



## **VIZSGABIZTOSI KÉPZÉS**

**20. Tüzelőanyag-cella**

Dr. Emőd István

**Budapest**

**2015**

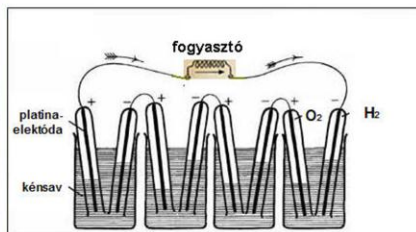
# A tüzelőanyag-cella története



Sir William Robert Grove



Grove első tüzelőanyagcellája 1839-ből



2

A hidrogén Világegyetem leggyakoribb eleme. Megközelítőleg 100-szor gyakoribb, mint az összes többi elem együttvéve (ha a héliumot nem vesszük figyelembe). Alapeleme a kémiai elemek szintézisének. A földi élet szempontjából fölhasználható energia és a kozmikus energia előállítás szempontjából is a alapvető fontosságú. Az összes vegyületet – szénvegyületekkel együtt – figyelembe véve, a hidrogéntartalmú vegyületek száma a legnagyobb.

1839-ben William Robert Grove (1811-1896) walesi születésű fizikus irt elsőként a „galvanikus gázelemről”. A hidrogén és oxigén „hideg elégésével” közel 100%-os hatásfokkal villamos áram előállításáról számol be.

A találmány a jelentőségét Wilhelm Ostwald (1853-1932), a lipcsei egyetem Fizikai Kémia Tanszékének vezetője ismerte fel, aki 1894-ben a következőket írta: *„Ha van egy olyan galvánelemünk, amely tüzelőanyagból és a levegő oxigénjéből közvetlenül állít elő energiát ..., akkor egy olyan műszaki átalakulás előtt állunk, amelyhez képest a gőzgép feltalálása jelentéktelen esemény volt. Képzeljük csak el, hogy meg fog változni iparvárosaink képe: nincs többé füst, korom, gőzgép és tűz ... .”* Realizmusáról tanúskodnak azonban további sorai: *„még sok idő telik el addig, amíg a tüzelőanyag-cella használhatóvá válik. Azt azonban biztosra veszem, hogy nem csak egy tudós elméleti elképzeléséről van szó.”*

## A világ első tüzelőanyag-cellás járműve



1959: Allis-Chalmers traktor

3

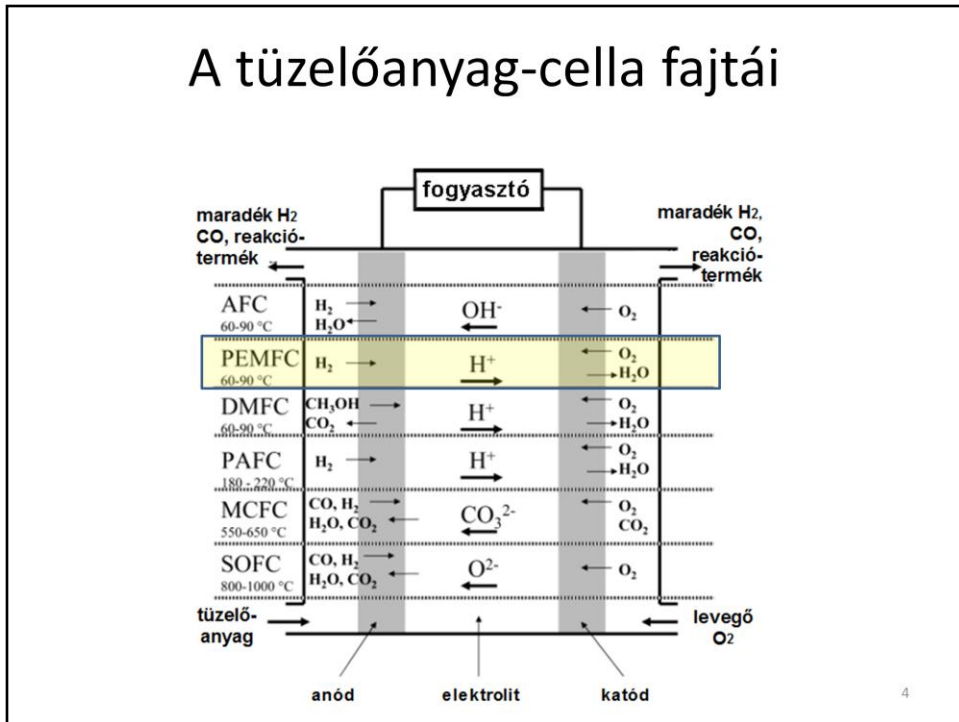
Ostwaldnak igaza volt. Az első, gyakorlatban is használható tüzelőanyag-cellát csak az 1950-es években fejlesztették ki, az űrhajózási program műholdjainak energiaellátására. Az űrhajózásnál ugyanis nem volt jelentősége annak, hogy a tüzelőanya-cella és ennek üzemanyaga mennyibe kerül. Később a tengeralattjárók villanymotorjainak hajtására használták, mert üzeme zajtalan, és nem bocsát ki kipufogógázt.

Az áttörés 1959 végén következett be, mikor egy amerikai mezőgazdasági gépeket gyártó cég, az Allis-Chalmers bemutatta első tüzelőanyag-cellás járművét. Ebben 1008 db. cellát kötött össze, mellyel 15 kW villamos energiát termelve egy 20 LE-s traktort hajtott.

Gépjárművek hajtására csak az 1980-as években vették újra elő – a fosszilis tüzelőanyagok pótlására és az egyre fontosabbá váló környezetvédelmi szempontok teljesítésére. Ettől az időponttól kezdve egyre intenzívebbé vált a tüzelőanyag-cella fejlesztésére fordított kutató-fejlesztő tevékenység. Azért is fokozódott tovább a fejlesztés intenzitása, mert a tüzelőanyag-cellás járműhajtás nem jár szén-dioxid kibocsátásával.

A nem túl távoli jövőben a hidrogén átveheti a kőolajszármazékok szerepét a járműhajtásban, ezért sokan már a 21. század energiahordozójaként emlegetik.

# A tüzelőanyag-cella fajtái



**AFC** (Alkáli tüzelőanyag-cella) Az elsőként alkalmazott tüzelőanyag-cella, amelyet az űrhajózásban és tengeralattjárók hajtására alkalmaztak. Töltéshordozói hidroxil-ionok (OH). Üzemi hőmérséklete 60...90 °C, alkalmazása mára háttérbe szorult.

**PEMFC** (Protonáteresztő membrános tüzelőanyag-cella) Személygépkocsik hajtására legalkalmasabb cellafajta. Legfontosabb része egy polimer-műanyagból készült, 50...200 µm vastag membrán (szilárd elektrolit), melynek jellegzetes tulajdonsága, hogy a hidrogénatom pozitív töltésű atommagját (a protont) jól vezeti, de az elektronokat nem engedi át. Tüzelőanyaga hidrogén, üzemi hőmérséklete 80..100 °C. A hidrogén tisztaságára nagyon kényes.

**DMFC** (Metanol tüzelőanyag-cella) Metanolból közvetlenül állít elő villamos energiát. A metanol fajlagos energiatároló képessége nagyobb, mint a hidrogénéé, és a jelenlegi infrastruktúrával szállítható, tárolható és tölthető a gépkocsi tartályába.

**PACF** (Foszforsavas tüzelőanyag-cella) Stacioner alkalmazása terjedt el. Nem kényes a hidrogén szén-monoxid és szénhidrogén tartalmára. Elektrolitja foszforsav, üzemi hőmérséklete kb. 200 °C.

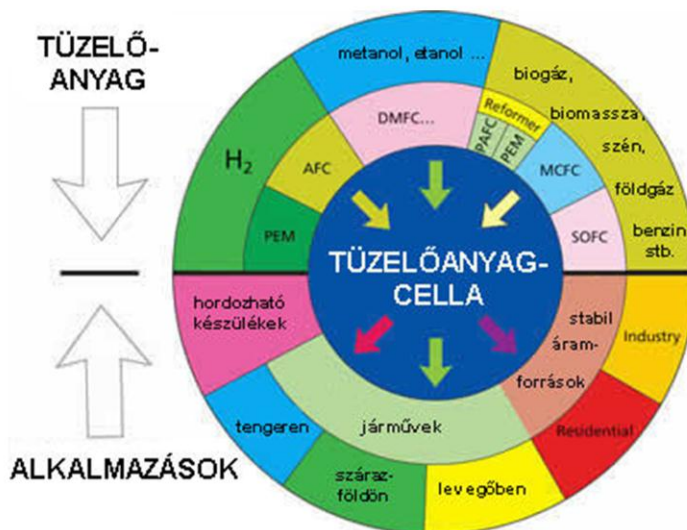
# A tüzelőanyag-cella fajtái

Üzemanyagcella típusa	Elektrolit	Működési hőmérséklet	Elektromos hatásfok	Üzemanyag	Felhasználási terület
<b>AFC</b> alkáli elektrolitos cella	30% kálium-hidroxid oldat, gél	80 °C	elméleti: 70% gyakorlati: 62%	- tiszta H <sub>2</sub> - O <sub>2</sub>	- járműipar - hadiipar
<b>PEMFC</b> membránú cella	protonáteresztő membrán	80 °C	elméleti: 68% gyakorlati: 50%	- tiszta H <sub>2</sub> - O <sub>2</sub> - levegő	- blokkfűtő erőmű - járműipar - hadiipar
<b>DMFC</b> direkt metanol membrán	protonáteresztő membrán	80 °C-130 °C	elméleti: 30% gyakorlati: 26%	- metanol, - O <sub>2</sub> - levegő	- mobiltelefon - laptop, stb. - áramforrása
<b>PAFC</b> foszforsavas cella	tömény foszforsav	200 °C	elméleti: 65% gyakorlati: 60%	- tiszta H <sub>2</sub> - O <sub>2</sub> - levegő	- blokkfűtő erőmű - áramforrás
<b>MCFC</b> alkáli-karbonátsó cella	lítium-karbonát, kálium-karbonát	650 °C	elméleti: 65% gyakorlati: 62%	- H <sub>2</sub> - földgáz - széngáz - biogáz - levegő - O <sub>2</sub>	- gőzturbinás, kétlépcsős blokkfűtő erőmű - áramforrás
<b>SOFC</b> oxidkerámia cella	yttrium-cirkon oxidkerámia	800 °C- 1000 °C	elméleti: 65% gyakorlati: 62%	- H <sub>2</sub> - földgáz - széngáz - biogáz - levegő - O <sub>2</sub>	gőzturbinás, kétlépcsős blokkfűtő erőmű -áramforrás

**MCFC** (Karbonátolvadékos tüzelőanyag-cella) Üzemi hőmérséklete 650 °C. Ezen a hőmérsékleten a tüzelőanyag (földgáz, széngáz, biogáz stb.) széndioxiddá és vízzé oxidálódik. Elektrolitja üzemi hőmérsékleten olvadék formában lévő kálium- és lítium-karbonát,

**SOFC** (Oxidkeramikus tüzelőanyag cella) A cirkonozid anyagú szilárd elektrolit a 800...1000 °C hőmérsékleten vezetővé válik. Üzemanyaga ugyanaz, mint az MCFC-é,

## Tüzelőanyag-cellák felhasználási területe



6

### Az üzemanyagcellás járműhajtás előnyei

- a tüzelőanyag üzemanyag hasznosítása lényegesen jobb hatásfokkal történik,
- a károsanyag-kibocsátás vagy megszűnik (hidrogén üzemanyag esetén), vagy jelentős mértékben csökken,
- az egyszerű mechanikai szerkezetből adódóan kisebb a karbantartási költség,
- a cella gyakorlatilag zajtalanul működik,
- a tüzelőanyag-cellák a teljesítmény nagyságától függően moduláris felépítést tesznek lehetővé.

# Tüzelőanyag-cella a közlekedésben



**Személygépkocsik** csaknem minden nagy autógyártó fejleszt tüzelőanyag-cellás személygépkocsit, már tesztautók is futnak. Kereskedelmi forgalomba hozatalát legkorábban 2012-re ígérik.

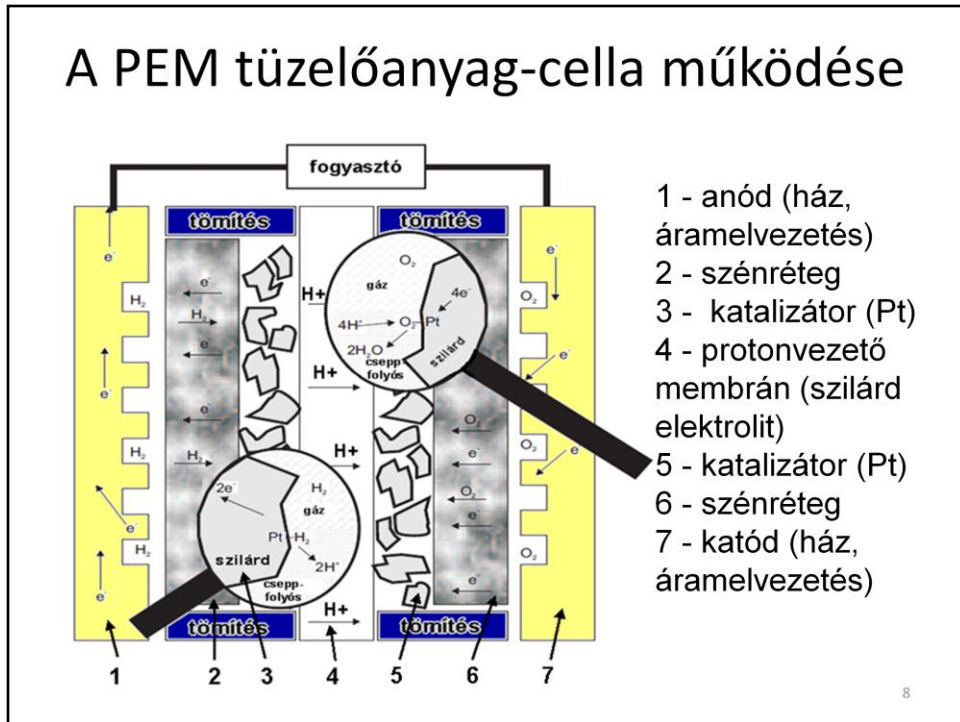


**Autóbuszok** 2005-től napjainkig legalább 50 tüzelőanyag-cellás buszt mutattak be a világon. A tüzelőanyag-cellás hajtás jó hatásfokú, és akkor is, ha a hidrogént fosszilis forrásból nyerik, csökkenti a szén-dioxid kibocsátást. Ha hidrogén ujratermelhető nyersanyagból származik, a károsanyag-kibocsátás 0. Az is környezetbarát, hogy a tüzelőanyag-cellás hajtás teljesen zajtalan.



**Robogók** hajtására többnyire kétütemű motorokat használnak. Ezek helyett tüzelőanyag-cellás hajtás alkalmazása hatékony környezeti javulást eredményezhet, különösen a nagy ázsiai országokban (India, Kína), amelyekben rengeteg robogó üzemel.

# A PEM tüzelőanyag-cella működése



A tüzelőanyag-cellák a galvánelemekhez hasonlóan vegyi reakciókkal közvetlenül elektromosságot állítanak elő, a különbség az, hogy míg az elemeket kifogytunk után el kell dobni, a tüzelőanyag-cella mindaddig üzemel, amíg tüzelőanyagot töltünk bele.

A szerkezet alapegysége két elektródából (1) áll, egy elektrolit (4) köré szendvicsszerűen préselve. Az anódon hidrogén, míg a katódon oxigén halad át. A katalizátor (3) segítségével a hidrogénmolekulák protonokra és elektronokra bomlanak. A protonok keresztüláramlanak az elektroliton (4). Az elektronok áramlása mielőtt elérné a katódot (7), felhasználható elektromos fogyasztók működtetésére. A katódra érkező elektronok a katalizátor (5) segítségével egyesülnek a protonokkal és az oxigénmolekulákkal, vizet hozva létre. A folyamat során hő is termelődik.

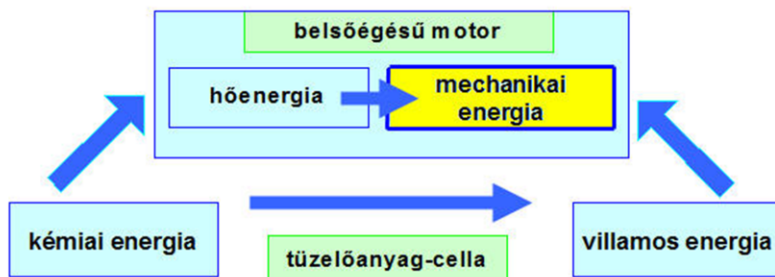
A PEM tüzelőanyag-cella tiszta hidrogénnel működik. Egy cella feszültsége kb. 1 volt, a gyakorlatban a szükséges teljesítmény eléréséhez többszáz cella sorba vagy párhuzamosan kapcsolásával tüzelőanyag-cella telepet alakítanak ki.

Reformer előállításával azonban képesek bármely szénhidrogén tüzelőanyagot felhasználni, a földgáztól kezdve a metanolon át a gázolajig. A reformer ezekből az anyagokból hidrogént állít elő, miközben kis mennyiségű CO<sub>2</sub>, CO és HC is keletkezik.

Mivel a tüzelőanyag-cella nem égésen, hanem elektrokémiai reakción alapul, az emissziója mindig jóval kisebb lesz, mint a legtisztább égési folyamatoké.



## Energiaátalakulás összehasonlítása



**Tökéletes hőerőgép esetén**  
 $T_{be} = 530^{\circ}\text{C}$ ,  $T_{ki} = 25^{\circ}\text{C}$   
 Ha nincs semmilyen veszteség,  
 tökéletes a szigetelés, stb...  
**A hatásfok (Carnot- folyamat):**  
 $\eta = (T_{be} - T_{ki}) / T_{be} = 0,62 = 62\%$   
**A gyakorlatban kb. 15%**

$T_{be} = 25^{\circ}\text{C}$ ,  $T_{ki} = 25^{\circ}\text{C}$   
 Ha nincs semmilyen veszteség,  
 tökéletes elektrolitok, nincs  
 ellenállás, stb...  
**Az elvi hatásfok 100%**  
**A gyakorlatban kb. 50%**

9

A mai dugattyús motorok hatásfoka teljes terhelésnél 30...40% között van. A terhelés csökkentésével ez az érték rohamosa csökken. 0 terhelésnél (alapjárat) 0% a hatásfok (hasznos munka nincs, fogyasztás van).

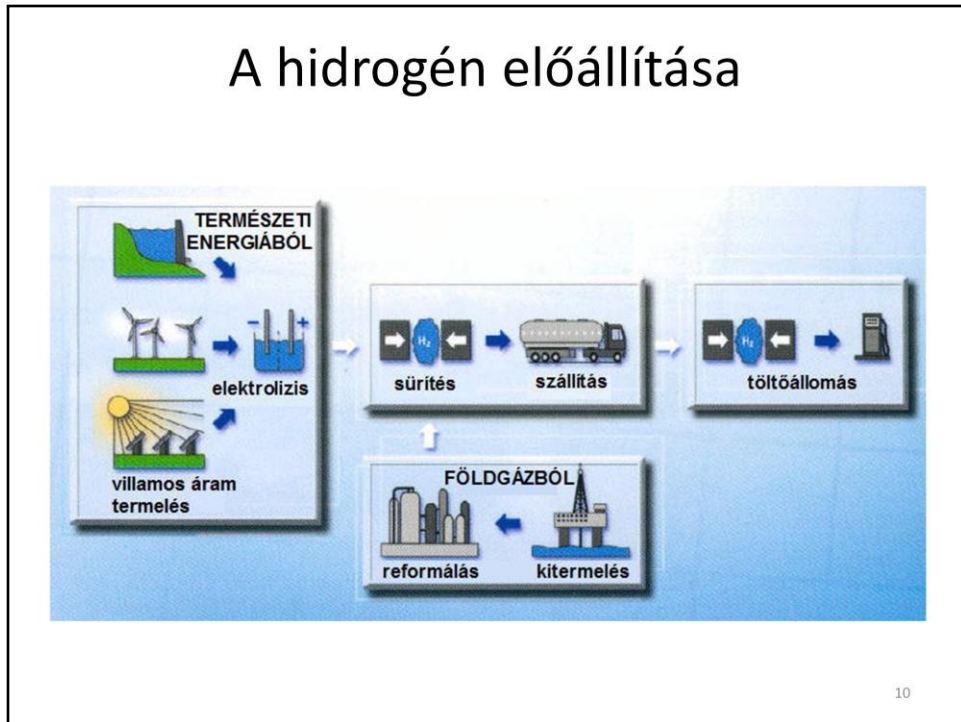
Mivel a járműmotorok többnyire részterheléssel üzemelnek, a mai belsőégésű motorok átlagosan a tankba töltött benzín (vagy gázolaj) energiataralmának kb. 15%-át hasznosítják.

A tüzelőanyag-cella nem hőerőgép, ezért nincs benne az a veszteség, ami a belsőégésű motorokban a hőenergiának mechanikai energiává átalakulásakor jelentkezik. További előnyük, hogy részterheléskor hatásfokuk javul. Így a tüzelőanyag-cellás hajtás átlagos hatásfoka az 50%-ot is elérheti, ami több, mint háromszorosa a dugattyús motorénak.

A tüzelőanyag-cellás hajtás veszteségei egyrészt a működtetési energiaszükségletből (szivattyúk, kompresszorok, hűtőventillátor hajtása), másrészt a villamos motor veszteségeiből tevődnek össze.

Újratermelhető nyersanyagból előállított hidrogént használva, a tüzelőanyag-cellás hajtás szén-dioxid-kibocsátása nulla. Ha földgázból állítjuk elő a hidrogént, már akkor is felére csökkenthető a szén-dioxid kibocsátás

# A hidrogén előállítása



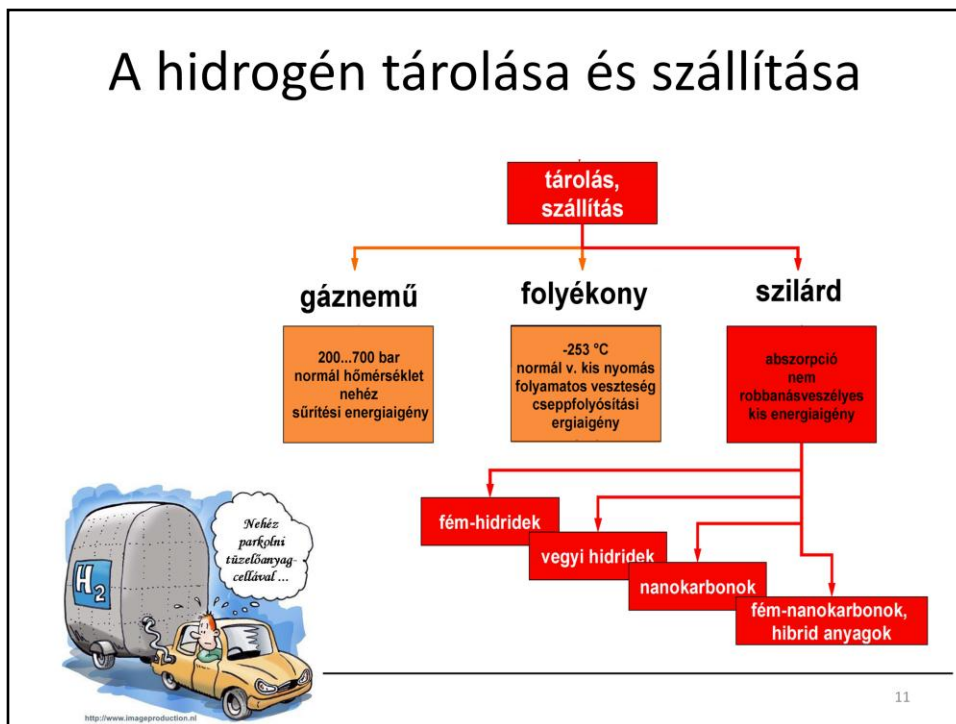
A hidrogén előállításának több lehetősége van, amelyek közül gyakorlati jelentőségűek a következők:

- *reformáló eljárások* különféle fosszilis tüzelőanyagok (szén, olaj, földgáz) kombinációjával;
- *vízbontás* elektrolízissel villamos energia segítségével (megújuló vagy nem megújuló forrásokból származó villannyal);
- *víz nagyhőmérsékletű krakkolása* nagyhőmérsékletű nukleáris energiával;
- *biomassza és hulladék elgázosítása*.

Mostanában évente mintegy 45 millió tonna hidrogént állítanak elő, és ennek a 96%-át fosszilis tüzelőanyagból, főleg – az egésznek mintegy a felét – földgázból.

A hidrogén mintegy 40%-a manapság a kőolaj-feldolgozás és a földgáz-szintézis melléktermékeként keletkezik.

# A hidrogén tárolása és szállítása



A hidrogén tárolható tartályban nagy nyomáson vagy hőszigetelt tárolóedényben cseppfolyós állapotban alacsony hőmérsékleten, továbbá valamilyen anyagban elnyelve. Hidrogén tárolásánál két fő problémával kell szembenézni:

Egyrészt **a hidrogén gáz sűrűsége** atmoszférikus nyomáson 1/14-e a levegőének és körülbelül 1/8000-e a benzinének! Egy hagyományos, 50 literes hidrogénpalackban 100 bar nyomáson, szobahőmérsékleten mindössze 0.45 kg hidrogén van! 250 bar-os tartály esetében kb. 200 literes üzemanyagtank lenne szükséges, ami az ezzel járó súlytöbblettel együtt meglehetősen kompromisszumos megoldást jelentene.

Folyékony tárolás esetében elegendő lenne nettó 60 liter tárolókapacitás, itt viszont az igen alacsony hőmérséklet előállításához van szükség jelentős többlet (+30%) energia-, tömeg és berendezés-ráfordításokra.

Másrészt **a hidrogén igen gyúlékony és robbanásveszélyes**: a levegővel keveredve nagy koncentrációtartományban (4,1-74 térfogat százalék) a legkisebb szikra hatására – már 580°C-os gyulladási hőmérsékleten – berobban. A közlekedésben különösen nagy figyelmet kell fordítani a biztonságra, de megfelelő – de a benzinüzemnél megszokottaktól jelentősen különböző – biztonsági intézkedésekkel a hidrogénhajtású jármű nem jelent nagyobb veszélyt, mint a hagyományos járművek.

## Tüzelőanyag-cellás tanulmányok



akkumulátor   hidrogén-tartályok   teljesítmény-elektronika   tüzelőanyag-cella   vezérlő egység   villany-motor



12

A járműforgalom növekedése és a közlekedés sűrűsödése olyan ökológiai következményekhez vezetett, amely a korszerűsítési intézkedéseket kényszerítő erővel teszi szükségessé. A károsanyag-kibocsátás növekedése elleni fellépés már a politika oldaláról is fokozódó nyomásként jelentkezik. Az idevonatkozó EU irányelvek és az Európai Autógyártók Szövetségének (ACEA) elhatározásai is a hagyományos viszonyok módosítását sürgetik.