

Inzelt György

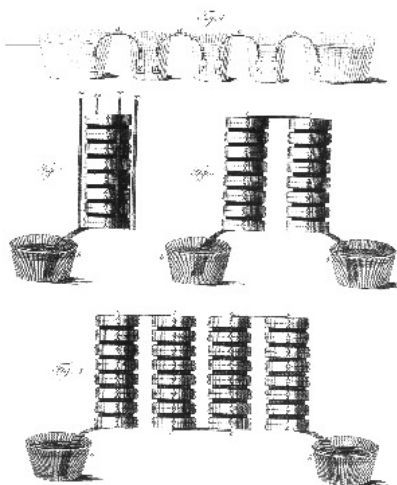
Eötvös Loránd Tudományegyetem, TTK Kémiai Intézet

Az elektrokémia reneszánsza a 21. században. Li-elemek, tüzelőanyag-cellák

Az elektrokémia megszületése óta jelen van mindennapjainkban. Megszoktuk már az ólomakkumulátort a gépkocsinkban, a különböző méretű galvánelemeket hordozható eszközeinkben. Kevésbé tudatosul, hogy az összes fém előállítása, tisztítása, fémbevonatok készítése elektrokémiai módszerekkel történik. Nem kis mennyiségről van szó, csak néhány fém éves termelési adatát említjük meg: alumínium több mint 20 millió tonna, króm 12 millió tonna, nikkel vagy réz 10 millió tonna, cink 7 millió tonna / év. A mosószereinkhez és sok más anyag ipari előállításához nélkülözhetetlen nátrium-hidroxidból 44 millió tonna az éves termelés, a másik terméke a NaCl elektrolízisének pedig a klór, ami a PVC, gyógyszerek, gyomirtó szerek, fertőtlenítők stb. gyártásához kell. Az elektrokémikusok munkájának eredménye jelenik meg a korrózióvédelemben vagy az az elektroanalitikai érzékelőkben is. Egyedül a Clark-féle oxigénszenzor milliók életét mentette meg.

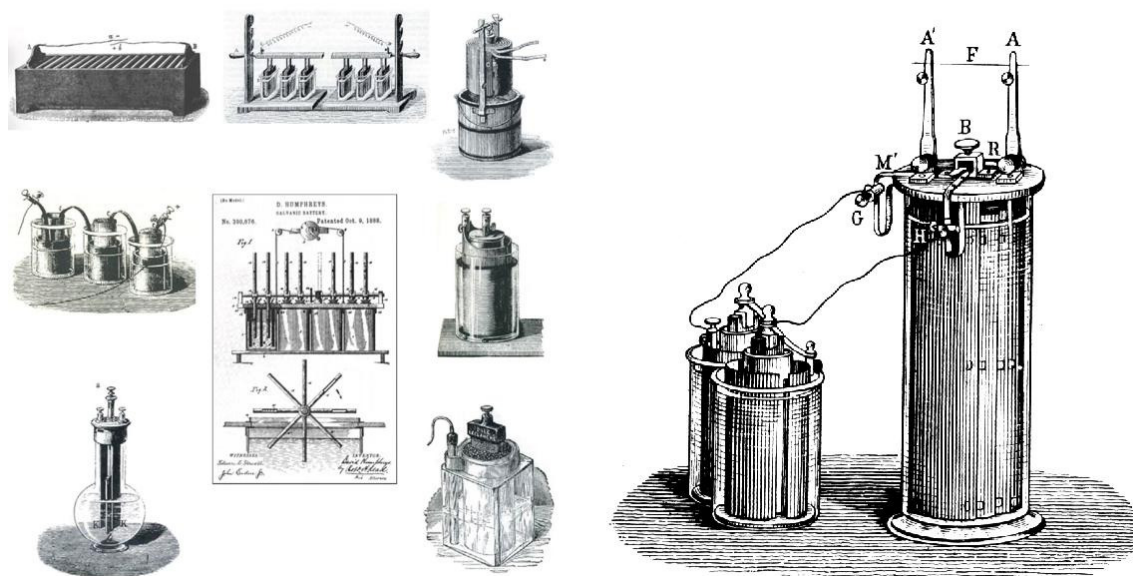
A dicső múlt

Az elektrokémia olyan tudományág, amelynek a pontos születésnapját is ismerjük, hiszen Alessandro Volta (1745–1827) 1800. március 20-án írta meg híres levelét Sir Joseph Banksnek (1743–1820), a Royal Society elnökének, amelyben tudatja, hogy olyan készüléket szerkesztett, amely folyamatosan tud áramot szolgáltatni. Még abban az évben a Volta-féle elemmel William Nicholson (1753–1815) és Antony Carlisle (1786–1840) végrehajtotta az első elektrolízist.



1.ábra. A. Volta portréja, a Volta-oszlop rajza az eredeti közleményből, a Volta-oszlop





A 19. század első évtizedében Humphrey Davy (1778–1829) egymás után állította elő az alkálifémeket és földfémeket, majd ezek segítségével olyan redukációs reakciókat lehetett végrehajtani, amelyekre korábban nem volt mód. Fejlődött az elmélet is, Michael Faraday (1791–1867) megalkotta a róla elnevezett törvényeket, amelyek azután nagy szerephez jutottak az elem fogalom kialakulásában is. A legjellemzőbb vonása a 19. Századi elektrokémiának azonban az, hogy mindenki igyekezett a saját galvánelemét létrehozni.



2. ábra. Néhány elem a 19. századból, sorban: Cruickshank 1800, Wollaston 1815, Hare 1819, Daniell 1836, Humphreys 1888 (középen), Grove 1838, Poggendorf 1842 és Leclanché 1866. Egy Planté-féle ólomakkumulátor töltése két Bunsen-elem segítségével (1860)

Ne feledjük el, hogy nem volt még hálózati áram. Az ólomakkumulátor is csak akkor lett igazán hasznos eszköz, amikor Siemens-Halske cég 1866-tól gyártani kezdte a dinamót, és a könnyű feltöltés lehetősége megnyílt. Ezekben az elemekben még folyadékállapotú volt az elektrolit, de Georges Leclanché (1839 – 1882) az 1860-as években már kifejlesztette az első 'szárazelemet' az az zselatin hozzáadásával rendkívül viszkózussá tette az elektrolitot, így nem kellett tartani annak kifolyásától a cellából. Ma már csak ilyen elemeket használunk, az ólomakkumulátort kivéve, ami a legjobban bevált készleteti áramforrássá vált. Napjainkban készülünk felváltani új áramforrásokkal, mert nemcsak nehéz, hanem számos veszélyes anyagot, ólmot és tömény kénsavat tartalmaz. Az elmúlt évtizedekben már más mérgező fémeket tartalmazó elemek gyártását megszüntették, látjuk az újabb elemeken a feliratot: 0% Hg, 0% Cd. A 19. század áramforrásai közül még megemlíthetjük Waldemar Jungner (1869–1924) Ni–Cd lúgos akkumulátorát, ami rendkívül sok jó tulajdonsággal rendelkezik, ezért a 20. század elején járművekben használták, de még az amerikai űrhajókban is ez volt a "standard battery". Ma már a kadmium tartalma miatt csökken a felhasználása, de gombelemekben még előfordul.

Az elemek fejlődése

1800.	Volta - elem Fém Fémion	Volta	
1859.	Ólomakkumulátor Pb H ₂ SO ₄ PbO ₂	Planté	
1864.	Leclanché - elem Zn NH ₄ Cl MnO ₂	Leclanché	
1899.	Nikkel-kadmium akkumulátor Ni KOH NiOOH	Jungner	

3. ábra. Néhány mérőföldkő

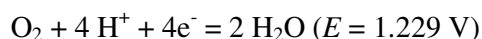
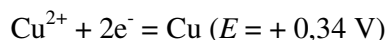
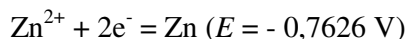
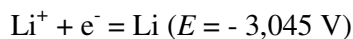
Számos elem készült hazánkban is, például Schenek István (1830–1909) és Farbaky István (1837–1928) selmecbányai professzoroké. Az ő ólom, ólomoxid és mínium tartalmú elemük szolgáltatta az áramot a bécsi Operaház és a Burg-színház világítását is.

Miért beszélhetünk reneszánszról, amikor ezek az áramforrások, az ipari elektrolízis technológiák végig jelen voltak az elmúlt 200 évben? Azért, mert az utóbbi évtizedekben új társadalmi elvárások jelentkeztek, és e kihívásokra az elektrokémia megfelelő választ tudott adni. Azon környezetvédelmi szempontból, hogy mérgező fémeket ne használjunk már szóltunk. E területen azonban még más is történt.

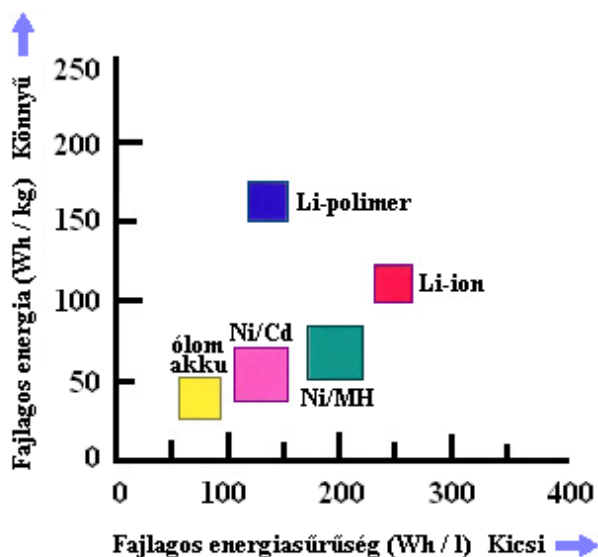
A lítiumelemek. Miért lítium?

Minden galvánelemnél alapvető jelentőségű az a potenciálkülönbség (E), ami a két elektród között létrehozható, hiszen az elektromos munka ($W = Q \times E$) ennek nagyságától és az áthaladt töltésmennyiségtől (Q) függ. A töltés, amit fel tudunk használni arányos az anyagok (reakciópartnerek) mennyiségével. Tehát az elemek méret-csökkentésének az szab határt, hogy mennyi töltést akarunk tárolni, illetve mekkora áramot (I) mennyi ideig (t) kell, hogy az

elem biztosítson ($Q = I \times t$). E szempontot figyelembe véve a Li a legjobb katód hiszen ennek a legnegatívabb a standard potenciálja, ami azt jelenti, hogy egy másik elektróddal összekapcsolva a legnagyobb potenciálkülönbség létesíthető. Az alábbiakban közölt táblázatból látszik az, hogy rézzel párban a Li katód 3,4 V feszültséget hoz létre, míg a cink-réz pár esetén ez az érték csak 1,1 V.



Van még több fontos tényező is, ezek közül kiemelkedik az elem tömege és térfogata, amiket az elektródok és az elektrolit sűrűsége határoz meg, illetve az elektród anyagát alkotó fém atomtömege vagy az alkalmazott vegyület esetén annak molekulatömege, ha azonos mennyiségű töltést kívánunk kivenni a galvánelemből. Tehát 7 g lítiumból annyi elektromos töltést lehet kihozni, mint közel 32 g rézből vagy 108 g ezüstből. A lítium sűrűsége is igen kicsi, $0,534 \text{ g/cm}^3$.



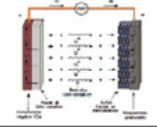

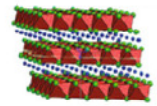
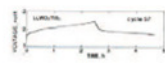
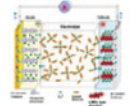
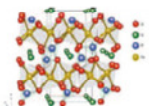


4. ábra. Különböző elemekből kinyerhető munka 1 kg-ra illetve 1 literre számítva

A 4. ábrán látható, hogy az ólomakkumulátor nemcsak veszélyes anyagokat tartalmaz, hanem nehéz és nagyméretű is. Ezzel ellentétben a Li-elemek könnyűek és kicsik. A lítiumot azonban nem lehet vizes közegben használni, mert a két anyag hevesen reagál. A megoldandó

alaprobléma az volt, hogy vannak-e más oldószerek, elektrolitok, amelyekkel érintkezve a lítium stabilisnak mutatkozik. Sikerült ilyen szerves és polimer oldószereket találni. Az egyik ilyen elektrolit volt a poli(etilén-oxidban) oldott Li-só. Persze még sok más teendő is volt, például a katód anyagának megválasztása, de a fejlődés most már megállíthatatlan volt, amit az 5. ábrán illusztrálunk.

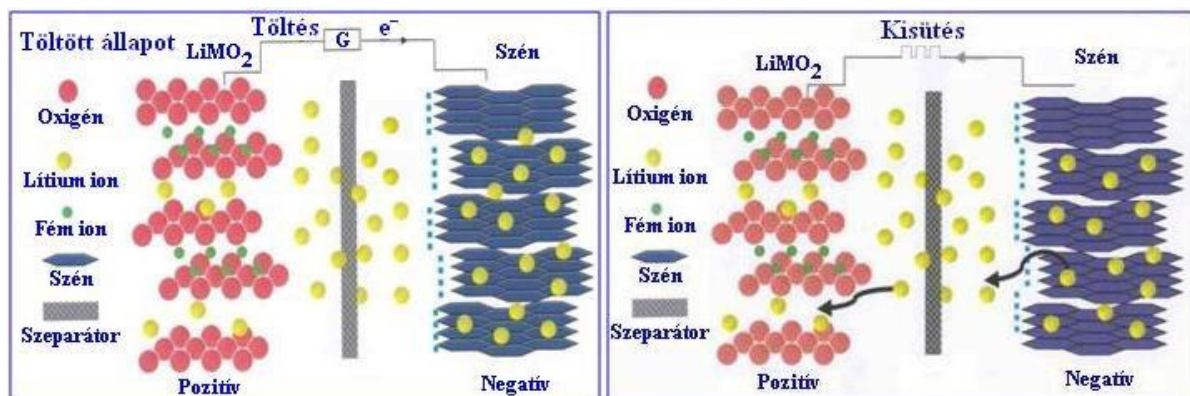
A lítium-elemek korai története

1972.	Lítium primer elem Li szerves elektrolit CFx	Matsushita	
1972.	Szilárd lítium-jód elem Li LiI I-PVP	Moser	
1977.	Lítium akkumulátor Li szerves elektrolit TiS ₂	Whittingham	
1978.	Polimer elektrolitos elem Li PEO elektrolit V ₂ O ₅	Armand	
1980.	Az első lítium-ion katód LiCoO ₂	Goodenough	
1980.	Híntaszék akkumulátor Li _x WO ₂ szerves elektrolit TiS ₂	Scrosati	
1991.	Lítium-ion akkumulátor C szerves elektrolit LiCoO ₂	Sony	
1997.	Olivin-típusú katód LiFePO ₄	Goodenough	

5. ábra. A Li-elemek első generációja

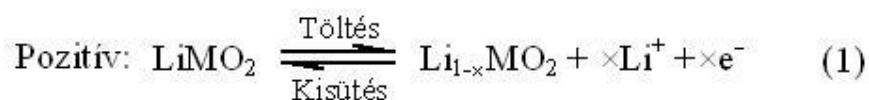
Az igazán nagy áttörést az interkalációs elektródok felfedezése hozta 1978-ban, vagyis olyan anyagoké, amelyek reverzibilisen tudnak lítium-ionokat felvenni illetve leadni. Ezek közül is a grafit mutatta a legkedvezőbb tulajdonságokat, amik közé tartozott az is, hogy olcsó, ami bizony ipari gyártásnál alapvető szempont. Azért több mint egy évtized telt el kutatással és

fejlesztéssel, amíg a japán Sony 1991-ben megjelentette termékét a piacon. Megtalálták a legjobb kombinációt: a grafit anódot és a lítium-kobalt-oxid anódot. Addig "hintaszék – rocking chair" akkumulátornak hívták a rendszert, a Sony adta a lítiumion-elem nevet, amit ma is használunk. A lítiumion-elemek működését a 6. ábrán és az (1) - (3) egyenletekkel illusztráljuk.

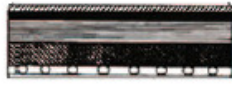
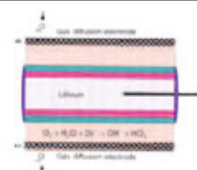
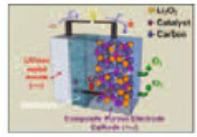
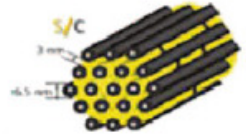
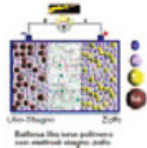


6. ábra. A lítiumion-elemek működési sémája

A lítiumion-elemekben lejátszódó elektróde reakciók illetve a cellareakció az alábbi egyenletekben foglalhatók össze:

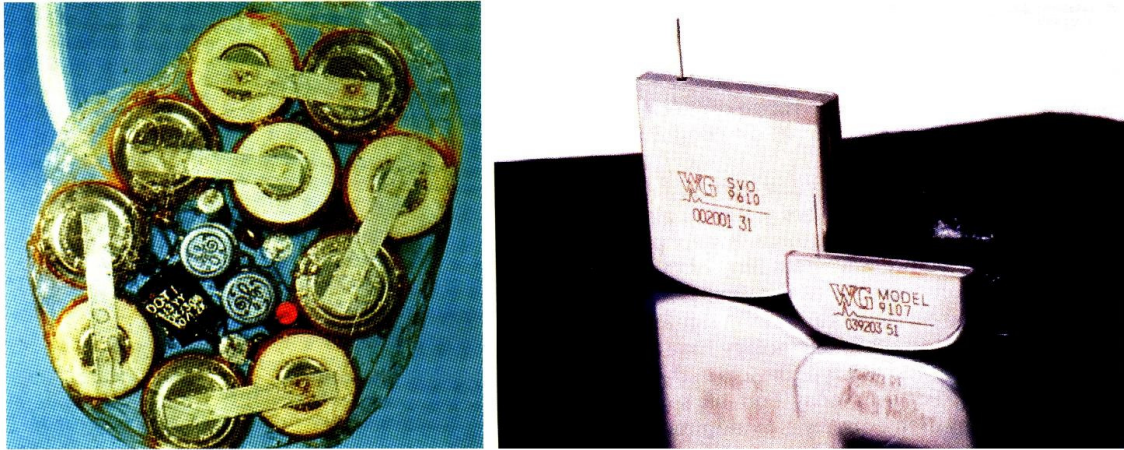


A fejlődés azóta sem állt meg, még biztonságosabb, nagyobb teljesítményű és olcsóbb elemek előállítására lebeg a kutatók és a gyártók szeme előtt. Nem akármilyen üzletről van szó, évente már több milliárd Li-elemet gyártanak! Az utóbbi évek törekvéseiről a 7. ábrán adunk számot.

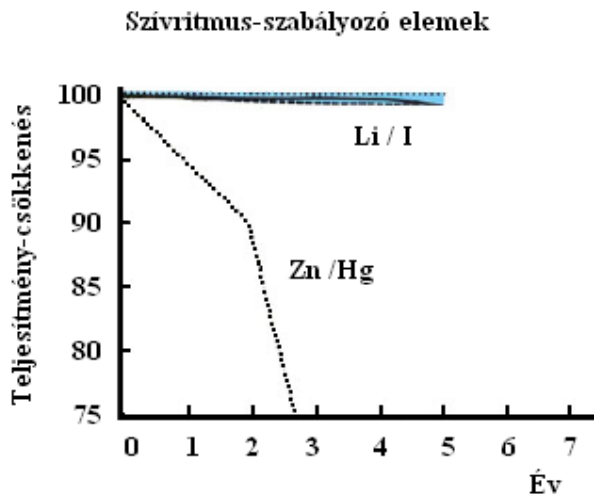
A lítium - elemek új korszaka			
1996.	Lítium-levegő elem Li szerves elektrolit O ₂ , C	Abraham	
2006.	Lítium-levegő elem Li film vizes elektrolit O ₂ , C	Visco	
2006.	Lítium-levegő elem Li szerves elektrolit O ₂ , C, katalizátor	Bruce	
2009.	Lítium-kén elem Li szerves elektrolit S, C	Nazar	
2010.	Lítium-kén elem Sn-C szerves elektrolit Li ₂ S, C	Hassoun - Scrosati	

7. ábra. Újabb lítium-elemek

Örülünk annak, hogy a hordozható eszközeinkben (mobiltelefon, laptop) még kisebb elemek kerülnek, így könnyebben visszük őket magunkkal, de azért ennél komolyabb ügyek is vannak. A szívritmus-szabályozás lehetőségét már az 1950-es években felismerték. A legnagyobb gondot az áramforrás jelentette. Az első, már hordozható változat a Ruben-féle Zn – HgO elemet használta. Azonban ez terjedelmes és nehéz volt, valamint két-három évente kellett cserélni. A Moser-féle Li – I₂ – poli(2-vinilpiridin) elem, amit azután Wilson Greatbach (1919 – 2011) fejlesztett tovább, az 1980-as évektől már egy egész más életminőséget biztosított a pacemakert használóknak (8. és 9. ábra). Ez már könnyű és hosszú élettartamú volt.



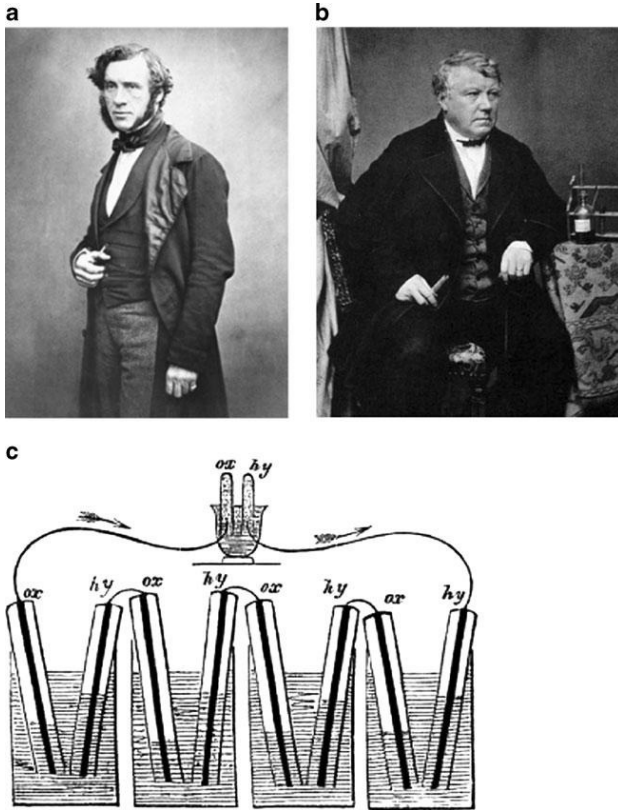
8. ábra. Régi (Zn-HgO) és új (Li) pacemaker-elemek



9. ábra. A régi és az új elemek élettartamának összehasonlítása

A tüzelőanyag-cellák

Az alapjelenséget Grove és Schönbein (10. ábra) már 1838-ban felfedezte, legalábbis a napjainkban legigéretesebbnek tűnő $H_2 - O_2$ elem tekintetében. Ez pedig nem más, mint a durrnogáz reakció ellenőrzött, elektrokémiai cellában való véghezvitele, amelynek a végterméke a víz. Ez, amire környezettudatos világunkban vágyunk: egy tiszta áramforrás, amely káros anyagot nem, csak tiszta vizet termel.



10. ábra. Az első $H_2 - O_2$ „gázelemek” megalkotói: William Robert Grove (1811 - 1896) és Christian Friedrich Schönbein (1799 - 1868) és a gázelem ábrája Grove 1842-es közleményében

Már a 19. században intenzív kutatás folyt ezen a területen, amint azt egy 1900-as összefoglaló közlemény irodalomjegyzéke is jól mutat (11. ábra).

und gehen nach einer chronologischen Zusammenstellung der die elektromotorische Wirksamkeit der Gase und die Gasketten betreffenden Litteratur nunmehr zu den zweigasigen Gasketten über.

9. Chronologische Litteraturübersicht über Gasketten und elektromotorische Wirksamkeit der Gase.

Jahreszahl	
1838.	Schönbein, Pogg. Ann. 43, 89.
	Matteucci, Compt. rend. 7, 741.
1839.	Grove, Phil. Mag. (3) 14, 129. — Pogg. Ann. 57 (1842).
	Schönbein, Pogg. Ann. 47, 101.
1841.	De la Rive, Pogg. Ann. 54, 378. — Arch. det science phys. et nat. 20, 262.
1842.	Grove, Phil. Mag. 21, 417. — Pogg. Ann. 58, 202 (1843).
	Schönbein, Pogg. Ann. 56, 135, 235; 57, 361.
	Buff, Ann. Chem. Pharm. 41, 136. — Arch. de l'Elect. II, 222.
1843.	Grove, Phil. Transact. 1843.
	Matteucci, Compt. rend. 16, 846.
	Schönbein, Pogg. Ann. 58, 361. — Phil. Mag. 22, 165.
	Peltier, Bibl. univ. 18, 186.
	Poggendorff, Pogg. Ann. 58, 207.
	Henrici, Pogg. Ann. 58, 384.
	De la Rive, Arch. de l'Electricité III, 525.
1844.	Smee, Phil. Mag. (3) 25, 435.
	Schönbein, Pogg. Ann. 62, 220.
	Poggendorff, Pogg. Ann. 61, 598.
	Grove, Phil. Mag. (3) 24, 286.
1845.	Smee, Pogg. Ann. 65, 470.
	Grove, Phil. Mag. (3) 27, 348. — Grove, Phil. Transact. 2, 359.
1848.	Schönbein, Pogg. Ann. 74.
	Buff, Pogg. Ann. 73, 505.
1849.	Beetz, Pogg. Ann. 77, 493; 78, 40.
1853.	Betz, Pogg. Ann. 90, 42.
	Symons, Repert. of the Brit. Assoc. 1853 (2) 56.
	E. Becquerel, Ann. Chim. Phys. (3) 37, 385.
1855.	Gaugain, Compt. rend. 41, 1166. — Fortschritte 1855, 438.
1858.	Beetz, Pogg. Ann. 104, 308.
	Wild, Pogg. Ann. 103, 360.
1864.	Crova, Mondes 5, 210.
1867.	Gaugain, Compt. rend. 64, 364; 65, 462.
	Beetz, Pogg. Ann. 132, 456.
1869.	Villari, Cimento (2) 382.
1873.	Macaluso, Ber. der kgl. sächs. Ges. der Wiss. Math. physik. Kl. 1873, 306.
1873.	Helmholtz, Ber. der Berl. Akad. 1873, 587. — Pogg. Ann. 150, 483. — Gesammelte Abhandl. 1, 823.

Jahreszahl	
1876.	Helmholtz, Ber. der Berl. Akad. 1876, 217. — Pogg. Ann. 159, 416. — Gesammelte Abhandl. 1, 835.
1878.	J. Brown, Nature 18, 12.
	Beetz, Wied. Ann. 5, 1.
	Morley, Phil. Mag. (5) 5, 272.
1879.	Peirce, Wied. Ann. 8, 98.
	Brown, Phil. Mag. (5) 7, 189.
	Koch, Wied. Ann. 8, 92.
1880.	Helmholtz, Ber. der Berl. Akad. 11, III, 1880. — Wied. Ann. 11, 787. — Gesammelte Abhandl. 1, 899.
1881.	Schulze-Berge: Wied. Ann. 12, 293.
	Lippmann, Journ. de Phys. 10, 202. — Beibl. 5, 531.
1882.	Krouchkoll, Compt. rend. 45, 177.
1883.	Kendall, Chem. News 49, 49. — Beibl. 8, 525.
	Waitz, Wied. Ann. 20, 285.
	Stolling und Johnson, Chem. News 48, 253, 264. — Beibl. 9, 470.
1884.	Lord Rayleigh, Proc. Cambr. Phil. Soc. 4, 198. — Beibl. 8, 395.
	Figuiet, Compt. rend. 98, 1575. — Beibl. 9, 139.
1885.	Ramsay, Rep. Brit. Assoc. 1885, 965. — Beibl. 12, 215.
1886.	J. Gubkin, Dissertation Freiburg (Breisgau).
1887.	Brown, Proc. Roy. Soc. 41, 294. — Beibl. 11, 261.
1889.	Mond und Langer, Elektrotechn. Zeitschrift 10, 454. — Beibl. 13, 959.
	Alder, Wright und C. Thompson, Proc. Royal Society London 46, 372.
	Warburg, Wied. Ann. 38, 321. — Beibl. 14, 52.
	Thoma, Centralbl. f. Elektrotechn. 11, 131. — Diese Zeitschr. 3, 69 (1889). — Beibl. 13, 529.
1890.	Arons, Wied. Ann. 41, 473.
1891.	Koch, Wied. Ann. 42, 77.
	Markowski, Wied. Ann. 44, 457.
1893.	Ostwald, Lehrbuch der allgem. Chemie (2. Aufl.) 2 ¹ , 898.
1894.	Neumann, Diese Zeitschr. 14, 193.
	Smale, Diese Zeitschr. 14, 577.
1895.	Smale, Diese Zeitschr. 16, 562.
1896.	Ostwald, Elektrochemie, ihre Geschichte und Lehre 688 ff.; 1068.
1897.	Danneel, Inaug.-Dissertation Göttingen.
	Borchers, Zeitschr. f. Elektrochemie 4, 42.
1898.	Dolezalek, Diese Zeitschr. 26, 321 und Inaug.-Dissert. Göttingen.
	Glaser, Zeitschrift f. Elektrochemie 4, 355, 373, 424 und Inaug.-Dissert. Göttingen.
	Bose, Zeitschr. f. Elektrochem. 5, 153 und Inaug.-Diss. Göttingen.
1899.	Dolezalek, Zeitschr. f. Elektrochem. 5, 533.
	Bodländer, Sammlung chemisch-technischer Vorträge 3, 385.
	Hopfner, Zeitschr. f. anorg. Chemie 20, 419.

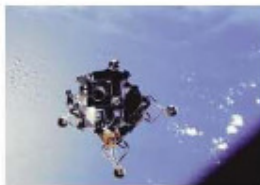
11. ábra. Egy lap E. Bose 1900-as összefoglaló közleményéből (Z. phys. Chem. 34, 701) a gázelemekre vonatkozó cikkek listájával

A történet mérföldköveit a 12. ábrán mutatjuk be.

1839 William Grove feltalálja a "gázelemet", ez az első tüzelőanyag-cella



1950 a General Electric kifejleszti az első protoncserélő-membránt



1960 a NASA először használ tüzelőanyag-cellát az űrben

1990 Nagyteljesítményű tüzelőanyag-cellák megjelenése az iparban és világításra - fűtésre az épületekben.



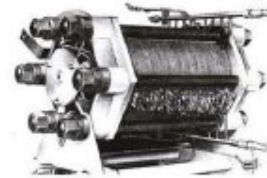
2008 HONDA FCX Clarity tüzelőanyag-cellás gépkocsija

1889

Charles Langer & Ludwig Mond kifejleszti az első tüzelőanyag-cellát és ők adják a tüzelőanyag-cella nevet is

1959

Francis Bacon felépíti az 5 kW-os alkálikus tüzelőanyag-celláját



1970 tüzelőanyag-cellák gyártása

1980 US Navy tüzelőanyag-cellát használ tengeralattjárókban

2007

Tüzelőanyag-cellák használata kiegészítő és készenléti áramforrásokként.



2009

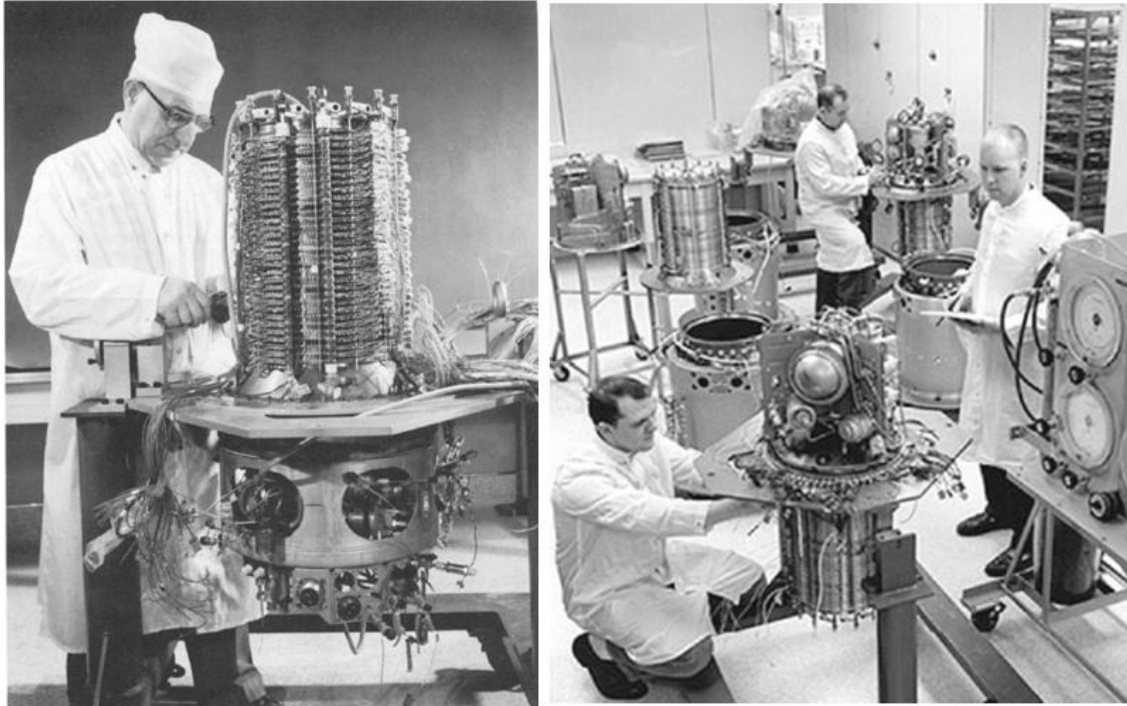
Tüzelőanyag-cellák elektronikai alkalmazása



12. ábra. A tüzelőanyag-cellák 170 éves karrierje dióhéjban

Kétségtelen, hogy a tüzelőanyag-cellák új korszaka Francis Thomas Bacon (1904 – 1992) tevékenységével kezdődött, aki kitalálta a gázdifúziós elektródot, és 25 évig fejlesztette a tüzelőanyag celláját, amely végül az Apollo űrhajón szolgáltatta az áramot és a vizet (13. ábra). Tanulságos a történet, mert Bacon munkája akkor egyik brit egyetemet sem érdekelte,

mindenhonnan elküldték, végül saját házában dolgozott. Itt akadtak rá az amerikaiak, akik felismerték, hogy Bacon rendelkezik egyedül igazán használható tüzelőanyag-cellával. Meghívták az Egyesült Államokban, adtak a további fejlesztésre 100 000 millió dollárt és létrehozta egy 100 fős kutatócsoportot. Bacon cellája AFC típusú volt, előtte a Gemini űrhajókon már szolgált 2 darab 1 kW-os PEMFC modul.



13. ábra. Francis Thomas Bacon (balra) és munkatársai szerelik a tüzelőanyag-cellákat az Apollo űrhajók számára

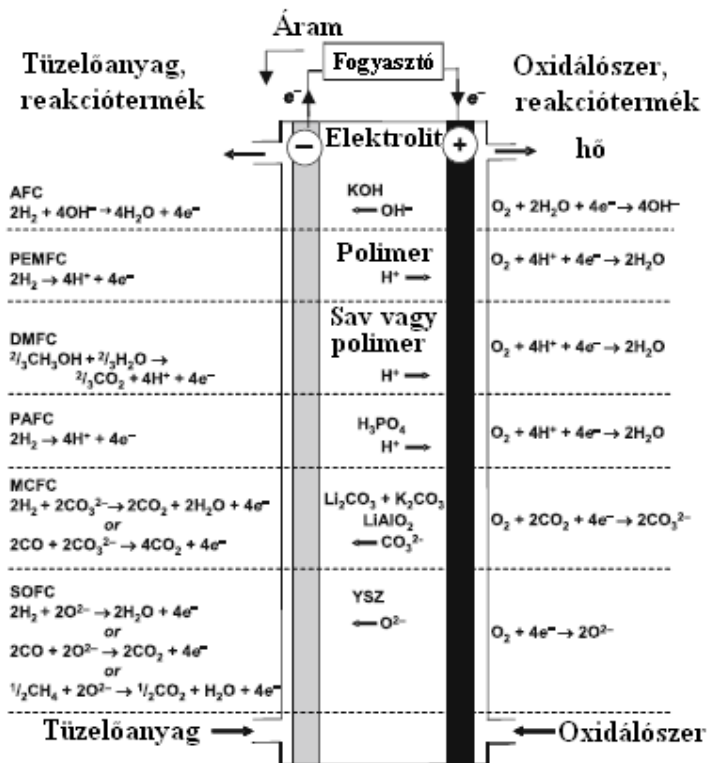
Bacon tüzelőanyag-cellája hibamentesen működött mind a 18 Apollo űrhajó küldetése során. Az Apollo 11 űrhajósai ezt el is ismerték (14. ábra).



FIGURE 2. Man's first step on the moon — Photograph dedicated to Tom Bacon by the astronauts.

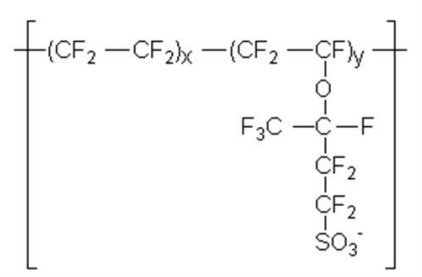
14. ábra. Az első lábnyom a Holdon Francis Thomas Bacon-nak dedikálva

Sokféle tüzelőanyag-elem létezik, felépítésük, működési hőmérsékletük és a használt tüzelőanyag illetve elektrolit valamint más szempontok szerint szokták csoportosítani őket (15. ábra). A 15. ábrán a nemzetközi rövidítéseket használtuk. Ezek a következők: FC = fuel cell = tüzelőanyag-cella, AFC = alkalikus FC, PEMFC = protoncserélő membrános FC, DMFC = (direkt) metanolos FC, PAFC = foszforsavas FC, MCFC = karbonátolvadékos FC, SOFC = szilárd elektrolitos FC, ahol YSZ = $Y_2O_3 + ZrO_2$. Feltüntettük az ionvezetést biztosító illetve a membránon áthaladó ionokat is. Az utóbbi három tüzelőanyag-cella nagy hőmérsékleteken működik (150 – 1000 °C), míg az AFC és a PEMFC 50 – 120 °C-on.



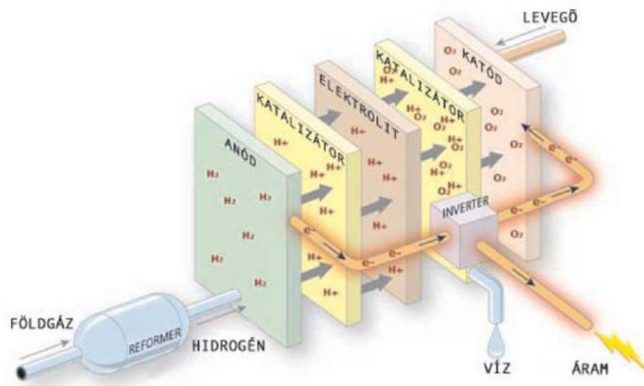
15. ábra. Különböző típusú tüzelőanyag-cellák

A protoncserélő membránok anyaga a Nafion (16. ábra), amit Walther Grot fejlesztett ki a DuPont cégnél az 1960-as években. Kedvező tulajdonságai (kiváló protonvezető és protoncserélő, de a hidrogénre való átjárhatóság igen kicsi, hidrofób volta miatt a keletkező víz könnyen távozik, szupersav katalizátor, kémiaiag stabilis, mechanikai szempontból is ellenálló stb.) okán ma is a leginkább használatos membrán.

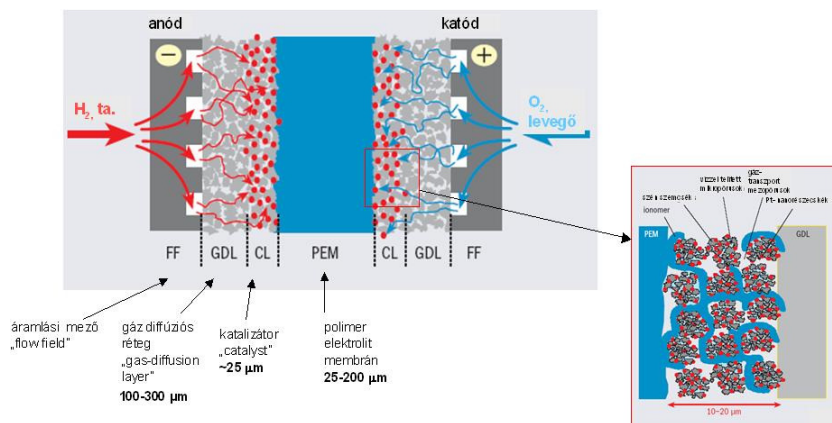


16. ábra. A Nafion képlete

Egy tüzelőanyag-cella felépítésének sematikus képét mutatjuk be a 16. ábrán, míg a protoncserélő membrános cella belső szerkezete a 17. ábrán látható.

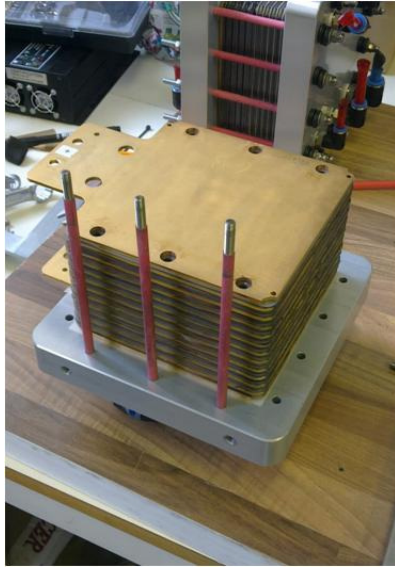


16. ábra. Egy tüzelőanyag-cella sematikus képe



17. ábra. A protoncserélő membrános tüzelőanyag-cella felépítése

A 18. ábrán egy cellaköteg (stack) látható építés közben az ELTE Elektrokémiai Laboratóriumában, ugyanis ilyeneket használunk, hiszen egy cella feszültsége csak 1 V, ami a működés közben még jelentősen le is csökken. Egy kész cellakötegünk pedig a 19. ábrán tekinthető meg.



18. ábra. Tüzelőanyag-cella összeállítás közben



19. ábra. Egy tüzelőanyag-cellaköteg (stack) véglapokkal gázbevezetővel és vízelvezetővel

Az összeállítás látszólag egyszerű művelet, mindazonáltal nagy gondosságot igényel. Egy porszem sem kerülhet a bipoláris lapok és a tömítések közé, mert a hidrogén igen könnyen elszökhet. Ugyanezen okból a bipoláris lapoknak illetve a véglapoknak tökéletesen egyenletesnek, görbületmentesnek kell lenniük. A lapok összeszorításánál is éppen akkora nyomást kell alkalmazni, hogy a zárás tökéletes legyen, de egyik lap se görbüljön vagy törjön el. Időnként a kötegeket szétszedjük, és ellenőrizzük, hogy történt-e korrózió. Ennek helye és nagysága fontos iránymutatásul szolgál, a tüzelőanyag-cellák további fejlesztése tekintetében.

A 20. ábrán jól látszanak a gáz- és vízvezető csatornák is, amelyek megfelelő kialakítása a legfontosabb tervezési művelet.



20. ábra. A bipoláris lap a gáz- és vízvezető csatornákkal. A korrózió ellenőrzése 1 év működés után

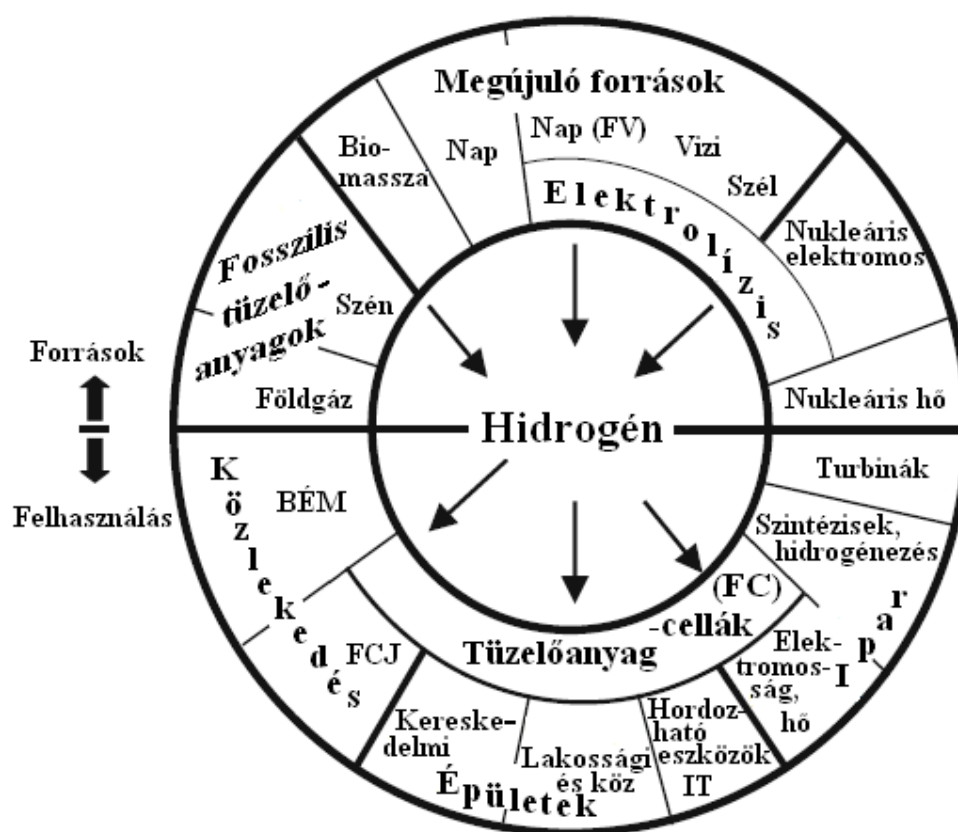
Természetesen a működtetéshez készenléti áramforrásként, erőműben vagy egyéb alkalmazásokban kell még vezérlő és ellenőrző elektronika, hidrogénpalack, gázszivattyú, hűtőrendszer, biztonsági berendezés csak, hogy néhány elemet említsünk. Ezt illusztráljuk a 21. ábrán.



21. ábra. Tüzelőanyag-cella a vezérlőrendszerrel és a többi egységgel egybeépítve

A hidrogén előállítása és tárolása a fenntartható hidrogéngazdaság kérdéskörének, ezen belül a $H_2 - O_2$ tüzelőanyag-cellák üzemeltetésének kiinduló pontja. Kívánatos az, hogy eleve

megújuló energiaforrásból származzon (22. ábra). Ez környezetvédelmi követelmény, de a hidrogén jelenlegi, fosszilis forrásokból való előállítás – napjainkban az 50 millió tonna éves hidrogéntermelés nagyobb részét a földgáz reformálásával történik - nem is lesz folytatható, éppen ezeket az alapanyagokat szeretnénk kiváltani. Az elektrolízissel való előállítás azért is kívánatos, mert az tiszta hidrogént eredményez, 10 %-nál nagyobb CO-tartalom már mérgezi a katalizátort a tüzelőanyag-cellákban. Vegyük azt is figyelembe, hogy a hidrogén szerepe kettős. Nemcsak tüzelőanyag, hanem energia tárolására is szolgál. Ugyanis az elektromos áramot nem lehet tárolni, tehát a szél- és vízierőművek, napelem-telepek által termelt áramot, ha a hálózat nem veszi át vagy nem használják fel azonnal helyben, valahogyan raktározni kell. A víz elektrolízisével való hidrogénelőállítás különösen ott célszerű, ahol sok víz áll rendelkezésre. Norvégiában és Izlandon, ahol olcsó hidrotermális és geotermális elektromosság áll rendelkezésre, komoly fejlesztés folyik e területen.

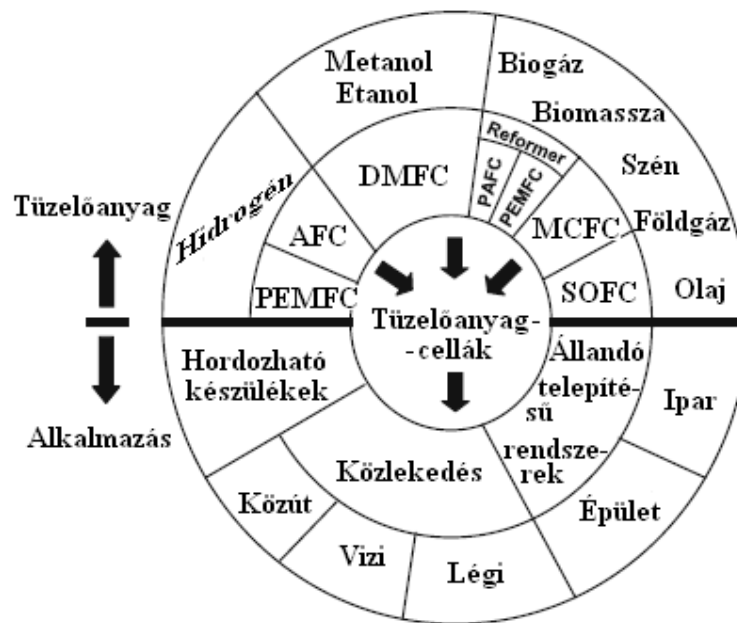


- FV - fotovoltacellák
- BÉM - belsőégésű motorokkal működő járművek
- FCJ - tüzelőanyag-cellás járművek
- IT - információtechnológia

22. ábra. A hidrogén előállítási és felhasználási lehetőségei

Más hidrogénelőállítási módok is szóba jöhetnek, például biomasszából baktériumos fermentációval. A hidrogén tárolása a nagynyomású hidrogénpalackok mellett, folyékony formában vagy fémhidridekben (pl. CaNi_5H_4 vagy Mg_2NiH_4) történik. Igéretes a NaBH_4 -ből

való felszabadítás vízzel való reakció útján, csak ez igen drága. Távlatilag a jelenleg már meglévő földgázzal való csőhálózat átalakítható hidrogén szállítására is.



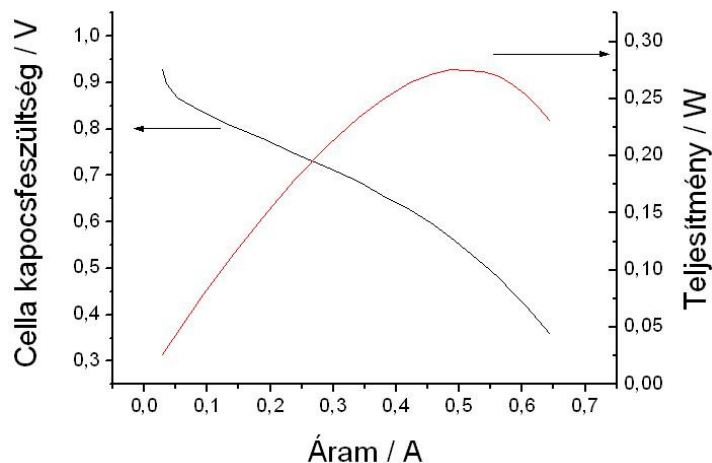
23. ábra. A tüzelőanyag-cella típusai és felhasználási lehetőségeik

A tüzelőanyag-cellák felhasználási körét a 23. ábrán mutatjuk be. Válasszunk ki egyet, a közlekedést. A hidrogén üzemanyaggal működő járművekkel szembeni egyik ellenérv, hogy a hidrogén veszélyes. Ez nem állja meg a helyét, mert a hidrogén könnyen elszökik a levegőbe, illetve a 24. ábrán látható módon ég el, ha meggyullad ellentétben a benzinnel, ami kifolyik, a gépjármű kiég vagy felrobban. Tulajdonképpen a hidrogén rossz hírét a Zepellin léghajó katasztrófája keltette, de ott is először a dieselloaj gyulladt meg. Már el is felejtettük, hogy a lakosság különösebb baj nélkül használta a városi (világító) gázt, aminek 50%-a hidrogén volt.



24. ábra. Egy hidrogénnel illetve egy benzinnel hajtott gépkocsi égési tesztje

Már említettük, hogy a tüzelőanyag-cella kapocsfeszültsége csökken az áram függvényében, a teljesítményének azonban maximuma van. Ezt figyelembe kell venni akkor, amikor a járművet használjuk. A PEMFC cellák különösen alkalmasak arra, hogy változó teljesítménnyel használjuk. Gépjárműveknél ez a helyzet. A gyorsításnál egy szuperkapacitás segít rá, amit azután menet közben újra feltöltünk. Mivel a tüzelőanyag-cella teljesítményét közel állandó igénybevétel mellett tudjuk legjobban kihasználni, hagyományos Li akkumulátort is érdemes sorba kötni vele, és ez utóbbi táplálja közvetlenül az elektromotort.



25. ábra. Egy tüzelőanyag-cella teljesítménygörbéje

2009-ben az ELTE-n elkészült az első hidrogénnel működő tüzelőanyag-cellás kisjármű, a HYGO, amelyik azonnal nagy sikert aratott az Alternatív hajtású járművek versenyén Győrben, elnyerve a prototípus 1. díját, a leginnovatívabb jármű díját és a Honda különdíját. Ez a sikert a 26. képen látható továbbfejlesztett változata, a HYGO 2.0 is megismételte 2010-ben.



26. ábra. Magyar tüzelőanyag-cellás jármű az alternatív hajtású járművek versenyén, 2010-ben

A hidrogénes járműveknek természetesen üzemanyagot is kell vételezniük. Ennek infrastruktúrája napjainkban kezd kiépülni, jelenleg 200 hidrogénkút működik világszerte, ebből 70 hozzáférhető az autósok részére. Nemcsak a töltőállomások jelenthetnek megoldást, talán egyszerűbb is egy fémhidrides palackot cserélni, ami az üzemelő benzinkutaknál is megtehető.

A tüzelőanyag-cellák területén az elmúlt években jelentős elmozdulás figyelhető meg a kutatás-fejlesztés (R&D) aktivitástól az ipari termelés irányába. 2008 és 2010 között az ipari termelés 27%-kal nőtt. Ennél még nagyobb mértékben növekedett a cégek bevétele: 260 millió USD 2008-ban, 670 millió USD 2010-ben. 2017-re 28 milliárd dolláros piacot jósolnak (Pike Research Fuel Cells Annual Report, 2011). Érdekes nekünk is részt vennünk.

A Magyar Tudományos Akadémia Kémiai Tudományok Osztályának a Magyar Tudomány Ünnepe 2011 alkalmából rendezett „Kémia: tudomány és társadalom” című előadói ülésén 2011. november 8-án elhangzott előadás.