



Hydrogen as alternative fuel

Kádár, Zsófia; de Vrije, T.; Szengyel, Zs.; Claassen, P.A.M.; Réczey, K.

Published in:
Hydrogen as alternative fuel

Publication date:
2003

Document Version
Publisher's PDF, also known as Version of record

[Link back to DTU Orbit](#)

Citation (APA):
Kádár, Z., de Vrije, T., Szengyel, Z., Claassen, P. A. M., & Réczey, K. (2003). Hydrogen as alternative fuel. In *Hydrogen as alternative fuel*

General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

HIDROGÉN, MINT ALTERNATÍV ÜZEMANYAG

Zs. Kádár¹, T. de Vrije², Zs. Szengyel¹, P.
A. M. Claassen², K. Réczey¹

¹ Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi
Egyetem
Mezőgazdasági Kémiai Technológia Tanszék
H-1521, Budapest, Szent Gellért tér 4.

² ATO B.V.
6700 AA Wageningen, P.O. 17.
The Netherlands

Bevezetés

A Föld felszínének átlaghőmérséklete az elmúlt században folyamatosan emelkedett. A tömegtermelés elterjedésével, a populáció növekedésével, a fosszilis energiahordozók használatával az atmoszférába egyre több gáz került. Ezeknek az ún. üvegházhatású gázoknak köszönhető, hogy Földünk nem hideg pusztaság, hiszen ez a rendszer tartja melegen. A probléma akkor kezdődött, amikor a modern kor embere nagy mennyiségben kezdett fosszilis eredetű (szén, kőolaj, földgáz) energiahordozókat - egyre növekvő igényei kielégítésére - elégetni. Ezzel drasztikusan növelte a levegő szén-dioxid, dinitrogén-oxid, metán, halogén és egyéb üvegházhatású gáz tartalmát, amely globális felmelegedéshez, éghajlatváltozáshoz vezethet/vezetett.

A légkörbe kerülő gázok koncentrációja jelentősen csökkenthető alternatív üzemanyagok használatával. Ezen üzemanyagok előállítási költségei magasak, emiatt ma még nem versenyképesek. A költségek azonban jelentősen csökkenthetők, ha megújuló energiaforrást használunk nyersanyagként.

Kutatómunkánk fő célja volt tiszta hidrogén gáz előállítása ipari hulladékból (papíriszappból) anaerob, termofil és hipertermofil mikroorganizmusok segítségével.

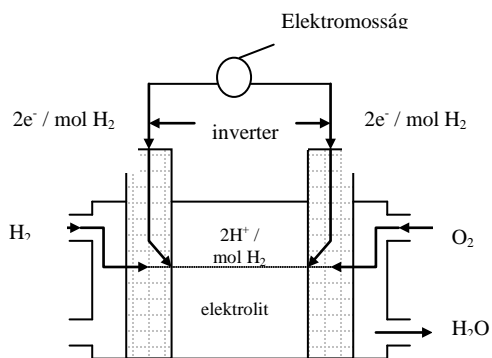
Hidrogén, mint üzemanyag

1950-ben 70 millió, míg 1994-ben már 630 millió gépjármű volt a világ útjain. Ha a növekedés üteme nem változik, akkor becslések szerint, 2025-re mintegy 1 billió autó lesz forgalomban. Minden liter elégetett üzemanyag során 2,5 kg CO₂ keletkezik, évente tehát egy átlagos autó 5,4 t-át bocsát ki. A légkör CO₂ koncentrációja jelentősen csökkenthető bioüzemanyagok (pl.: etanol, metanol, hidrogén) használatával.

A hidrogént már az 1970-es években - az energiakrízis idején - a jövő energiahordozójaként emlegették. Ekkor hatalmas erőfeszítéseket tettek lehetséges nyersanyagok és módszerek felkutatására. Az olaj árának csökkenésével egyidejűleg az alternatív üzemanyagok kutatása háttérbe szorult. Az 1990-es években aláírt nemzetközi egyezmények, amelyek az üvegházhatású gázok kibocsátásának csökkentését, és a megújuló energiaforrások használatának növelését célozták meg, új utat nyitottak az alternatív energiahordozóknak.

A hidrogén a legelterjedtebb elemek közé tartozik a Földön, kötött állapotban az oxigén után a második leggyakoribb elem, elemi állapotban azonban igen ritka, csak vulkáni gázokban és nyomokban (0,01 térf.%) a levegőben fordul elő. A legkönnyebb, színtelen, szagtalan gáz. A hidrogénből égetés során nem keletkezik káros égéstermék, mert a levegő oxigénjével vízzé oxidálódik.

Ahogy az a következő ábrán (1. ábra) is látható, a járművekben használható üzemanyagcella alapegysége két elektródából áll, egy elektrolit köré préselve. Az anódon hidrogén, míg a katódon oxigén halad át. Katalizátor segítségével a hidrogénmolekulák protonokra és elektronokra bomlanak, a protonok keresztülráamlanak az elektroliton. Az elektronok áramlása mielőtt elérné a katódot, felhasználható elektromos fogyasztók által. A katódra érkező elektronok a katalizátor segítségével egyesülnek a protonokkal és az oxigénmolekulákkal, vizet hozva létre. A folyamat során hő is termelődik.



1. ábra A hidrogéncella működése

Hidrogénhajtású gépkocsik

A világ első szériában gyártott hidrogénmeghajtású autóján a BMW kezdett el dolgozni. Terveik szerint 2005-ig minden németországi képviselőnek környékén lehet majd hidrogént tankolni, öt évvel később, reményeik szerint, egész Európában kiépülhet a kúthálózat. Jelenleg ebből a típusból (BMW 750hL) csak 15 db létezik. Kívülről alig különbözik a benzines üzemmódú járműtől. A 12 hengeres motor hidrogén üzemmódban 204 LE csúcsteljesítményt ad le, 9,6 s alatt gyorsul fel óránkénti 100km-es sebességre, és 226 km/h a csúcsebessége. A 140 l-es biztonsági tankba férő cseppfolyós hidrogénnel 350 km-t tehet meg. Ezen felül természetesen megmaradt a hagyományos benzinüzem berendezése is. A motor mindkét üzemanyaghoz használható, ha valamelyik tank kifogy, automatikusan átkapcsol a másik módba (2. ábra).



2. kép A BMW „biofuel” gépkocsijának tanksapkája és műszerfala

Kaliforniában már tesztelik azokat a terepjárókat is, amelyek üzemanyagcelláiban hidrogén fejleszti az áramot, így a kipufogótermék csak víz.

A hidrogén-üzemanyag megoldásra váró problémái

A kutatóknak ahhoz, hogy a hidrogén „mindennapos” üzemanyag lehessen, még számos problémát kell megoldani:

- A hidrogén előállítási költségének csökkentését

A hidrogén csak akkor lehet versenyképes a hagyományos üzemanyagokkal szemben, ha sikerül nagy mennyiségben rendelkezésre álló nyersanyagból olcsón előállítani.

- A hidrogén tárolását

A hidrogén tizenöt-ször könnyebb a levegőnél, és körülbelül egy köbméter gáz ér fel egy liter benzin energiataralmával, ezért a hidrogént csak nyomás alatt, cseppfolyós állapotban lehet tárolni, ehhez azonban -250°C -ra kell hűteni. Ha a hidrogént atmoszférikus nyomáson tároljuk, akkor ugyanannyi kilométer megtételéhez 3000-szer nagyobb üzemanyagtankra lenne szükség, amennyiben a benzin helyett hidrogént használnánk fel. A folyékony hidrogén tankolási technológiája még nem megoldott, ugyanis a feltöltés egy órát vesz igénybe.

További gondot okoz, hogy a tesztautókban használt nagy nyomás alatti sűrített hidrogén tárolása az utakon veszélyes megoldás lenne. Ezért folynak kutatások annak érdekében, hogy úgynevezett „hidrogén-szivacsokkal” (vas-titán-mangán ötvözet, amely szivacsoként szívja magába a hidrogént) helyettesítsék a folyékony hidrogén tartályokat.

A fémötvözetek ellen szól, hogy bár térfogatuknál jóval több hidrogén megkötésére képesek, de nagy a tömegük. Kínai és amerikai tudósok nagyon apró,

szénatomokból álló hengerekkel kötötték meg a hidrogént.

- A hidrogén szállítását
Mielőtt a hidrogén energiahordozóvá válna, szükséges hosszú távú szállításának biztonságos megoldása. A Union Carbide olyan föld alatti csővezetékét fejlesztett ki, amely egyaránt alkalmas gáz és folyadék halmazállapotú hidrogén szállítására. Másik lehetséges megoldás a Kawasaki Heavy Industries szerint speciális tankerhajók kifejlesztése, amelyek baleset esetén sem jelentenek veszélyt a környezetre.

A hidrogén, mint üzemanyag sokakban félelmet kelt, elég gondolni a szerencsétlenül járt Hindenburg léghajóra, vagy a hidrogénbomba pusztítására. A szakemberek szerint a hidrogén biztonságosabb a gázolajnál, mivel nem halmozódik fel robbanásveszélyt okozva, továbbá közel sem annyira veszélyes az emberi egészségre, mint a rákkeltő anyagokban gazdag kipufogógáz.

Hidrogén előállítási technológiák

Ipari előállítása esetén nagyobb mennyiségű, kisebb tisztaságú, de gazdaságosan kinyerhető termék a cél. Hagyományos hidrogén előállítási módszerek:

- Víz elektrolízise
A vizet elektrolízissel hidrogénre és oxigénre lehet bontani:
Az anódon a víz oxidálódik: $2\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{O}_2 + 4\text{H}^+ + 4\text{e}^-$
A katódon a víz redukálódik: $4\text{H}_2\text{O} + 4\text{e}^- \rightarrow 2\text{H}_2 + 4\text{OH}^-$
A nettó reakció: $2\text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{H}_2 + \text{O}_2$
Az elektrolízishez szükséges energia miatt az eljárás nem olcsó, pedig a víz nagy mennyiségben áll rendelkezésre.
- Vízgázreakció
Az egyik leggazdaságosabb eljárás, amikor izzó szénre 1000°C körüli hőmérsékleten vízgőzt fúvatnak. Ekkor a reakció eredményeképpen CO és H_2 gáz keveréke, ún. vízgáz keletkezik:
 $\text{C} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CO} + \text{H}_2$

A gázelegy CO-tartalmát újabb hidrogén előállítására használhatják fel, amikor a vízgázt vízgőzzel elegyítve 450°C körüli hőmérsékleten vas-oxid katalizátoron vezetik keresztül. Ekkor a vízgáz CO-tartalma a vízgőzt redukálja, ezáltal újabb mennyiségű hidrogén szabadul fel:
 $\text{CO} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CO}_2 + \text{H}_2$

- Szénhidrogénből
A szénhidrogének magas hőmérsékleten (1000°C) katalizátor (Al_2O_3 , Ni) jelenlétében vízgőzzel hidrogénképződés közben bomlanak:
 $\text{CH}_4 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow 3\text{H}_2 + \text{CO}$ majd $\text{CO} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CO}_2 + \text{H}_2$

Mikrobiológia úton

Hidrogén termelésére számos mikroorganizmus képes, anaerobok, fakultatív anaerobok és aerobok egyaránt.

- Fermentatív baktériumok
Számos (hiper)termofil mikroorganizmus képes cukrot hidrogénné, szén-dioxiddá és szerves savakká alakítani. Elméletileg 1 mol glükózból 4 mol hidrogén és 2 mol CO_2 keletkezik.
A *Thermotoga* rend tagjait először aktív vulkánokból izolálták. Egyik legismertebb képviselője a *Thermotoga elfii*, amely termofil, Gram-negatív, szigorúan anaerob, halofil baktérium. Optimális hőmérséklete 66°C , pH optimuma 7,5.
A *Thermotoga neapolitana* szintén Gram-negatív, szigorúan anaerob baktérium. Az előzővel szemben ez hipertermofil, még 90°C -on is életképes, hőmérséklet optimuma 80°C , pH optimuma 7.
Caldicellulosiruptor saccharolyticus
Gram-pozitív, szigorúan anaerob, hőmérséklet és pH optimuma 70°C és pH 7. Monoszacharidok, diszacharidok és poliszacharidok egyaránt szubsztrátjául szolgál.

Hidrogén előállítása ipari hulladékból

A hidrogén előállításának költsége jelentősen csökkenthető, amennyiben olcsó, nagy mennyiségben rendelkezésre álló

nyersanyagból állítjuk elő. Kísérleteink során papírszap hidrolizátumot használtunk. A papírszap a papírgyártás mellékterméke, amelynek kezelése a mai napig nem megoldott. Magas cellulóz tartalma (50-60%), azonban alkalmassá teheti bioüzemanyag előállítására. Enzimes hidrolízis után a fermentáló baktériumok szubsztrátként tudják hasznosítani.

100ml-es zárt edényben végzett kísérleteink során a fent említett három baktérium – *Thermotoga elfii*, *Thermotoga neapolitana* és *Caldicellulosiruptor saccharolyticus* – hidrogén termelését vizsgáltuk papírszap hidrolizátumon. Pozitív kontrollként glükózt használtunk, és három komponens – élesztő extrakt, nyomelemek és a sók – hatását vizsgáltuk a hidrogéntermelésre.

Eredményeink szerint mindhárom mikroorganizmus képes hidrogén termelésre papírszaphból, azonban a tápanyag igényük különböző. Mivel a *T. elfii* és *T. neapolitana* halofil mikroorganizmusok, ezért a tápanyagkomponensek közül a sók hatása jelentős. *T. elfii* esetében az élesztő extrakt szintén szignifikáns hatással van, hiányában hidrogén nem termelődik. Ez a tulajdonság nem kedvez ipari alkalmazásának, mivel korábbi kísérletek bebizonyították, hogy élesztő extraktból szintén képes hidrogént előállítani, továbbá ennek a komponensek az ára igen magas. Bár *T. neapolitana* hidrogén termelése csak a sók jelenlététől függ, de hőmérséklet optimuma igen magas. A táptalaj komponensek hiánya nem volt hatással *C. saccharolyticus* hidrogén termelésére, így a továbbiakban ezt a baktériumot használtuk kísérleteinkben.

Mivel a zárt edényekben a felhalmozódott hidrogén gátolhatja a további termelődést, azért ahhoz, hogy tényleges hozamokat számolni tudjunk, kísérleteinket fermentorban folytattuk tovább. Az itt elért glükóz:hidrogén:acetát arány 1:3,8:1,7 volt, (az elméleti értéket 1:4:2).

Összefoglalás

Mivel a hidrogénből káros égéstermék nem keletkezik, ezért nem véletlenül nevezik a jövő energiahordozójának. Versenyképessé azonban csak akkor válhat, ha előállítási költségeit megújuló nyersanyagforrásokkal csökkenteni tudjuk.

Kísérleteink bebizonyították, hogy a papírszap, amelyből évente hazánkban kb. 30 000t keletkezik, alkalmas szubsztrátja anaerob, termofil mikroorganizmusokkal történő hidrogén fermentációnak.

Köszönetnyilvánítás

A munkánkhoz nyújtott segítségért köszönettel tartozunk az Európai Unió Quality of Life and Management of Living Resources programnak (projekt szám QLK5-1999-01267), a Netherlands Organisation for International Cooperation in Higher Education – Huygens programnak és a Dutch EET programnak. Továbbá köszönjük segítségét M. A. W. Budde-nek és G. E. van Noorden-nek.

Felhasznált irodalom:

Biofuels: Journey to Forever, Internet

<http://www.journeytoforever.org/biofuel.html>

page accessed 28. November 2002.

The Phoenix Project: Shifting from Oil to Hydrogen with Wartime Speed, Internet

<http://phoenixproject.net/hydrogen.pdf> page

accessed 4. October 2002.

The European Commission Website on Energy Research, Internet

<http://www.europa.eu.int/comm/energy> page

accessed 9. November 2002.

The Chemical Engineers' Resource Page: A Detailed Look at Hydrogen, Internet

<http://www.cheresources.com/hydrogenzz.shtml>

page accessed 4. October 2002.

Claassen, P. A. M., van Lier, J. B., Lopez Contreras, A. M., van Niel, E. W. J., Sijtsma, L., Stams, A. J. M., de Vries, S. S. and Weusthuis, R. A. (1999) Utilisation of biomass for the supply of energy carriers. *Appl. Microbiol. Biotechnol.* 52, 741-755.

Ravot, G., Magot, M., Fardeau, M. L., Prensier, G., Egan, A., Garcia, J. L., Ollivier, B. (1995) *Thermotoga elfii* sp. nov., a novel thermophilic bacterium from an african oil-producing well. *Int. J. Syst. Bacteriol.* 45, 308-314.

Rainey, F. A., Donnison, A. M., Janssen, P. H., Saul, D., Rodrigo, A., Bergquist, P. L., Daniel, R. M., Stackebrandt, E., Morgan, H. W. (1994) Description of *Caldicellulosiruptor saccharolyticus* gen. nov., sp. nov. An obligately anaerobic, extremely thermophilic, cellulolytic bacterium. *FEMS Microbiol. Lett.* 120, 263-266.

Jannasch, H. W., Huber, R., Shimshon, B., Stetter, K. O. (1988) *Thermotoga neapolitana* sp. nov. of the extremely thermophilic eubacterial genus *Thermotoga*. *Arch. Microbiol.*, 150, 103-104.