

LENTE GÁBOR

# Metanolgazda(g)ság – a jövő energiája?

**M**i és mikor váltja majd fel az olcsó kőolajat? – ez volt 2005-ben, a *Science* tudományos folyóirat 125. születésnapját ünneplő számában az egyik azon 25 kiemelten fontos tudományos probléma közül, amely a szerkesztők szerint manapság a kísérleti és elméleti kutatások hajtóereje.

Az emberi civilizáció energiaigénye egyre növekszik, ennek megbízható fedezése visszatérő kérdés a tudomány történetében. A következő sorokat *Jules Verne* (1828–1905) francia író vetette papírra 1875-ben *A rejtelmes sziget* című regényében:

– De vajon milyen fűtőanyagot találnak ki majd szén helyett? – tudakolta Pencroff. – Van-e róla fogalma, Cyrus úr?

– Hát nagyjából-egészből igen, barátom.

– No és mivel tüzelnek majd utódaink, ha kifogy a szénük?

– Vízrel – válaszolta Cyrus Smith.

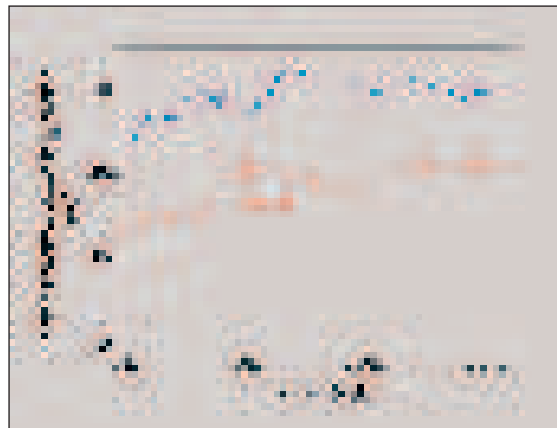
– Vízrel? – kiáltott föl Pencroff. – Vízrel fűtik a gőzhajókat és mozdonyokat, vízzel forralják föl a vizet?

– Úgy bizony, méghozzá alkotóelemeire bontott vízzel – felelte Cyrus Smith –, s a víz fölbontását kétségkívül elektromosság végzi majd el, amely addigra hatalmas, de mindazonáltal könnyen kezelhető erővé válik; a nagy találmányok ugyanis (és ez szinte megmagyarázhatatlan törvényszerűség) többnyire azonos korszakban születnek, és kiegészítik egymást. Igen, barátaim, szentül hiszem, hogy a vizet egy szép napon még tüzelőanyagként fogják fölhasználni, és alkotóelemei, a hidrogén és az oxigén, egymástól elkülönítve, de együttesen alkalmazva, kimeríthetetlen hő- és fényforrást jelentenek majd, hatásfokuk pedig akkora lesz, amekkorá szénnel soha el nem érhető. Egyszer még eljön az idő, amikor a gőzösök kamráit és a mozdonyok szerkocsiját szén helyett sűrített gázzal töltik meg, amely sohasem sejtett hatásfokú hőmennyiséget termel majd a kazánokban. Nincs tehát mitől félnünk. A föld, amíg csak lakott lesz, ki is elégíti lakói szükségleteit, s az emberiség sohasem szenved majd hiányt sem fényben, sem melegben, mint ahogy nem nélkülözi majd a növényvilág, az ásványvilág vagy az állatvi-

lág termékeit sem. Hiszem tehát, hogy ha a szénbányák egyszer csakugyan kimerülnek, az emberiség vízzel fűti a gépek kazánját s a lakások tüzhelyét. A víz a jövő szene.”

(*Majtényi Zoltán* fordítása)

Habár Verne a kőolaj és földgáz energia-hordozóként való felhasználását nem látta előre ezekben a sorokban, az alap gondolat ma sem számít elavultnak, mi több: a hidrogén minél szélesebb körű felhasználására nagy erőfeszítéseket tesznek világszerte tudósok, mérnökök és kormánytisztviselők egyaránt. Az ilyen jellegű kutatások és fejlesztések megnevezésére *John Bockris* (1923–2013) dél-afrikai születésű professzor használta először a hidrogéngazdaság (eredeti angol nyelven *hydrogen economy*) szót 1970-ben, a General Motors egy fejlesztési központjában tartott előadásán.



**1. ábra.** A földgáz és a kőolaj ismert készleteinek és éves fogyasztásának a hányadosa

Vernét a szén elfogyásának lehetősége aggasztotta, de hasonló kétségek az elmúlt évtizedekben inkább a kőolajjal kapcsolatban foglalkoztatják a szakértőket és a közvéleményt. Az ilyen félelmek megalapozottságának megítélésére gyakran alkalmas egy szemléletes gazdasági mutató, amelyet úgy számolnak, hogy egy adott energiaforrás ismert kitermelhető készleteinek összes mennyiségét elosztják a Föld országainak teljes egyéves fogyasztásával. Az így kapott szám azt mutatja meg, hogy az ismert

készletek változatlan fogyasztási sebesség mellett hány évig tartanának ki. Az **1. ábra** bemutatja, hogyan alakult ezen mutató értéke az elmúlt bő harminc évben a kőolaj és a földgáz esetében. A kőolaj ilyen mutatója 1980-ban nagyjából 27 év volt, vagyis az akkori állapot szerint legkésőbb 2010-re a kőolajkészletek elfogyását jósolták. 2010-re viszont a mutató értéke jelentősen növekedett, és elérte a 45 évet. Ebből az következik, hogy az elmúlt három évtized alatt gyorsabban fedezték fel az új kőolajkészleteket, mint ahogy a fogyasztás növekedett. A földgáz esetében 1980-tól 2010-ig kb. 48 évről mintegy 60 évre növekedett ugyanez a típusú mutató. Tehát az elkövetkező három-négy évtizedben semmiképpen nem várható a kőolaj- vagy földgázkészletek kiapadása; még akkor sem, ha közben új lelőhelyeket egyáltalán nem fedeznek fel.

Közgazdasági szempontból amúgy sem túlságosan reális, hogy elfogyjon a kőolaj vagy a földgáz, ugyanis ha valóban jelentősen csökkennek a készletek, akkor ezek ára jelentősen növekedni fog, ami a fogyasztást is csökkenti. A legkevésbé sem véletlen, hogy az első mondatban feltett kérdés nem egyszerűen a kőolajra, hanem az *olcsó kőolajra* vonatkozott. Ugyanakkor jelenleg is ismeretesek olyan kőolajkészletek, amelyek kitermelése a mai árak mellett rossz üzlet lenne, mert a technológiai nehézségek miatt a költségek meghaladnák a várható bevételt. A növekvő ár viszont alapjában változtatja meg a helyzetet, vagyis a gazdaságosan kitermelhető készleteket önmagában is növelheti. Persze a Földön bármilyen anyag, így a kőolaj és földgáz mennyisége is véges, így aztán nem lehet arra számítani, hogy ötszáz év múlva is benzint tankolnak autókba kései utódaink. Tanulságos az a történelmi megfigyelés is, hogy a kőkor nem azért ért véget, mert elfogyott a kő. Vagyis a technikai fejlődés a kőolaj és a földgáz felhasználását idővel ak-

Energiasűrűség	tömeg-egységre MJ/kg	térfogat-egységre GJ/m <sup>3</sup>
metán/földgáz(légköri nyomáson)	51	0,033
elemi szén / kőszén	33	75
hidrogén (légköri nyomáson)	118	0,0097
szőlőcukor	16	25
oktán / benzin	46	32
metanol / metil-alkohol	22	17
etanol / etil-alkohol	27	21
újratölthető elem	0,31	1,1
természetes urán (maghasadás)	590 000	11 000 000
víz (elképzelte fúziós erőműben)	68 000 000	68 000 000

**Táblázat. Néhány lényeges energiahordozó tömegegységre és térfogategységre vonatkoztatott energiasűrűsége**

kor is elavulttá teheti, ha egyébként jelentős készletek elérhetőek ésszerű áron. Ennek jegyében manapság igen intenzív tudományos kutatás folyik a kőolajszármazékokat felváltó energiahordozók technológiájának kifejlesztésére.

Az energiahordozók egymással való összehasonlításához az energiasűrűség mennyiségét szokás használni, amelyet lehet tömegegységre és térfogategységre is vonatkoztatni. Ilyen értékeket foglal össze a **táblázat**, amely minden esetben olyan ideális esetre vonatkoztatott számokat közöl, amikor az egy-egy tüzelőanyagban tárolt energiát maradéktalanul ki tudják nyerni. A szén, a földgáz és a benzin hagyományosnak számít, úgynevezett fosszilis energiahordozók. Látható, hogy a hidrogén tömegegységre vonatkoztatott energiasűrűsége mindegyiknél jobb, a térfogategységre vonatkoztatott viszont mindegyiknél rosszabb. Ez azt jelenti, hogy a hidrogén nagy mennyiségű felhasználása esetében a tárolás hatalmas méretű, viszont igen könnyű tartályokat jelentene. A **táblázatban** szerepelnek egy újratölthető ceruzaelem adatai is. Az energiasűrűség-értékek elég jelentősen elmaradnak a szokásos energiahordozókéétól, ami azt mutatja, hogy az elektromos energia közvetlen tárolása nagyon kevésbé hatékony. Ugyanakkor az is lényeges szempont, hogy egy mobiltelefonba vagy fényképezőgéphez egy újratölthető elemet be lehet helyezni, míg a többi energiahordozó esetében már nem ez a helyzet. A kis áramigényű készülékek ezért általában üzemeltethetőek elemről, az akkumulátoros mosógép vagy villanytűzhely ötlete viszont alapvető természettudományos akadályokba ütközne. Meg kell jegyezni még, hogy a mai mobiltelefonokban vagy számítógépekben használt újratölthető lítiumelemek

elméleti maximumtól.

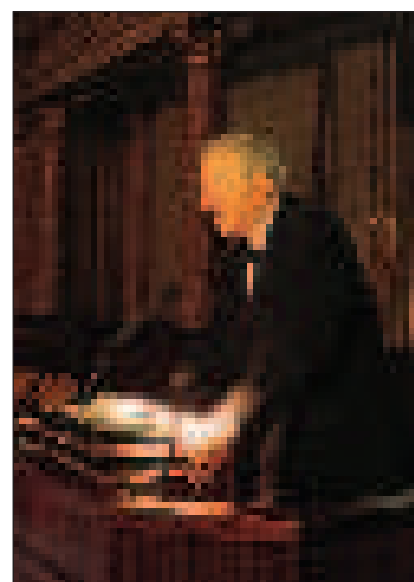
A **táblázatban** szerepel még a metil-alkohol (metanol, kémiai képlete CH<sub>3</sub>OH), amellyel a cikk hátralévő része foglalkozik majd. Ugyancsak megtalálható a táblázatban az etil-alkohol, amely jelenleg az egyik leginkább elterjedt bioüzemanyag, illetve a szőlőcukor, ami az élő szervezetek leggyakoribb közvetlen energiaforrása. A szőlőcukor energiasűrűsége ugyan kisebb, mint a hagyományos energiahordozóké, de a metil-alkohol és etil-alkohol értékével már összevethető. A táblázatban szerepel az urán is, amely a ma működő, maghasadáson alapuló atomerőművek üzemanyaga. Ennek energiasűrűsége sokkal nagyobb, mint bármely hagyományos energiahordozóé, így érthető, hogy a nukleáris energia mellett szóló egyik legerősebb érv az, hogy más lehetőségekhez képest igen kevés üzemanyagot igényel. A táblázat utolsó sora már a tudományos-fantasztikus gondolatmenetek közé tett kirándulás: elvi lehetőség, hogy a vízben lévő hidrogénatomok fúziós erőművek üzemanyagává váljanak. Egy ilyen erőmű a Napban lezajló folyamatokhoz hasonlóan termelne energiát, s működése során nem keletkezne nukleáris hulladék sem. A franciaországi Cadarache-ban 2007-ben kezdtek építeni egy kísérleti fúziós erőművet. A jelenleg várható elkészülési dátum 2022, de az erőmű a tervek szerint is csak a technológia tesztelésére lesz alkalmas, energiatermelésre még nem.

Az energiasűrűség mellett további fontos tényező egy üzemanyag jellemzésénél a környezetvédelem. Ironikusan hangzik, de manapság nem létezik olyan energia-előállítási forma, amely ellen egyik vagy másik környezetvédő szervezet ne tiltakozott volna már. A jelek arra mutatnak,

hogy a társadalom igen nagy része szerint az áram egyszerűen a konnektorból jön... A fosszilis, szénalapú energiahordozókkal kapcsolatban az egyik legnagyobb probléma a légkörben lévő szén-dioxid mennyiségének növekedése és következménye, a globális felmelegedés. A Hawaii szigetén lévő Mauna Loa vulkán csúcsánál közelében egy hosszú távú kísérletsorozatban 1958 óta folyamatosan követik a levegő szén-dioxid-tartalmát. Ez a hely 4100 méterrel a tengerszint felett van, távol a nagy civilizációs központoktól, így itt valóban a Föld egészére jellemző, globális változásokat mutathatnak ki. A mérések története során a napi átlagos koncentráció először 2013. május 9-én lépte túl a 400 ppm-es (0,04%-os), egyébként csak pszichológiai jelentőségű határértéket. Bő fél évszázada még 315 ppm körüli koncentrációkat mértek, vagyis valóban jelentős növekedés történik: geológiai időskálákon szemlélve a sebességet ez akár ijesztőnek is mondható. A Kyoto-i egyezmény néven ismert nemzetközi szerződésben a világ kormányai 1997-ben megpróbálták ugyan gátat vetni a szén-dioxid-kibocsátás növekedésének, de az azóta eltelt idő alatt az eredetileg

hogy a társadalom igen nagy része szerint az áram egyszerűen a konnektorból jön...

A fosszilis, szénalapú energiahordozókkal kapcsolatban az egyik legnagyobb probléma a légkörben lévő szén-dioxid mennyiségének növekedése és következménye, a globális felmelegedés. A Hawaii szigetén lévő Mauna Loa vulkán csúcsánál közelében egy hosszú távú kísérletsorozatban 1958 óta folyamatosan követik a levegő szén-dioxid-tartalmát. Ez a hely 4100 méterrel a tengerszint felett van, távol a nagy civilizációs központoktól, így itt valóban a Föld egészére jellemző, globális változásokat mutathatnak ki. A mérések története során a napi átlagos koncentráció először 2013. május 9-én lépte túl a 400 ppm-es (0,04%-os), egyébként csak pszichológiai jelentőségű határértéket. Bő fél évszázada még 315 ppm körüli koncentrációkat mértek, vagyis valóban jelentős növekedés történik: geológiai időskálákon szemlélve a sebességet ez akár ijesztőnek is mondható. A Kyoto-i egyezmény néven ismert nemzetközi szerződésben a világ kormányai 1997-ben megpróbálták ugyan gátat vetni a szén-dioxid-kibocsátás növekedésének, de az azóta eltelt idő alatt az eredetileg



**2. ábra. Oláh György előadás közben**

kitűzött céloknak csak nagyon kis hányada valósult meg. Mindezek ellenére az világos, hogy az elkövetkezendő évtizedekben az energiatermeléssel kapcsolatos fejlesztésekben a szén-dioxid-kibocsátás felmérésének is nagyon fontos szerepe lesz.

Elektromos energiát nagyon sokféleképpen lehet előállítani. Az erőművekben zajló áramtermelés és az elektromos hálózatok fenntartása sok szempontból kedvező módszer: könnyen alkalmazkodik a külső körülmények változásához, illetve a káros anyagok esetleges kibocsátását is sokkal könnyebb ke-

zeln, mert igen kicsi területre koncentrálódik. Vajon mégis miért benzinüzemű autók járnak ma a világban, és nem a hálózatról működő elektromosak? A kérdés nyitja ez alkalommal nem az árakban rejlik. E sorok írásakor Magyarországon a benzin átlagos literenkénti ára 400 Ft körül mozog. A táblázatból kiszámolható, hogy ennyi benzin energia-tartalma 0,032 GJ (gigajoule), vagyis 32 MJ (megajoule), ami az elektromos áramnál szokásos energiaegységre átváltva kb. 8,9 kWh (kilowattóra). Egy kWh elektromos energia átlagos ára mintegy 40 Ft, tehát 1 liter benzinnel azonos energiát képviselő elektromos áram fogyasztói ára kb. 360 Ft, majdnem pontosan annyi, mint egy liter benziné. Ezt a gondolatmenetet ugyan torzítja valamelyest az, hogy a benzin árának igen nagy hányada adó, vagyis az ár igazából nem tükrözi az előállítás közvetlen költségeit. Az azonban mégis megállapítható, hogy gazdasági szempontból egy elektromos újratölthető autó nagyon is versenyképes lenne a benzinüzeműekkel. A villamos, a trolibusz vagy a villanymozdonyos vonat hozzájut az áramhoz a hálózatról, és ezeket üzemeltetni általában jóval kedvezőbb, mint az autóbust vagy a dízelmozdonyt. A probléma máshol keresendő: ahogy a táblázat adatai mutatják, elektromos energiát nem lehet hatékonyan tárolni. Egyetlen tank benzinben egy átlagos családi ház két-három havi áramszükségletének megfelelő mennyiségű felszabadítható energia van, amelynek tárolásához egy 1000 kilogramm körüli tömegű akkumulátorra lenne szükség. Arról nem is beszélve, hogy míg egy autót teletankolni percek kérdése, ilyen mennyiségű akkumulátor feltöltése a legjobb esetben is órákba kerülne.



**3. ábra. Oláh György, Alain Goepfert és Surya Prakash könyve második angol kiadásának borítója**

A problémára csakis az lehet jó megoldás, ha az energiát nem közvetlen elektromos formákban tárolják. A hidrogén és a metanol kémiai energiátárolási formák: nem számítanak elsődleges energiaforrásnak, vagyis a természetből közvetlenül nem lehet kinyerni őket. Szerepük olyan felhasználásokban lehet, ahol közvetlenül az elektromos hálózathoz kapcsolódni kényelmetlen. Egy energiahordozó akkor alkalmas ilyen közvetett, tárolási célokra, ha könnyen előállítható, szállítható,

és könnyen fel is használható. Az elsődleges energiaforrás bármi lehet, amivel az elektromos hálózatban áramot lehet előállítani: atomenergia, nap, szél, geotermikus vagy egyéb megújuló forrás is.

A hidrogéngazdaság ötlete az elemi hidrogén ilyen közbelső használatát javasolná. A hidrogén előállítása és felhasználása megoldhatónak tűnik, de a szállítása már sokkal nehezebb kérdés. Ahogy a táblázat mutatja, légköri nyomáson hatalmas nagy hidrogéntartályokra lenne szükség. A mai technológiában szokásos nagy nyomáson, illetve alacsony hőmérsékleten a cseppfolyósítás sem változtatja meg alapvetően a helyzetet, s emellett még a szállítás energiaigényét is igen jelentősen megnöveli. Földgázt szállítanak ugyan nagy távolságokra is gázvezetéseken, de ez az infrastruktúra hidrogén szállítására még nagyobb átalakítások után sem lenne alkalmas a hidrogén kivételes tulajdonságai miatt.

Ez járhatott a magyar származású, 1994-ben Nobel-díjjal kitüntetett kémikus, *Oláh György* (sz. 1927, **2. ábra**) fejében, amikor a Természet Világa hasábjain 2008-ban így nyilatkozott:

„A hidrogéngazdaságnak nevezett projekt évekig közkedvelt programja volt sok nyugat-európai országnak és az Egyesült Államoknak. Mondták, a hidrogéngazdaságé a jövő. Ma már nem nagyon emlegetik, a hidrogéngazdaság meghalt. Csendben eltemették, nem voltak gyászbeszédék, nekrológok. Amikor a jó izlandiak rájöttek erre, akkor valahogyan rátaláltak az én metanolgazdasági koncepciómra, kémiámra, melyben rámutattam arra, miként lehet szén-dioxidból és hidrogénből metanol előállítani.”

Oláh György megoldási javaslata az, hogy közbelső, közvetítő energiahordozóként nem hidrogént, hanem metil-al-

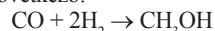
sakkal könyvet is írt *Kőolaj és földgáz után: a metanolgazdaság* címmel, melynek eredeti angol változata 2006-ban, magyar fordítása pedig 2007-ben jelent meg, majd 2009-ben már második, kibővített kiadásban is elérhetővé vált (**3. ábra**). A metanolgazdaság tudományos hátterének kifejlesztéséért Oláh György és G. K. Surya Prakash 2013. november 12-én Tel-Avivban Binyamin Netanyahu izraeli kormányfőtől átvehették a Samson-díjat (**4. ábra**), amely egyébként egymillió dollár jutalommal jár; ez nagyjából azonos a Nobel-díj mellé adott összeggel.

Mi is hát a metanolgazdaság lényege? Röviden összefoglalva: olyan felhasználásokban, ahol nem lehet elektromos áramot közvetlenül a villamos hálózatról felvenni (például a közlekedésben), metanolt lenne érdemes alkalmazni közbelső energiahordozóként.

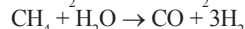
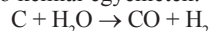
A metanol manapság is széles körben használt folyadék. Légköri nyomáson az olvadáspontja  $-97\text{ }^{\circ}\text{C}$ , forráspontja pedig  $65\text{ }^{\circ}\text{C}$ . A táblázatból látható, hogy energiasűrűsége a benzinénél némileg kedvezőtlenebb, de egyéb előnyei bőven kompenzálhatják ezt a hátrányt.

Benzint is lehet mesterségesen előállítani, de a metanol ilyen szempontból sokkal jobb, mert szintézise különféle anyagokból, változatos módszerekkel és viszonylag könnyen megvalósítható. Az iparban, elsősorban nem energiahordozóként való felhasználásra, a világon manapság mintegy évi 40 millió tonnát állítanak elő belőle.

Metanol napjainkban elsősorban szintézisgázból, vagyis szén-monoxid és hidrogén elegyből állítanak elő. A kémiai reakció a következő:



Maga a szintézisgáz régebben kőszén és víz reakciójával készült, manapság leginkább földgáz és víz felhasználásával. A folyamatokat leíró kémiai egyenletek:



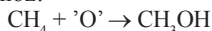
Természetes ezen módszerek nem megújulóak, hiszen vagy kőszén, vagy földgáz szükséges hozzájuk, ami nem keletkezik újra a folyamat végére. Egyébként ugyanezzel a problémával a hidrogéngazdaság gondolatrendszer is küzd: a hidrogén-előállítás gazdaságos módszerei fosszilis energiahordozókat fogyasztanak; a megújuló alapokon működő hidrogén-előállítási módszerek sokkal drágábbak. Újabbannak kísérletek a földgáz fő komponensének, a metánnak közvetlen metanollá való alakítására is. Ez papíron egyszerűnek tű-



**4. ábra. Surya Prakash és Binyamin Netanyahu a Samson-díj átadásán Izraelben**

koholt (más néven metanol) kellene inkább használni. Ennek az ötletnek a részleteiről *G. K. Surya Prakash* (sz. 1953) és *Alain Goepfert* (sz. 1974) szerzőtár-

nő folyamat, hiszen csak egy oxigénatomot kell hozzáadni a metánmolekulához:



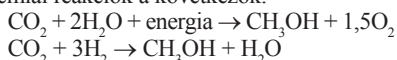
A valóságban ez persze sokkal bonyolultabb, mert szabad oxigénatomok nem röpködnek csak úgy a levegőben; az oxigént mindenképpen valamilyen kötött formából, egy oxidálószerből kell nyerni. További gond, hogy a metil-alkohol általában gyorsabban reagál az oxidálószerrel, mint a metán, vagyis nagyon nehéz elérni, hogy egy ilyen folyamatban tényleg metanol, és ne valami más keletkezzen. Egy közvetlen metánoxidációs eljárás igazi jelentősége az lehetne, hogy a gáz halmazállapotú, nehezen szállítható földgázt – amelynek fő kompo-



5. ábra. Metanolalapú tüzelőanyag-elem

nense a metán – a benne lévő energiataralom egy csekély részének feláldozásával sokkal könnyebben és olcsóbban szállítható folyadékká alakíthatnánk.

Érdekesebb lehetőség az, hogy biomasszából készítsük a szintézisgázt, majd belőle metanol. Így lényegében a növények által megkötött napenergiát használnánk fel, a metanolban lévő szén forrása pedig a levegő szén-dioxid-tartalma lenne. A sok lépés miatt sajnos az eljárás hatékonysága nem lehet túl nagy. Még izgalmasabb lehetőség, ha a légkör szén-dioxid-tartalmát kémiai módszerekkel lehetne metanollá alakítani (vagy közvetlenül víz és elektromos energia segítségével, vagy vízből energia-befektetéssel előállított hidrogén felhasználásával). Ezek a kémiai reakciók a következők:



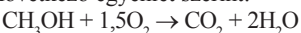
Egy ilyen reakció mindenképpen külső energiaforrást igényel. Nagy előny viszont, hogy a metanol a levegő szén-dioxid-tartalmából készülhetne, ami az üvegházhatású gázok kibocsátása szempontjából sem-

legesség tenné az egész metanolgazdaságot, vagyis az égések keletkező szén-dioxid-kibocsátást ellensúlyozná a metanol-előállításához megkötött mennyiség.

A metanol szállítása a hidrogénhez képest meglehetősen könnyű, hiszen az anyag könnyen kezelhető folyadék, amely fizikai tulajdonságait tekintve emlékeztet a benzinre. Csekély módosítás után akár a meglévő benzinkútrendszer is alkalmas lehet arra, hogy ezt az üzemanyagot forgalmazza. Valójában ez az egyik legjelentősebb előny, ami miatt a metanolgazdaság gondolata egyáltalán felmerült.

A metanol hátrányai közé tartozik, hogy mérgező: kisebb mennyiségben elfogyasztva vakságot, kicsit nagyobb (nagyjából fél deciliternyi) mennyiségben már halált is okozhat. Erre az évrre Oláh György gyakran azt feleli, hogy a benzin is mérgező, de ő még soha nem látott senkit benzinkútnál az üzemanyagból inni. Ez valóban igaz is, de sajnos pszichológiai tényezőket is figyelembe kell venni. A metanol szaga majdnem pontosan ugyanolyan, mint az alkoholos italokban lévő etil-alkoholé (vagyis etanolé). Habár az iparban használt metanol tartályain hatalmas méretű feliratok figyelmeztetnek az anyag veszélyeire, mind a mai napig rendszeresen történnek metanol-fogyasztás miatti halálos balesetek. Néhányan ugyanis azt gondolják, hogy a figyelmeztető feliratokat csupán a megfélemlítést, ijesztgetést szolgálják.

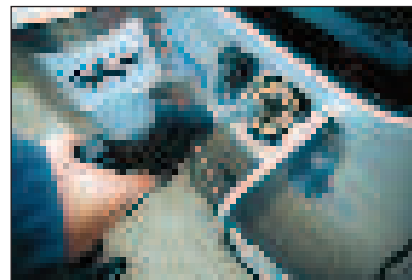
A metanolgazdaság számára nagyon fontos az a tény, hogy metanol felhasználásával úgynevezett tüzelőanyag-elemben (5. ábra) közvetlenül elektromos energia állítható elő. Egy ilyen elemben lényegében a metanol szokatlanul alacsony hőmérsékletű égése zajlik le, vagyis a levegő oxigénjével a metanolból víz és szén-dioxid keletkezik a következő egyenlet szerint:



Egy tüzelőanyag-elemből az égéskor felszabaduló energiát hő helyett elektromos áramként nyerik ki. A jövő metanolüzemű autót manapság általában úgy képzelik el, hogy villanymotor és tüzelőanyag-elem hajtja őket.

Metanol a hagyományos, belső égésű motorokban közvetlenül is lehet üzemanyagként használni. Benzinmotorokban az égése általában kevesebb szennyezőanyagot termel, mint a benziné, amellyel egyébként keverhető is. A metil-alkohol égési sajátosságai a motor hűtését is könnyebben megoldhatóvá teszik: valószínűleg a légűtés is elegendő, vagyis nincs feltétlenül szükség hűtővízre. Hátránya, hogy a metanolból a kisebb energiasűrűség miatt nagyobb mennyiségre, vagyis nagyobb méretű üzemanyagtartályra van szükség – hacsak nem akarunk jóval gyakrabban tankolni. További probléma, hogy a metanol égése sokkal jobban igénybe veszi a motor szerkezeti anyagait; ezt figyelembe kell venni az autó tervezésekor. A feladat korántsem megoldha-

talán: amerikai versenyautókban – elsősorban tűzvédelmi megfontolásokból – már az 1960-as évektől kezdve használnak metanol üzemanyagként. A benzinnel ellentétben az égő metanol nem füstöl, szintelen lánggal ég. Ez autóversenyeken csökkenti a kockázati tényezőket: noha a metanol-tűzet nehezebb észrevenni, az nem befolyásolja a versenypályán a látási viszonyokat. Az is nagyon előnyös, hogy az égő metanol vízzel is lehet oltani, míg benzin esetében poroltóra van szükség.



6. ábra. Metanol tankolás egy kísérleti autóra

Manapság már hétköznapi használatra is fejlesztenek olyan autókat, amelyek metanollal üzemelnek (6. ábra). Dizelmotorokba közvetlenül nem lehet metanol tankolni, bár biodizel készítéséhez ma is jelentős mennyiségű metanol használnak kémiai reakciókban, azaz közvetetten ezen járművek energiaforrása is lehet a metanol.

A (bio)etanollal ( $\text{C}_2\text{H}_5\text{O}$ ) működő járművek ma már nem számítanak ritkaságnak. Az etanolnál mindössze egy  $\text{CH}_2$  csoporttal rövidebb metanolról ( $\text{CH}_3\text{O}$ ), mint üzemanyagról is egyre többet hallhatunk manapság. Ki tudja, talán pár évtized múlva még egy  $\text{CH}_2$  csoporttal sikerül lerövidítenünk a hajtóanyagot, és valóban megvalósul Verne víziója, azaz vízből ( $\text{H}_2\text{O}$ ) előállítható a jövő energiaforrása? ↓

### Köszönetnyilvánítás:

A cikkhez kapcsolódó kutatásokat az Országos Tudományos Kutatási Alapprogramok (OTKA) Bizottság támogatta a K 77936 nyilvántartási számú, „Szinergizmus az ozmium-tetroxid és perjodátion redoxireakcióiban” című projekt keretei közt.

### Irodalom

- Kerr R. A.; Service R. F. *Science* **2005**, 309, 101.  
 Gács J.: *Természet Világa* **2002**, 133, 340.  
 Oláh A. Gy.: *Magyar Kémiai Folyóirat* **1999**, 105, 161.  
 Oláh A. Gy., Aniszfeld R.: *Magyar Tudomány* **2002**, 12, 1564.  
 Staar Gy.: *Természet Világa* **2008**, 139, 530.