

Áramforrások, tűzelőanyag-cellák

Inzelt György

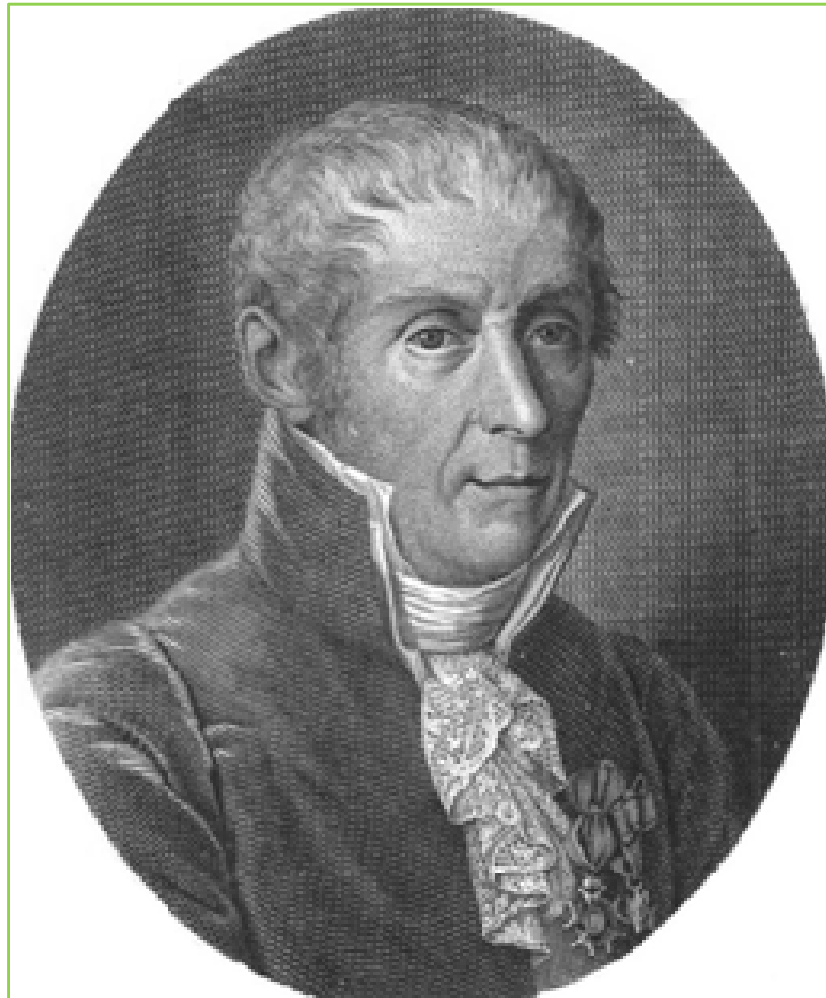
Eötvös Loránd Tudományegyetem, TTK
Kémiai Intézet, Fizikai Kémiai Tanszék
Elektrokémiai és Elektroanalitikai Laboratórium



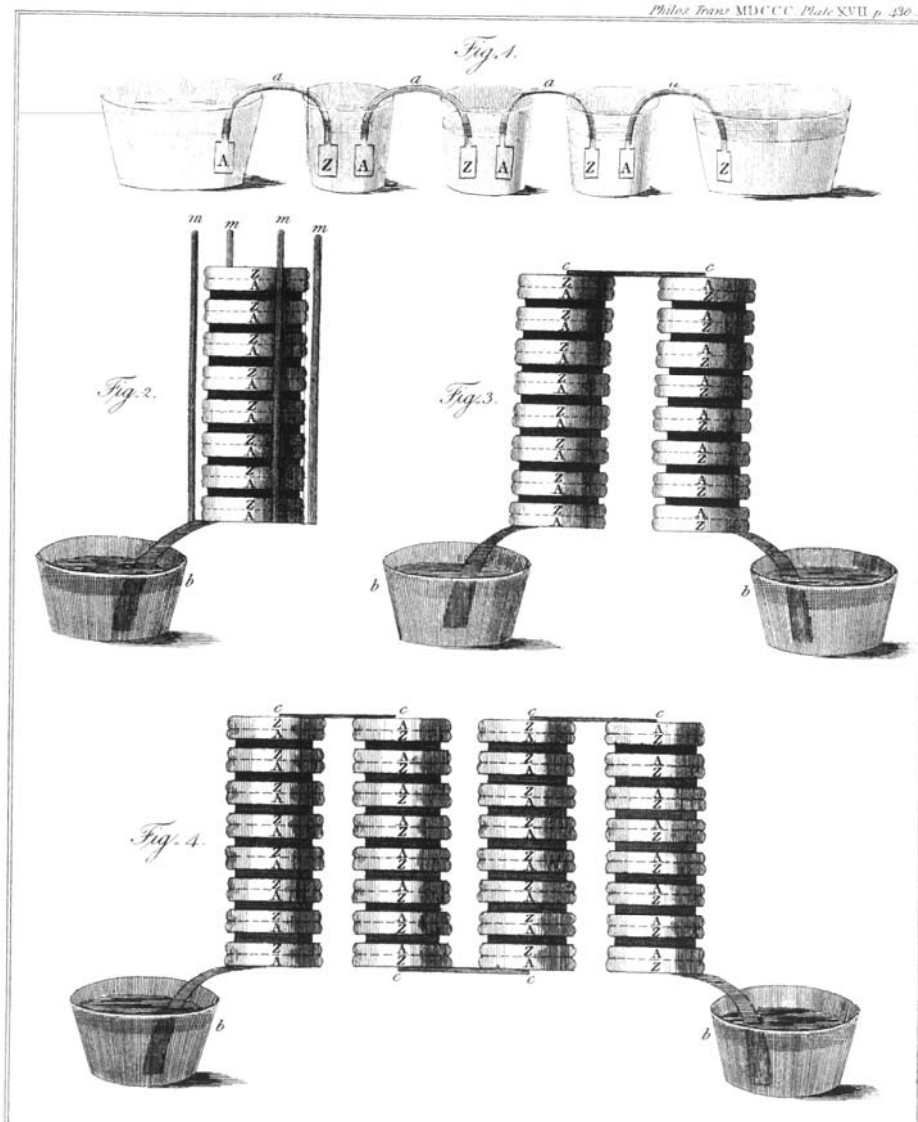
Elektrokémia, elektromos áram

Alessandro Giuseppe Antonio Anastasio Volta

1745. február 18, Como – 1827. március 5. Como, Lombardia

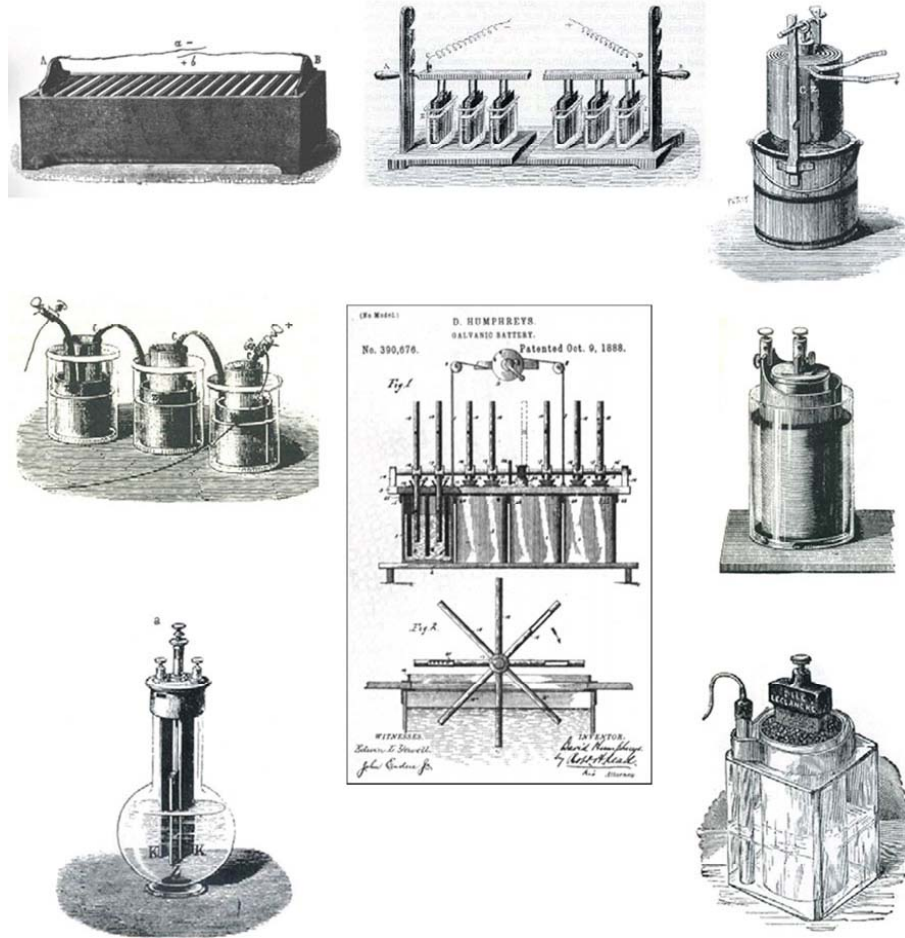


**A Volta-féle oszlop (elem) rajza az eredeti közleményből,
1800. március 20.**

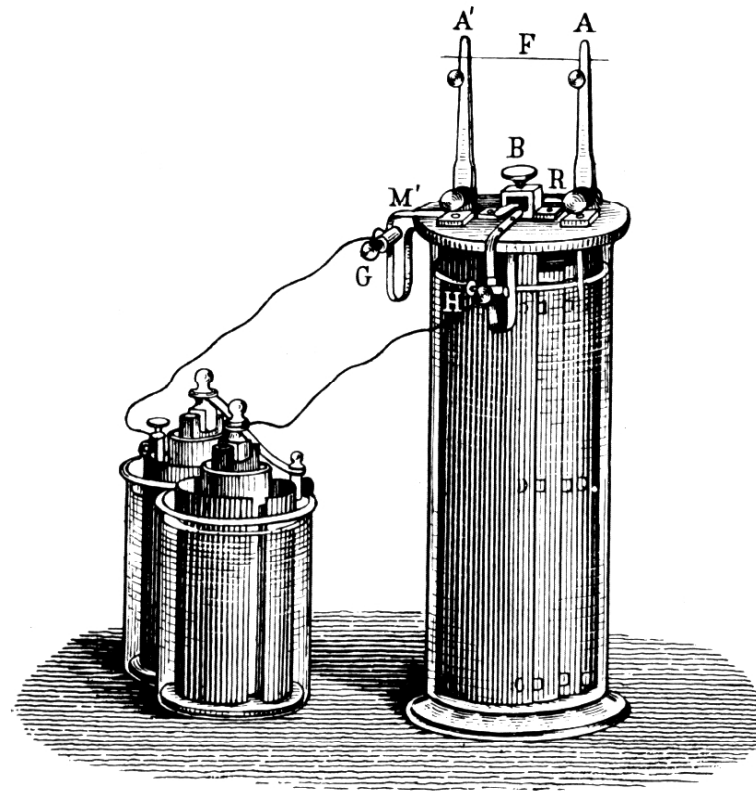


Különböző elemek a XIX. századból

Cruickshank 1800, Wollaston 1815, Hare 1819, Daniell 1836, Humphreys 1888 (középen), Grove 1838, Poggendorf 1842 és Leclanché 1866.



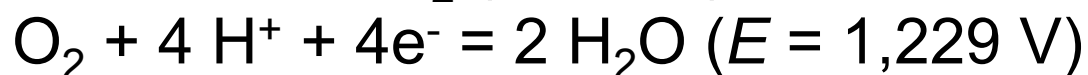
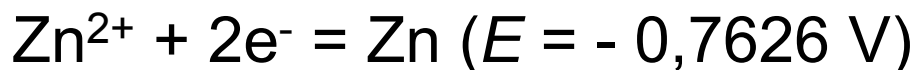
A Planté-féle ólomakkumulátor töltése két Bunsen-féle elemmel



Planté találmánya idején, 1859-ben még nem volt hálózati áram!

A potenciálkülönbség és az anyagmennyiség szerepe

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 méretcsökkentésének az szab határt, hogy mennyi töltést akarunk tárolni, illetve mekkora áramot (I) mennyi ideig (t) kell, hogy az elem biztosítson ($Q = I \times t$).



Alapvető áram – potenciál összefüggések

Független változó: külső terhelés

$$I = \frac{(E_c - E_a) - \eta_{\text{ohm}}}{R_k}$$

η_{ohm} – ohmikus túlfeszültség = $I \times R_{\text{belső}}$

R_k – külső ellenállás

E_c + (pozitív)

$$E_c = E_{c,e} - \sum \eta_c = E_{c,e} - \eta_{c,\text{akt}} - \eta_{c,\text{konc}}$$

$$E_a = E_{a,e} + \sum \eta_a = E_{a,e} + \eta_{a,\text{akt}} + \eta_{a,\text{konc}}$$

Alapvető áram – potenciál összefüggések

$$E_{\text{cella}} = E_1 - E_2 \pm I R_{\text{cella}} = E_{\text{e1}} - E_{\text{e2}} + \eta_1 - \eta_2 \pm I R_{\text{cella}}$$

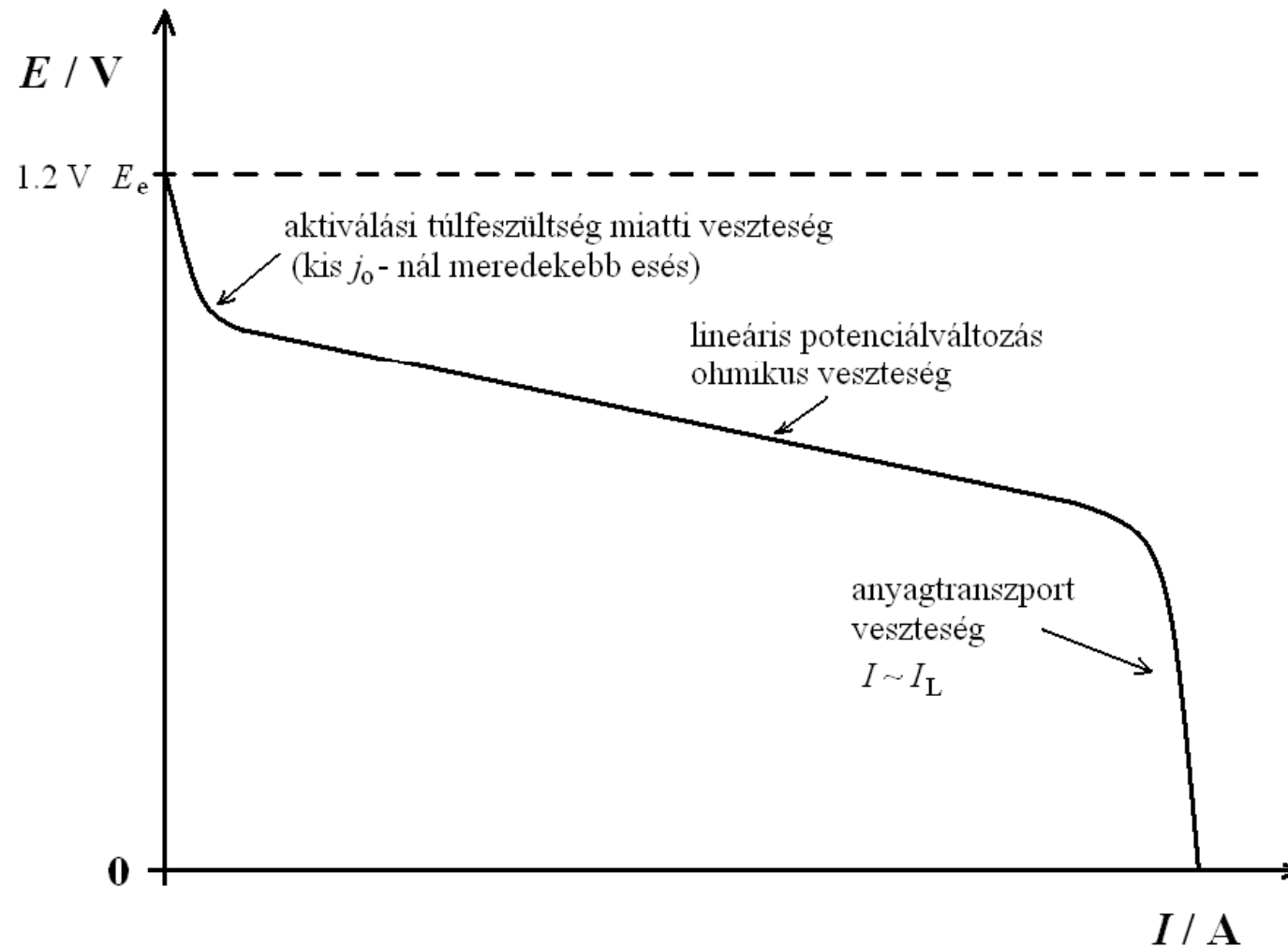
Átlépésgátolt

$$E_{\text{cella}} = E_{\text{e1}} - E_{\text{e2}} + I R_{\text{cella}} + \frac{RT}{\alpha_c z F} \ln \frac{j}{j_{o1}} - \frac{RT}{\alpha_a z F} \ln \frac{j}{j_{o2}}$$

Diffúziógátolt

$$E_{\text{cella}} = E_{\text{e1}} - E_{\text{e2}} + I R_{\text{cella}} + \frac{RT}{z F} \ln \left(1 - \frac{j}{j_{L_1}} \right) - \frac{RT}{z F} \ln \left(1 - \frac{j}{j_{L_2}} \right)$$
$$\frac{RT}{z F} \sum_i \nu_i \ln \left(1 - \frac{j}{j_{L_i}} \right) \leftarrow \text{több részecskére}$$
$$\frac{RT}{z F} \ln \frac{j}{j_o}, \text{ ha } j_L \gg j \quad \ln \left(1 - \frac{j}{j_L} \right) = - \frac{j}{j_L}$$

A potenciál – áram függvény egy elektrokémiai áramforrásnál



A maximális áram és teljesítmény

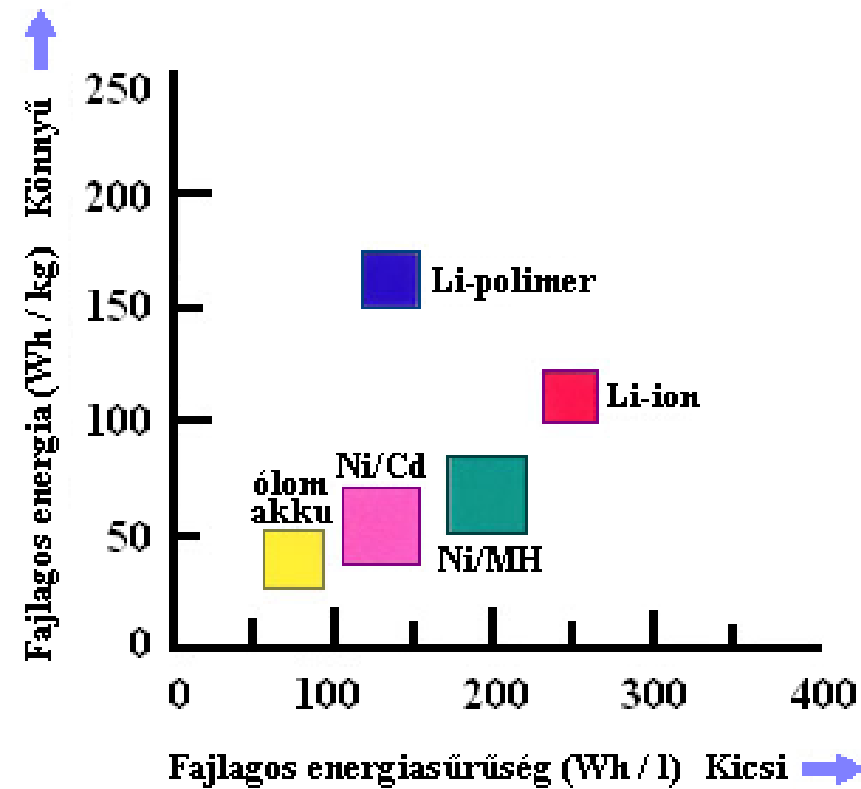
$$I_{\max} = \frac{E_e}{2R_{\text{teljes}}} = \frac{E_e}{2 \left[\frac{RT}{F} \left(\frac{1}{z_1 A_1 j_{o1}} + \frac{1}{z_2 A_2 j_{o2}} \right) + R_c \right]};$$

$$E_{\max} = \frac{E_e}{2}$$

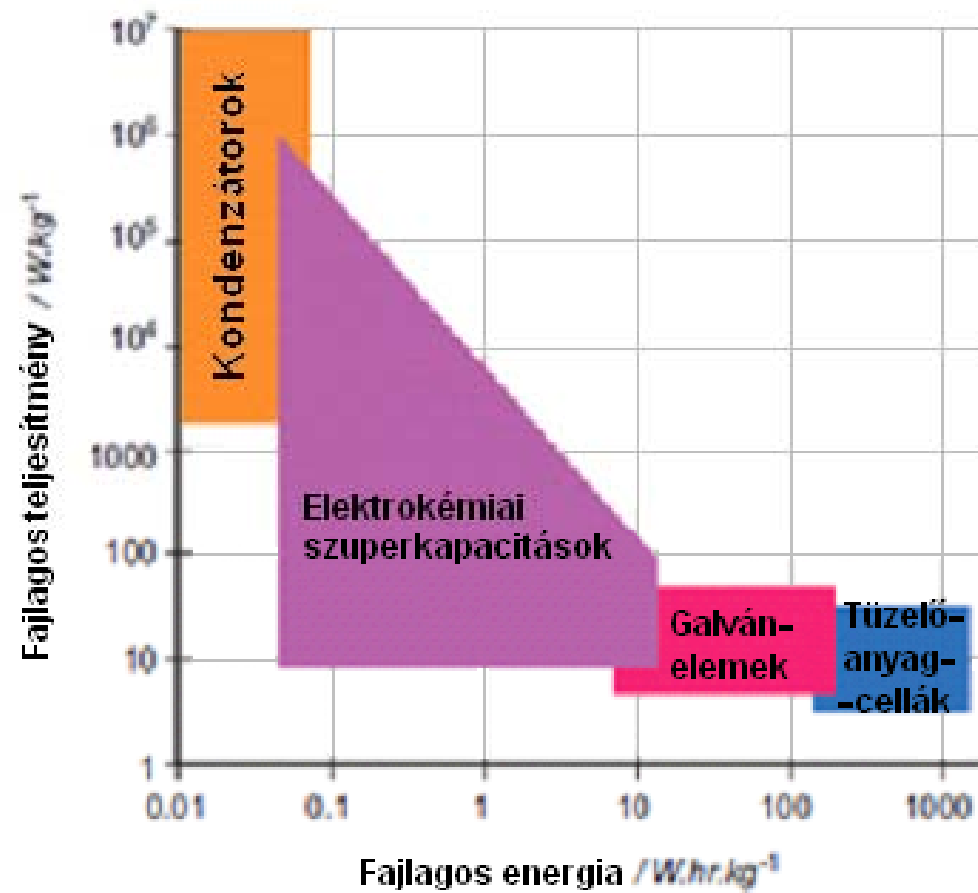
$$P_{\max} = \frac{E_e^2}{4R_{\text{teljes}}} = \frac{E_e^2}{4 \left[\frac{RT}{F} \left(\frac{1}{z_1 A_1 j_{o1}} + \frac{1}{z_2 A_2 j_{o2}} \right) + R_c \right]}$$

$$R_{\text{teljes}} = R_{\text{fogyasztó}}$$

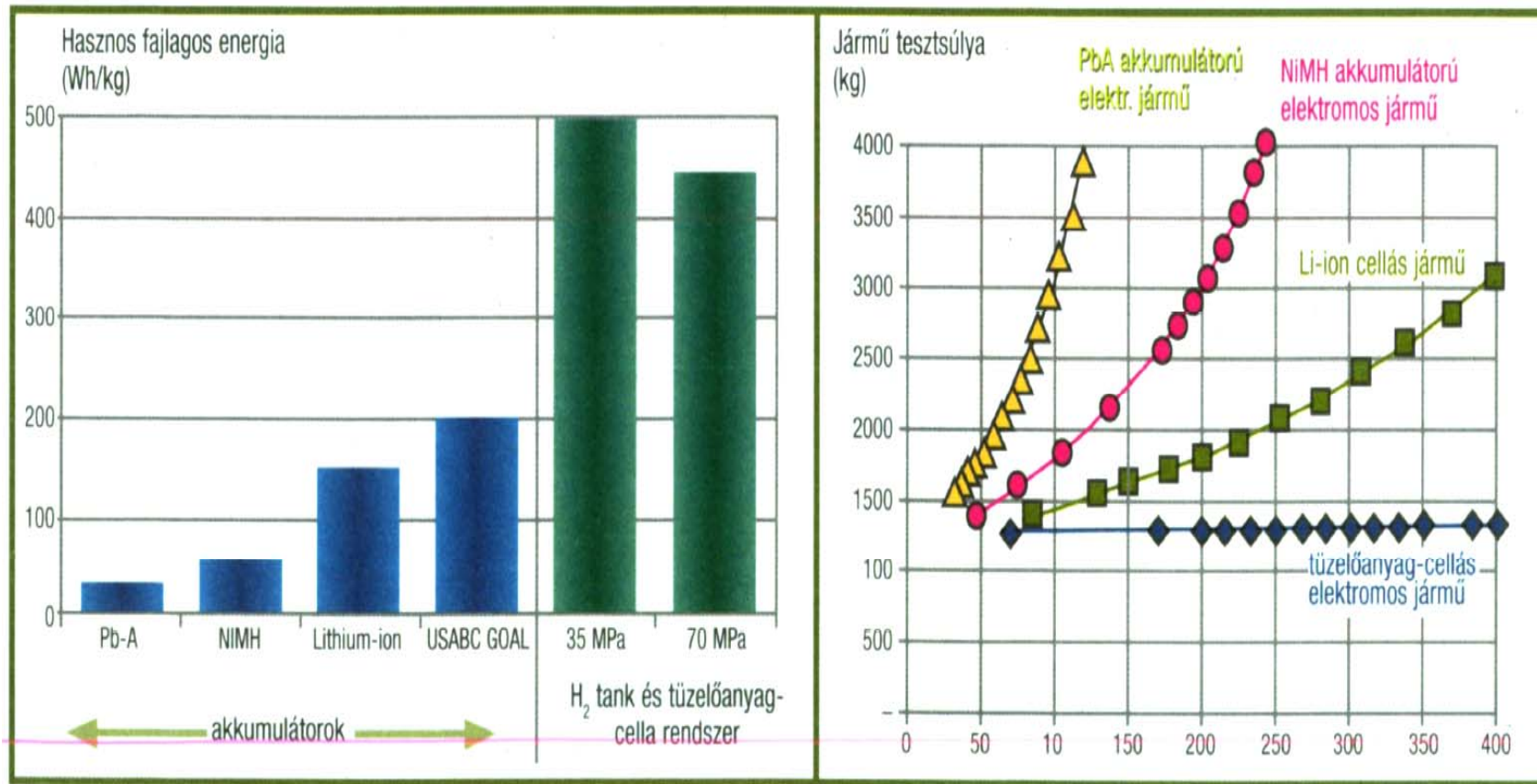
Fajlagos energiasűrűség és a fajlagos energia



Fajlagos teljesítmény és a fajlagos energia



A különböző elektrokémiai áramforrások összehasonlítása



Hatótávolság / km

Tüzelőanyag-cellák rövid fejlődéstörténete

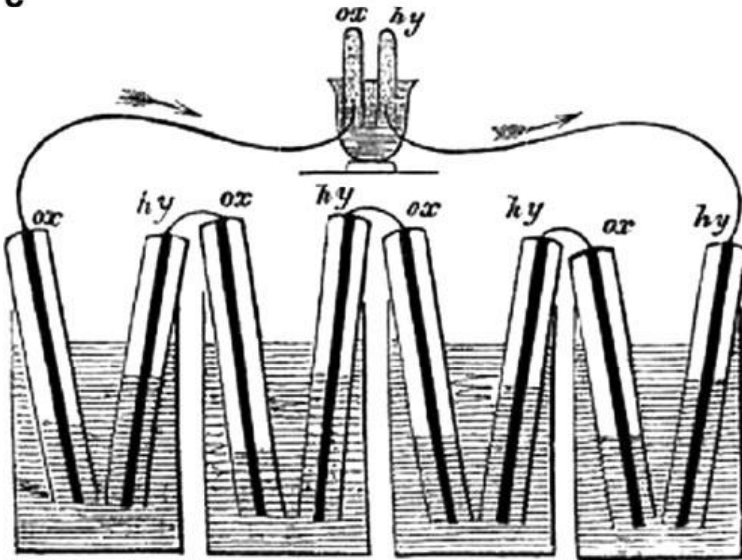
a



b



c



William Robert Grove
(1811–1896),
Christian Friedrich Schönbein
(1799–1868)

1900-ig megjelent tüzelőanyag-cellával foglalkozó munkák

730

E. Bose

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

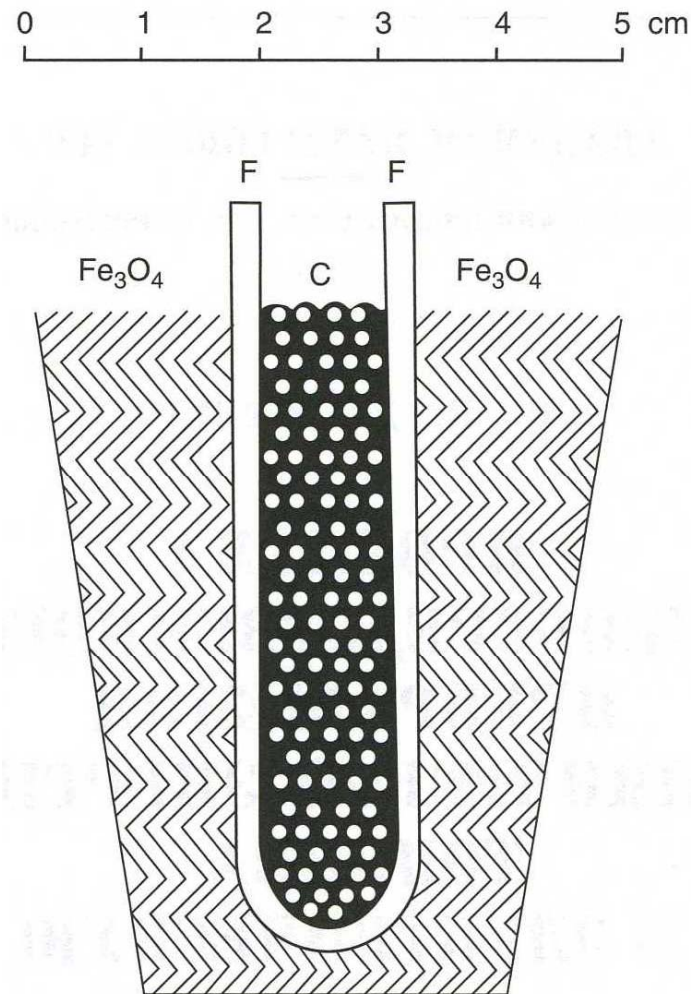
9. Chronologische Litteraturübersicht über Gasketten und elektromotorische Wirksamkeit der Gase.

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, 369.
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.	Gauguin, Compt. rend. 41, 1166. — Fortschritte 1855, 438.
1858.	Beetz, Pogg. Ann. 104, 308. Wild, Pogg. Ann. 103, 360.
1864.	Crova, Mondes 5, 210.
1867.	Gauguin, 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.

Untersuchungen über die elektromot. Wirksamkeit der elementaren Gase. 731

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.	Krouchkoli, Compt. rend. 45, 177.
1883.	Kendall, Chem. News 49, 49. — Beibl. 8, 525. Waitz, Wied. Ann. 20, 285.
1884.	Stolling und Johnson, Chem. News 48, 253, 264. — Beibl. 9, 470. Lord Rayleigh, Proc. Cambr. Phil. Soc. 4, 198. — Beibl. 8, 395.
1885.	Figuier, 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.
1890.	Warburg, Wied. Ann. 38, 321. — Beibl. 14, 52.
1891.	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.
1893.	Markowski, Wied. Ann. 44, 457.
1893.	Ostwald, Lehrbuch der allgem. Chemie (2. Aufl.) 2 ¹ , 898.
1894.	Neumann, Diese Zeitschr. 14, 193.
1895.	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.
1898.	Borchers, Zeitschr. f. Elektrochemie 4, 42. Dolezalek, Diese Zeitschr. 26, 321 und Inaug.-Dissert. Göttingen.
1899.	Glaser, Zeitschrift f. Elektrochemie 4, 355, 373, 424 und Inaug.-Dissert. Göttingen.
1899.	Bose, Zeitschr. f. Elektrochem. 5, 153 und Inaug.-Diss. Göttingen.
1899.	Dolezalek, Zeitschr. f. Elektrochem. 5, 533.
1899.	Bodländer, Sammlung chemisch-technischer Vorträge 3, 385.
1899.	Hopfner, Zeitschr. f. anorg. Chemie 20, 419.

Emil Baur és Tobler széneleme 1933-ból



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.



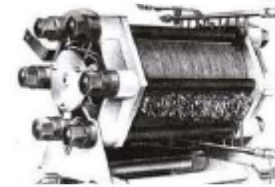
2008 HONDA FCX Clarity tüzelőanyag-cellás gépkocsija

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



Az Apollo-11 kilövése

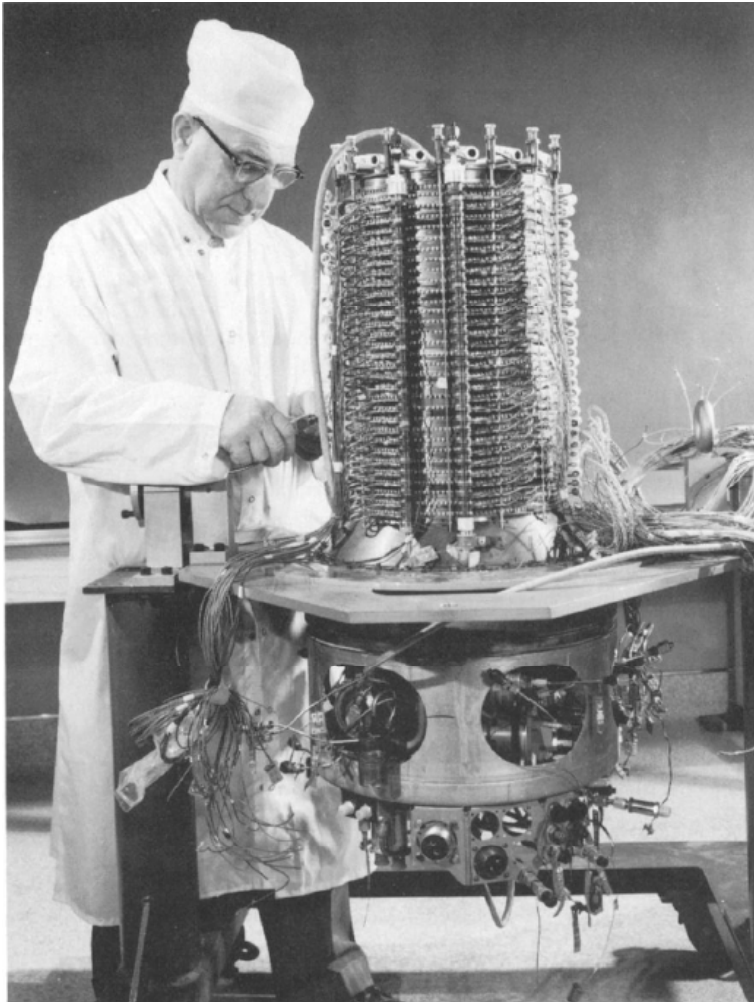


Francis Thomas Bacon (1904-1992)



Az Apollo űrprogramban használt
Bacon-féle alkalikus hidrogén – oxigén
tüzelőanyag-elem

Francis Thomas Bacon és munkatársai dolgoznak az Apollo celláin



A Bacon-féle megoldás

Elektród: nikkel háló. Elektrolit: NaOH oldat.
Oxigénelektród: Ni-oxid Li-ionokkal adalékolva a vezetés biztosítására.

Bacon egy titkos kutatásból kapott egy *pórusos nikkel* darabot, aminek a nagy felületével el lehetett érni a kívánt áramsűrűségeket. A stabil határfelület biztosítására a hidrogén, az oxigén és az elektrolit között egy *többpórusos elektródot* fejlesztett ki, ahol a gáz felőli oldal nagyobb, az elektrolit felőli oldal kisebb pórusokat tartalmazott. Áramsűrűség: 230 mA cm^{-2} , 150 W teljesítmény, 0,8 V-os cellafeszültség. A cellák 200 °C-on és 42 bar nyomáson üzemeltek.

Bacon összefoglaló cikke 1979-ből



Reprinted from JOURNAL OF THE ELECTROCHEMICAL SOCIETY
Vol. 126, No. 1, January 1979
Printed in U.S.A.
Copyright 1979

*With best wishes,
F.T. Bacon*

The Fuel Cell: Some Thoughts and Recollections¹

Francis T. Bacon

Trees, Little Shelford, Cambridge, CB2 5ES, England

Mr. President, ladies and gentlemen, I must first express my deep and heartfelt thanks to the Board of Directors of The Electrochemical Society for awarding me the Vittorio de Nora-Diamond Shamrock Medal and Prize for 1978, which came as a great surprise. I am also of course extremely grateful to the Vittorio de Nora and Diamond Shamrock organizations for their great generosity. I must next explain that I am a plain engineer and I feel very diffident in addressing members of The Electrochemical Society, many of whom now know far more about fuel cells than I do. However, I hope that it may be of some interest if I first explain what drove me, many years ago, to start on the long quest in search of a practical and economic fuel cell; then describe briefly the stages through which I and my colleagues passed as the work gradually developed; and finally try to peer into the future. It has also been suggested that I should try and offer some advice to younger engineers and scientists, who may be tempted to embark on a similar kind of quest.

First Thoughts and Early Work

It was in 1932 that I first started thinking about the hydrogen/oxygen cell. It had come to me as a revelation to learn that the electrolysis of water is potentially a reversible process, and I have always been inclined to think of the hydrogen/oxygen cell as a storage device. The principle had been demonstrated by Sir William Grove in England in 1839 (1) and there had been several attempts to develop gas batteries or fuel cells, but nothing in the nature of a practical power source had emerged. I felt that I wanted to tackle the problem as a practical engineer, and I formed a firm conviction. In those early days, that this was the work I had to do. My original objective was to develop the fuel cell up to the stage where it could be considered for some commercial application.

It seemed to me that it was essential to avoid the use of precious metal catalysts, which led me to adopt activated nickel electrodes and aqueous potassium hydroxide electrolyte. To make up for the relatively low activity of the electrodes, I planned to use temperatures above 100°C, and this inevitably led to the use of gas pressures well above atmospheric. As an engineer, I was much more afraid of the possible corrosion problems of working at high temperatures than of the difficulties of high pressures, although the use of high pressures has often been referred to as "sledgehammer tactics." I therefore had a cell constructed in 1939 which would stand a pressure of 3000 psi (about 200 atm) and any reasonable temperature (Fig. 1); it was a reversible device and was based on electrolyzer technology; the electrodes were of nickel gauze, activated by alternate oxidation and reduction; there was a diaphragm of pure asbestos cloth between them; the cell was lined with nickel and a special insulated ter-

¹The Vittorio de Nora-Diamond Shamrock Award Address delivered May 23, 1978 at the Seattle, Washington, Meeting of the Society.

mal was provided by a firm of sparking plug manufacturers.

The best results, which were obtained at a temperature of 100°C were encouraging, but far short of what would be required for practical applications. A current density of 13 mA/cm² of the external surface of the inner electrode could be maintained for about 48 min at about 0.89V (2). At higher temperatures there was irreversible oxidation of the oxygen electrode during the charging process.

It was next decided to construct a two-cell system so that steady operation could be attempted (2). The hydrogen and oxygen, which were generated in the electrolyzer cell, were to be carried separately to the current-producing cell by convection, in solution in the electrolyte (Fig. 2). This was in 1940 when it was difficult to get any machine work done so I had to design and construct the whole apparatus myself drawing on the experience of my engineering apprenticeship.

With this apparatus, higher temperatures of up to 200°C were used, but the pressure was usually limited to 600 psi (41 atm) as I knew from experience with steam plant that sealing problems would get worse above that pressure when using conventional gaskets. Continuous overnight tests of more than 22 hr dura-

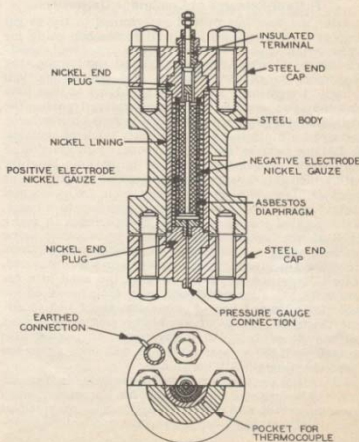


Fig. 1. High pressure reversible cell (1939)

Az űrhajósok által Bacon-nak dedikált fénykép az első emberi lábnyomról a Holdon Royal Society Biographical Memoirs – Francis Thomas Bacon

12

Biographical Memoirs

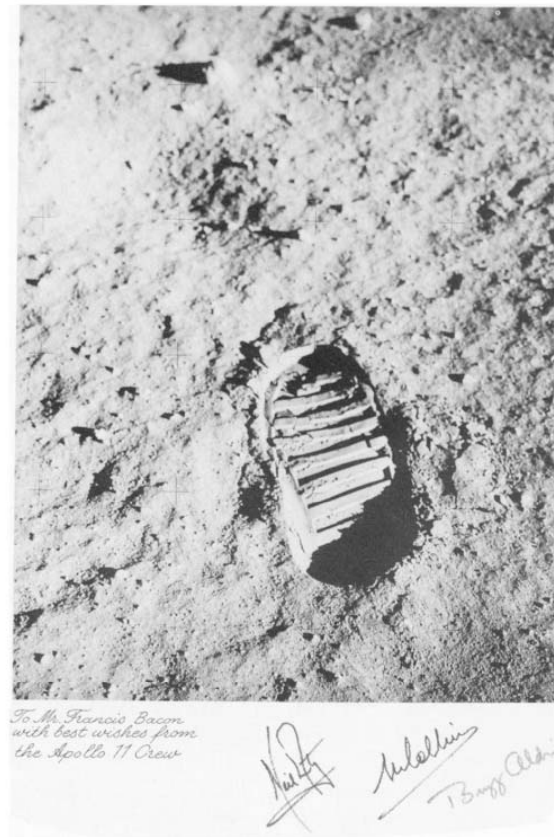
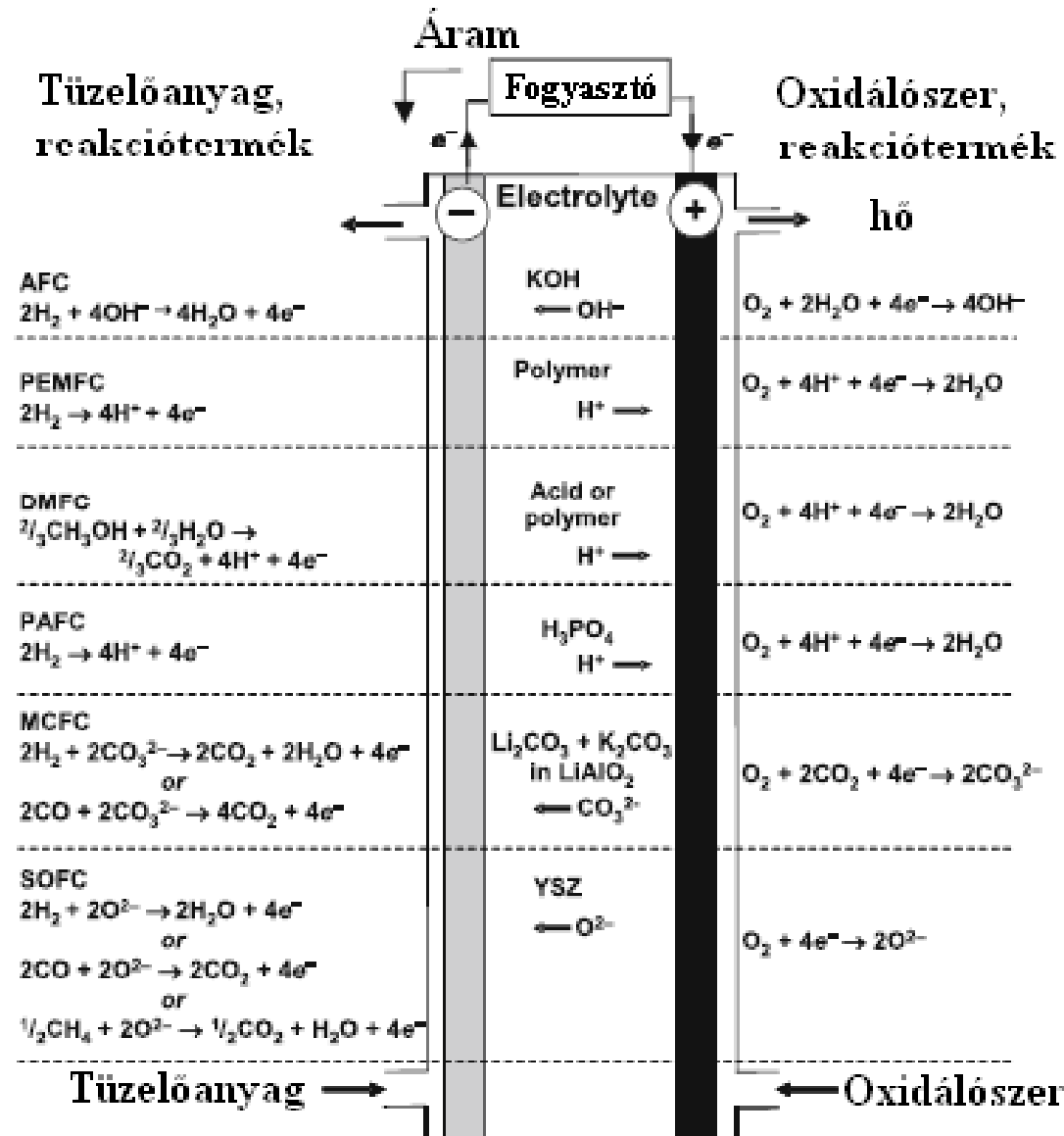


FIGURE 2. Man's first step on the moon — Photograph dedicated to Tom Bacon by the astronauts.

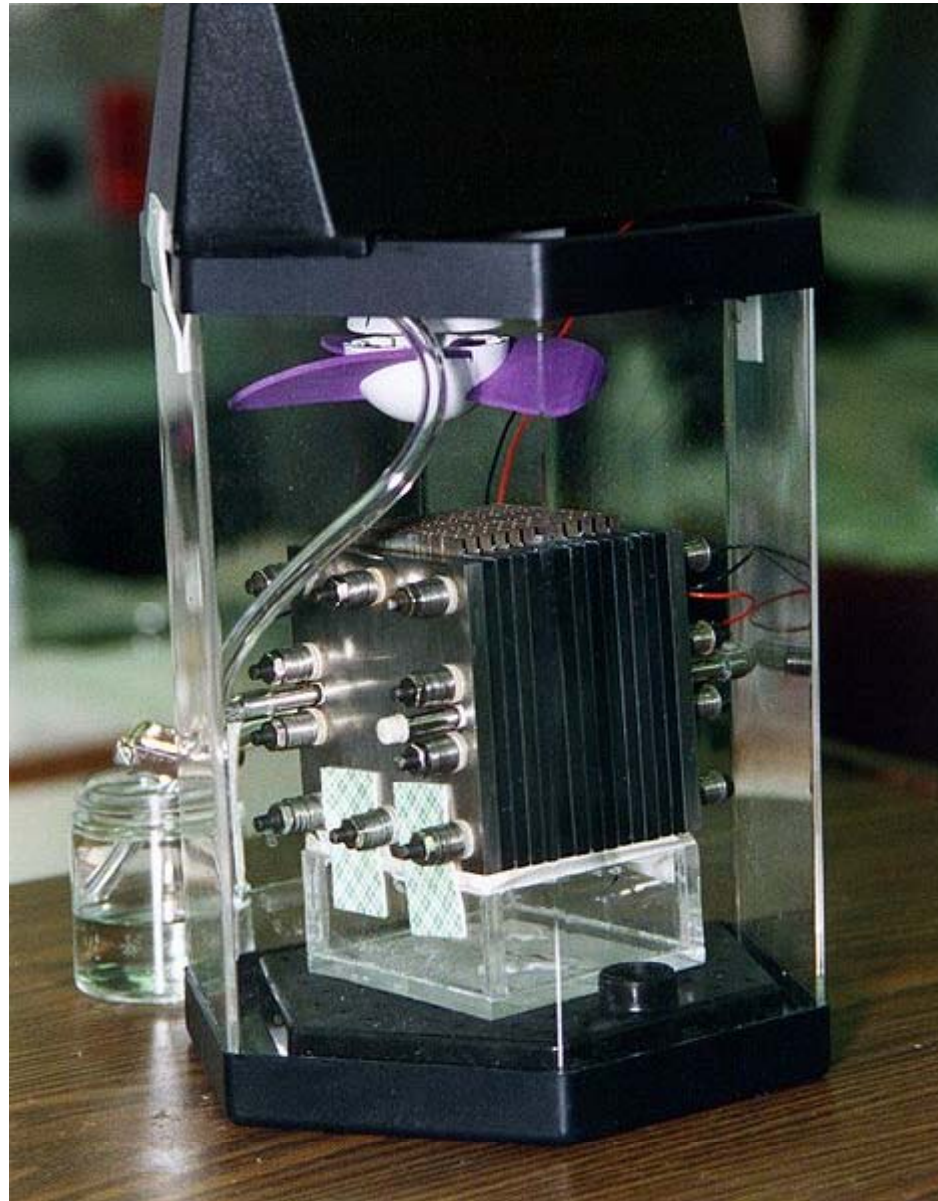
Tüzelőanyagcella típusok



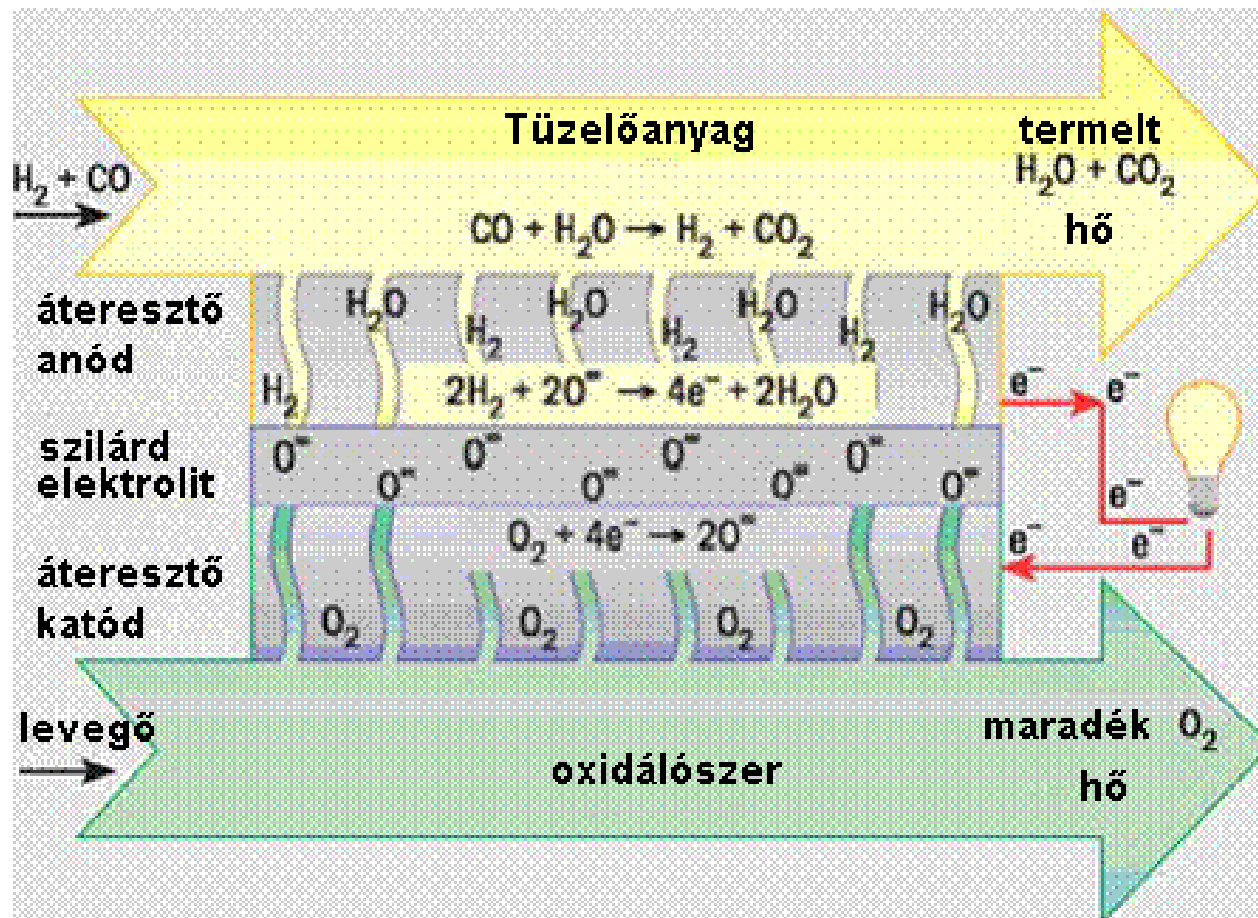
Foszforsavas TC

Oldott karbonátos TC

Metanolos tüzelőanyag-cella (Direct Methanol fuel cell, DMFC)



Szilárd elektrolitos cella (SOFC) sematikus működési rajza



1000 °C is lehet a működési hőmérséklet

Anód: $Ni - ZrO_2 - Y_2O_3$

Katód: $La_{1-x}Sr_xMnO_3$

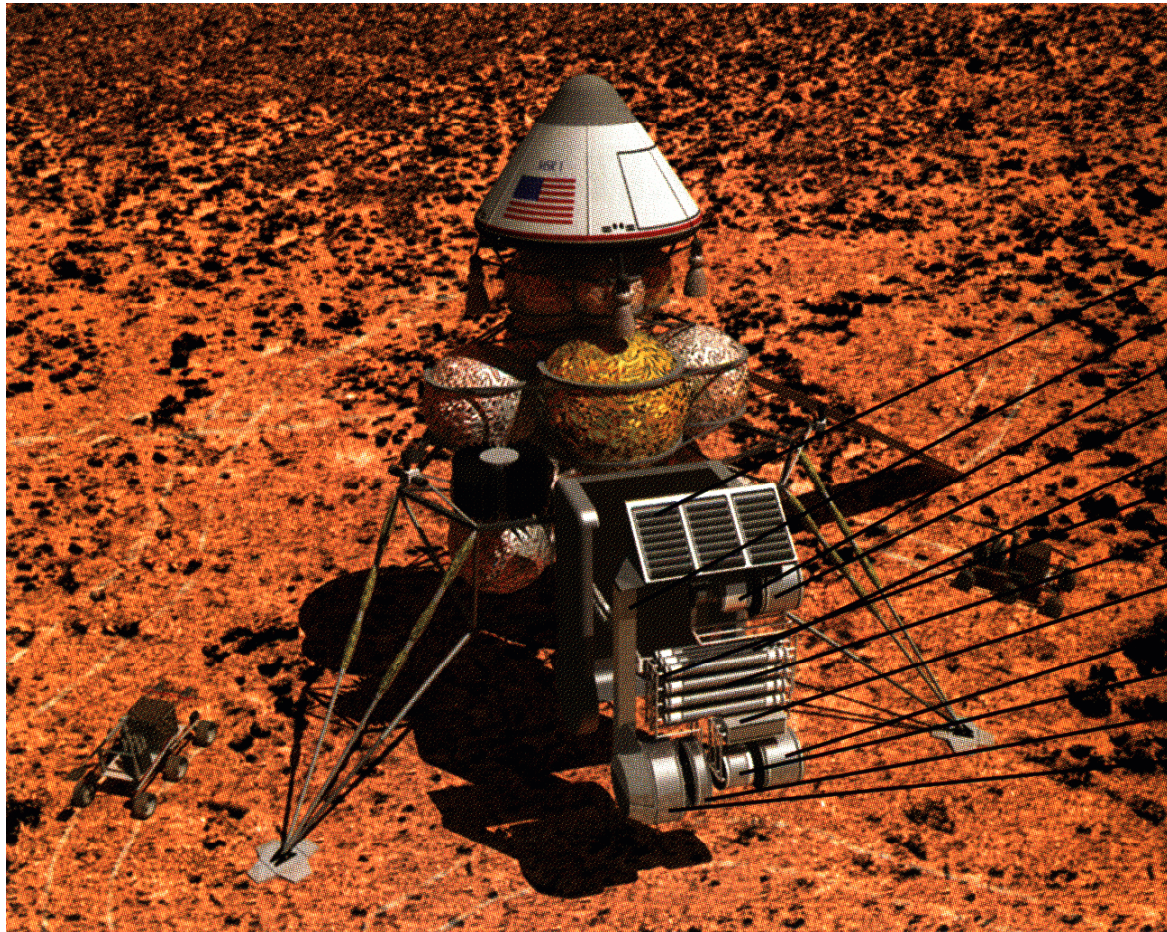
A Nernst-féle lámpa

Német szabadalom 1897. A világító rúd: fűtött stabilizált cirkónia (ZrO_2 és Y_2O_3 keveréke). Ez utóbbi oxigénion-vezető. A stabilizált cirkónia volt az első, gyakorlatban használt szilárd elektrolit. 1903-ig 1 millió darab Nernst-lámpát gyártottak.



Más oxigénion-vezetők, pl. BIMEVOX = Bizmutfém vanádium-oxid: $\text{Bi}_4\text{V}_2\text{O}_{11}$, $\text{La}_2\text{Mo}_2\text{O}_7$, perovszkit típusú szilárd oldatok stb.

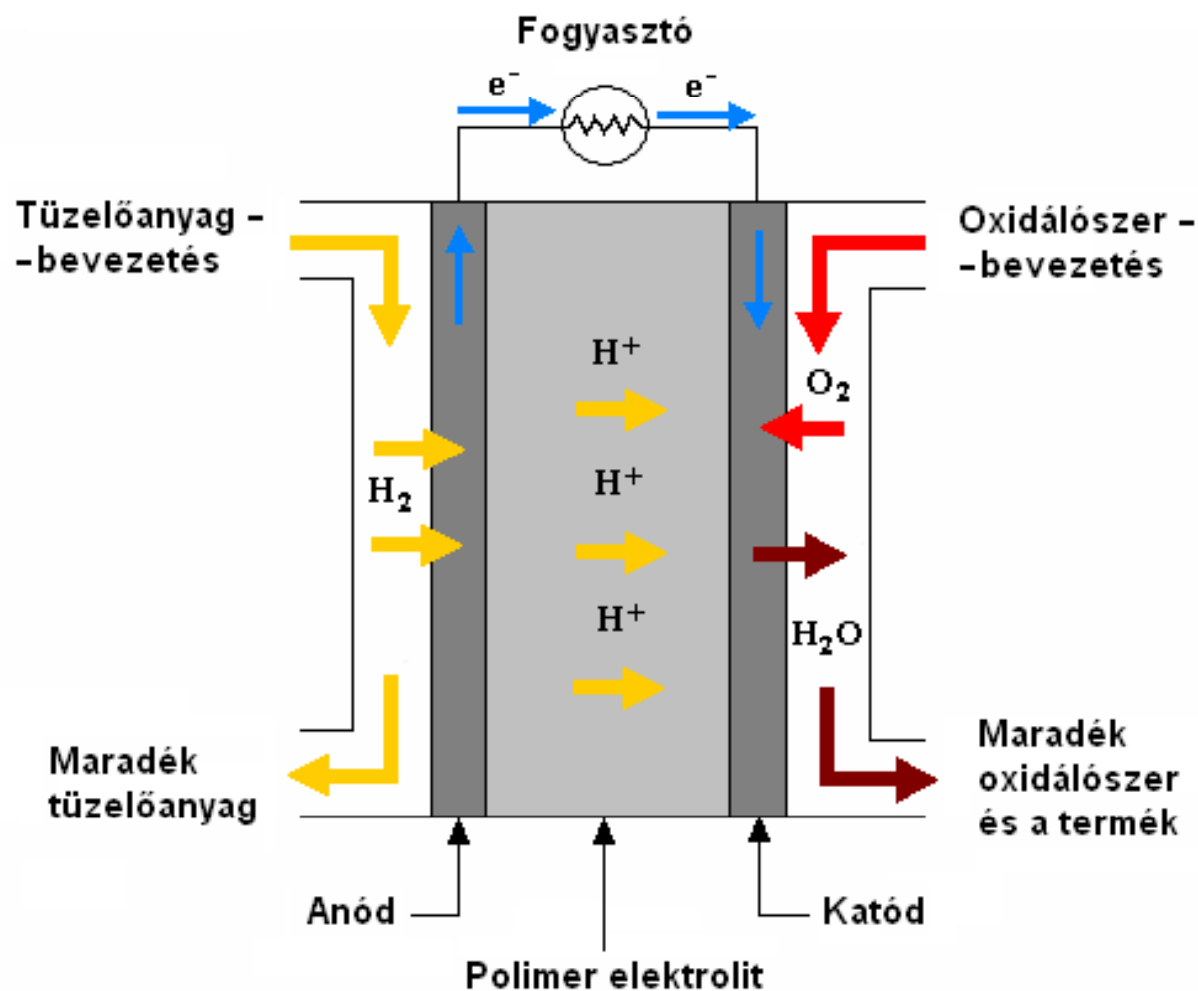
A Marsjáró terve SOFC tüzelőanyag-cellával



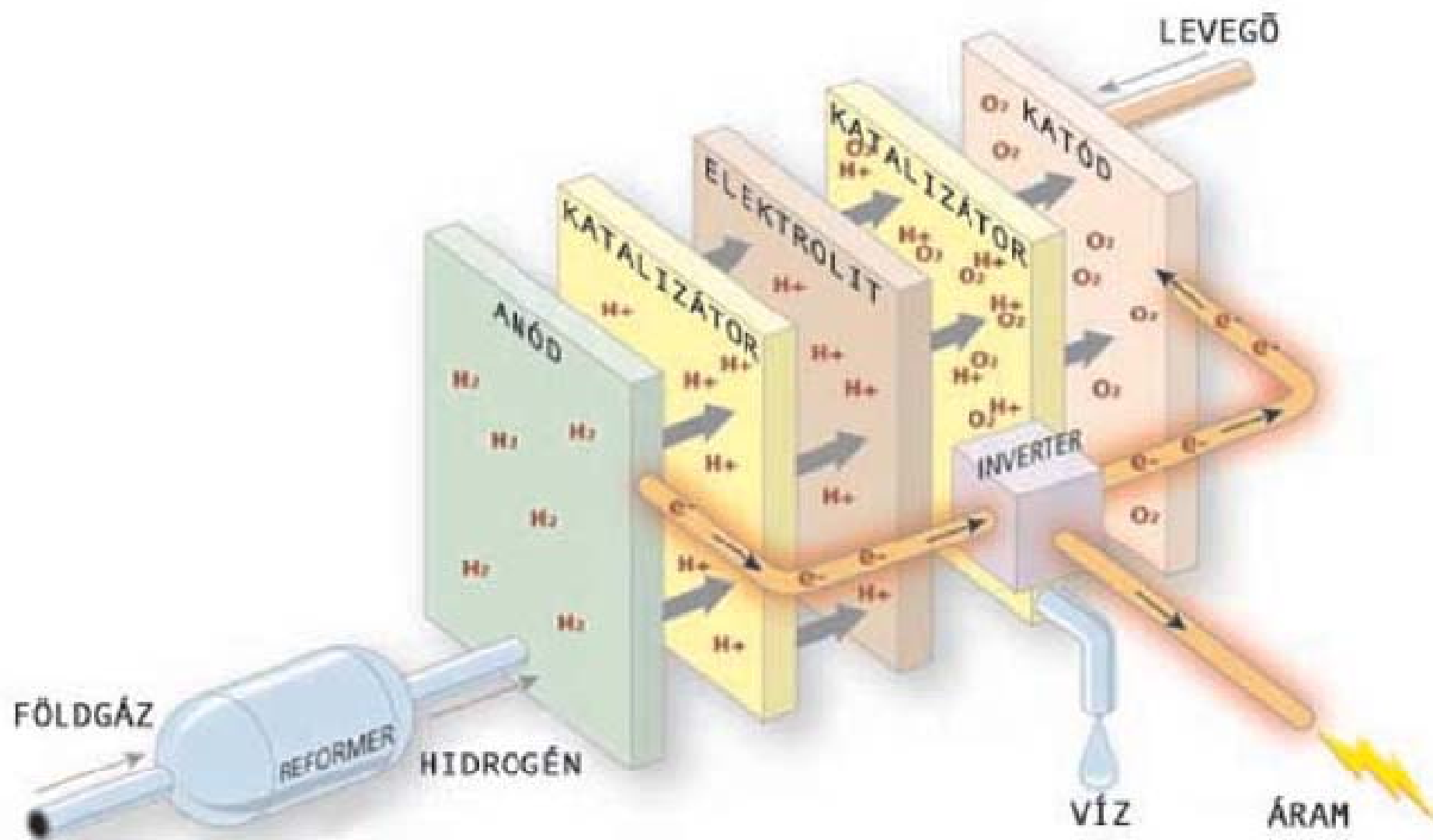
- Légszűrő
- Légbeeresztő
- Metán cseppfolyósító
- Metán pumpa
- Metánt szállító csövek
- H₂ betáplálás
- Sabatier reaktor
- Víz elektrolizáló
- O₂ pumpa
- O₂ cseppfolyósító
- CO₂ cseppfolyósító
- CO₂ kompresszor

Protoncserélő membrános tüzelőanyag-cella (PEMFC)

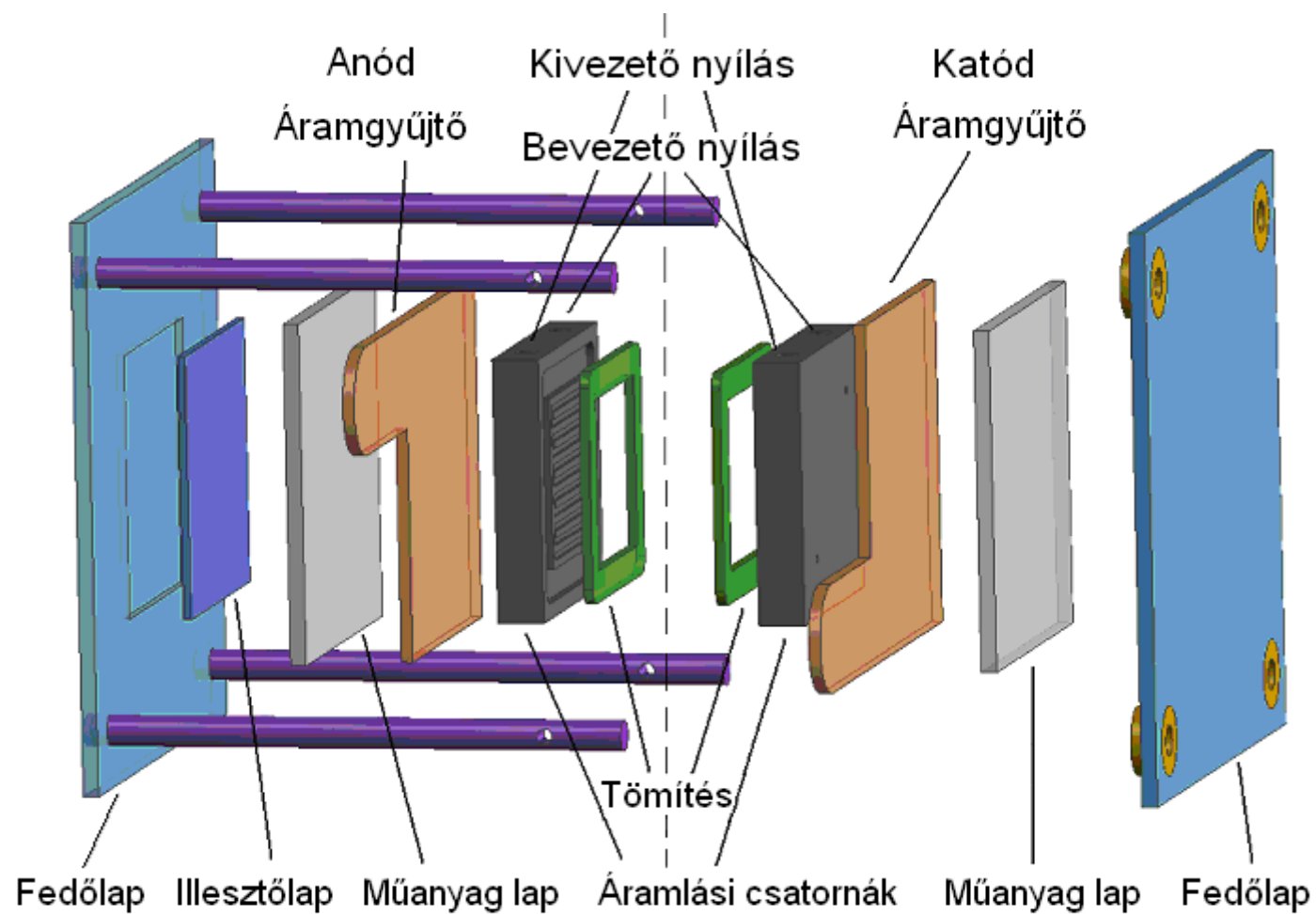
Protoncserélő membrános tüzelőanyag-cella működési elve



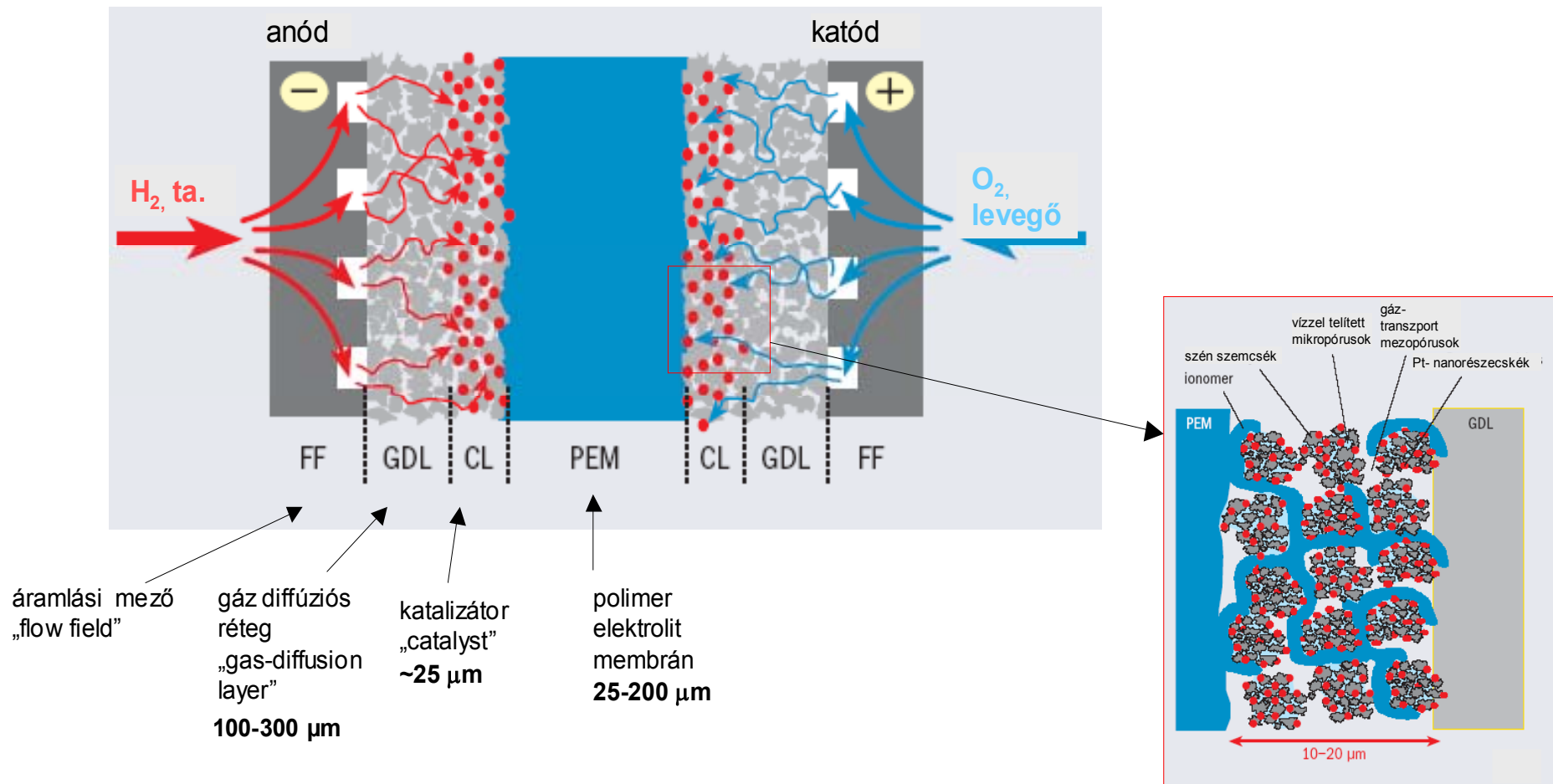
Protoncserélő membrános tüzelőanyag-cella részei



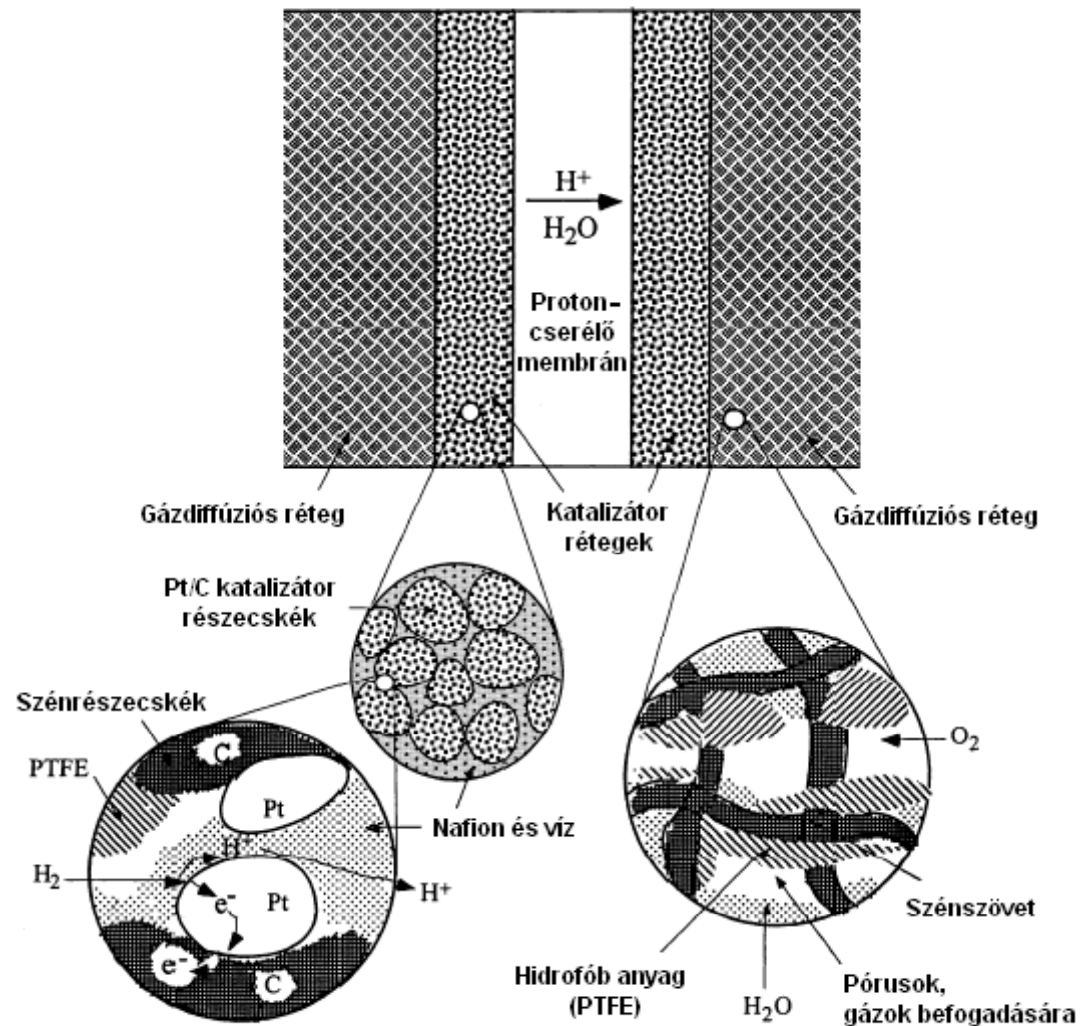
Egy tüzelőanyag-cella részei



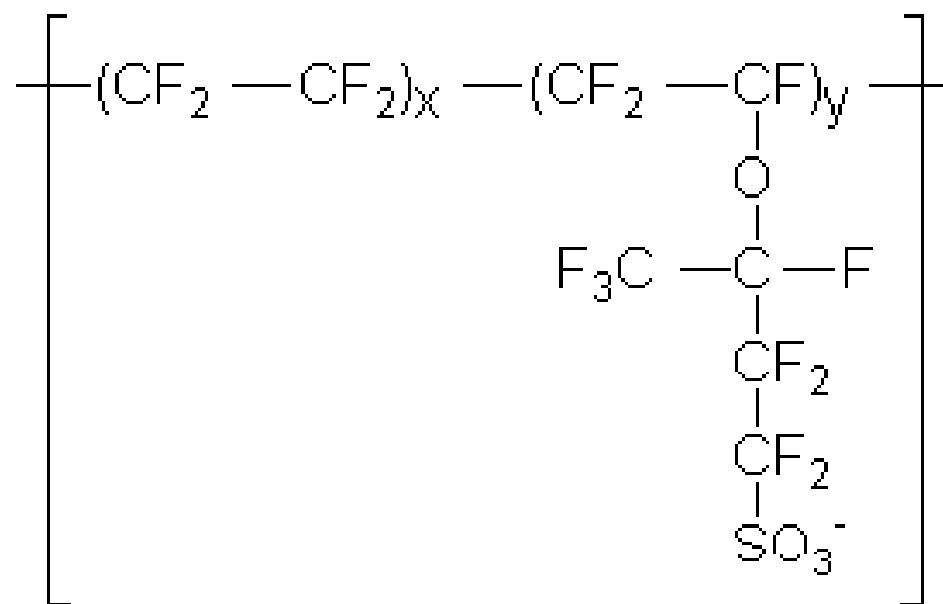
A tüzelőanyag-cella szíve, a MEA



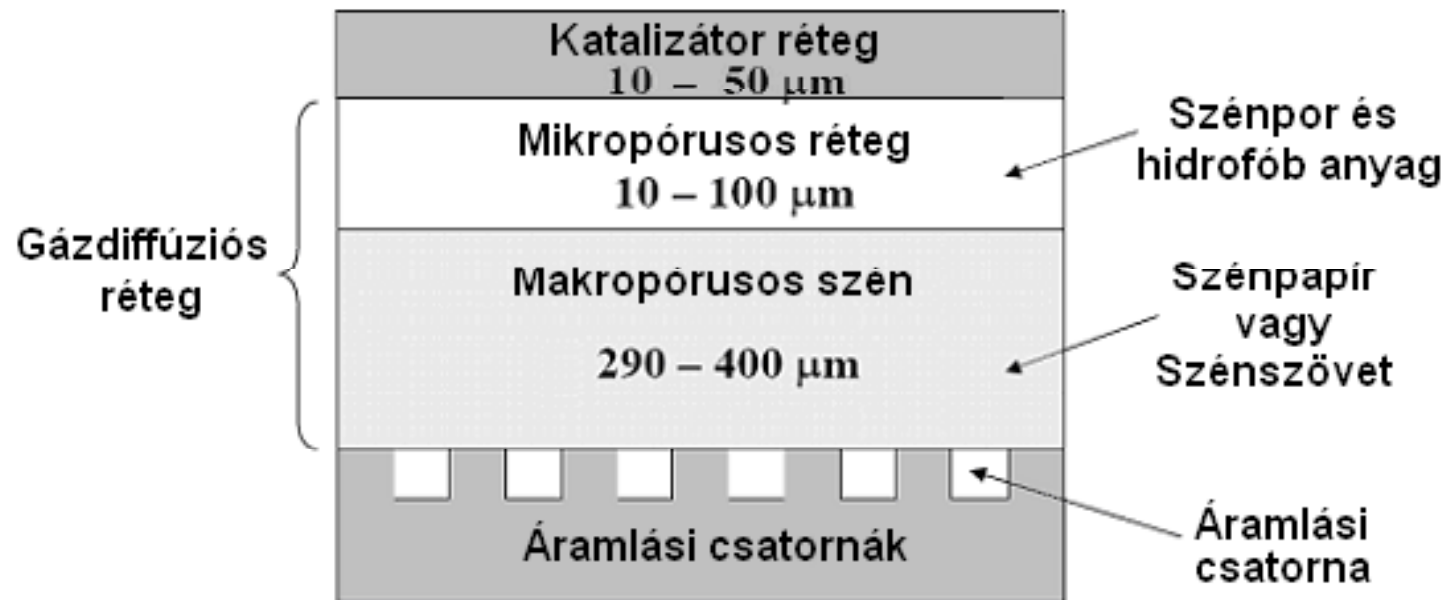
Protoncserélő membrános tüzelőanyag-cella keresztmetszeti képe



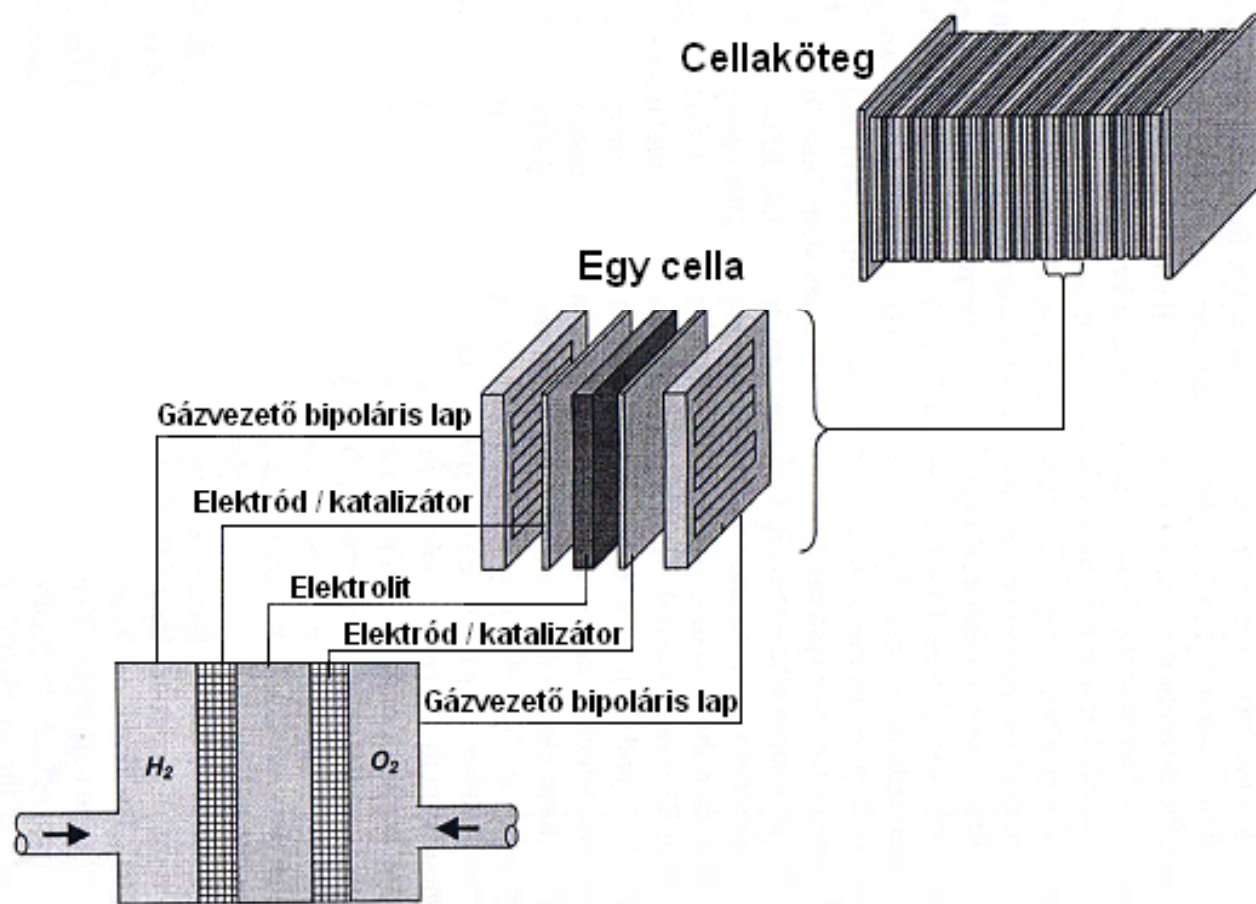
A membrán anyagának, a Nafion-nak kémiai szerkezete



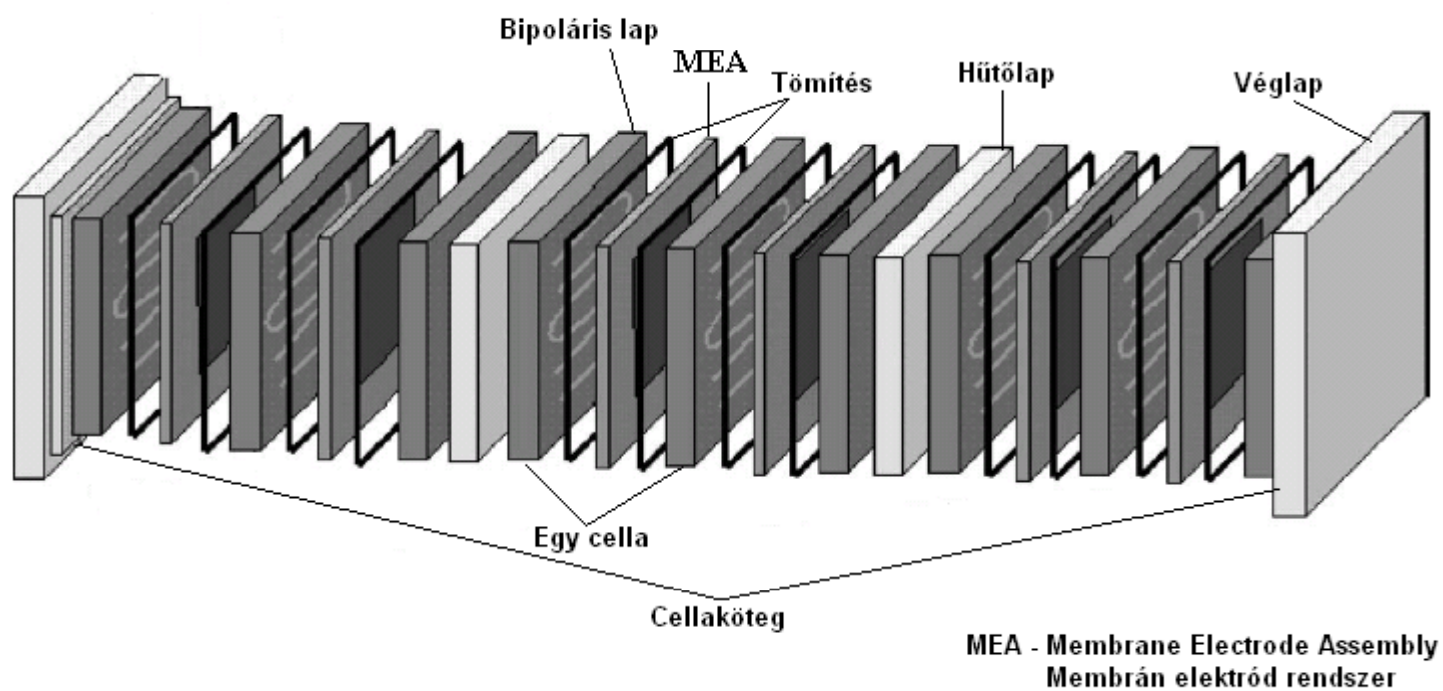
Egy tüzelőanyag-cella gázdiffúziós rétegének (GDL) sematikus ábrája



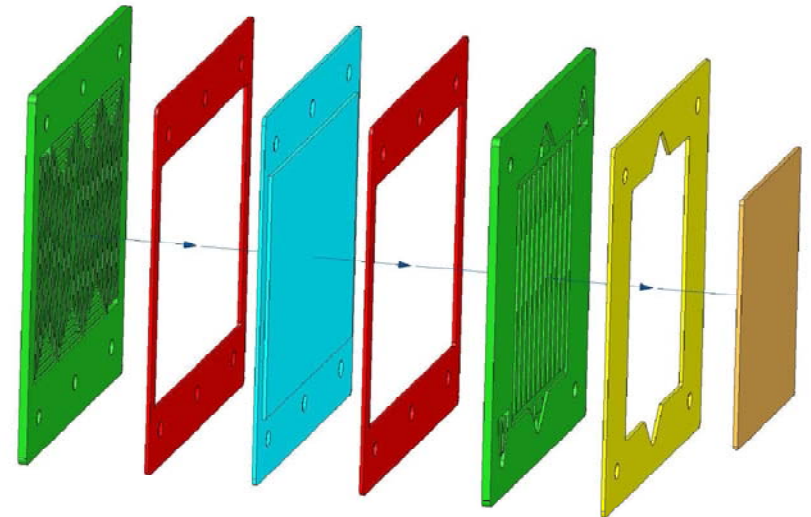
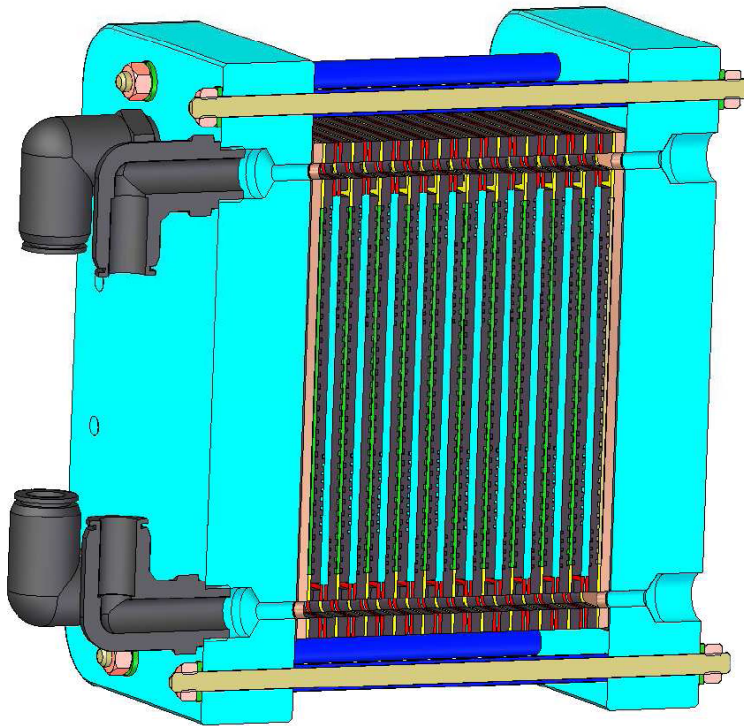
Egy tüzelőanyag-cellaköteg részenkénti ábrája



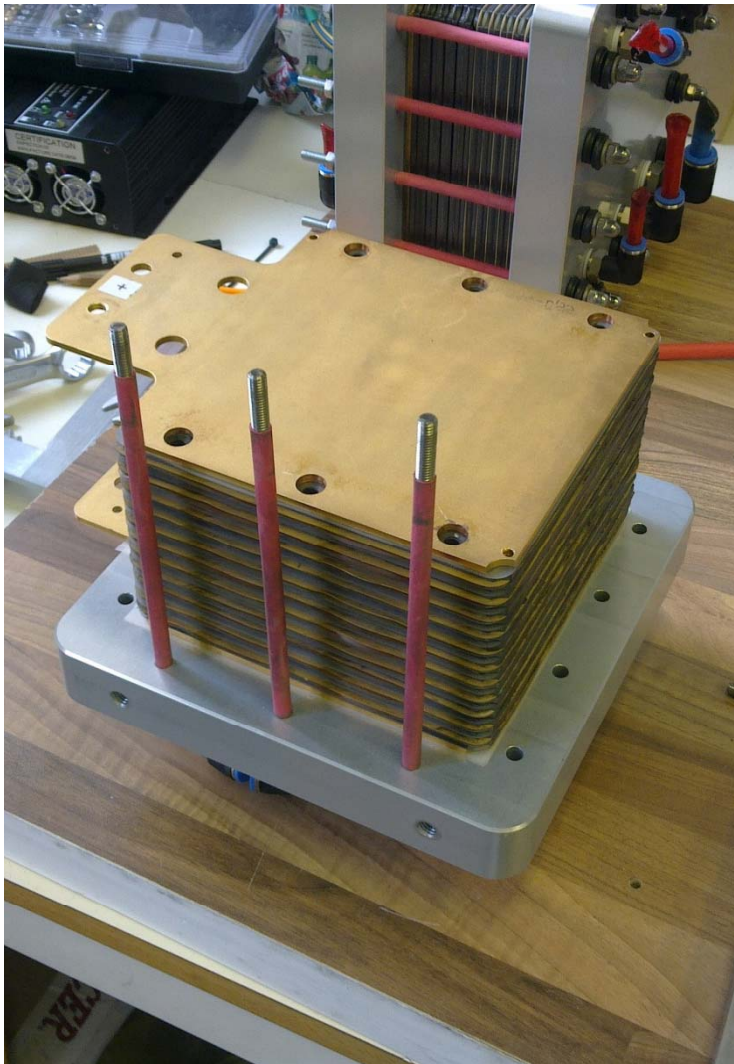
Protoncserélő membrános tüzelőanyag-cellaköteg



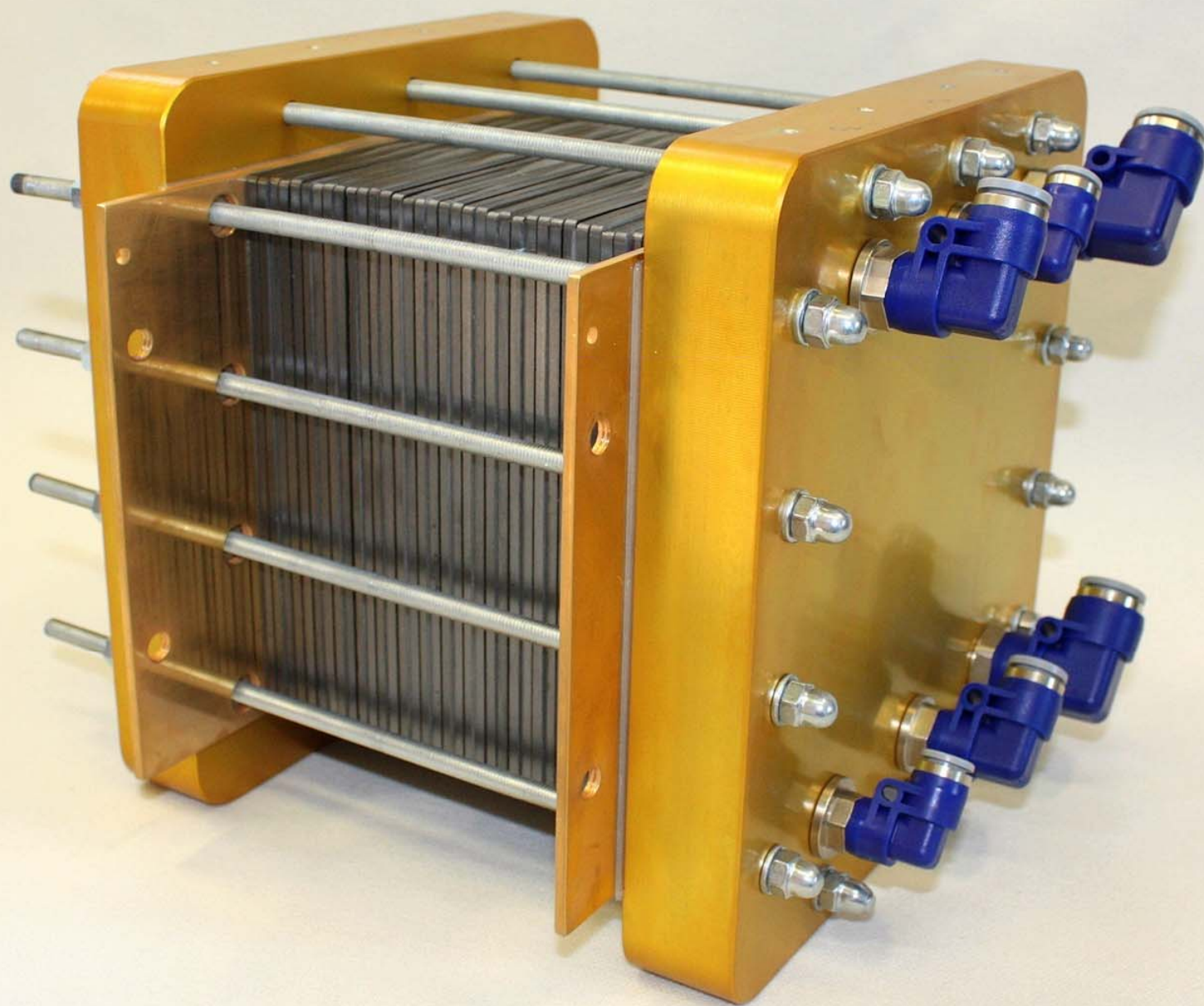
A tüzelőanyag-cella 3D terve

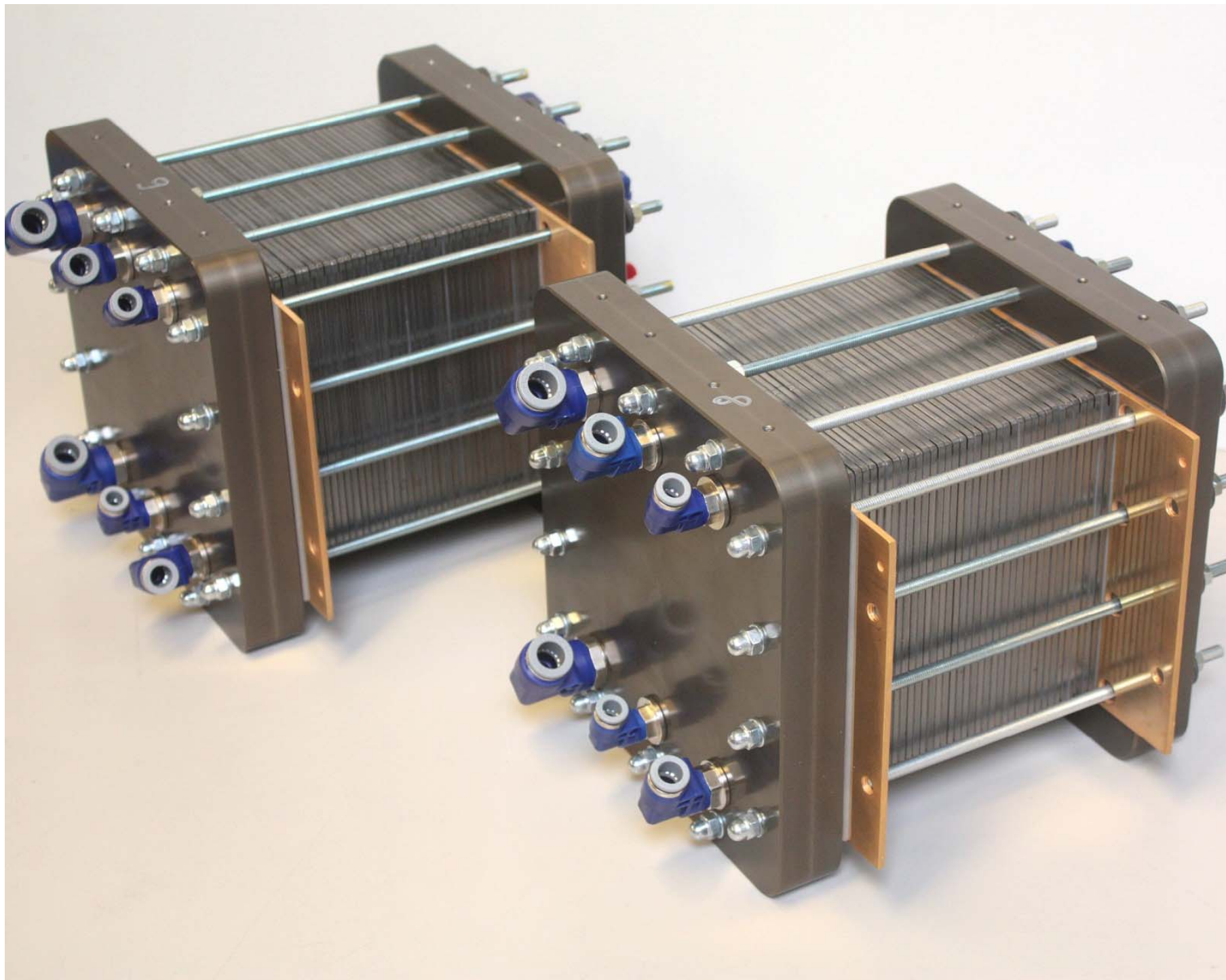


A cellaköteg összeállítása

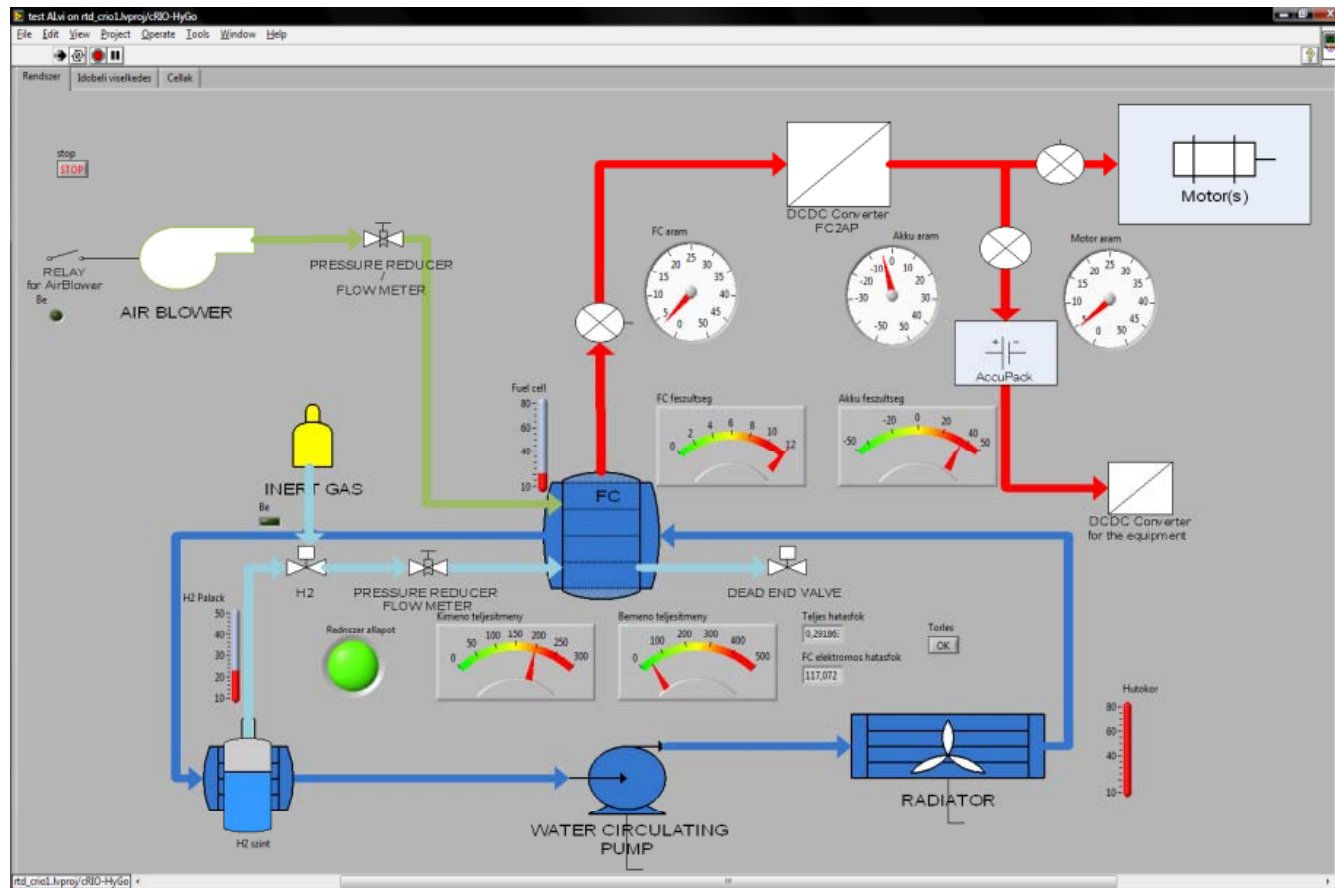


- Tüzelőanyag-cella köteg (stack) összeszerelése a laboratóriumunkban, háttérben egy kész cellaköteg
- Gondosan letisztított lemezek, tömítések, tökéletesen sík fedőlemezek

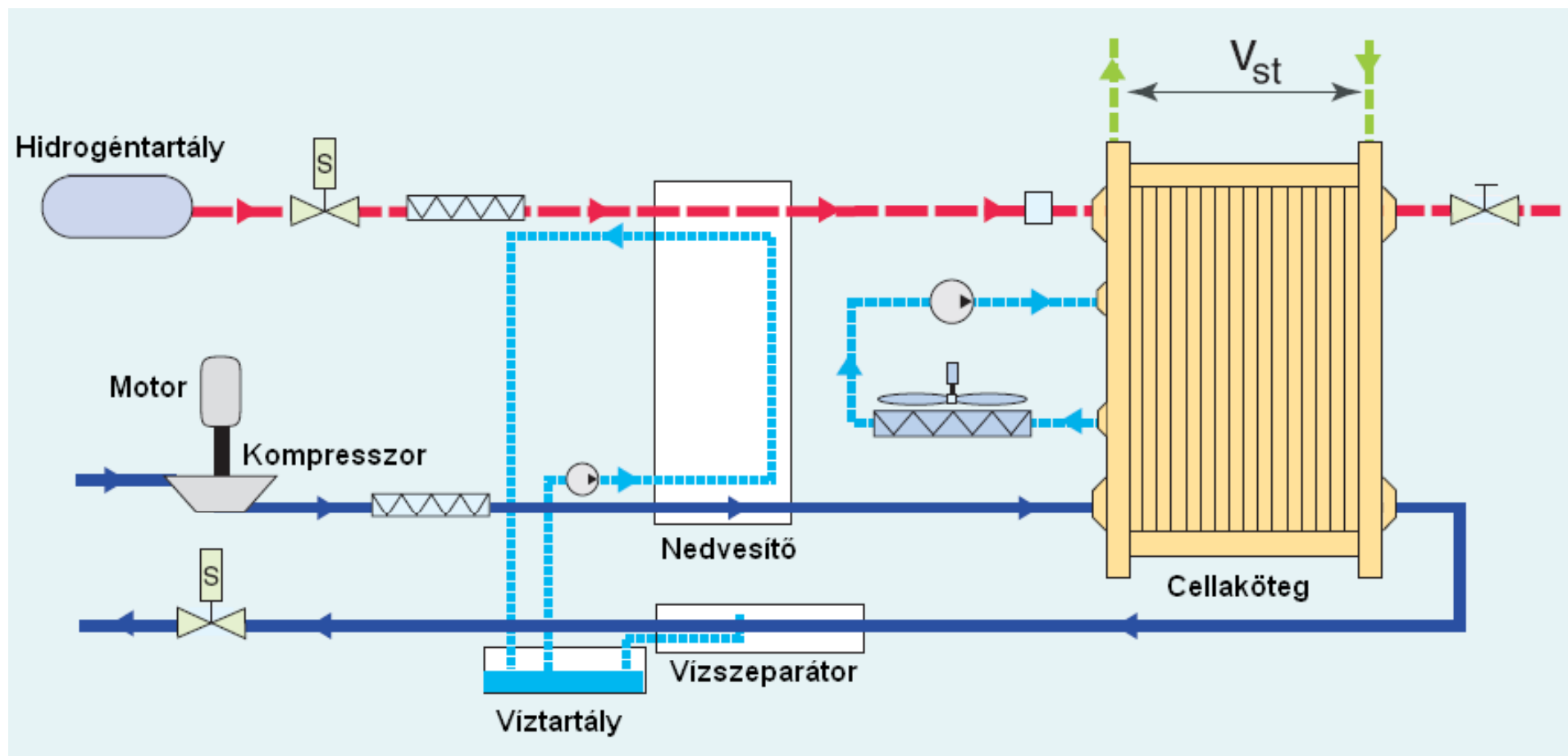




A tüzelőanyag-cellához használt kiegészítő berendezések sematikus felépítése



Hidrogénnel működő protoncserélő membrános tüzelőanyag-cella rendszer



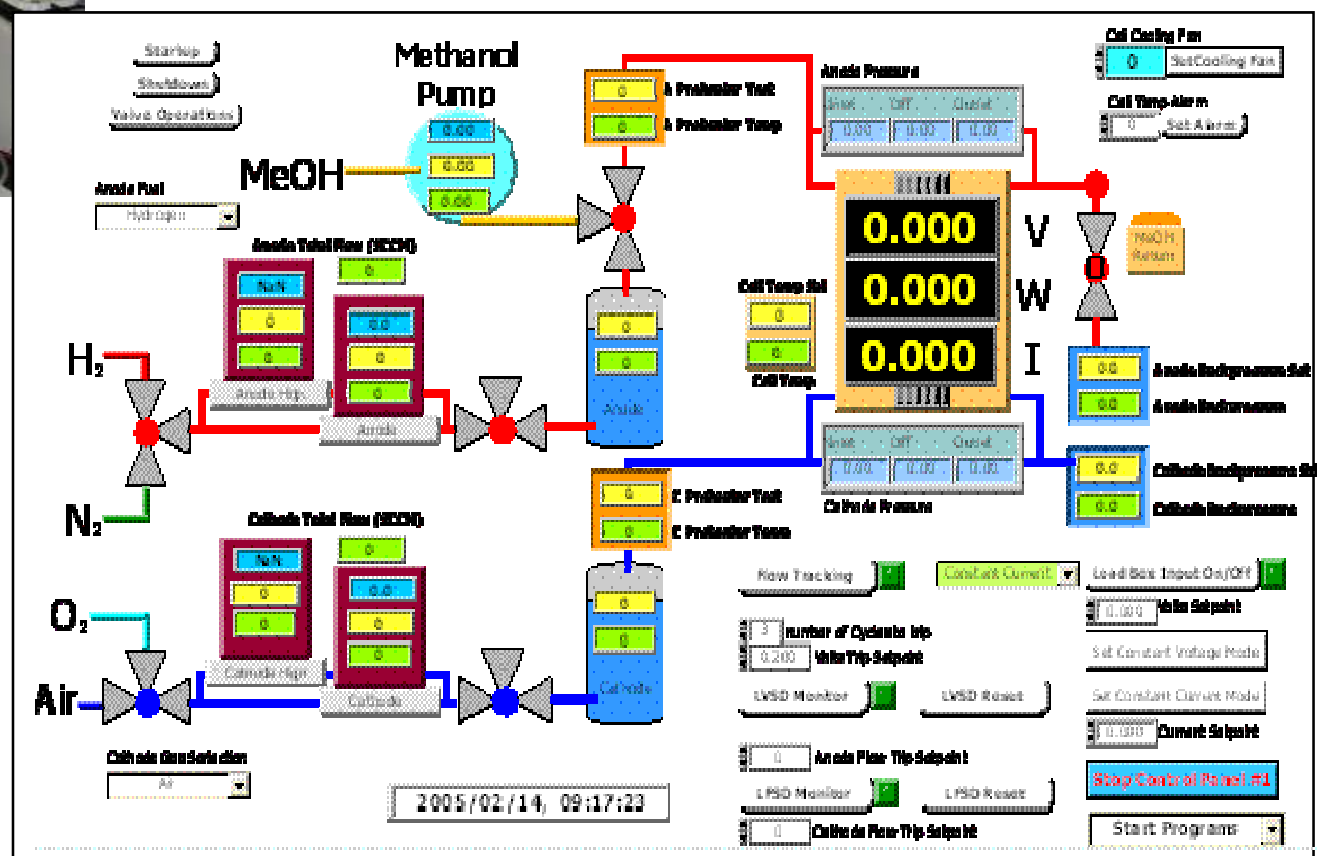
A használt tüzelőanyag-cella utóvizsgálata



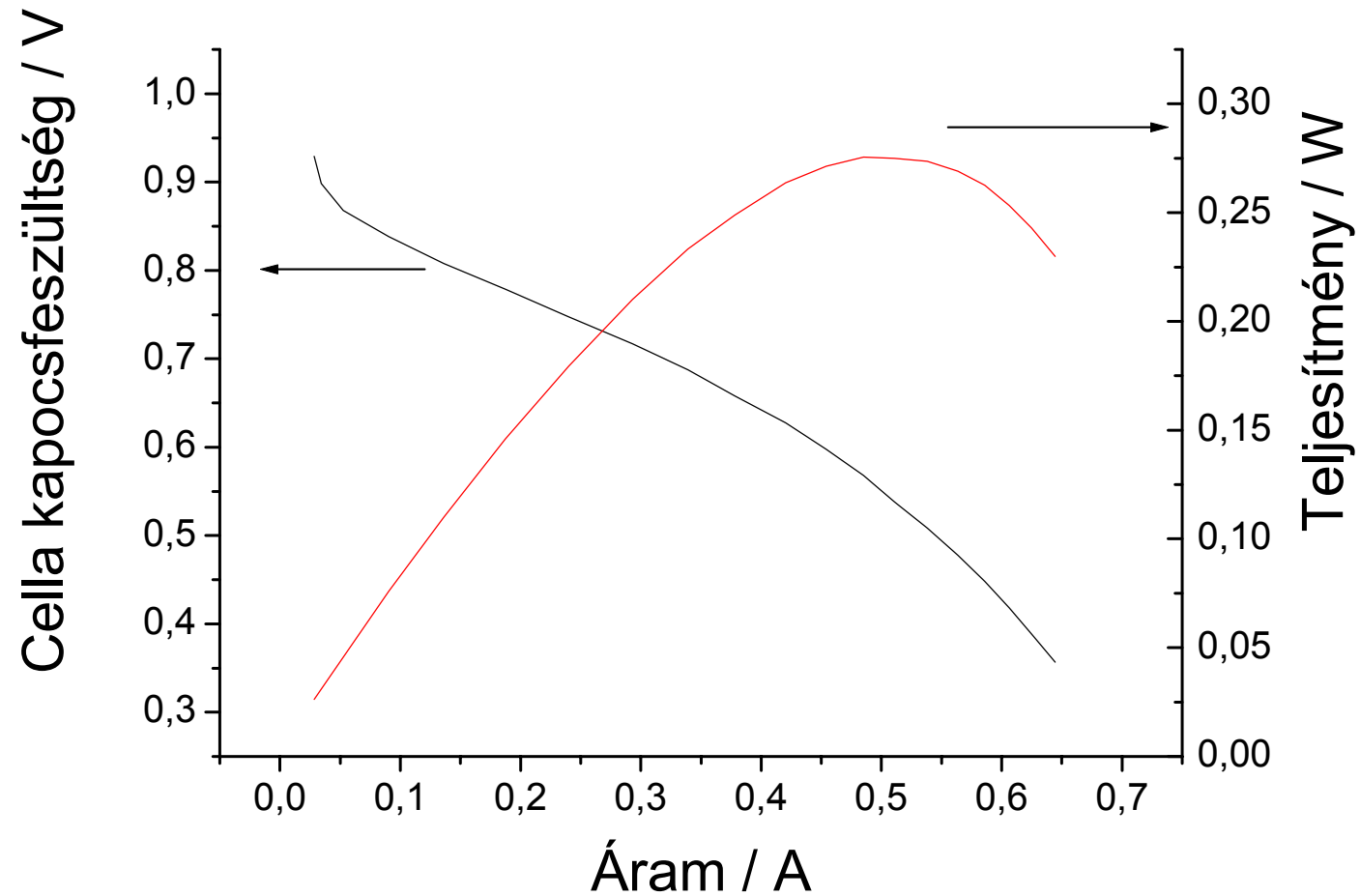
- Katalizátorok degradációja
1000 óránként 5%
- Mérgeződés
- Korrózió
- A szén korróziója, „égése”

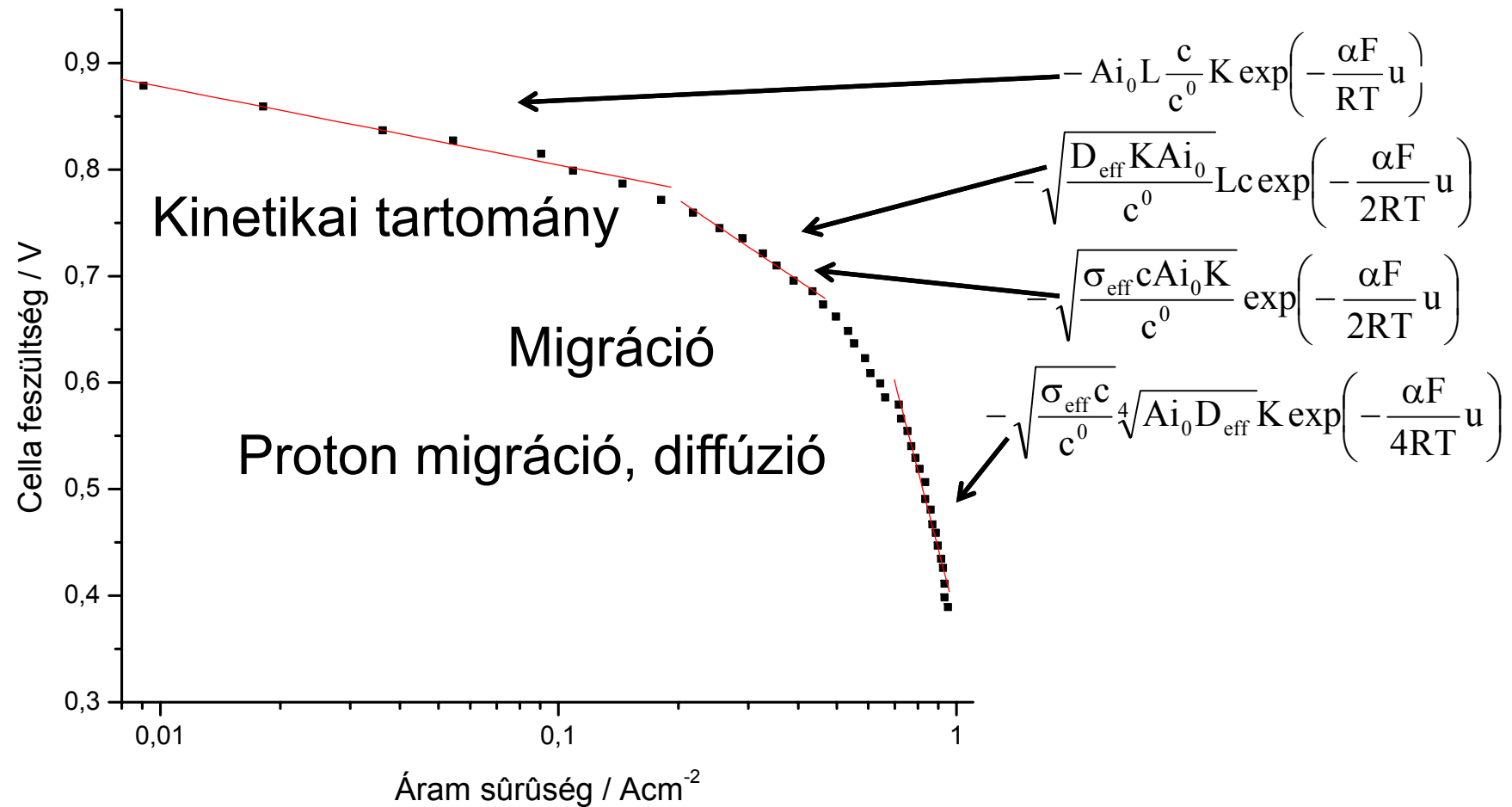


A tüzelőanyag-cellák vizsgálata

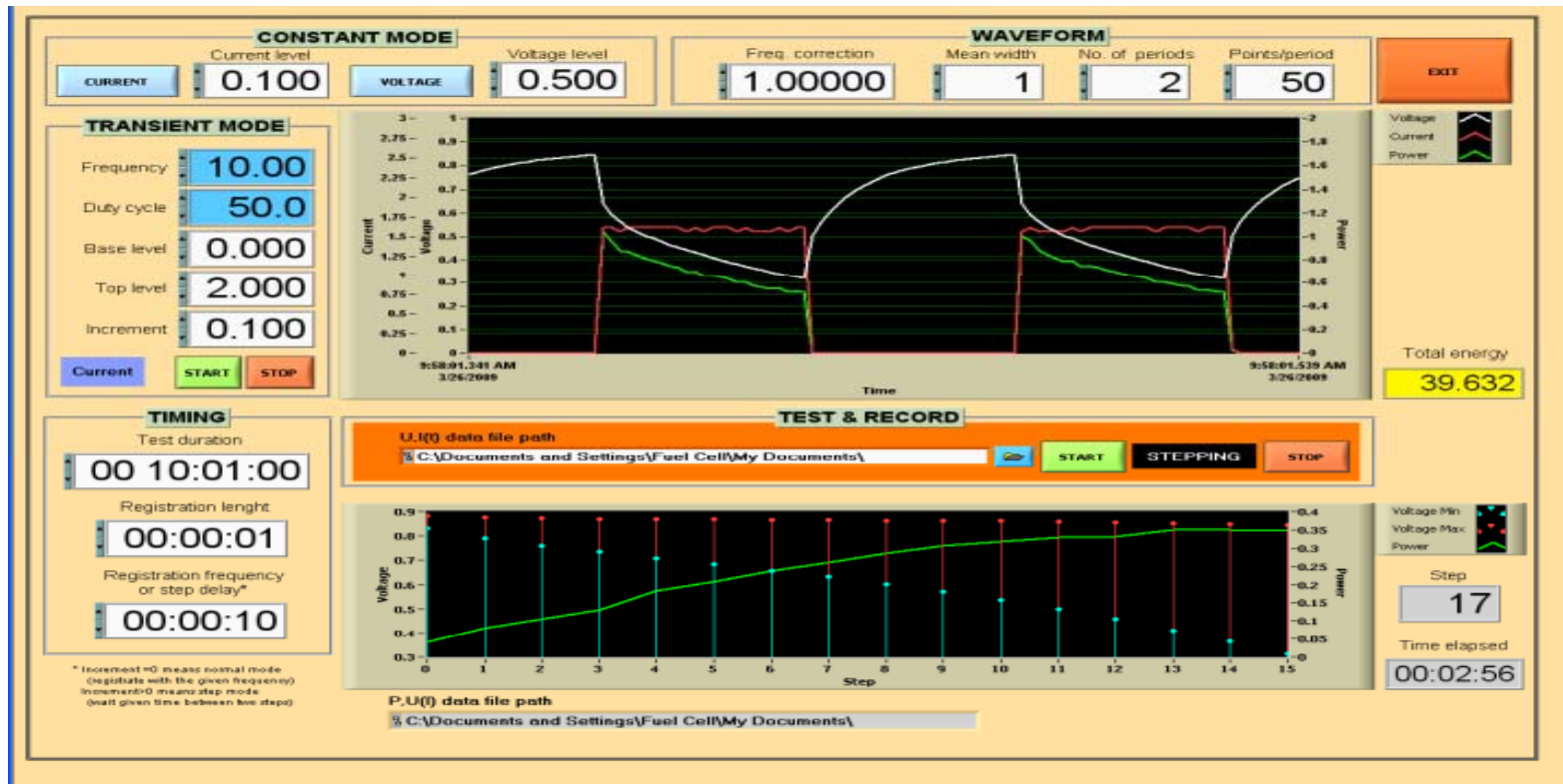


A teljesítménygörbe

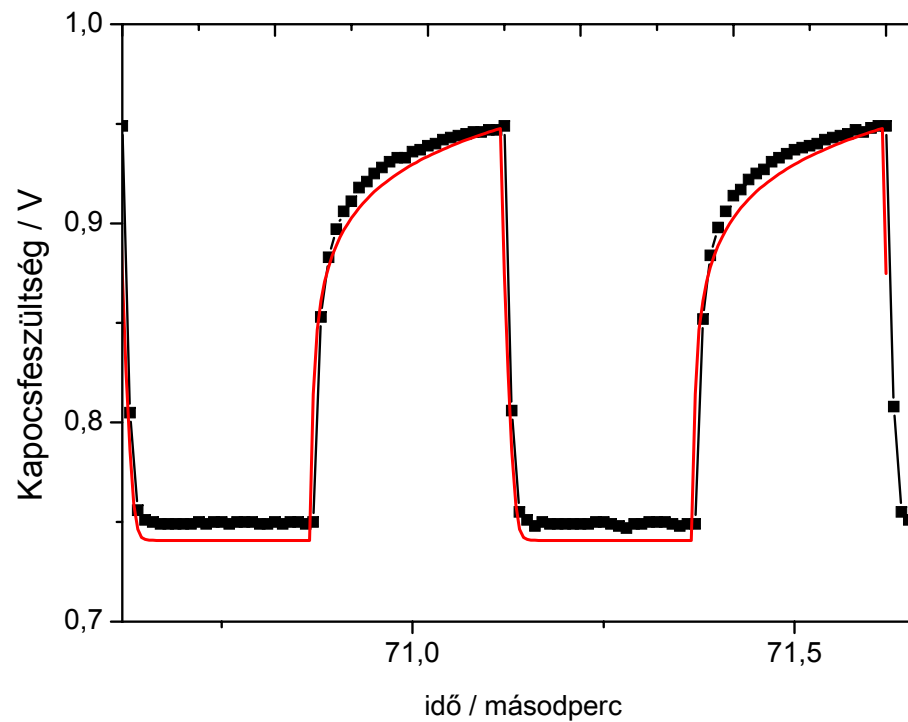




Tranziens jelenségek vizsgálata



Hidrogén – levegő tüzelőanyag-cella mért (■) és szimulált(–) potenciál-idő diagramja az állandósult tranziens állapotban. $i = 0.15 \text{ A cm}^{-2}$

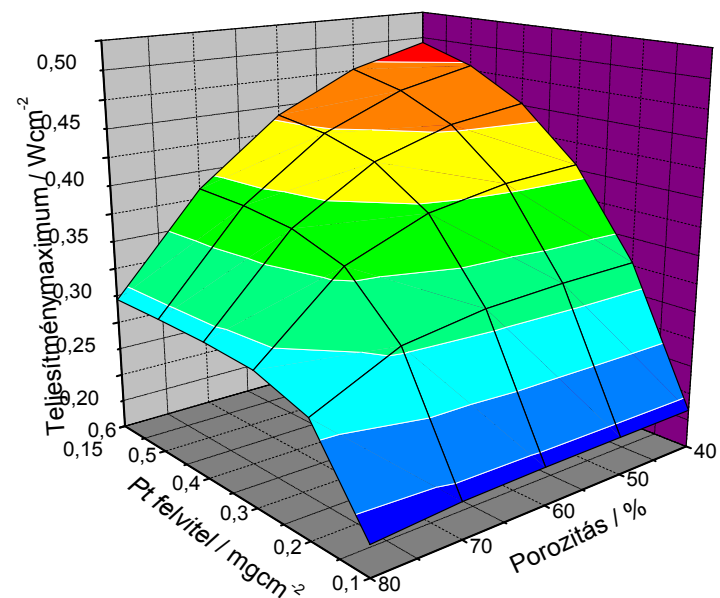
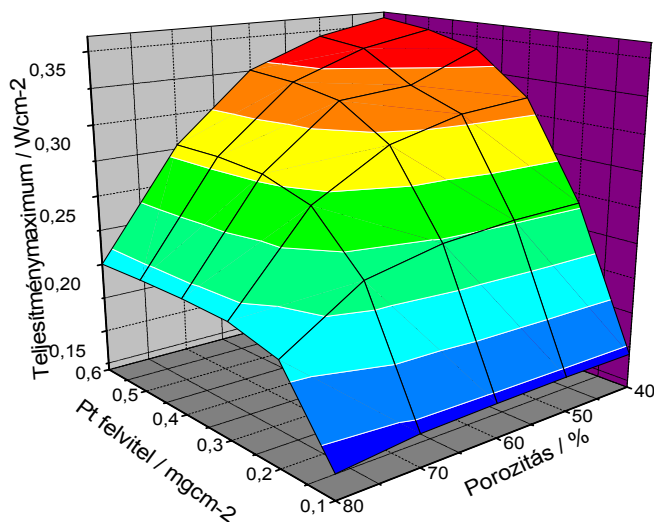


A platinafelvitel és a porozitás optimalizálása 35% Nafion tartalomnál

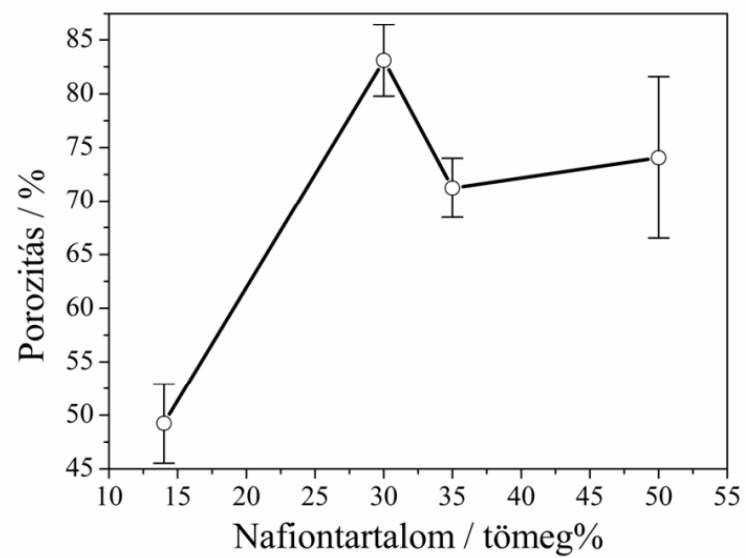
Pt /C arány:

20%

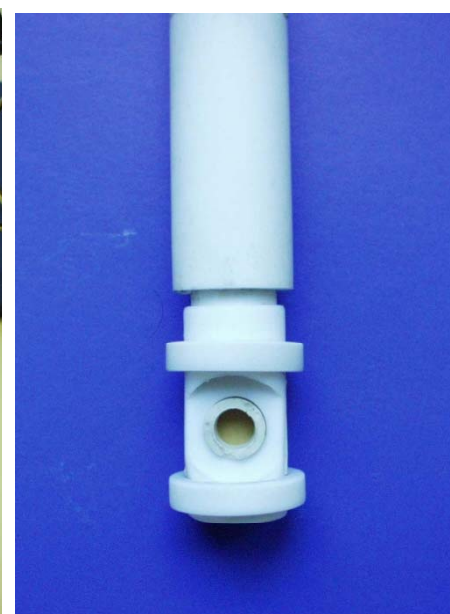
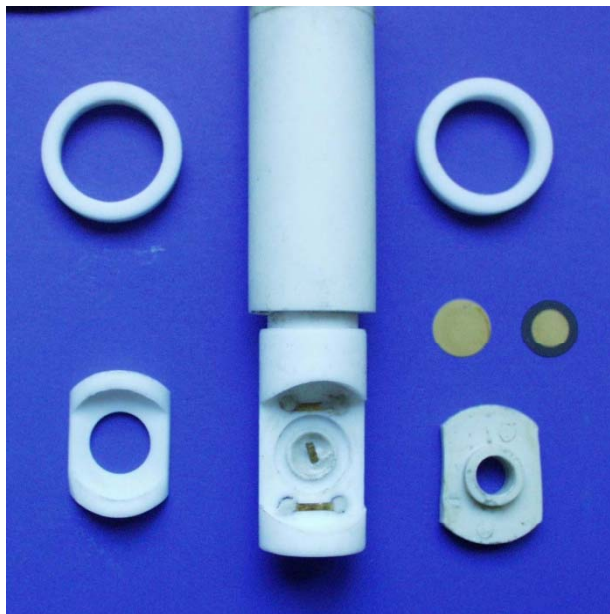
30%



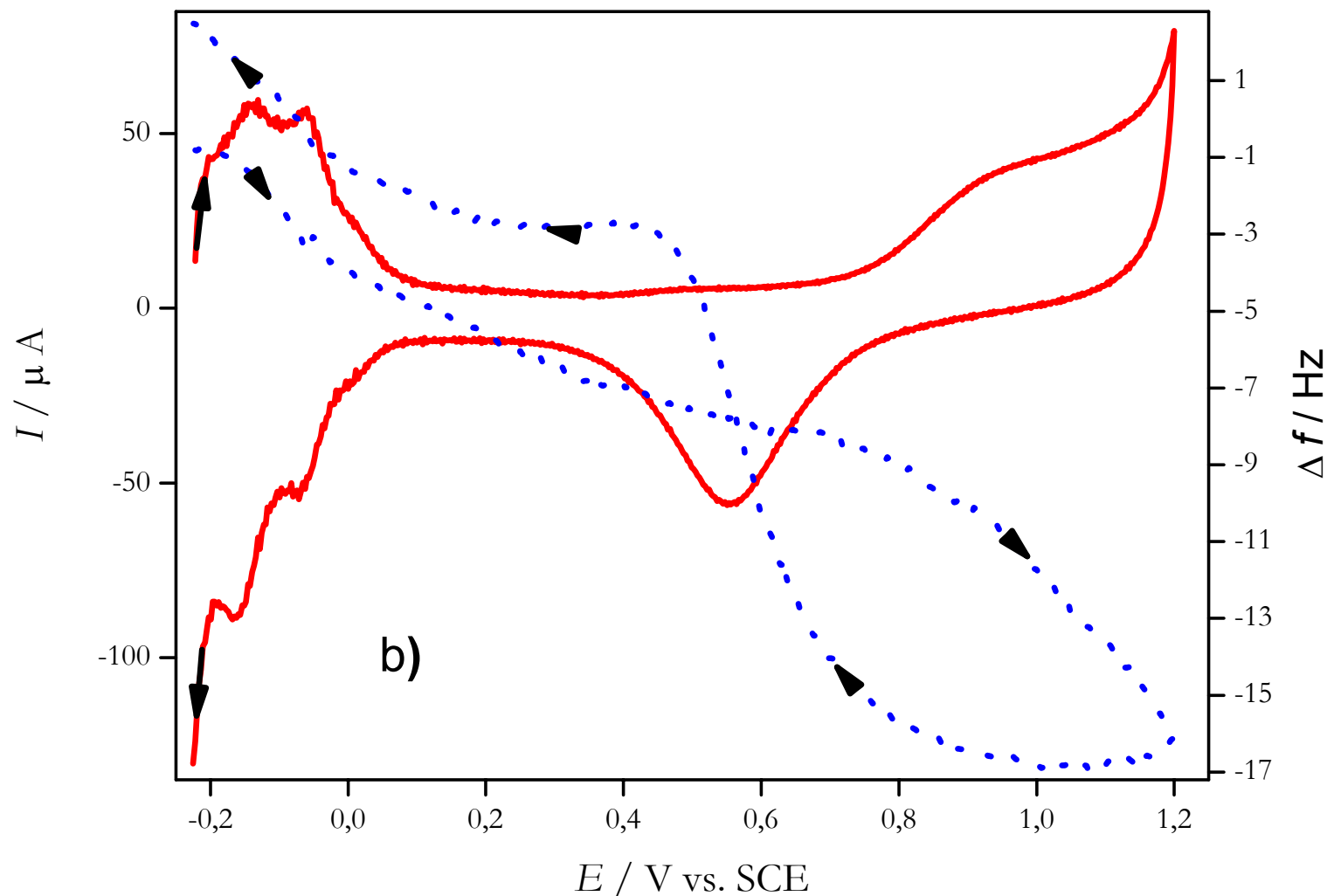
Nafiontartalom hatásának vizsgálata



Elektrokémiai kvarckristály nanomérleg



A platina „katódos oldódása” 5 MHz kristály: 9 ng = 1 Hz
0.5 M H₂SO₄, $\nu = 5 \text{ mV s}^{-1}$, 20 °C, - 0.22 V – + 1.2 V



Lesz-e elég platina?

A platínát és a platinacsoport más fémeit jelenleg is alkalmazzák katalizátoros autókban a mérgező CO- és NO-gázok ártalmatlan anyagokká, így szén-dioxiddá, illetve nitrogénné való átalakítására. Persze e fémek igen népszerűek más területeken is, orvosi implantátumok, nagy szilárdságú hőálló ötvözetek (turbinalapátok, rakétacsúcsok, tégelyek, fűtőszálak stb.), merevlemezek és ékszerek készítését említjük csak hamarjában.

A történelem folyamán összesen kb. 4000 t platínát termeltek ki.

A jelenlegi 150–250 t/év a termelés, aminek 63%-át már most is az autóipar használja fel. A cél az, hogy 2025-re az autók 25%-a hidrogénhajtású legyen. Egy-egy autó legalább 75 kW-os tüzelőanyag-cellát igényel.

Ha a felhasználandó platinamennyiséget a kívánatos mértékben tudjuk csökkenteni (a cél 0,2 g Pt/1 kW), akkor az éves platinaigény a tüzelőanyag-cellák gyártásához 150–300 t/év. Ez a mostani termelés (fő termelők: Dél-Afrika 50–70%, Oroszország 20–35%) szintentartásával és a platina visszanyerésével (jelenleg ez évi 20–25 t) biztosítható. A platinakészlet is még hosszú ideig elegendőnek tűnik, az ismert tartalék 5000 (75%-a Dél-Afrikában), a további becsült mennyiség kb. 30 000 t.

A platinacsoport fémei:

Könnyű platinafémek: Ru, Rh, Pd, sűrűségük kb. 12 g /cm^3

Nehéz platinafémek: Os, Ir és Pt, sűrűségük kb. 22 g /cm^3

A platináé $21,45 \text{ g /cm}^3$

Rekorder az ozmium: $22,588 \text{ g /cm}^3$

„Ide iktatom még a platina-termelés mennyiségét, mely 5600 kg körül van évenként és ugyszólván kizárólag Oroszországból származik.

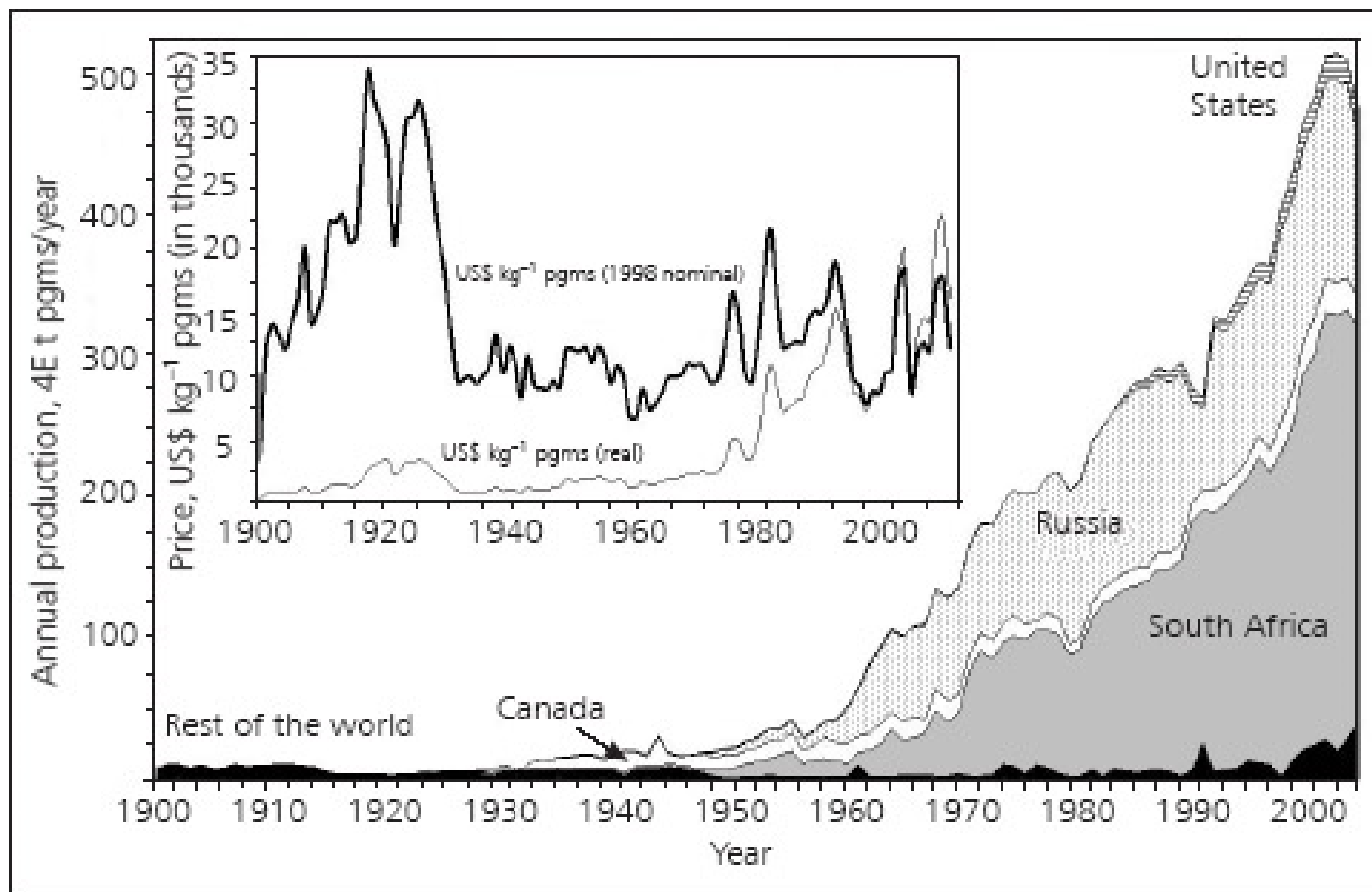
„JÓ SZERENCSET MŰSZAKI, BÁNYÁSZATI ÉS KOHÁSZATI HETI SZAKLAP
III. évfolyam. 10. szám. 1909. december 5

$4000 \text{ t} : 22 \text{ t / m}^3 = 181 \text{ m}^3$, azaz egy kb. 6 m élhosszú kockába beleférne.

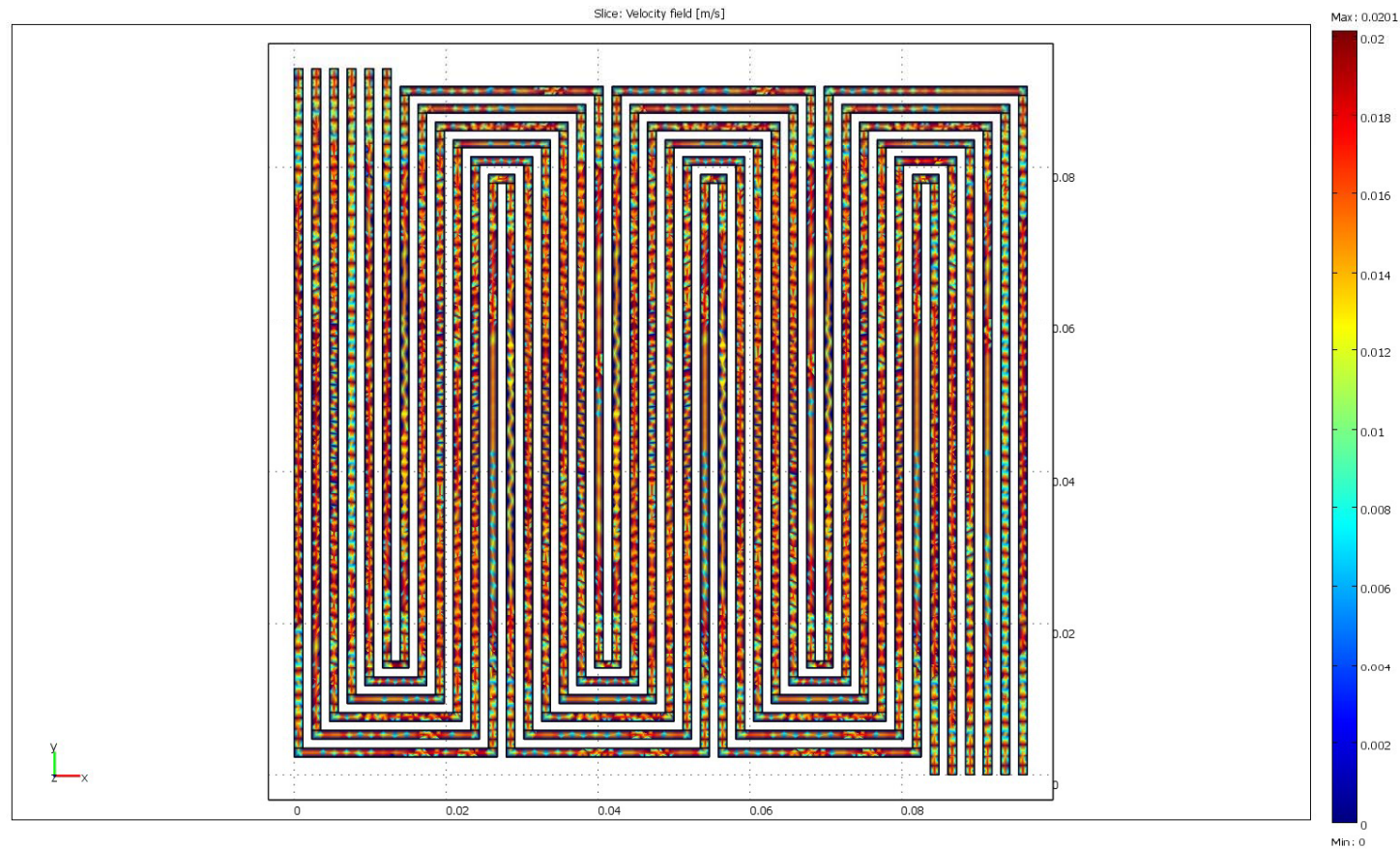
A Pt 1736. óta ismert, Antonio de Ulloa, újgranadai vagy kolumbiai fém

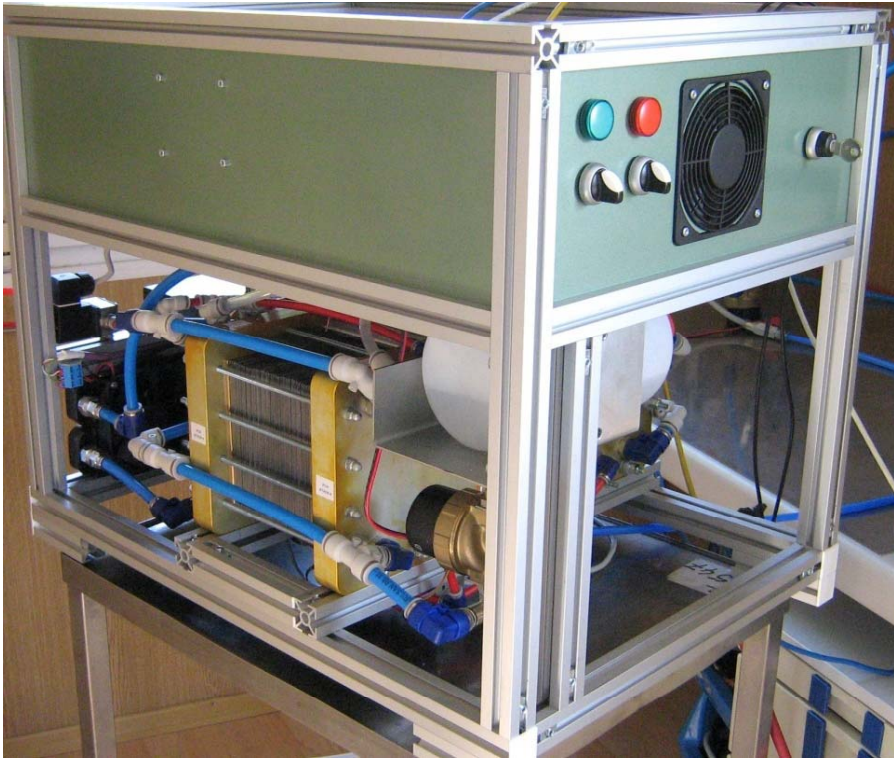
Inzelt Gy.: Kalandozások a kémia múltjában és jelenében, Vince Kiadó, Budapest, 2003. 4. Fejezet: Nemesek és nehezek

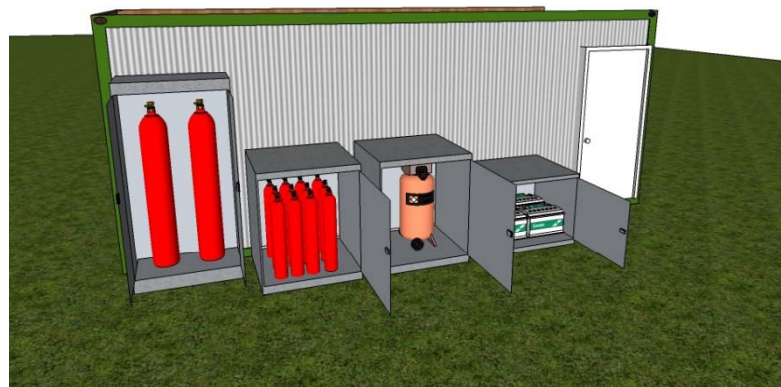
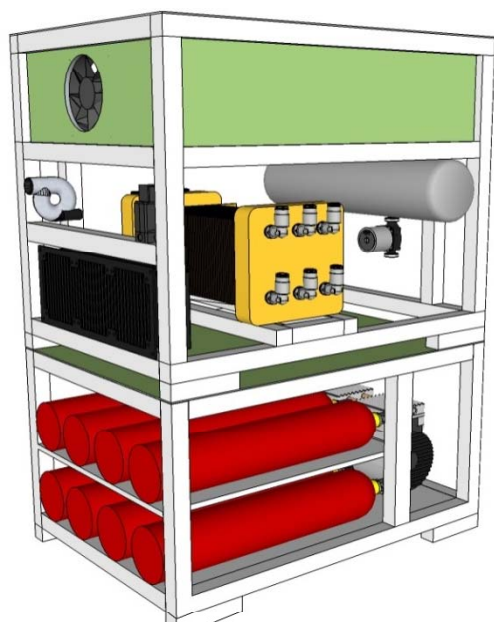
A platinafémek árának és kitermelésének változása az évek folyamán



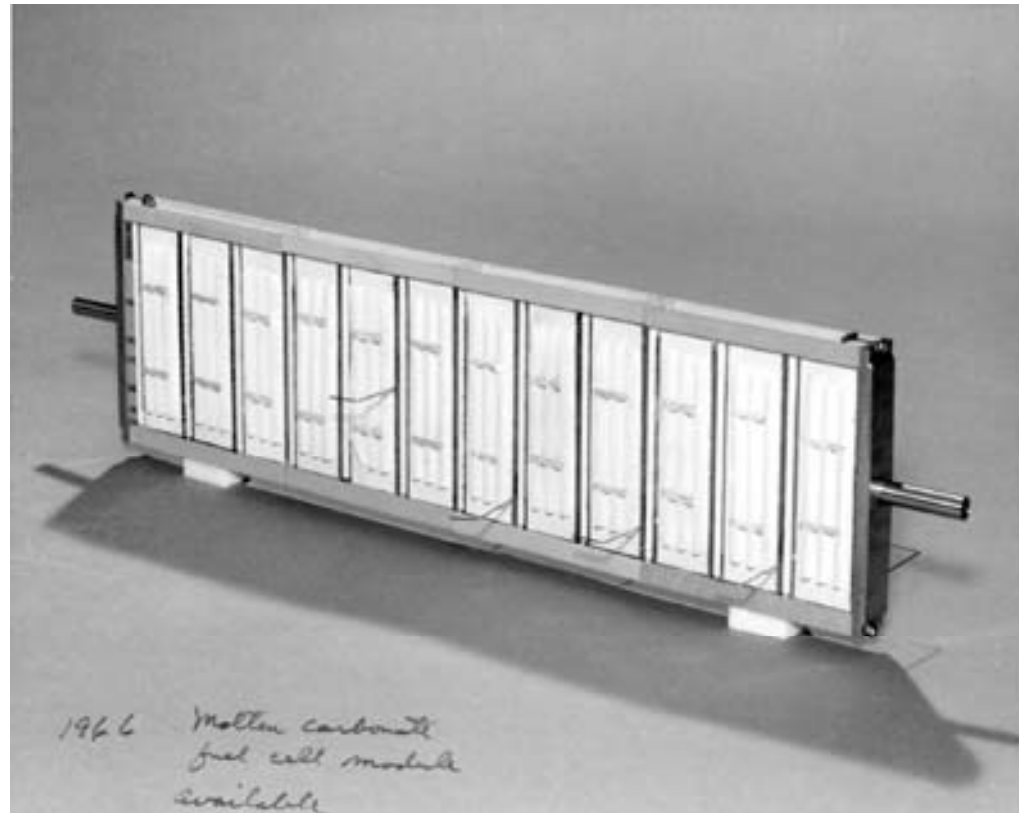
Az áramlási mező matematikai szimulációja







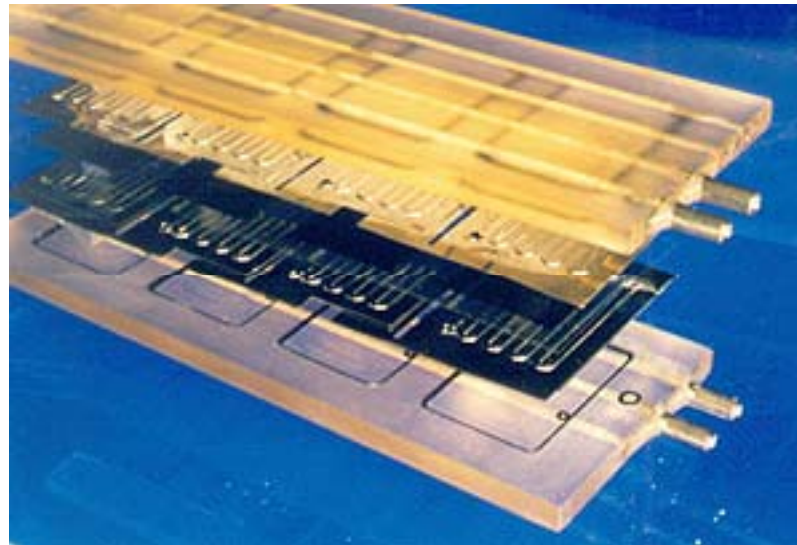
Karbonátolvadékos tüzelőanyag-elem, amit az amerikai hadseregnek készített a Texas Instruments 1966-ban



Alkoholszonda



Mobiltelefonokhoz 2000-ben kifejlesztett mikro tüzelőanyag-elem



Hordozható számítógépekhez használt Ballard gyártmányú tüzelőanyag-elem



Protoncserélő-membrános tüzelőanyag-cellák alkalmazása

targoncákban



szünetmentes áramforrásokban



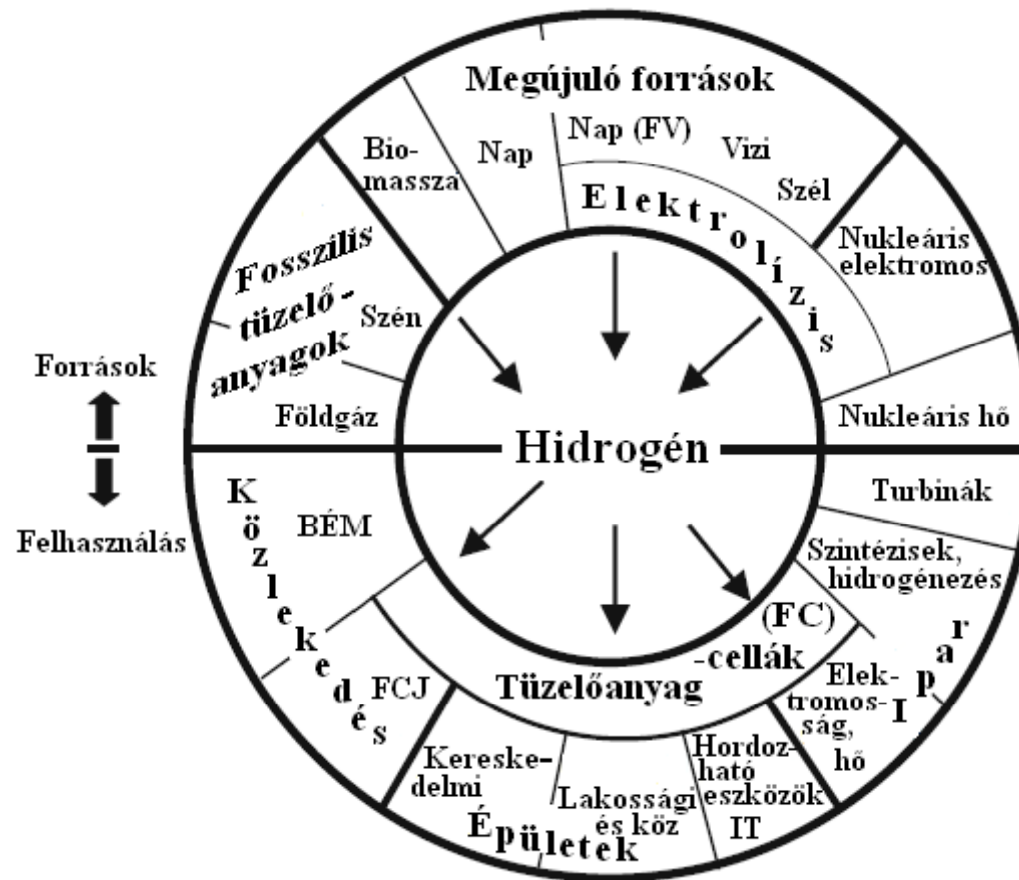
250 db karbonátolvadékos tüzelőanyag-elemmel működő,
210 kW-os erőmű, San Diego, Kalifornia 1997



Tüzelőanyag-cellák

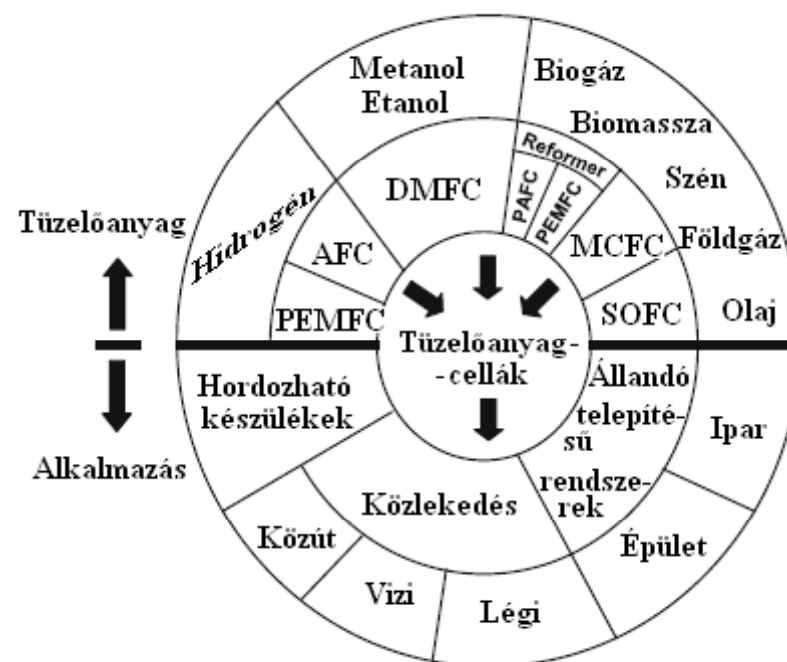
A fenntartható fejlődés. Hidrogéngazdaság

Honnan lesz hidrogén és mire használjuk?



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

A tüzelőanyag-elem és felhasználásuk

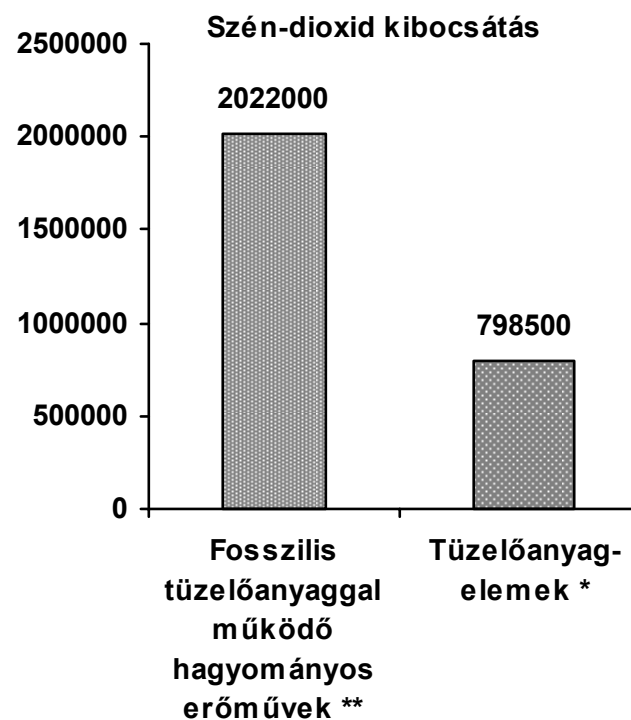
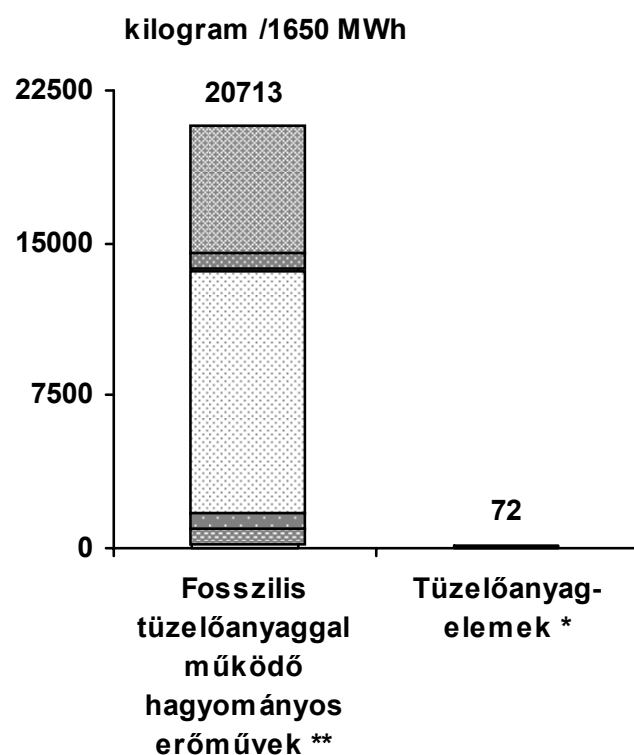


A károsanyag-kibocsátás összevetése.

Forrás: United Technologies

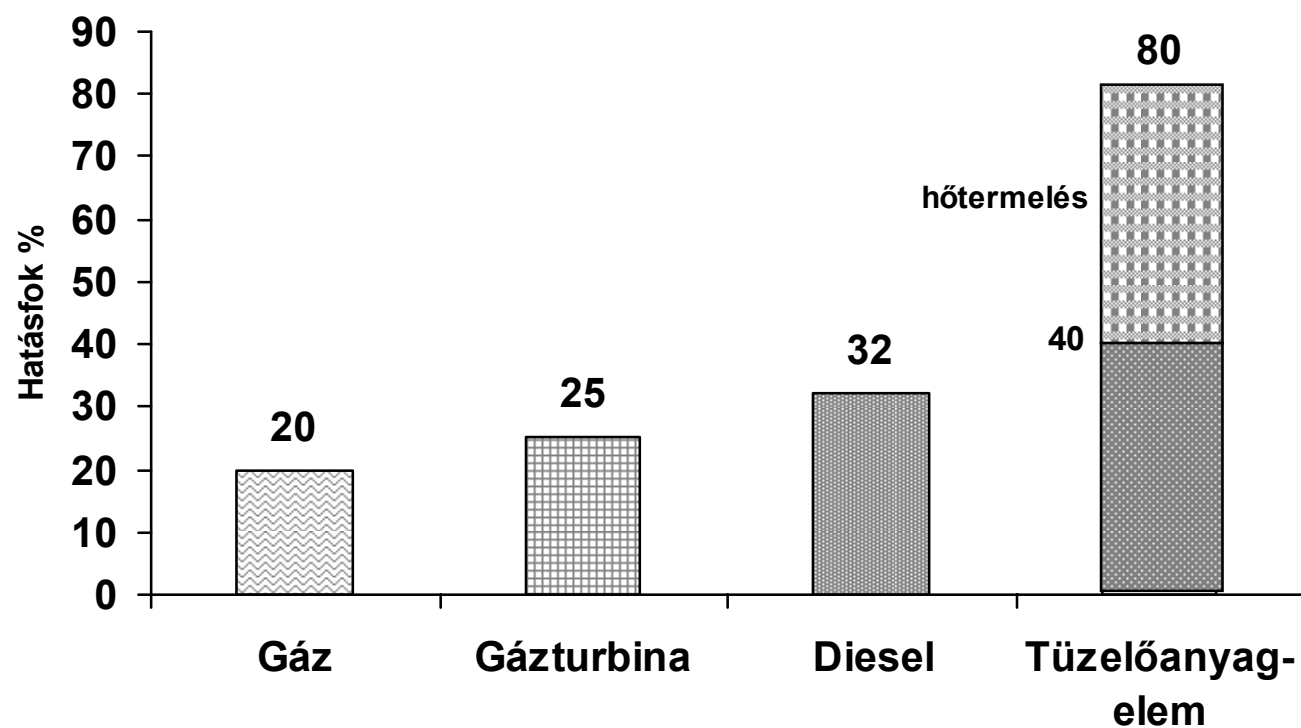
*Földgázzal működő tüzelőanyag-elemek

** 83 % szén, 11,5 % földgáz, 5,5 % olaj „átlagos” tüzelőanyaggal számolva



A foszforsavas tüzelőanyag-elem és más, elektromos energiatermelési technológiák hatásfokának összehasonlítása.

Forrás: United Technologies



Térfogat

Tömeg

Nyomás

Hőmérséklet



Hidrogén gáz
(298 K, 25 °C)

0,01 mol H₂ cm⁻³

p = 200 bar



Folyékony hidrogén
(21 K, -252 °C)

0,0708 g cm⁻³

0,0354 mol H₂ cm⁻³

p = 1 bar



Fémhidrid
(298 K, 25 °C)

pl.: LaNi₅H₆

0,05 mol H₂ cm⁻³

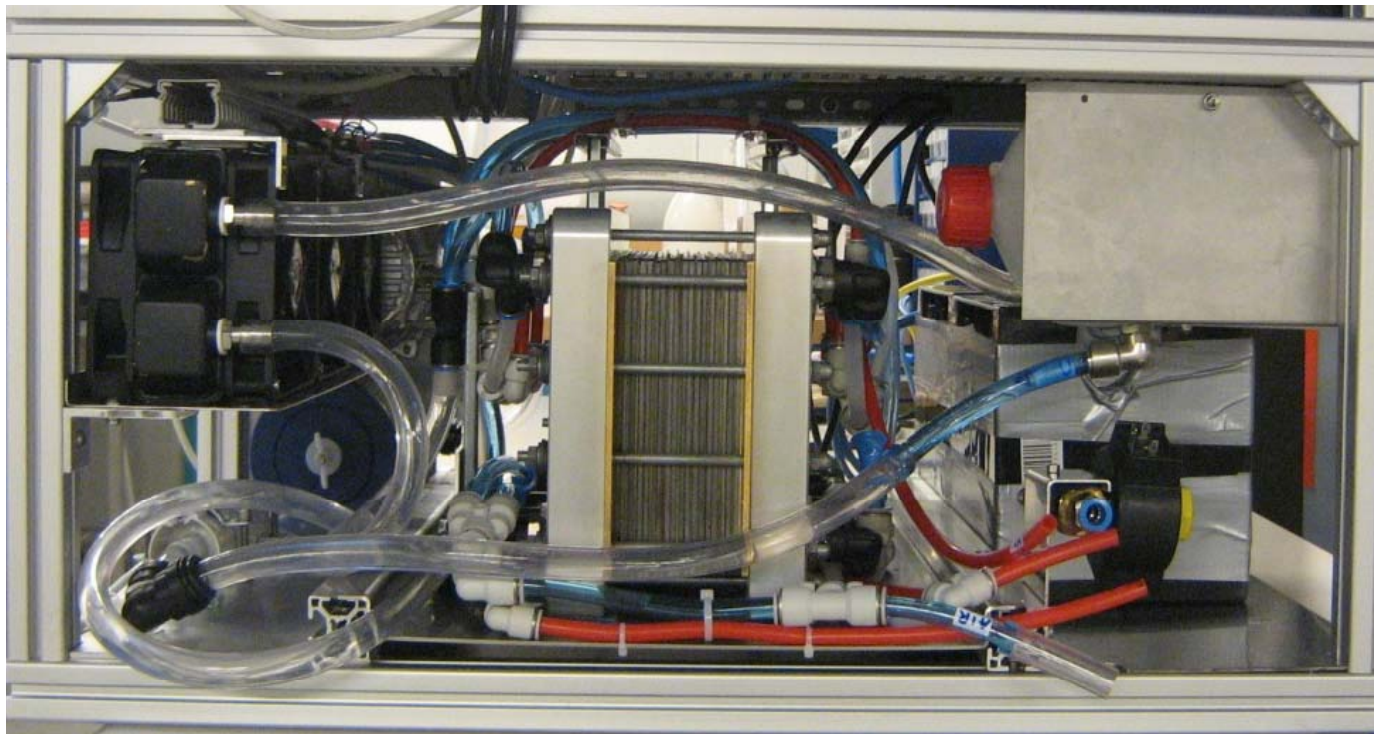
p = 2 bar



IV. Széchenyi futam, HY-GO, 2009.



A tüzelőanyag-cella rendszer megvalósítása HY-GO-ban

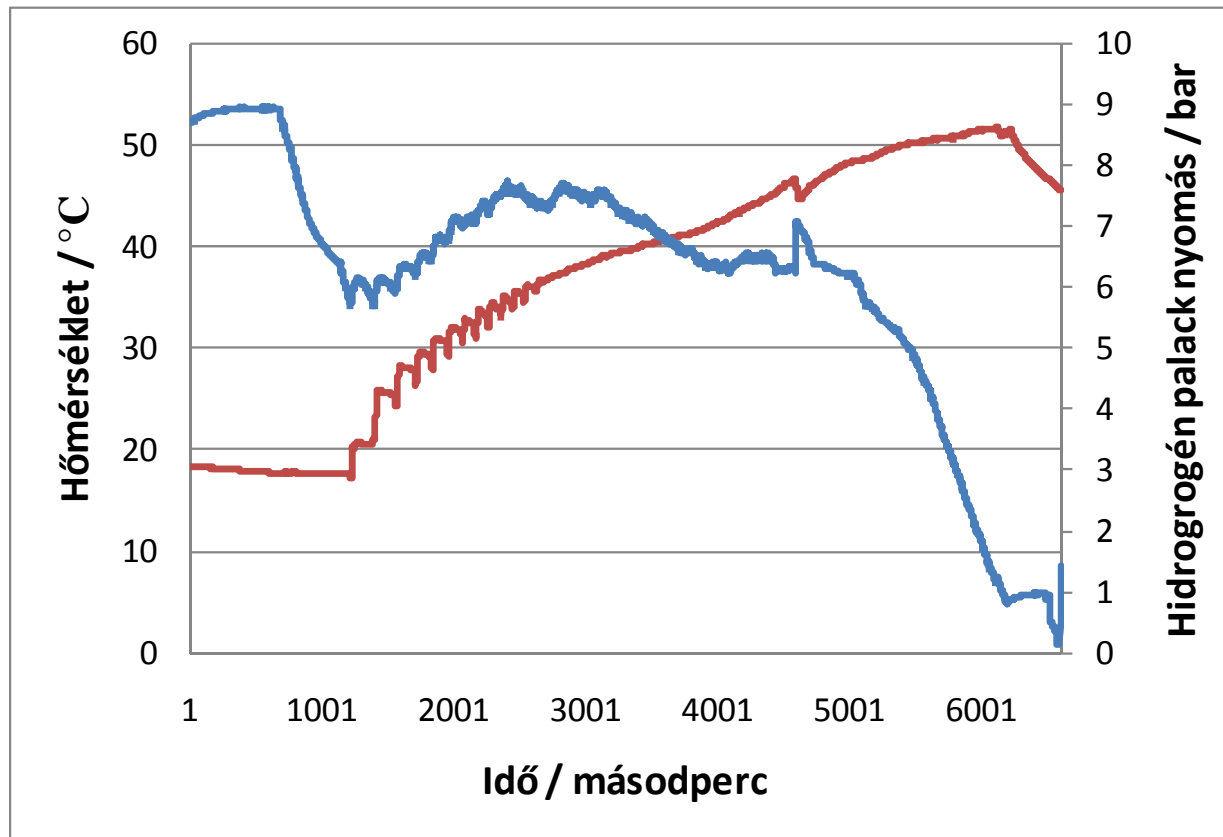


Egyéb egységek: levegőkompresszor, vízkeringető szivattyú, hidrogénszelepek, nyomásátalakító, vezérlőegységek és érzékelők

V. Széchenyi futam, HY-GO 2.0, 2010

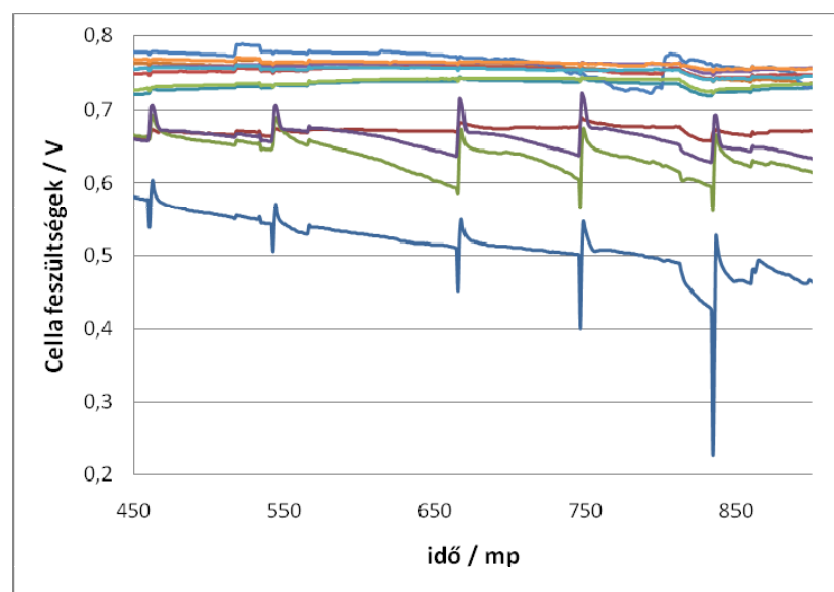
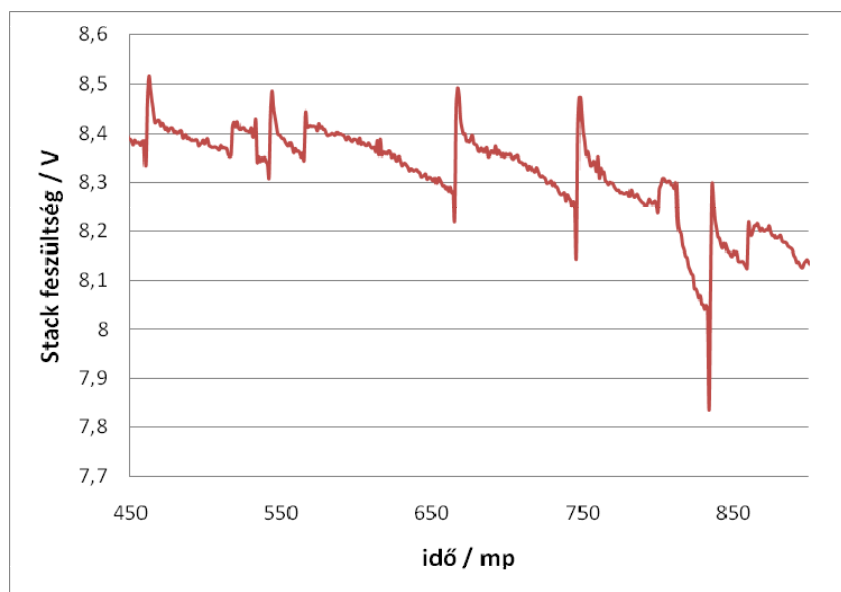


A hidrogénpalack nyomása és a rendszer hőmérsékletének időbeli változása a VI. Alternatív hajtású járművek Széchenyi versenyének (Győr) Le Mans típusú futamán, 2011



10 liter/ perc folyamatos hidrogénfogyás

A stack és a stack elemi celláinak feszültségei, amikor a tüzelőanyag-cellán átfolyó áram nagysága állandó volt



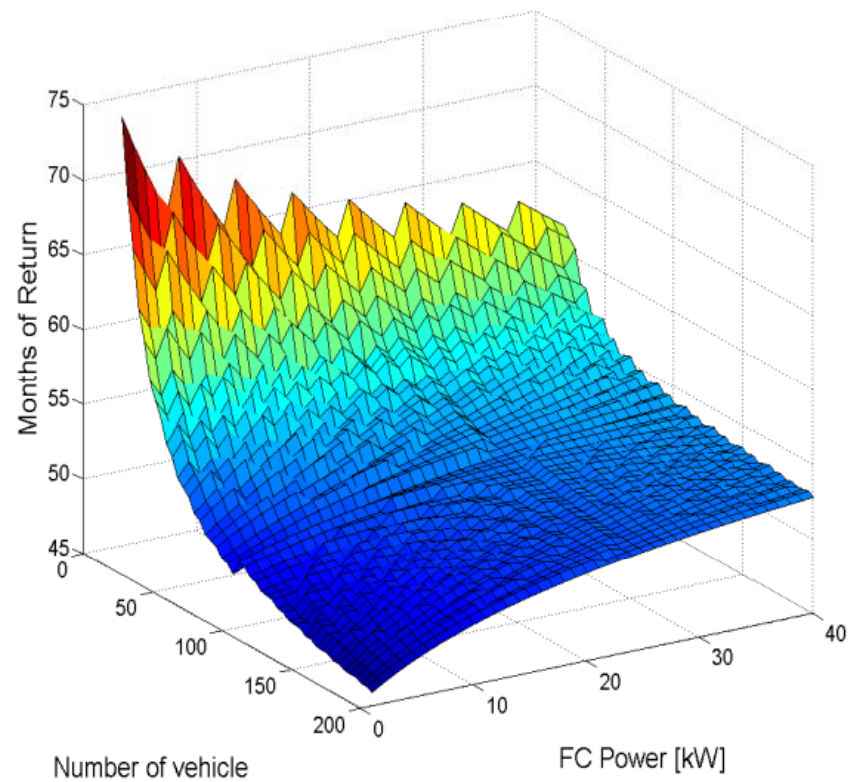


A gazdasági modell paraméterei

Megjegyzés	Mértékegység	Érték	Összehasonlítás
g			
Elektrolizáló hatásfoka	%	70%	H2Logic
TC hatásfoka	%	50%	Saját mérés
Fejlődő H ₂ mennyisége 1 kWh betáplálása esetén	H ₂ Nm ³ / kWh	0,227	
Fejlődő O ₂ mennyisége 1 kWh betáplálása esetén	O ₂ Nm ³ / kWh	0,113	
TC mérete	kW	2,00	
H ₂ fogyasztás	Nm ³ / h	1,83	Saját mérés
Jármű átlagsebessége	km/h	30	Saját mérés
1 óra alatt a tüzelőanyag-cella működése (fékezés arány)	%	70%	Saját mérés
Egy óra Hy-Go használat díja	Ft / h	1 000	
Egy m ³ O ₂ eladási ára	Ft / Nm ³ O ₂	500	1697 Ft/m ³ Linde

Egy kWh elektromos áram ára	Ft / kWh	8,44	MVM aukciós adatok
Desztillált víz ára	Ft / m ³	100 000	TESCO kiskereskedelmi ár
Használati melegvíz eladási ára	Ft/kWh	10,00	Siófoki gázmotor (forrás STSGroup)
Összes reklám felület bérbeadása 1 napi díja	Ft / auto / nap	1 667	Primacom.hu adatai alapján

A tüzelőanyag-cella teljesítményének és a járműflotta darabszámának hatása a gazdasági megtérülésre



A HY-GO 2.0 az V. Széchenyi futamon, 2010.

Méret: 1,5 x 1,12 x 2,74 méter

Súly: 290 kg

Teljesítmény: 1000 W

Hidrogén üzemanyag: 160 g

Fogyasztás: 1,9 g H₂ / km

Végsebesség: 55 km/óra

Hatótáv: 85 km

Egy kilométer megtétele 30 forintba kerül.

CO₂ kibocsátás zéró.

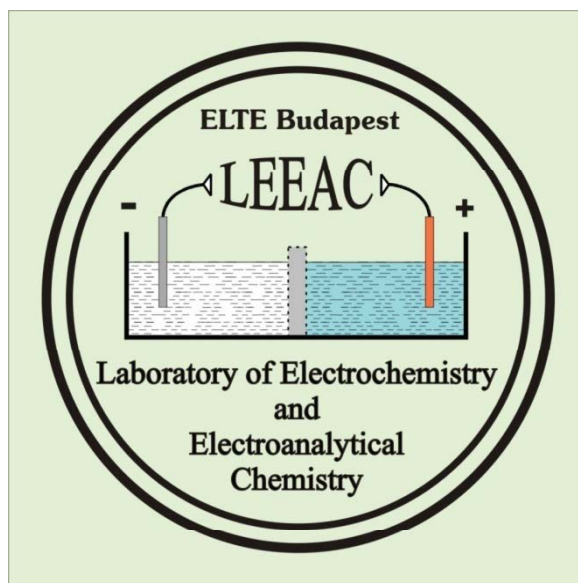


A járműben két, 10 protoncserélő membrános egységből álló tüzelőanyagcella szolgáltatja az energiát. A hidrogén két, TiFeH_x hidrid alakban tároló, 38,4 cm hosszúságú, 8,9 cm átmérőjű tartályban van a járműben.

A HY-GO 2.0 csapat a Széchenyi futamon, 2010



Köszönöm a megtisztelő figyelmüket!



Inzelt Gy.: Vegykonyhájában szintén megteszi. Akadémiai Kiadó, Budapest, 2006

Inzelt Gy.: Az elektrokémia korszerű elmélete és módszerei, I.-II- kötet

Nemzeti Tankönyvkiadó, 1999.

www.fuelcell.hu