

**Mérési útmutató**  
**Megújuló energiatermelést bemutató energiapark**

## **Tüzelőanyag cella**



## **LG2212-T1**

**A mérést tervezte, összeállította:**

Herbert Ferenc

Kádár Péter

Enyedi Péter

**A mérésért felelős:**

Kádár Péter

**A mérési útmutatót összeállította:**

Antal Béla

Dollák Csaba

Kazai Imre

**BMF KKV VEI**  
**Budapest, 2006. november**

## Tartalom jegyzék

1	A mérés célja .....	3
2	A tüzelőanyag cellák alapjai .....	3
2.1	Az alapreakció és a tüzelőanyag-elemek történetének főszereplői .....	3
2.2	Tulajdonképpen mi is az a tüzelőanyag cella? .....	5
2.3	A tüzelőanyag-elemek fajtái .....	6
3	A tüzelőanyag cella alkalmazásának gyakorlati formái .....	7
3.1	Villamos energia: .....	7
3.2	A üzemanyag cellák felhasználási területei .....	7
3.3	Néhány példa az alkalmazásra: .....	7
3.4	Üzemanyag cellával, belső égésű motorral és az akkumulátorral hajtott autó .....	7
3.5	Működtetéssel kapcsolatos követelmények, előírások .....	8
4	A mérési összeállítás, eszközök .....	8
4.1.1	A készülék adatai: .....	8
4.1.2	Töltési adatok /gyári beállítások/: .....	8
4.1.3	Csatlakozási pontok: .....	9
4.1.4	Szerkezeti felépítés: .....	9
4.1.5	Működés leírása: .....	9
4.2	A mérés bemutatása .....	10
4.2.1	Mérés leírása: .....	10
4.2.2	Méréshez felhasznált eszközök: .....	11
4.2.3	Mérés összeállítása: .....	11
4.3	Mérés célja: .....	12
4.4	Mérés kiértékelése: .....	13

## 1 A mérés célja

A mérés célja, hogy a hallgatók megismerkedjenek a tüzelőanyag cella alapvető működésével, felhasználási lehetőségeivel. Gyakorlati alkalmazás szintjén pedig a bekapcsolástól folyamatosan meghatározható töltőáram, teljesítmény, hatásfok, valamint a cellák hőmérséklet változásának vizsgálata.

## 2 A tüzelőanyag cellák alapjai

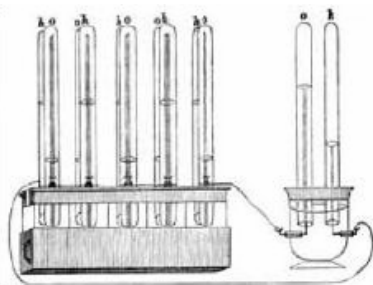
### 2.1 Az alapreakció és a tüzelőanyag-elemek történetének főszereplői

Az alapreakció felismerésében fontos szerep jutott:

- *Alessandro Voltának*, ki 1800-ban alkotta meg azt a készüléket, amelyik folyamatosan tudott elektromos áramot szolgáltatni.
- Majd *William Nicholson* még ugyanebben az évben a Volta-oszlop segítségével végrehajtotta az első vízbontásos kísérletet. Az elektromos áram hatására vízből hidrogén és oxigén keletkezett.

Ami számunkra érdekes, az a fordított folyamat, azaz a hidrogén és oxigén egyesítése vízzé. Ezt a reakciót durranógáz-reakciónak hívjuk, mert igen hevesen, nagy energia felszabadulással megy végbe. Ugyanezt a reakciót galván cellában szobahőmérsékleten igen jó hatásfokkal tudjuk energiatermelésre felhasználni. Erre *William Robert Grove* jött rá, akinek személyében a tüzelőanyag- elemek atyját tiszteljük.

Grove felfedezése alapján megszerkesztette az első tüzelőanyag-cellát, amelyet gázelemnek nevezett el.



1. ábra. William Robert Grove portréja és a Grove-féle tüzelőanyag-cella rajza. A rajzon öt "gázelem" soros kapcsolása látható, amellyel vizet bont a különálló cellában.<sup>12</sup>

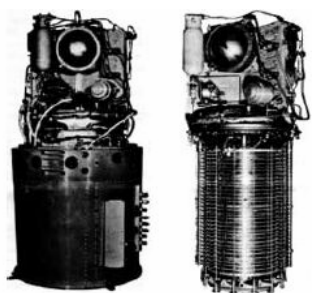
Több helyen olvashatjuk meggyőződésként, hogy Grove után több mint 100 évig nem történt semmi a tüzelőanyag-cellák felhasználása tekintetében. Ez igaz is, meg nem is. Ténylegesen nem hasznosították ezt a jelentős találmányt, de erre folyamatosan voltak próbálkozások.

A korai történet *F.T. Bacon* az 1930-as években kezdődő kutatásaival zárul, amely egyúttal megnyitotta az utat a modern fejlődéshez.

Bacon szerkesztette az első alkálikus tüzelőanyag-cellát, amely 25 év fejlesztőmunka után az Apollo űrhajón szolgált, (2. ábra) mivel:

- nem tartalmazott mozgó alkatrészt,
- érzéketlen a gravitációs hatásokra,
- érzéketlen a kozmikus sugárzásokra,
- érzéketlen a hőingadozásra,
- megbízható, stabil,
- üzemanyaga, a hidrogén és oxigén egyébként is az űrhajó szállítmányában található,
- kis tömegű, kiterjedésű,
- nincs káros anyag kibocsátása.

(Nem Bacon hibája volt, hogy az oxigéntartály az Apollo-13 űrhajóban felrobbant, ami majdnem tragédiához vezetett.)



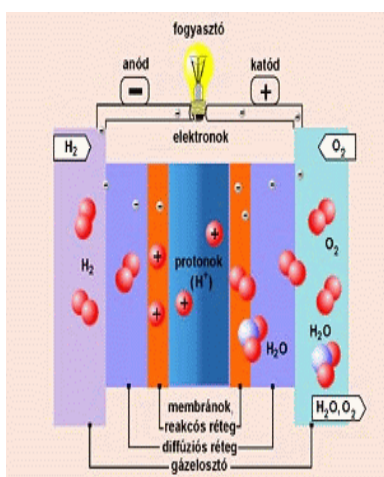
2. ábra. A Bacon-féle alkálikus hidrogén-oxigén tüzelőanyag-elem, amelyet az Apollo űrprogramban használtak

Azóta az üzemanyag cella állandóan alkalmazott, bevált alkatrészé vált. Kidolgozták sorozatgyártás technológiáját, csökkentették a gyártási költségeket, elindították a gyártást. A 1965-re készült el az első 5 kW-os, foszforsavas *Allis-Chalmers*-cella az amerikai hadsereg részére, és azóta a fejlődés töretlen. Az 50-100 kW-os cellákat éppúgy használják autóbuszok energiaforrásaként, mint nagyobb teljesítményű változatait épületek világítási, fűtési igényeinek kielégítésére.

## 2.2 Tulajdonképpen mi is az a tüzelőanyag cella?

Az üzemanyagcellák az elemekhez hasonlóan vegyi reakciókkal közvetlenül elektromosságot állítanak elő, a különbség az, hogy elemeket kifogytuk után el kell dobni, viszont az üzemanyagcella mindaddig üzemel, amíg üzemanyagot töltünk bele. Az üzemanyagcellák előnye viszont a belsőégésű motorokhoz képest is kedvező, mert az üzemanyagcellák eleméleti hatásfokát elvi termodinamikusan határok nem korlátozzák, a belsőégésű motorok hatásfokát viszont a Carnot-ciklus diktálta termodinamikusan határok szabják meg.

Az üzemanyagcellák további előnye az akkumulátorokkal szemben az, hogy az "újrátöltés" azonnal megvalósul, amíg a legújabb gyorstöltésű akkumulátorok minimálisan is kb. egy órát és külső elektromos áramforrást igényelnek az újrátöltéshez. Az üzemanyagcellák további nagy előnye, hogy lényegesen nagyobb teljesítmény-sűrűségekre képesek, és hogy az üzemanyag tartály térfogatát kizárólag a pontos felhasználás követelményei diktálják. A hidrogénnel üzemeltetett tüzelőanyag cella a lehető legegyszerűbb ilyen rendszer:



A szerkezet alapegysége két elektródából áll, egy elektrolit köré szendvicsszerűen préselve.

- Az anódon hidrogén, míg a katódon oxigén halad át.
- Katalizátor segítségével a hidrogénmolekulák protonokra és elektronokra bomlanak.
- A protonok keresztáramlanak az elektroliton.
- Az elektronok áramlása mielőtt elérné a katódot, felhasználható elektromos fogyasztók által.
- A katódra érkező elektronok a katalizátor segítségével egyesülnek a protonokkal és az oxigénmolekulákkal, vizet hozva létre. A folyamat során hő is termelődik.

### 2.3 A tüzelőanyag-elemek fajtái

Sokféle tüzelőanyag-cellát fejlesztettek ki, de alapján véve megkülönböztethetünk közönséges hőmérsékleten és nagy hőmérsékleten működőket. Az előbbieket könnyen elviselnek sok be- és kikapcsolást, ez előnyös például gépjárműveknél, míg az utóbbiak inkább folyamatos üzemben, például erőművekben hasznosíthatók. A tüzelőanyag fajtáját, az elektrolit és más komponensek minőségét, valamint a felépítésüket tekintve jelenleg számos, különböző típusú tüzelőanyag-cella van forgalomban:

	<b>Elektrolit</b>	<b>Működési hőmérséklet</b>	<b>Elektromos hatásfok</b>	<b>Üzemanyag</b>	<b>Felhasználási terület</b>
<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> Szilárd polimer elektrolit 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

### **3 A tüzelőanyag cella alkalmazásának gyakorlati formái**

#### **3.1 Villamos energia:**

A villamos energia jelenleg a legtisztább, legsokrétűbben alkalmazható, legértékesebb energia, amelyet az élet minden területén használunk. Kényelmes életkörülményeket hoztunk létre energia felhasználásával, de az energiatermelés közben a környezetnek jelentős károsodását, az energiahordozó tartalékok rohamos csökkenését okozzuk világszerte. A káros következmények hatására a tudósok új, korszerűbb technológiák létrehozásához szükséges alaputatásokat végeznek, amelyből a civil szervezetek, politikusok, hatóságok nyomására az ipar szereplői gazdaságosan megvalósítható környezetbarát erőműveket, berendezéseket fejlesztenek, és ezzel lecserélik a régi, elavult technológiákat.

#### **3.2 A üzemanyag cellák felhasználási területei**

Az üzemanyag cellát ma már széles körben használják, elemet, akkumulátort, vagy áramfejlesztőt helyettesíthetnek vele, de hő- és áramtermelő berendezésekben is alkalmazzák, amellyel a villamoshálózatra termelhetnek.

#### **3.3 Néhány példa az alkalmazásra:**

- kisméretű számítógépelem (50 W)
- közlekedési eszközök energiaforrása (50-100 kW)
- áramtermelő erőművekben (250 kW - 10 MW)

#### **3.4 Üzemanyag cellával, belső égésű motorral és az akkumulátorral hajtott autó**

A belső égésű motorok hajtják meg ma gyakorlatilag az összes autót. Ezek a motorok zajosak és magas hőmérsékleten bekövetkező robbanásokon keresztül üzemelnek, amik a vegyi energia által tárolt energia felszabadításából erednek, ahogy a levegő oxigénjének segítségével égetik el az üzemanyagot. Belső égésű motorok, valamint a hagyományos közműerőművek az üzemanyag vegyi energiáját hőenergiává és mechanikus energiává alakítják, amelyből az erőműben elektromos energiát állítanak elő.

Az üzemanyagcellák és az akkumulátorok olyan elektrokémiai eszközök, amelyeknek természetüknél fogva hatékonyabb átalakítási eljárás módjuk van: vegyi energiát közvetlenül alakítanak elektromos energiává. A belső égésű motorok kevésbé hatékonyak, mert tartalmazzák az energia termikus átalakítását mechanikus energiává, amit korlátoz a Carnot körfolyamat.

Ha az autókat olyan elektromosság hajt meg, amit közvetlen hidrogén üzemanyagcellákból állítanak elő, akkor ott nincs bonyolult égési folyamat. Egy üzemanyagcellában a hidrogén és oxigén egy olyan viszonylag hűvös, elektrokémiai reakción megy keresztül, ami közvetlenül elektromos energiát termel. Ezt az elektromosságot használja a motor. A közvetlen hidrogén üzemanyagcella-járműnek nincs káros-anyagkibocsátása, még akkor sem, ha üresen jár.

### 3.5 **Működtetéssel kapcsolatos követelmények, előírások**

ISO 23273-2:2006<sup>3</sup> Szabvány alapján:

Üzemanyagcellás közúti járművek. Biztonsági előírások.

2. rész: Hidrogénkockázatokkal szembeni védelem sűrített hidrogénnel működő járművekhez.

## 4 A mérési összeállítás, eszközök

### 4.1.1 **A készülék adatai:**

Gyártó és típus: ZEMIS LG2212T1

Software verzió: 1005

Normál teljesítmény: 15W

Maximális teljesítmény: 20W

Töltési feszültség: 10,2 – 14,7V

Maximális áram: 2A

Normál fogyasztás: 14Hl/h

Tölthető akkumulátorok: ólom /zselés-ólom/ min. 7.5Ah

Adatkommunikáció: RS 232

Működés: automata vagy manuális

Hűtés: levegő

Tüzelőanyag: levegő + hidrogén

Gáz /hidrogén/ ellátás: 3.0 tisztaságú(99,9%) vagy jobb

Gáz /hidrogén/ nyomás: min 2 bar – max 10 bar

Cella: 3db egyenként 26cm<sup>2</sup>

Működési hőmérséklet tartomány: -15 – 30°C

Újraindulási hőmérséklet: 4°C

Védettség: IP 20

Méret: 315 mm x 213 mm x 166 mm

Anyag: műanyag

Súly 2.2kg

### 4.1.2 **Töltési adatok /gyári beállítások/:**

Akku típus: ólom

Töltés kikapcsolási feszültség: 14V

Töltés bekapcsolási feszültség: 11.5V

Hőmérséklet korrekciós érték akkumulátornál: 0.38 mV/K

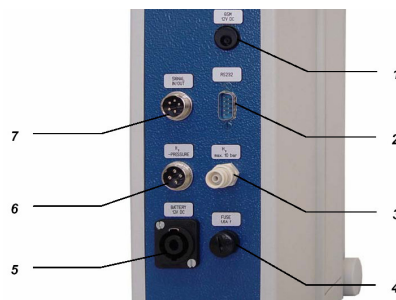
Cella feszültség: 0.6V

Készenléti idő: 2 perc

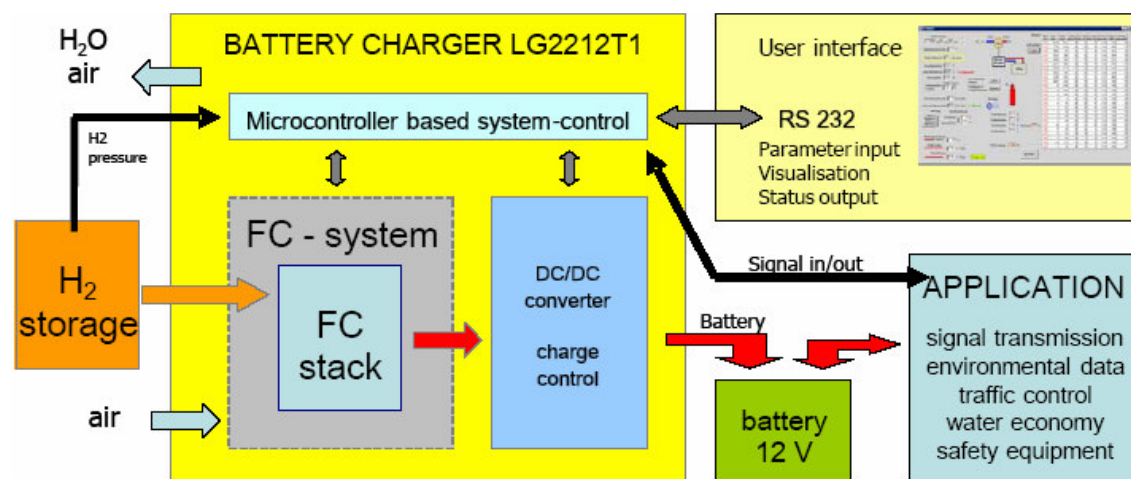


### 4.1.3 Csatlakozási pontok:

1. 12V csatlakozási pont GSM modul részére /opcionális tartozék/
2. RS 232 kommunikációs port
3. Hidrogén csatlakozási pont /gyorscsatlakozó/
4. Biztosíték foglalat /2.5A 5\*20mm/
5. Akku csatlakozási pont /gyorscsatlakozó/
6. Hidrogén henger nyomás csatlakozási pont
7. Csatlakozási pont /állapot jelzés/



### 4.1.4 Szerkezeti felépítés:



Az egész tüzelőanyag cella egy mikrokontroller alapú irányítási rendszer. Ez végzi a hidrogén adagolását, szabályozza a cellát, vezérli a konvertert, kommunikál a RS 232 porton, amelyen jel ki, illetve bemenetet biztosít.

### 4.1.5 Működés leírása:

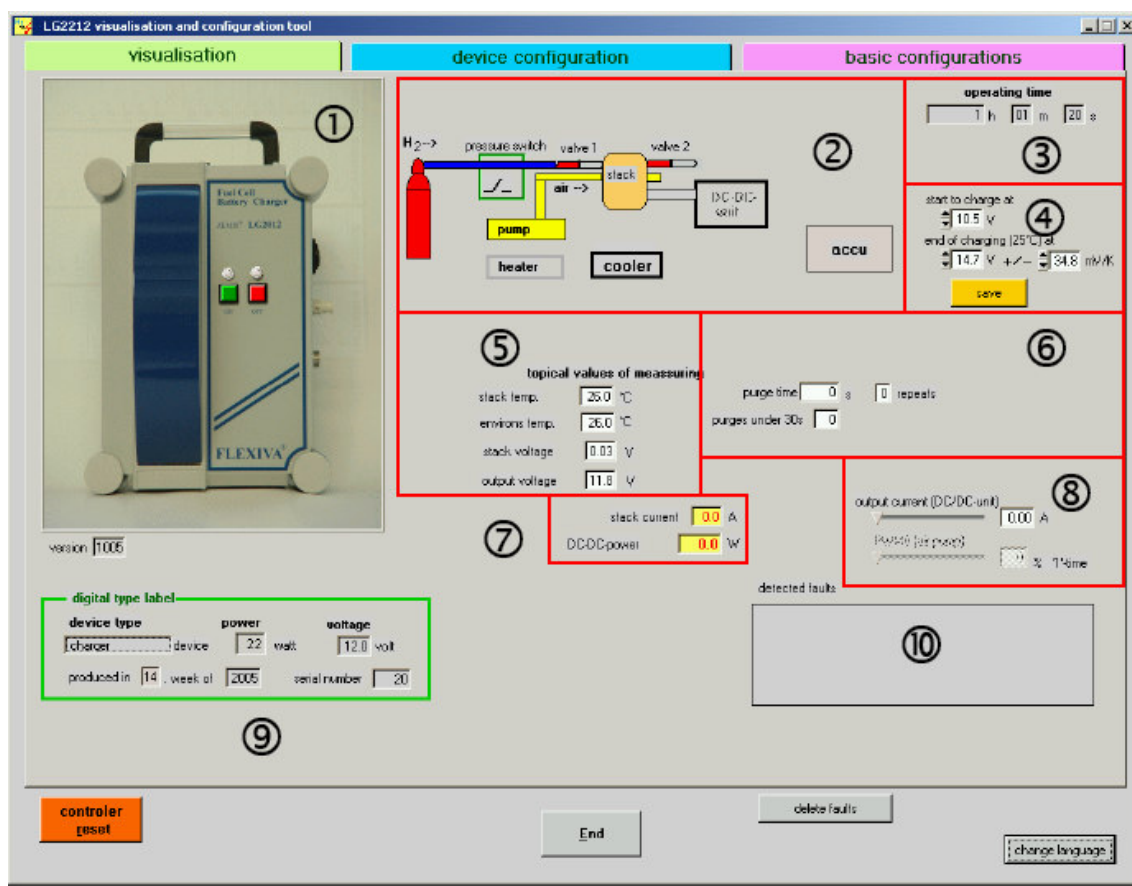
A készülékben  $3 \times 26 \text{ cm}^2$  cellák helyezkednek el, a 3.0-ás minőségű hidrogén 2-10Pa nyomáson kerül a rendszerbe, levegő befújással a cellákból energia /hő és elektromos/ keletkezik, valamint desztillált víz.

Egyéb információk, további tüzelőanyag cellás készülékek (FC-System 20/40W outdoor, FC-System 300W indoor stb. ) a gyártó honlapján található. [www.flexiva.de](http://www.flexiva.de)

## 4.2 A mérés bemutatása

### 4.2.1 Mérés leírása:

A készülék telepítő CD-jén lévő software-el az RS232 kommunikációs proton lehetőség nyílik a számítógép és a készülék közötti adatátvitelre. Az alábbi képen a software főbb ablakai láthatók.



1. Készülék képe
2. Sematikus rajz a készülék felépítéséről
3. Működési időtartam számláló
4. Töltési határok beállítása
5. Pillanatnyi értékek / cellafeszültség, cellahőmérséklet/
6. Tisztítás kijelző ablak
7. Kalkulált értékek /cella teljesítmény, cella áram/
8. Pillanatnyi töltőáram
9. Digitális értékek ablaka
10. Információs ablak

#### 4.2.2 Méréshez felhasznált eszközök:

- LG 2212 tüzelőanyag cellás akkutöltő
- Zselés ólomakkumulátor /40Ah/
- Hidrogén /3.0-ás minőség 2-10 bar nyomás/
- Személyi számítógép
- Mérőedény
- Egyéb vezetékek, kábelek csatlakozók

#### 4.2.3 Mérés összeállítása:

1. Az RS 232 kommunikációs port (2) csatlakoztatása a PC-hez
2. A hidrogén csatlakozási pont(3) összekötése a hidrogén palackkal és a nyomás beállítása
3. Akku csatlakoztatása (5)
4. Mérőedény felhelyezése a készülékre
5. Software elindítása



A készülék mind a software-el mind a készüléken lévő gombokkal indítható, leállítható. Az indulást követően a mért eredmények jegyzetelhetők, de a software is képes tárolni azokat a beállításoknak megfelelően. Töltés alatt a zöld led villog, a piros led a hűtési fázisban, és hiba esetén jelez.

### 4.3 Mérés célja:

Az LG2212T1 tüzelőanyag cellás akkumulátortöltő egy töltési periódusban való névleges feszültség, áram, teljesítmény mérése, keletkező desztillált víz mennyiségének meghatározása, hőmérsékletek vizsgálata.

#### 1. mérés: Bekapcsolástól folyamatosan meghatározott periódusonként a töltőáram és a teljesítmény mérése.

A cellafeszültség és a töltőáram állandónak tekinthető, míg a cellateljesítmény - áram kismértékben ingadozik. Készítsen erről diagrammot!

#### 2. mérés: Hatásfok számítás a keletkező desztillált víz mennyiségének mérésével

Számítsa ki a cella és a készülék hatásfokát!

Hatásfokot többféleképpen számolhatjuk. A legegyszerűbb módszer, ha a távozó víz tömegéből kalkuláljuk ki a felhasznált hidrogén - primer energiaforrás - mennyiségét.

A betáplált hidrogén és a kimenő víz hőmérsékletkülönbségét nem vesszük figyelembe, és a gőzzel s egyéb módon távozó hidrogén mennyiségét elhanyagoljuk.

Mindezek alapján meghatározhatjuk számolással az általunk mért mennyiségekből a készülék hatásfokát.

A hidrogén relatív atomtömege: 1,00794

Az oxigén relatív atomtömege: 15,9994

A vízmolekulát alkotó elemek (H<sub>2</sub>O) tömegeloszlása alapján a hidrogén súlya a 1/9-e a teljes folyadék súlyára viszonyítva.

$$m_{H_2} = m_{\text{óránként}} \cdot \frac{1}{9}$$

A Hidrogén égéshője  $H_f = 119 \text{ MJ/kg}$ .

$$E_{fel} = H_f \cdot m_{H_2}$$

A cella teljesítményre vonatkozó mérésekből látható az ingadozó érték, amelyeknek átlaga  $P_{\text{átl}}$ , ami átszámítva:

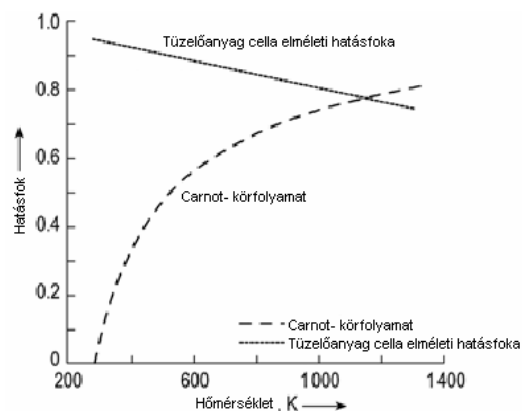
$$E_{le} = P_{\text{átl}} \cdot 3600s$$

Ami alapján a cella hatásfoka:

$$\eta = \frac{E_h}{E_{fel}}$$

A megadott gyári adatok alapján a készülék kimeneti teljesítménye 20Wh, valamint 72kJ. Ez alapján számítható a villamos hatásfok. A mérésekből és a számításból egyértelműen kitűnik, hogy az általunk üzemeltetett tüzelőanyag cellával magasabb hatásfok érhető el ugyanazon

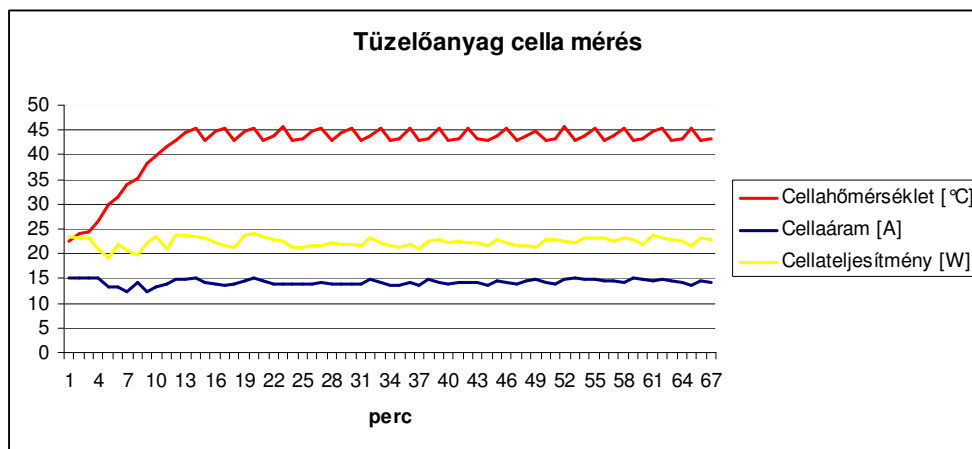
hidrogén mennyiség felhasználásával, mintha ezt gázturbinában égetnék el, s ez által termelnék villamos energiát. Ennek az a magyarázata, hogy a gázturbinában szokásos hőmérsékleti viszonyok mellett a Carnot- körfolyamat miatt az elméletileg elérhető maximális hatásfok mindössze 30% -50%.



Carnot- Körfolyamat és a Tüzelőanyag cella elméleti hatásfokának változása a hőmérséklet függvényében.

### 3. mérés: Cellák hőmérséklet változásának alakulásának vizsgálata.

Határozza meg a bemelegedési időt, illetve az üzemi hőmérsékletet!



#### 4.4 Mérés kiértékelése:

A cellahőmérséklet 10 perc alatt eléri az üzemi hőmérsékletet, a hűtőventillátor 45,3°C-on kapcsol be és körülbelül 1 perc alatt le is hűti 42,8°C-ra.

Az 1 órás mérés alatt 16-szor kapcsolt be és ki a ventilátor, ami a diagramban is jól látható.

A cellafeszültség és a töltőáram állandónak tekinthető, míg a cellateljesítmény - áram kismértékben ingadozó volt.

Nagyon fontos az akkumulátor töltöttségi állapota. Elegendő töltöttség kell a tüzelőanyag cella elindításához, mert különben az alacsony feszültség miatt leáll az indulás alatt. Leállás a következménye a túl kicsi kapacitású akkumulátor alkalmazásának is, mert gyorsan töltődik, és hamar eléri a maximális feszültséget.