre, alrendszerekre és a célok eléréséhez szükséges infrastruktúrára összpontosítják a figyelmet. Ami az így elért technológiai eredmények üzleti hasznosítását illeti, az érdekelt társaságok függetlenül hozhatnak döntést.

A 2010-ig és 2015-ig szóló konkrét fejlesztési célkitűzések:

- Megbízható tüzelőanyag-elemes áramfejlesztő rendszerek előállítása, mégpedig a hagyományos belsőégésű motor/automatikus sebességváltó rendszerekéhez mérhető költségszinten² – a következő konkrét célokkal:
 - olyan villamos hajtórendszerek létrehozása, amelyek élettartama 15 év, miközben 18 másodpercig legalább 55 kW energiát, folyamatos üzemben pedig 30 kW-ot képesek leadni, 12 USD/kW maximális rendszerköltség mellett;
 - 60% maximális hatásfokú, tartósan működőképes tüzelőanyag-elemes áramforrások (beleértve a hidrogén tárolását is), amelyek 325 W/kg és 220 W/l hidrogén teljesítménysűrűséget érnek el. A költségelőirányzat 2010-re 45 USD/kW, 2015-re pedig 30 USD/kW³.
- „Környezettiszta”, jó energetikai hatásfokú, tiszta szénhidrogénnel hajtott járművek létrehozása, amelyek hajtórendszereit belsőégésű motorok vagy tüzelőanyag-elemek képviselik – a következő konkrét célokkal:
 - olyan belsőégésű, 30 USD/kW fajlagos költségszinten működő hajtórendszerek létrehozása, amelyek csúcshatásfoka 45%, és kielégítik vagy túlteljesítik a kibocsátási normákat;
 - 45% csúcshatásfokú tüzelőanyag-elemes rendszerek (beleértve az üzemanyag-átalakítót is), amelyek kielégítik vagy túlteljesítik a kibocsátási normákat, miközben fajlagos költségszintjük 2010-ben 45 USD/kW, 2015-re pedig 30 USD/kW⁴.
- Tartósan és megbízhatóan működőképes, elérhető áron forgalmazható villamos hajtású hibrid járművek létrehozása – a következő konkrét célokkal:
 - a villamos energiát 15 éves élettartama során tárolni képes, járművenként 300 Wh kapacitású, 18 másodpercig 25 kW kislúsi teljesítményű, 20 USD/kW fajlagos költségű tárolóegység.
- Annak érdekében, hogy át lehessen állni a hidrogénre alapozott energiagazdálkodásra, széles körben lehetővé kell tenni a hidrogén üzemanyaghoz való hozzáférést, fenntartva a járművekre jelenleg jellemző funkcionális jellemzőket is – a következő konkrét célokkal:
 - a gyakorlatban is demonstrált hidrogén-utántöltő rendszer fejlett kereskedelmi

szabályozással és szabványokkal, különböző megújuló és nem megújuló energiaforrásokkal. A földgázkúttól a töltőállomás csatlakozófejeig 70%-os energetikai cél-hatásfok; a hidrogénből előállított energia feltételezett fajlagos költsége egyenértékű gázolajra számítva 1,5 USD/gallon. Ennek során a gépjárművet tankoló rendszerben legyen átalakító, kompresszor és adagolóegység, amelyek napi feltételezett kapacitása 150 kg (aból kiindulva, hogy az átalakító napi 60 000 SCF földgázt kap, és naponta egy 300 járműből álló — járművenként 0,5 kg hidrogént fogyasztó – járműparkot szolgál ki). A célparaméterek teljesítését lehetőleg több száz utántöltő állomáson demonstrálni is kell. A szóba jöhető technológiák között szerepelhet a nátrium bórhidrid és más hasonló anyag is;

- a járművekbe építhető hidrogéntároló rendszerek létrehozása, 2010-re 2,0 kWh/kg (6 tömegszázalék hidrogén), illetve 1,5 kWh/liter fajlagos energiasűrűséggel és 4,- USD/kWh fajlagos költséggel, 2015-e pedig 3,0 kWh/kg (9 tömegszázalék hidrogén), illetve 2,7 kWh/liter fajlagos energiasűrűséggel és 2,- USD/kWh fajlagos költséggel;
- hidrogénnel üzemelő belsőégésű energiatermelő rendszerek létrehozása 2010-re 45 USD/kW, 2015-re pedig 30

USD/kW fajlagos költséggel, 45%-os csúcshatásfokkal, amelyek kielégítik vagy túlteljesítik a kibocsátási normákat.

- Olyan könnyített kiskategóriájú járműrendszerek kialakítása, amelyek nagy sorozatban gyárthatók, miközben a jelenlegi járművekhez és alrendszereikhez viszonyítva tömegük 50%-kal kisebb, elérhető áron forgalmazhatóak és gyártásuk során fokozott mértékben használnak fel újrahasznosított/megújuló forrásokat.

A célok elérését számos előre meghatározott időpontban konkrét eredmények tesztelésével állapítják meg (mérőföldkövek, milestones). Az első néhány mérőföldkő kitűzött időpontja már elmúlt, az eredmények egyelőre nem ismertek, de vissza fogunk térni rájuk, ha ismertté válnak.

Következtetések

Ahhoz, hogy a hidrogén a gyakorlatban is használható fűtő- és üzemanyag lehessen, javítani kell energiatársadalomának technológiáit, csökkentve egyben a költségeket is. Nincs ésszerű akadálya annak, hogy a megújuló energiák területén felhasznált hidrogén kezeléséhez szükséges infrastruktúra kiépüljön, hiszen elemei többnyire megegyeznek a fosszilis alapanyagokból előállított hidrogénével. A

megújuló forrásokra alapozott eljárások versenyképességének javításához azonban további kutatás és fejlesztés szükséges, de ugyanez vonatkozik a tüzelőanyag-elemekre is. Piacképes tüzelőanyag-elemes és hidrogén infrastruktúra létrehozásához az iparnak össze kell fognia az állami testületekkel, ahogyan az például az USA-ban a FreedomCAR életre hívásával is történt.

Összeállította: Dr. Balog Károly

Irodalom

- [1] Turner, J. A.; Williams, M. C.; Rajeshwar, K.: Hydrogen economy based on renewable energy sources. = Interface – Electrochemical Society, 13. k. 3. sz. 2004. p. 24–30.
- [2] Turner, J. A.: Electrochemistry and hydrogen economy. = Interface – Electrochemical Society, 13. k. 3. sz. 2004. p. 23.
- [3] A FreedomCAR hivatalos honlapja. = <http://www.eere.energy.gov/vehiclesandfuels/>

A tüzelőanyag-elemek alapjai

A tüzelőanyag-elemek a hidrogén kémiai energiájából „környezettisztán” és hatékonyan állítanak elő vilamos energiát és eközben melléktermékként víz keletkezik. Ezen az elven akár erőmű méretű berendezések vagy éppen egy fűtőberendezés energiagigényeit fedezni képes kisméretű készülékek is gyárthatók. Ha üzemanyagául tiszta hidrogént használnak, a cella melléktermékként csak hőt és vizet bocsát ki magából.

A hidrogénben dús anyagokból vagy hidrogénből oxigén jelenlétében energiát termelő tüzelőanyag-elemekben lejátszódó elektrokémiai folyamathoz megfelelő elektrolit és két, katalizátorral bevont porózus elektróda (anód és katód) szükséges. Noha különféle típusú tüzelőanyag-elemek készíthetők, alapvető működési elvük megegyezik:

- A hidrogént vagy a hidrogénben dús üzemanyagot az anódhoz vezetik, ahol egy katalizátor az ionizált hidrogén elektronjait, illetve a pozitív töltésű hidrogén ionokat elválasztja egymástól.
- A katódon az oxigén felveszi az elektronokat, más megoldások esetén protonnal vagy vízzel egyesül, és megfelelően hidroxil-ionokat vagy vizet alkot.
- Amennyiben polimer elektrolit membránnal és foszforsavval működő tüzelőanyag-elemről van szó, az elektrolitban protonok mozognak az anódhoz, ahol a hidrogénnel egyesülve víz és hő keletkezik belőlük.
- Alkáli, olvasztott karbonát és szilárd oxidos tüzelőanyag-elemek esetén negatív töltésű ionok áramlanak át az elektroliton az anódhoz, ahol a hidrogénnel egyesülve vizet és elektronokat bocsátanak ki.
- Az anód-oldalon található elektronok képtelenek az elektroliton keresztül eljutni a pozitív töltésű katódhoz, ezért arra kényszerülnek, hogy ezt az utat egy villamos hálózaton keresztül tegyék meg – az elektronok mozgása így villamos áramot kelt.

¹ 1 BTU (British Thermal Unit) = 0,252 kcal = 1055,06 Joule = 0,29307 kWh; 1 font = 453,6 g

² A referenciaköltségek 2001. évi USD-vásárlóértéken értendők. A kW-ban megadott célparamétereket a kisjármű kategóriában lehetséges terhelésből kiindulva állapították meg.

³ Kivéve a hajtás elektronikáját.

⁴ Beleértve a tüzelőanyag-elem blokkot, az üzemanyag-átalakító alrendszert – az üzemanyagtartály kivételével.