

Šolski center Celje
Poklicna in tehniška elektro in kemijska šola

Uporaba gorivnih celic

Raziskovalna naloga

Mentor:
Metod TRUNKL, uni. dip. inž.

Avtor:
Tomaž METULJ, E-4.a

Celje, januar 2006

Povzetek:

Raziskovalna naloga zajema začetke gorivnih celic in njihov zgodovinski razvoj. V nadaljevanju so predstavljene posamezne vrste gorivnih celic in problemi, ki se pojavljajo pri njihovem delovanju. Sledi kemijski izračun energije, ki nastane pri delovanju in izkoristek gorivnih celic. Sedmo poglavje zajema proizvodnjo in shranjevanje vodika, ki je najosnovnejšo gorivo za delovanje gorivnih celic. Prav shranjevanje vodika predstavlja največji problem pri razvijanju gorivnih celic. Osmo poglavje je bistvo celotne raziskovalne naloge in raziskuje kje vse se lahko uporabljamgorivne celice. Tako od podmornic, minielektrarn do računalništva.

Kazalo vsebine

<u>Povzetek:</u>	2
<u>Kazalo vsebine</u>	3
<u>Kazalo slik, tabel in grafov</u>	4
<u>1. Uvod</u>	5
<u>2. Hipoteza</u>	6
<u>3. Začetki gorivnih celic</u>	7
<u>3.1. Zgodovinski pregled uporabe gorivnih celic</u>	8
<u>4. Delovanje gorivne celice</u>	9
<u>5. Vrste gorivnih celic</u>	10
<u>5.1. PEMFC</u>	11
<u>5.2. SOFC</u>	12
<u>5.3. AFC</u>	12
<u>5.4. PAFC</u>	13
<u>5.5. MCFC</u>	13
<u>5.6. SPF</u>	14
<u>6. Izkoristek in energija gorivne celice</u>	14
<u>6.1. Energija in napetost</u>	14
<u>6.2. Izkoristek gorivne celice</u>	15
<u>6.3. Realni izkoristek</u>	15
<u>7. Vodik</u>	16
<u>7.1. Pridobivanje vodika</u>	16
<u>7.1.1. Elektroliza vode</u>	17
<u>7.1.2. Elektroliza vodne raztopine kalijevega hidroksida (KOH)</u>	17
<u>7.1.3. Membranska elektroliza vode</u>	17
<u>7.1.4. Elektroliza vodne pare</u>	18
<u>7.1.5. Parni reforming</u>	18
<u>7.1.6. Cepitev vode pri visokih temperaturah</u>	18
<u>7.1.7. Biološki način pridobivanja vodika</u>	18
<u>7.2. Shranjevanje vodika</u>	19
<u>7.2.1. Intermetalne zlitine</u>	19
<u>7.2.2. Kvazikristali</u>	19
<u>8. Uporaba gorivnih celic</u>	20
<u>8.1. Osebna vozila</u>	20
<u>8.2. Ostala vozila</u>	22
<u>8.3. Uporaba gorivnih celic za sisteme ogrevanja</u>	23
<u>8.3.1. Evropski projekt raziskovanja kotlov na gorivne celice</u>	23
<u>8.3.2. Kombinacija kotla na gorivne celice in vršnega kotla</u>	25
<u>8.4. Domače elektrarne</u>	26
<u>8.4.1. Primer uporabe</u>	26
<u>8.5. Agregat električne energije na gorivne celice za hišno uporabo</u>	27
<u>8.6. Minielektrarne</u>	28
<u>8.7. Računalništvo</u>	29
<u>9. Zaključek</u>	30
<u>10. Zahvala</u>	31
<u>11. Uporabljena literatura</u>	32

Kazalo slik in tabel

<u>SLIKA 1</u> :	7
<u>SLIKA 2</u> :	7
<u>SLIKA 3</u> :	9
<u>SLIKA 4</u> :	11
<u>SLIKA 5</u> :	12
<u>SLIKA 6</u> :	13
<u>SLIKA 7</u> :	17
<u>SLIKA 8</u> :	18
<u>SLIKA 9:</u>	21
<u>SLIKA 10</u> :	21
<u>SLIKA 10 B:</u>	21
<u>SLIKA 11</u> :	22
<u>SLIKA 12</u> :	22
<u>SLIKA 14</u> :	25
<u>SLIKA 15:</u>	26
<u>SLIKA 16:</u>	27
<u>SLIKA:17</u> :	27
<u>SLIKA 18</u> :	27
<u>SLIKI 19 IN 20</u> :	28
<u>SLIKA 21IN 22</u> :	29

<u>TABELA 1:</u>	10
<u>TABELA 2:</u>	14
<u>TABELA 3:</u>	16
<u>TABELA 4:</u>	26
<u>TABELA 5:</u>	28

1. Uvod

V današnjem svetu igra električna energija zelo pomembno in odločilno vlogo. Elektrika se pojavlja na vseh področjih našega življenja in ustvarjanja. Njenega pomena se zavemo šele tedaj, ko nas pusti na cedilu in smo prisiljeni ždati v temi in tišini. Dejstvo je, da brez električne energije ne znamo več živeti.

Vendar proizvodnja prinaša nemalo težav. Velik del električne energije se proizvede iz fosilnih goriv, ki pa imajo zelo negativen vpliv na življenje na zemlji. Prav tako pa so fosilna goriva v končnih količinah, kar pomeni da jih bo ob njihovi intenzivni porabi kmalu zmanjkalo.

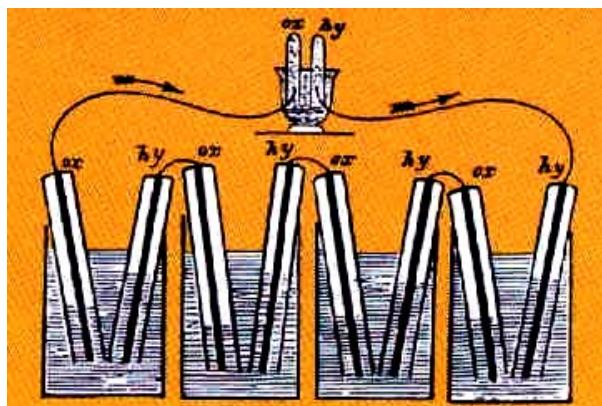
Prav iz tega razloga potekajo raziskave in projekti v smeri manjše odvisnosti od fosilnih goriv. Ena od možnosti so tudi gorivne celice, ki so ekološko popolnoma neoporečne, vendar je njihova uporaba še v povojih zaradi visoke cene in nepoznavanja.

2. Hipoteza

Že pred nekaj leti so bili predstavljeni prvi prototipi enot z gorivnimi celicami, ki so bili namenjeni široki uporabi. Moja hipoteza je, da so gorivne celice prodrle na trg in se jih čedalje več uporablja na področjih, za katere so bili izdelani prototipi.

3. Začetki gorivnih celic

Prva omemba gorivne celice, takrat pod imenom *plinska baterija*, sega v leto 1839, ko jo je Anglež William Grove predstavil članom Royal Societi v Londonu. Že ime pove, da je gorivna celica baterija, ki namesto raztopljanja elektrod uporablja plin. Prikazal je kako lahko z zgorevanjem vodika pridobivamo električno energijo. Kot reagenta je uporabil vodik in kisik v kombinaciji z žvepleno kislino, kot produkta pa sta nastala voda in enosmerna električna energija.

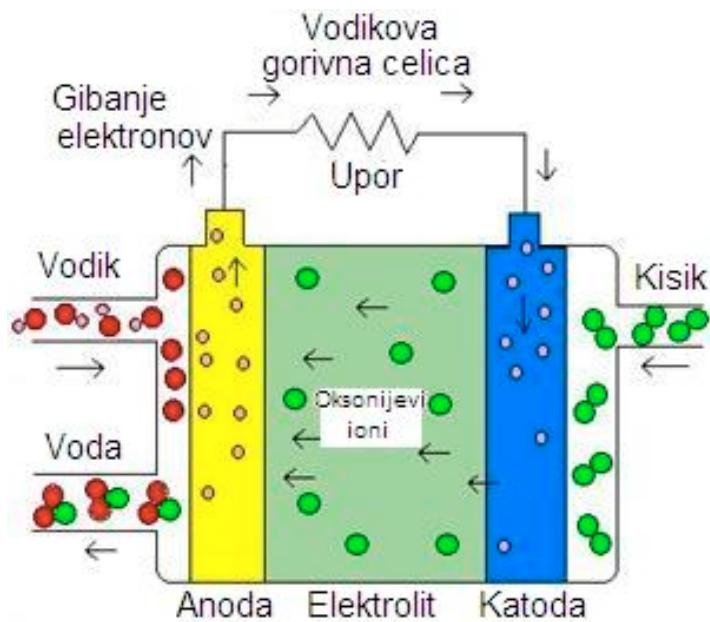


SLIKA 1:

S to napravo je William Grove pojasnil delovanje gorivne celice. Vodik in kisik se nahajata v cevkah nad posodo z žvepleno kislino v katerih so potopljene elektrode iz platine. Vodik in kisik reagirata z žvepleno kislino, kot produkt pa nastaneta voda in el. napetost, ki poganja el. tok do zgornje posode kjer poteka elektroliza vode.

Izraz gorivna celica sta prvič uporabila Ludwig Mond in Charles Langer šele leta 1889. Prva trajno delujoča gorivna celica pa je plod dela Francisa Bacona, ki jo je izdelal slabih stolet pozneje in sicer leta 1932.

Zavedal se je, da uporaba platine kot katalizatorja ne bo prinesla splošne uporabe zaradi visoke cene le te. Zato je namesto platine uporabil cenejši nikelj, hkrati pa je moral uporabiti manj koroziven elektrolit (vodna raztopina KOH).



SLIKA 2:

Izvedba člena vodik/kisik, ki ga po odkritelju imenujemo tudi **Baconov člen**.

3.1. Zgodovinski pregled uporabe gorivnih celic

1839 – William Grove razvije napravo, ki je sestavljena iz 26 celic in deluje na elektrokemičnem principu, kot produkt pa nastaneta voda in el. napetost. To napravo poimenuje *plinska baterija*.

1890 – W. Oswald objavi delo, ki pojasni osnovni fizikalno-kemični princip delovanja gorivne celice.

1911 - Bauer in Ehrenberg sestavita gorivno celico, katere gorivo predstavlja ogljikova palica, ki kot anoda pošilja v raztopino C^{4+} ione. Potrebna obratovalna temperatura znaša 1000-1100 °C. Elektrolit je raztopljena sol. Na katodi, raztaljenem srebru, na katerega sproti vpihavamo kisik, nastajajo O^{2-} ioni.

1932 - Francis Bacon razvije H_2/ O_2 gorivno celico.

1952 - Bacon razvije skupaj s sodelavci Cambridgske univerze gorivno celico s 5 kW izhodne električne moči.

1952 - Harry Karl Ihrig razvije traktor z močjo 15 kW, ki ga poganjajo gorivne celice.

1959 - Razvito je prvo osebno vozilo, s pogonom na gorivne celice.

1950/1960 - Ameriška vesoljska agencija NASA razvija tehnologijo gorivnih celic za uporabo v vesoljskih plovilih. Vesoljski misiji Gemini in Apollo uporabljata gorivne celice, kot primarni vir električne energije v vesoljskih plovilih.

1970 - Zaradi nastopa naftne krize se pojavi velike investicije kapitala v razvoj gorivnih celic (ZDA, Nemčija).

1980 - NASA nadaljuje z uporabo gorivnih celic kot vira električne energije tudi v programu Space Shuttle.

1993 - Izdelan je prvi avtobus, ki ga poganjajo gorivne celice.

1997 - Toyota in Daimler-Chrysler predstavita prototip osebnega avtomobila, ki ga poganjajo gorivne celice.

1999 - Koncern Daimler-Chrysler predstavi vozilo za prevoz potnikov, s pogonom na gorivne celice, ki ne povzroča škodljivih vplivov na okolje.

4. Delovanje gorivne celice

Obstaja več vrst gorivnih celic, vse pa delujejo na istem principu

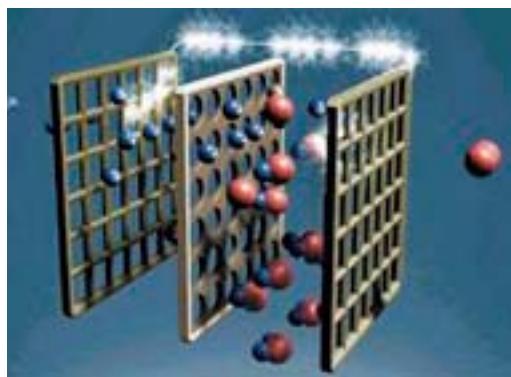
Polimerno-membranske (polymer electrolyte membrane – PEM) so najenostavnnejše in na podlagi njih bom prikazal delovanje gorivnih celic.

Na ogljikovo anodo pod pritiskom dovajamo plinast vodik, ki zaradi platine, ki je nanešena na elektrodo, odda svoj elektron. Ostane proton, ki mu posebna polimerna membrana omogoča prehod skozi elektrolit do katode. Za razliko od protona pa elektronu ne omogoča prehoda skozi elektrolit, zato se elektron giblje po vodniku skozi porabnik do katode, kar se odraža kot električni tok.

Na katodo dovajamo pod pritiskom kisik, ki se skupaj s protonom in elektronom reagirajo v vodo. Poleg vode nastane še toplosta.

Ena sama celica daje napetost 0,7 volta, tako da je potrebno združiti več celic zaporedno v celični blok, da dobimo normirano napetost.

Ta celica ima relativno velik izkoristek 50% v primerjavi z bencinskim motorjem, ki redko preseže 20%.



SLIKA 3:

Rdeče kroglice predstavljajo kisik, modre pa vodik. Vodik na elektrodi odda elektron in potuje skozi membrano, kjer reagira skupaj s kisikom in elektronom v vodo.

Elektron se giblje po zunanjem tokokrogu do druge elektrode, kjer reagira z vodikom in kisikom v vodo.

5. Vrste gorivnih celic

Za pretvorbo kemične energije vodika v druge oblike energije obstaja več poti. Ena najbolj učinkovitih je direktna pretvorba kemične energije goriva v električno in toplotno energijo z elektrokemičnimi členi na gorivo, t. i. gorivnimi celicami.

Poznanih je več tipov gorivnih celic. V spodnjih tabelah so razvrščene **po vrsti elektrolita**, ki ga uporabljajo, in po **temperaturi**, pri kateri obratujejo.

- **AFC** - Alkaline Fuel Cell (alkalna gorivna celica);
- **PEMFC** - Proton Exchange Membrane Fuel Cell (gorivna celica s protonsko prevodno membrano);
- **PAFC** - Phosphoric acid fuel cell (gorivna celica s fosforno kislino);
- **MCFC** - Molten carbonates fuel cell (gorivna celica s taljenimi karbonati);
- **SOFC** - Solid oxide fuel cell (oksidna gorivna celica);
- **SPFC** - Solid Polymer fuel cell (gorivna celica s trdimi pololimeri)

Tabela 1:

Tip	Elektrolit	Gorivo	Nosilec naboja	Delovna Temp. [°C]	Izkoristek	Uporaba
AFC	raztopina KOH	vodik	OH^-	50-90	60%	vesoljska plovila
PEMFC	polimerna membrana	vodik	H^+	50-95	50%	podmornice, avtomobili
PAFC	H_3PO_4	zem.plin, metanol	H^+	190-210	40%	toplарне
MCFC	$\text{Li}_2\text{CO}_3/\text{K}_2\text{CO}_3$	zemeljski plin	CO_3^{2-}	630-700	65%	elektrarne, toplарне
SOFC	ZrO_2 stab. z Y	zem.plin, alkoholi	O_2^-	900-1000	50%	elektrarne, toplарне
SPFC	trden polimer	vodik, metanol	H^+	90-110	45-60%	vozila, elekt. majhnih moči

5.1. PEMFC

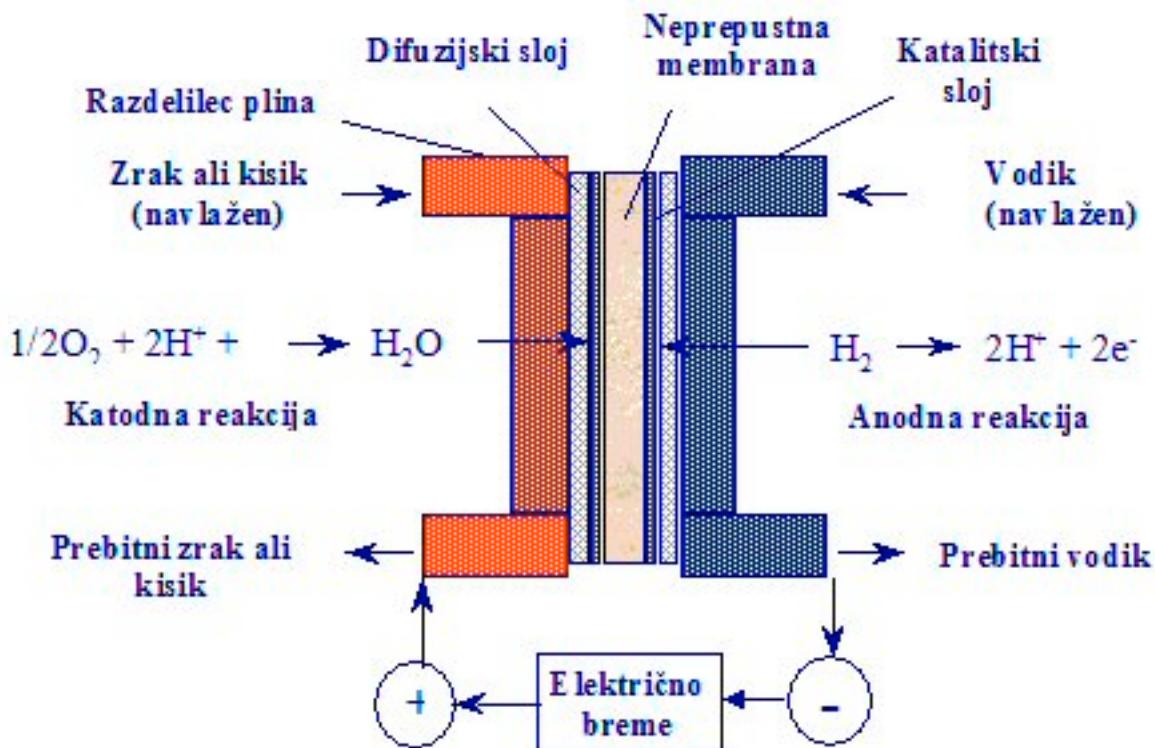
Med vsemi tipi gorivnih celic najpogosteje srečamo PEM gorivne celice, verjetno zato, ker jih je relativno enostavno narediti in so tudi najpogosteje uporabljene za različne namene.

Te nizkotemperaturne celice delujejo pri temperaturah med 4 in 90 °C in pri tlaku med 3 in 5 bari. Gorivo je čist vodik oksidant pa kisik ali zrak. Celica deluje le, če membrana vsebuje dovolj vode, ki ji zagotavlja protonsko prevodnost.

Princip delovanja

Osnovna enota gorivne celice je sestavljena iz pozitivne elektrode (katode) in negativne elektrode (anode), med katerima je umeščen ionski prevodnik (elektrolit). Plinsko-difuzijski elektrodi sta običajno sestavljeni iz difuzijskega sloja in iz katalitskega sloja. Difuzijski sloj je tanek porozni material (blago iz ogljikovih vlaken ali ogljikov papir), ki zagotavlja enakomerno porazdelitev plinskih reaktantov (vodika ali kisika) po površini katalitskega sloja elektrode. Ta je sestavljen iz mikroporoznega sloja, v katerem je glavna komponenta katalizator, močno dispergirana kovina na nosilcu (običajno Pt na aktivnem oglju). Na stiku treh faz v katalitskem sloju (plina, elektrolita in katalizatorja) potekajo osnovne elektrokemične reakcije, ki omogočajo pretvorbo spremembe proste entalpije reakcije med gorivom in oksidantom v električni tok. Za pline neprepustna protonsko prevodna membrana omogoča transport protonov od anode h katodi, električno prevodne komponente v katalitskem sloju in difuzijskem sloju (aktivno oglje in ogljikova vlakna) pa omogočajo transport elektronov po zunanjem tokokrogu preko električnega bremena.

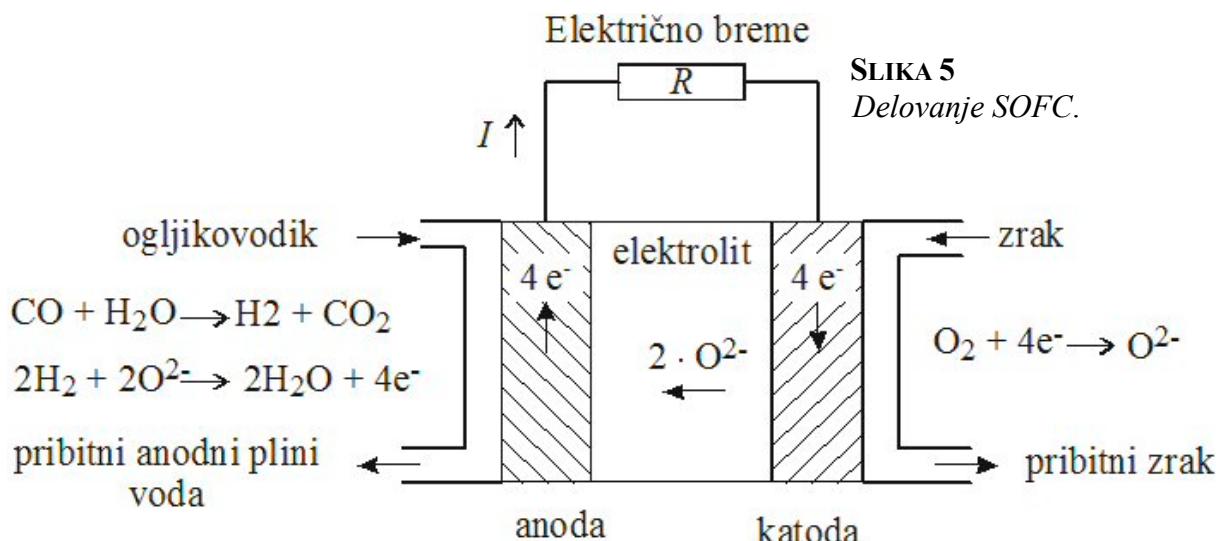
SLIKA 4: PEM gorivna celica



5.2. SOFC

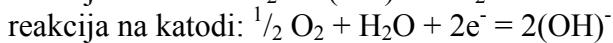
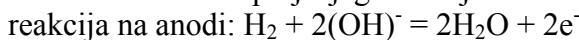
Princip delovanja oksidnih gorivnih celic je zelo podoben delovanju PEM gorivnih celic, le da imamo drugačen ionski tok, zaradi česar se razlikujejo reakcije na elektrodah. Delujejo pri bistveno višjih temperaturah ($900\text{-}100^{\circ}\text{C}$). Pri tako visokih temperaturah ne potrebujemo dragih katalizatorjev za sprožitev elektrokemičnih reakcij.

Kot gorivo lahko uporabljamo kar ogljikovodike, saj se dekompozicija goriva izvaja neposredno na anodi pri visoki temperaturi (t.i.m. »internal reforming«), brez ločenega reformerja (procesorja za gorivo). Izkoristek pretvorbe je zaradi direktne dekompozicije goriva na anodi dober tudi pri uporabi fosilnih goriv ali goriv pridobljenih iz biomase. Ogljikov monoksid pri reakciji ne nastopa kot element, ki zastruplja celico, ampak kot gorivo.



5.3. AFC

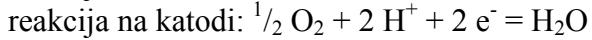
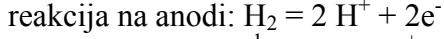
Alkalne gorivne celice delujejo s čistim vodikom in kisikom in dosežejo električni izkoristek do 60%. Elektrolit je v večini primerov KOH (kalijev hidroksid). Razvite so bile v petdesetih in šestdesetih letih prejšnjega stoletja za vesoljska plovila.



Te celice delujejo pri nizkih temperaturah ($<120^{\circ}\text{C}$). Problem pri delovanju predstavlja reakcija med elektrolitom in CO₂, ki se nahaja v zraku. Nastaja namreč kalijev karbonat, ki maši porozne elektrode in zmanjšuje učinkovitost delovanja. Zato moramo kot oksidant uporabljati čisti kisik. Za katalizator uporabljamo platino, kar močno podraži izvedbo gorivnih celic.

5.4. PAFC

Večje enote gradijo izključno iz fosforno kislinskih gorivnih celic ki so v tem trenutku tudi edine komercialno dosegljive; dosegajo izkoristke do 40% in delujejo pri temperaturah od 180 do 200°C. Njihova prednost je, da niso tako občutljive na prisotnost CO₂ (do 5%), zato lahko v procesu uporabljamo vodik, ki ga v celici pridobivamo iz metanola ali zemeljskega plina, kot okisidant pa zrak. Njihova slabost je, da potrebujejo dolg zagonski čas - do 5 ur.



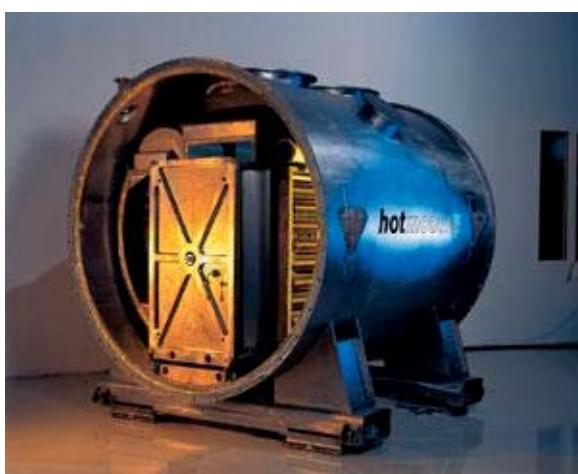
Tako pri alkahlih, kot tudi pri fosfor kislinskih gorivnih celicah uporabljamo kot katalizator drage materiale - na primer platino.

5.5. MCFC

Gorivne celice s staljenim karbonatom. Celice uporabljajo kot elektrolit alkalne kovinske karbonate (Li, K, Na). Ker lahko soli delujejo kot elektroliti samo v tekoči fazi, je delovna temperatura celic med 600 in 700°C, kar je nad temperaturo tališča omenjenih snovi.



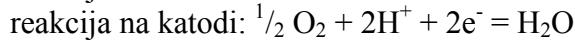
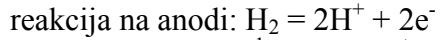
Zaradi visokih temperatur ni potrebna uporaba dodatnih katalizatorjev. Kot gorivo se uporabljajo zemeljski plin in ogljikovodiki, ki jih uvajamo direktno v gorivno celico brez dodatne zunanje kemijske razgradnje, kot na primer pri fosfor kislinskih gorivnih celicah. Staljeni alkalni kovinski karbonati so zelo korozivni, zato pri teh celicah pogosto prihaja do težav s tesnenjem. Pri delovanju t. i. "vročega modula" visokih temperatur okoli 650°C se vroči plini in para lahko uporabijo za sekundarno proizvodnjo električne energije - podobno kot pri kombiniranem procesu s plinsko turbino. Pričakovani izkoristki takšnih elektrarn so nad 65%. V primerjavi s klasično termoelektrarno predstavlja to skoraj dvakratno povečanje proizvodnje električne energije.



SLIKA 6: MC gorivna celica.

5.6. SPFC

V gorivnih celicah s trdnimi polimeri uporabljamo kot elektrolit tanek sloj polimera, v obliki tankih trakov. Te celice delujejo pri nizkih temperaturah (100°C) in imajo zelo kratek zagonski čas. Edina kapljevina v celici je voda. Izkoristek teh celic je med 45 in 60%. Ker ne vsebujejo jedkih snovi in prenesejo velike razlike v tlakih imajo dolgo življensko dobo. Posebej primerne so za uporabo v električnih avtomobilih in avtobusih.



6. Izkoristek in energija gorivne celice

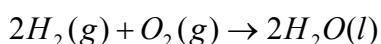
6.1. Energija in napetost

Tabela 2 prikazuje število molov [n] in k tem pripadajočo spremembo standardne reakcijske entalpije [ΔH^0] in spremembo standardne proste entalpije [ΔG^0]. V zadnjem stolpcu pa je podan standarden elektrodnji potencial [E^0].

Tabela 2:

Gorivo	n	$-\Delta H^0[\text{kJ/mol}]$	$-\Delta G^0[\text{kJ/mol}]$	$E^0[\text{V}]$
vodik	2	286	237,3	1,229
metan	8	890,8	814,4	1,06
propan	20	2221,1	2109,3	1,093
metanol	6	726,6	702,5	1,214

Največje teoretično možno delo, ki ga dobimo na 1g porabljenega vodika, lahko izračunamo iz standardne enačbe proste entalpije za reakcijo v Baconovem členu:



Iz tabele 2 sledi, da je:

$$\Delta G = 2 \times -237,2 \text{ kJ mol}^{-1} = -474,4 \text{ kJ mol}^{-1}$$

Ob porabi 2 molov H_2 ali 4g vodika je na voljo pri standardnih pogojih največ 474kJ električnega dela. Pri procesu nastane 36g vode kot odpadni produkt.

Standarden elektrodnji potencial Baconovega člena lahko izračunamo po enačbi

$$E^0 = \frac{-(-474,4 \times 10^3 \text{ J mol}^{-1})}{4 \times 9,65 \times 10^4 \text{ C mol}^{-1}} = +1,23 \text{ V}$$

Iz slednje enačbe je razvidno, da je standarden elektrodnji potencial odvisen od vrste goriva.

6.2. Izkoristek gorivne celice

Razlika med spremembo standardne reakcijske entalpije ΔH^0 in med spremembo standardne proste entalpije ΔG^0 predstavlja toploto ($T\Delta S$), ki se proizvede v gorivni celici kot stranski produkt.

$$\Delta H^0 - \Delta G^0 = T\Delta S$$

Tako lahko zapišemo termodinamični izkoristek gorivne celice, ki pretvarja kemično energijo v električno energijo kot:

$$\eta_t = \frac{\Delta G^0}{\Delta H^0} = \frac{237,3 \text{ kJ mol}^{-1}}{286 \text{ kJ mol}^{-1}} = 0,8297, \text{ oziroma } 82,97\%.$$

Največja možna dejanska energija, ki jo lahko dobimo, torej znaša:

$$\Delta G \times \eta_t = 474,4 \text{ kJ mol}^{-1} \times 0,8297 = 393,6 \text{ kJ mol}^{-1}$$

6.3. Realni izkoristek

Pri delovanju gorivne celice ne moremo zagotavljati vseskozi normalnih pogojev. Zaradi teh sprememb se spremeni standardni elektrodnji potencial, zato govorimo o elektrodnom potencialu [E] v gorivni celici. Razlika predstavlja izgube električne napetosti.

Električni tok, tako elektronski kot ionski, povzroča še **aktivacijske, ohmske in koncentracijske izgube**, ki vplivajo na znižanje elektrodnega potenciala.

Ohmske izgube predstavljajo padec napetosti v elektrodah in padec napetosti v elektrolitu. Zanje velja ohmov zakon: $\Delta U = I(R_{\text{elektrod}} + R_{\text{elektrolita}})$. Kjer predstavlja ΔU padec napetosti, I tok skozi gorivno celico in R_{elektrod} upornost elektrod ter $R_{\text{elektrolita}}$ upornost elektrolita. Ohmske izgube lahko zmanjšamo z zmanjševanje razdalje med elektrodama in povečevanjem prevodnosti elektrolita. Pojavlajo se skozi celotno območje delovanja, vendar so izrazitejše pri velikih gostotah tokov saj težje zagotavljamo dotok reaktantov do mest poteka reakcije.

Aktivacijske izgube predstavljajo izgube električne napetosti, ki so povezane s stopnjo elektrokemične reaktivnosti. Pojavlajo se v območjih nizkih gostot električnega toka in se povečujejo proporcionalno z gostoto električnega toka.

Koncentracijske izgube predstavljajo izgubo napetosti, ki se pojavi pri prenosom snovi, predvsem zaradi upočasnjevanja difuzije v pore elektrod v plinasti fazi in raztopljanjem reaktantov in produktov v elektrolitu.

Končni izkoristek ob upoštevanju vseh dejavnikov znaša nekje med 35 in 65%. Če gorivne celice izkoriščamo kogeneracijsko, kar pomeni, da izkoristimo tudi toploto, ki nastane pri delovanju, je izkoristek nekje med 85 in 90%. Napetost, ki jo je sposobna gorivna celica zagotavljati znaša med 0,5 in 0,9V, pri gostoti električnega toka med 100 in 400 mA cm^{-2} .

7. Vodik

Vodik je najpogostešji element v vesolju. V primerjavi s fosilnimi gorivi je ima mnogokrat večjo energijsko vrednost, kar prikazuje tabela 3. Za razliko od fosilnih goriv je ekološko neoporečen, saj njegova proizvodnja in poraba v pravilni obliki ne onesnažuje okolja z nevarnimi emisijami. Pri elektrolizi nastopa kot stranski produkt kisik, pri PEM gorivni celici pa voda.

Na zemlji najdemo vodik v elementarnem stanju, v večjih količinah, samo v višjih plasteh ozračja. Od vodikovih spojin pa je najbolj razširjena voda, ki prekriva kar tri četrtine zemeljskega površja. V vodi je 11,19 masnih odstotkov vodika, torej so njegove količine nepredstavljivo velike. Če upoštevamo, da je stranski produkt PEM gorivne celice voda, to pomeni, da kolikor vode porabimo za izdelavo vodika, toliko je dobimo nazaj. Skratka vodika imamo za neomejeno obratovanje gorivnih celic, ki kot gorivo uporabljajo vodik.

Iz tabele 1 je mogoče razbrati, da tipi gorivnih celic, ki so primerni za vozila delujejo na vodik. Zato sem se v tem poglavju posvetil pridobivanju in shranjevanju vodika.

Tabela 3 pa prikazuje nekatere lastnosti goriv.

Tabela 3:

Gorivo	Vsebnost H ₂ (%)	Kalorična vrednost (MJ/kg)	Emisija delcev (g/MJ)	Relativna emisija CO ₂
Les (suh)	5	16,0	2,25	100
Premog	50	23,2	2,15	31
Nafta	67	44,2	0,08	21
Zemeljski plin	80	52,3	<10-5	15
Vodik	100	141,8	0,0	0

7.1. Pridobivanje vodika

Vodik lahko pridobivamo iz nekaterih njegovih spojin ter z različnimi postopki.

V nadaljevanju je prikazanih nekaj postopkov in sicer:

- elektroliza vode
- elektroliza vodne raztopine kalijevega hidroksida
- membranska elektroliza vode
- elektroliza vodne para
- parni reforming
- cepitev vode pri visokih temperaturah
- biološki način pridobivanja vodika

7.1.1. Elektroliza vode

Elektrolizna celica je podobna galvanskemu členu, le da je v tokokrog vključen zunanji vir napetosti. Elektrolizno celico sestavljata dve inertni kovinski elektrodi (platinasti ali zlati), nameščeni v kad v kateri je voda.

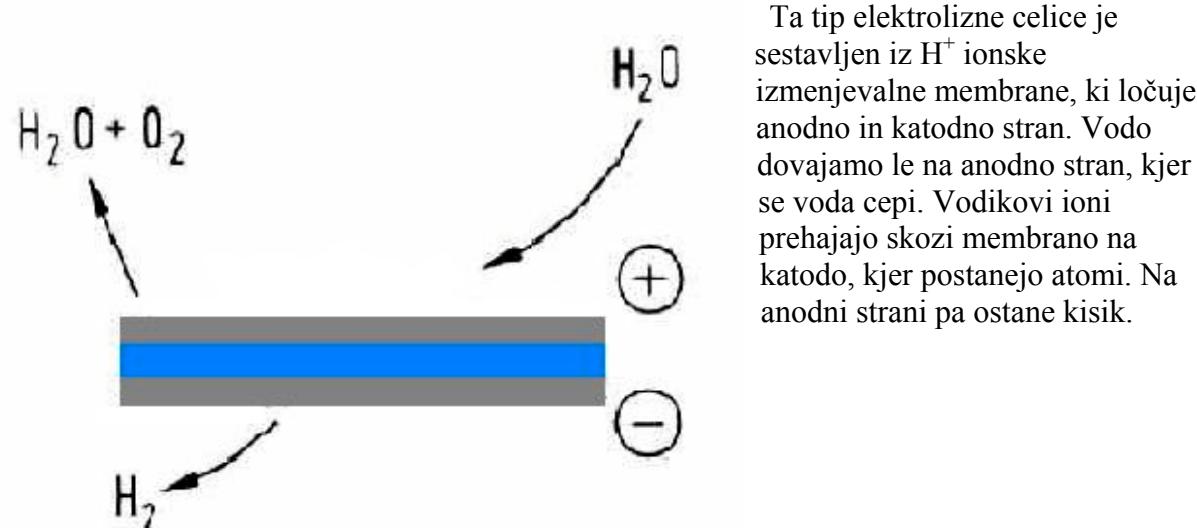
Pri elektrolizi je katoda negativni pol in anoda pozitivni pol člena. Enosmerna napetost vzpostavi med katodama električno polje, ki razbija molekule vode na katione in anione. Vir napetosti pošilja elektrone na katodo, kjer jih sprejemajo kationi, ki so ob elektrodi. Na anodi anioni oddajajo elektrone, ki se potem vračajo nazaj v vir napetosti.

Na katodi se sprošča vodik na anodi pa kisik. Vodik potem odvajamo v zbiralnik vodika.

7.1.2. Elektroliza vodne raztopine kalijevega hidroksida (KOH)

Pri tej vrsti elektrolize je v celici običajno okoli 30% raztopina kalijevega hidroksida (alkalni medij povzroča manj korozjskih problemov), elektrodi pa sta ločeni z membrano. Električni tok povzroči, da se pozitivno nabiti ioni selijo na negativno nabito katodo, kjer se reducirajo do vodikovih atomov. Ti atomi se nato spajajo v vodikove molekule (H_2). Podobno se tvorijo tudi molekule kisika (O_2) na pozitivno nabiti anodi. Za elektrode uporabljam kemijsko inertne (nereaktivne) prevodnike (npr. nikelj), ki niso podvrženi koroziji. Ločilna membrana omogoča prehod ionov, zadržuje pa nastale vodikove in kisikove mehurčke, ter preprečuje mešanje obeh produktov in nastanek eksplozivne zmesi.

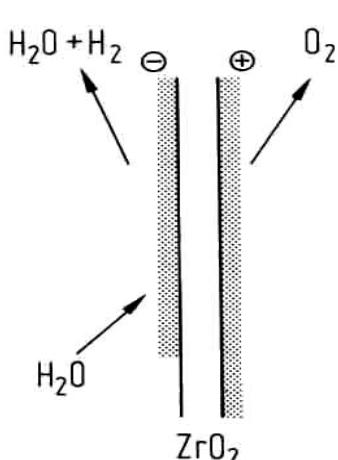
7.1.3. Membranska elektroliza vode



Ta tip elektrolizne celice je sestavljen iz H^+ ionske izmenjevalne membrane, ki ločuje anodno in katodno stran. Vodo dovajamo le na anodno stran, kjer se voda cepi. Vodikovi ioni prehajajo skozi membrano na katodo, kjer postanejo atomi. Na anodni strani pa ostane kisik.

SLIKA 7: Membranska elektroliza vode.

7.1.4. Elektroliza vodne pare



Elektrolizna celica, v kateri je temperatura med 700 in 1000°C, vsebuje kot elektrolit ionsko prevodno keramiko (ZrO_2), ki hkrati ločuje obe elektrodi. Vodna para vstopa na katodni strani, kjer se tvori vodik. Oksidni ioni (O^{2-}) pa prehajajo skozi keramiko do anode, kjer se oksidirajo. Največji problem pri tej vrsti elektrolize je velik ohmski upor keramične plasti, ki ga je mogoče zmanjšati le s stanjšanjem na nekaj mikronov. Zaradi omenjenih tehničnih težav taki elektrolizatorji še niso v prodaji.

SLIKA 8:
Elektroliza vodne pare.

7.1.5. Parni reforming

Ogljikovodik (premog, koks) pomešamo s pregreto vodno paro pri temperaturi 1000°C v prisotnosti nikljevega katalizatorja. Ogljik v ogljikovodiku reagira s kisikom iz vode. Nastaneta ogljikov monoksid in vodik. Ogljikov monoksid nato naprej reagira z vodo pri nižjih temperaturah, pri čemer nastane ogljikov dioksid in dodatna količina vodika

7.1.6. Cepitev vode pri visokih temperaturah

Pri dovolj veliki temperaturi imajo molekule tako veliko kinetično energijo, da pri trku izbijajo atome iz molekul. Za vodo znaša ta temperatura 1700°C. Vendar pri tej temperaturi razpade malo molekul. Zadosten razpad bi zagotovili šele okrog 3000°C. Problema pri tem načinu sta dva:

- vodik in kisik nista ločena ampak sta zmes, ki jo je potrebno naknadno ločiti.
- tako visoke temperature je težko vzdrževati.

7.1.7. Biološki način pridobivanja vodika

Kot biološki način pridobivanja vodika bi lahko uporabili fotosintezo. V vseh zelenih rastlinah v prvi stopnji nastajanja rastlinskega tkiva pride do cepitve vode na vodik in kisik, le da se pri tem vodik ne sprosti.

Kljub temu je možno pridobivati molekularni vodik z izkoriščanjem modro-zelenih alg in bakterij pod anaerobnimi pogoji ob dodatku encimov.

7.2. Shranjevanje vodika

Stiskanje vodika pri 800 barih in sobni temperaturi je prenevorno in zahteva tudi zelo žilav in nepropusten material, saj pri tem tlaku vodik relativno hitro difundira skozi vse doslej znane materiale (jeklo, Kevlar, epoksi smole,...). Utekočinjanje vodika pri nižjih tlakih in kriogenih temperaturah (še vedno pod -200°C) je tehnološko prezahtevno in zaradi tega ekonomsko nesprejemljivo. Edina alternativa, ki preostane je shranjevanje vodika v kovinskih hidridih, v katere lahko do sedaj reverzibilno shranimo do največ dva masna odstotka vodika. To razmerje med maso vodika in maso nosilnega materiala je po izračunih premajhno za uporabo v transportnih aplikacijah, saj bi bilo potrebno prepogosto polnjenje materiala z vodikom, kar je seveda neučinkovito. Skratka, izračunali so približno vrednost masnega odstotka vodika, ki bi ga moral tak material vsebovati, da bi bil uporaben kot nosilec goriva v transportnih aplikacijah, pri neki porabi vodika v gorivni celici. V material bi bilo potrebno reverzibilno shraniti najmanj 6 masnih % vodika v relativno kratkem času (max. 30 minut). Material bi moral imeti še nekatere druge karakteristike, kot so čim nižja reakcijska entalpija absorpcije, ohranitev strukture in s tem uporabnosti po številnih ciklih absorpcije in desorpcije, nespremenjene mehanske lastnosti, temperatura desorpcije čim bližja delovni temperaturi gorivne celice, itd.

Kapaciteto materialov za shranjevanje vodika poleg masnih odstotkov vezanega vodika merimo tudi z razmerjem H/M, ki nam pove, koliko vodikovih atomov (H) je v povprečju vezanih na en kovinski atom (M). Za LaNi je to razmerje v saturaciji nekje do 1,2, kar pomeni 1,65 masnih odstotkov vodika.

7.2.1. Intermetalne zlitine

Do sedaj znani materiali za shranjevanje vodika temeljijo na intermetalnih zlitinah na osnovi redkih prehodnih kovin, tipa AB₅, kot npr. LaNi, SmNi₅, in intermetalnih zlitinah prehodnih kovin tipa AB₂, kot npr. ZrMn, TiV₂. Dopanti osnovnim zlitinam izboljšajo lastnosti za shranjevanje vodika. Aluminij poveča dimenzije osnovne celice in ustvari večja in bolj dostopna interstičijska mesta za vgraditev vodikovega atoma. Kositer recimo deluje kot katalizator na površini takega materiala, in sicer v obliki kositrovega oksida. Dopanti lahko tudi izboljšajo mehanske lastnosti in preprečujejo razpadanje materiala med cikli absorpcija/desorpcija vodika. Prav tako lahko omogočijo samo strukturno stabilnost materiala med temi cikli. Ostali možni dopanti so še cink, baker, kobalt, železo, mangan, itd

7.2.2. Kvazikristali

Drug tip materiala za shranjevanje vodika pa so kvazikristali na osnovi ternarnega sistema. Kvazikristali so relativno mlada veja v kristalografiji, saj so jih odkrili šele leta 1984. Zaradi kristalografsko prepovedanih 5,8,10 in 12-osne simetrije v njih ne obstaja translacijska simetrija kratkega dosega, ampak le red dolgega dosega. Kategorično se uvrščajo med amorfne in kristalinične materiale in so analogno podobni tekočim kristalom. Zaradi te lastnosti imajo tudi zelo veliko gostoto interstičijskih mest za reverzibilno vezavo vodika. Odkrili so, da je maksimalno razmerje H/M za kvazikristale na osnovi cirkonija oz. hafnija enako 1,7 (=2,53 masnih %) oz. 2 (=1,94 masnih %). Ugotovili so tudi, da ne tvorijo stabilnih hidridov, njihova struktura pa ostane nespremenjena po številnih hidriranjih. Imajo tudi nižjo gostoto od intermetalnih zlitin, vendar veliko pomanjkljivost, katero bo treba v prihodnjih raziskavah odpraviti. Namreč, po podatkih iz literature se vodik v ta material absorbira le pri

tlaku nad 40 bari in temperaturah okoli 250°C. Celo pri teh pogojih je proces absorpcije relativno počasen, in sicer zaradi oksidne plasti, ki se tvori na površini in zavira absorpcijo. Pokazali so sicer, da se da temu izogniti z ionskim jedkanjem z argonovimi ioni in sledečim prekritjem površine materiala s platino, vendar je to zopet ekonomsko vprašljivo.

8. Uporaba gorivnih celic

Gorivne celice so postale medijsko znane šele zadnja let s prikazovanjem svojega potenciala za široko uporabo. Gorivne celice so sposobne poganjati tako prenosne telefone, kot elektrarne. Uporabnost v prevoznih sredstvih jim že leta obljudbla odpahniti vrata v vsakdanjik.

8.1. Osebna vozila

V avtomobilski industriji stavijo na SP gorivne celice. Te lahko delujejo tako na vodik, kot na kisik.

Za dostavo vodika, bi bilo potrebno razviti povsem novo mrežo črpalk. Vendar trenutno še ni ustreznega načina za transport in shranjevanje vodika. Pospešen razvoj pa ovira tudi naftna industrija, ki sicer zavira vse alternativne projekte, saj bi s tem izgubila velik del pogače, ki pa v naftni industriji ni majhna. Kot začasna rešitev se omenja metanol saj ga je lahko skladiščiti in transportirati.

Toyota ima na preizkušnji par modelov že dalj časa vendar se ne more odločiti, komu naj da prednost, gorivnim celicam ali hibridnim pogonom, ki je sestavljen iz bencinskega motorja in baterije.

DaimlerChrysler je razvil avto NECAR4 oblike mercedesa serije A, ki ga poganjajo gorivne celice in je sposoben doseči 140km/h ter z enim polnjnjem prevoziti 400km. Prav tako že leta dela poskuse z natrijevim borhidridom, ki od vodika pusti zgolj tiste snovi, ki jih je moč reciklirati.

Fordov P2000 s štiristotimi PEM-celicami, ki elektromotorju dovajajo 90 KW moči, razvije okoli sto konjev. Na črpalkah vodika ne bi točili, pač pa bi zgolj zamenjali ves rezervoar, podobno kot domačo plinsko jeklenko.

Zaenkrat je cilj torej izenačenje zmožnosti prototipov z obstoječimi avtomobili na bencin, kar je vsaj pri dosegu praktično že doseženo. A prizadevanja se tu kajpak ne bodo končala. V zadnjih letih je inženirjem uspelo velikost rezervoarjev za vodik in metanol skoraj prepoloviti in kaj lahko se zgodi, da bomo v prihodnjih letih priča močno povečanemu dosegu tovrstnih vozil. Ne gre pozabiti niti na to, da so gorivne celice z elektromotorjem v primerjavi z današnjimi motorji lažje.

Uporaba gorivnih celic

Obstajajo pa še druge, že sedaj uporabne prednosti gorivnih celic, na primer lastnost, da imajo prilagodljivo obliko in velikost, tako da jih ni treba nujno tlačiti v sprednji del avtomobila. General Motors je razvil model AUTOnomy ali po domače avtoskejt - gre za avtomobilsko podvozje, v katerem so spravljene gorivne celice, medtem ko so elektromotorji ločeni in pri kolesih. Na tako podvozje lahko dodajamo poljubne karoserije, moč pa jih bo tudi menjati skupaj z notranjostjo. Za nameček ločeni elektromotorji pomenijo, da ima vsako kolo svoj nadzor, kar omogoča obrat na mestu in s tem mnogo lažje parkiranje v mestni gneči, da ne omenjamo odsotnosti menjalnika in sklopke.

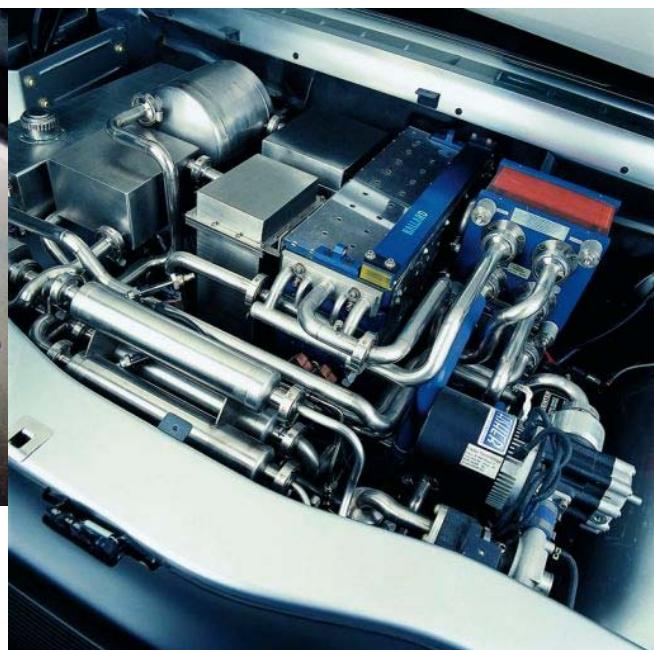


SLIKA 9:

Maja leta 1998 je koncern Daimler - Benz v sodelovanju s kanadskim podjetjem Ballard Power Systems predstavil testno električno vozilo Necar 3 (New Electric Car), ki ga je oskrbovala z električno energijo gorivna celica tipa SPFC.



SLIKA 10: Dolivanje metanola v rezervar goriva.



SLIKA 10 B: Pogon avtomobila na GC.

8.2. Ostala vozila

Ker trenutno množice vodikovih črpalk še ni (nedavno so v Singapurju odprli prvo), so bila vgradnje prva deležna prevozna sredstva, ki niso odvisne od črpalk, na primer podmornice. Novi nemški modeli 212A bodo imeli Siemensove PEM-gorivne celice vdelane serijsko, skupaj z zalogo vodika in kisika. To jim bo zagotavljalo možnost nekajtedenskega potopa, s čimer se po zmožnostih približujejo jedrskim sestričnam. Zaradi nizke temperature in tihega delovanja je podmornico s tovrstnim pogonom teže opaziti ter še vodo bo moč uporabiti za pitje.



SLIKA 11: Nemška podmornica 212A s PEMFC

Mnoge poštne službe v večjih ameriških mestih imajo v uporabi tovornjake in kombije na pogon z gorivnimi celicami, ne izostajajo niti mestni in primestni avtobusi. Večina jih uporablja PEM-celice, ki so zaradi dobrega razmerja moč/teža za to najprimernejše.



SLIKA 12: Avtobus mestnega potniškega prometa, ki ga poganjajo gorivne celice.

8.3. Uporaba gorivnih celic za sisteme ogrevanja

Najnovejši plinski kondenzacijski kotli, med drugim tudi plinski kondenzacijski kotli z katalitičnim zgorevanjem, so že dosegli mejo, preko katere ni več možno povečevati energijskega izkoristka in zmanjševati oddajanja škodljivih snovi v okolje. Mnogi proizvajalci ogrevalnih sistemov zato iščejo nove tehnične rešitve. Ena od teh rešitev je tudi uporaba gorivnih celic. Uporaba gorivnih celic v kotlih za sisteme ogrevanja in pripravo tople vode bo omogočila še večjo uporabo zemeljskega plina kot primarnega vira energije in doprinesla k manjšem onesnaževanju okolja. Ker gorivne celice pri svojem obratovanju proizvajajo poleg toplotne energije tudi električno energijo, bodo takšni kotli dejansko majhne samostojne kogeneracijske naprave. Zaradi sočasne proizvodnje toplotne in električne energije bodo pripomogle k zmanjšanju proizvodnje električne energije iz elektrarn na trdno gorivo in s tem doprinesle tudi zmanjševanju emisij CO₂ v ozračje. Zmanjšanje ogljikovega dioksida naj bi z uporabo novih kotlov za ogrevanje znašalo 25 % v primerjavi s klasičnim načinom ogrevanja in proizvodnje električne energije pri uporabi enakega goriva - zemeljskega plina. Sistemi za ogrevanje z gorivnimi celicami kot virom toplotne so še na stopnji preizkušanja.

Glede na dejstvo, da vodik kot gorivo še ni na razpolago, morajo biti naprave z gorivnimi celicami opremljene z posebno napravo - reformerjem, kjer iz zemeljskega plina dobimo vodik oziroma zmes vodika in ogljikovega dioksida. Poleg zemeljskega plina obstaja še izvedba gorilnih celic na biopljin, bencin, metanol in celo kurilno olje.

Celice se pri uporabi v kotlih zaradi praktičnega izkoriščanja zložijo v sklope z električno močjo od 1 do 10 kW.

Kotlovska enota z gorivnimi celicami sestavlja:

- sistema za pripravo in obdelavo goriva (čiščenje, reformiranje vodika),
- sistem za pripravo vode,
- prenosnik toplotne,
- pretvornik električne napetosti,
- dodatni vir toplotne (najpogosteje kondenzacijski kotel),
- avtomatska regulacija.

Poleg nizko temperturnih gorivnih celic, ki so najprimernejše za ogrevalne sisteme, se lahko uporablja celice s fosforjevo kislino in celice s kalijevim hidroksidom.

8.3.1. Evropski projekt raziskovanja kotlov na gorivne celice

Ob koncu januarja lani je bil v obratih podjetja Vaillant v Remscheidu v Nemčiji predstavljen začetek projekta raziskovanja obratovanja kotlov na gorivne celice namenjenih za decentralizirano oskrbo s toplotno in električno energijo pod imenom „Virtualna elektrarna”.

Nova stopnja v razvoju uporabe gorivnih celic za decentralizirano oskrbo gospodinjstev s toplotno in električno energijo se je pravzaprav pričela z evropskim projektom raziskovanja obratovanja kotlov za ogrevanje z gorivnimi celicami. Za odgovor, na vprašanje kako deluje kotel sistema ogrevanja z gorivnimi celicami, ko je ta povezan v sistem, ki predstavlja „Virtualno elektrarno”, je bilo 31 takšnih Valliantovih kotlov postavljenih v nekaj evropskih državah, ki so povezani na skupni sistem vodenja.

Uporaba gorivnih celic

Projekt poteka v okviru s 5. Raziskovalno razvojnega programa Evropske komisije in njegove osnove karakteristike so naslednje:

- raziskovanje obratovanja se izvaja na 31 kotlih sistema ogrevanja na gorivne celice, postavljenih v stanovanjskih zgradbah, majhnih proizvodnih obratih in javnih zgradbah
- Evropska komisija krije 30% stroškov projekta
- na njem sodeluje 11 partnerjev iz sveta
- naprave so postavljene v Nemčiji, Španiji in na Nizozemskem ter Portugalskem

Skupnih stroški projekta znašajo 8,6 milijona evrov, Evropska komisija sodeluje s 3 milioni. Naprave, pri katerih ima vsaka izhodno moč električno moč 4,6kW in toplotno zmogljivostjo 11kW so postavljene v stanovanjske zgradbe, majhne proizvode obrate in javne zgradbe.



Slika 13: Postavitev Vaillantovega kotla v objekt.



SLIKA 14:
Prototip Vaillantovega kotla z gorivnimi celicami.

8.3.2. Kombinacija kotla na gorivne celice in vršnega kotla

Priprava in obdelava goriva je najzahtevnejši postopek, zato je tudi trenutni razvoj usmerjen predvsem k temu, še relativno slabo raziskanem področju. Osnovno gorivo je zemeljski plin, iz katerega je v prvi fazi potrebno odstraniti žveplene spojine in ostale nečistoče. To je potrebno narediti zato, da ne bi prišlo do poškodovanja katalizatorja. V reformerju pride do mešanja plinov, vodne pare in zraka, pri čemer dobimo z vodikom obogaten procesni plin. Po navlažitvi vodimo plin do anode, kjer zaradi reakcije nastane električna energija in se sprošča toplota. Nastalo napetost, ki je enosmerna, v pretvorniku spremenimo v izmenično napetost (230 V/50 Hz). Sproščeno toploto, ki nastane pri reakciji odvajamo preko prenosnika toplote v sistem ogrevanja. Obstaja tudi možnost dodatnega zgorevanja preostalega vodika v posebnem gorilniku. Tako sproščeno toploto uporabimo za predgrevanje sestavin, ki vstopajo v reformer.

V času zelo nizkih zunanjih temperatur in za pokrivanje vršnih potreb po toploti je v ogrevalni sitem vgrajen kondenzacijski kotel. Obstaja tudi možnost priključka na sistem za pripravo tople sanitarno vodo. Za odvod dimnih plinov obeh kotlov (kotla na gorivne celice in vršnega kotla) je predviden skupen odvod. Kotlovska enota z gorivnimi celicami, reformerjem, pretvornikom napetosti in komandno ploščo z regulacijo je združena v skupni kompaktni enoti. Za večje družinske hiše se načrtujejo kogeneracijske enote toplotne moči 50 kW in električne moči 4,5 kW. Pri takšnih enotah se predvideva 50 % zmanjšanje emisij CO₂ v primerjavi z klasičnimi kotli na zemeljski plin.

8.4. Domača elektrarna

PAFC imajo med vsemi najmanjši izkoristek, vendar je njihova dobra lastnost to, da so najmanj občutljive na razne nečistoče. Zato so idealne v navezi z gorivnimi procesorji. V ZDA jih že desetletje tako uporablajo za domačo pridelavo električne energije, ogrevanje in pomožne električne postaje (slika 15). Nedavni izpad električne energije v New Yorku jim je napravil veliko reklamo, saj so se z njimi opremljene hiše na daleč svetile sredi črnine. Uspeli so jih tudi prirediti za delovanje na metan, ki ga dobijo iz kanalizacije in odpadkov.



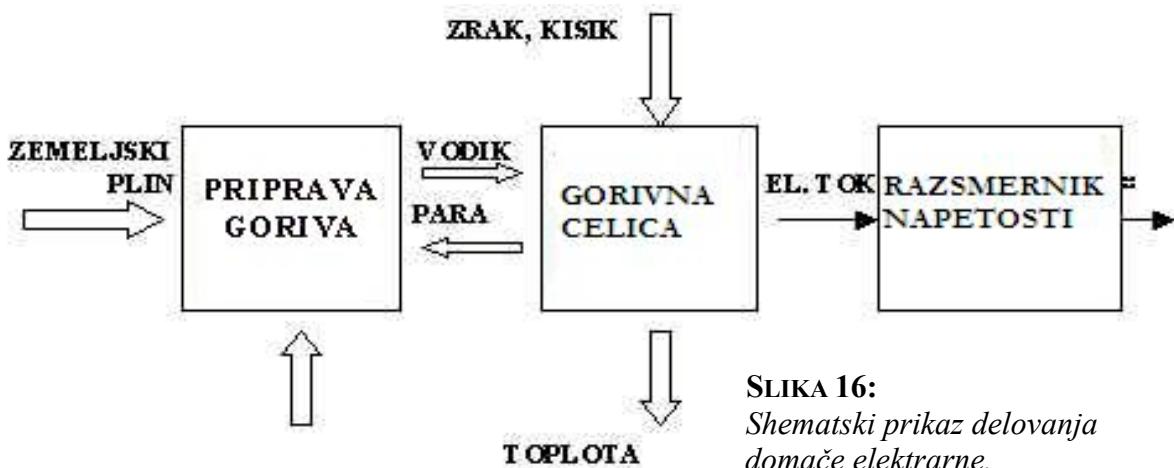
SLIKA 15:
Domača elektrarna.

8.4.1. Primer uporabe

Ameriško podjetje H - Power izdeluje kogeneracijski energetski sistem gorivnih celic, ki je še v fazi testiranja (tabela 4). Hišna kogeneracijska enota, kot jo imenujejo, uporablja kot gorivo zemeljski plin ali propan, ki se zunanjje reformira v plinsko zmes bogato z vodikom. Plin vodi do gorivnih celic, kjer v kombinaciji z zrakom proizvaja enosmerno električno napetost in vodo. Glavne prednosti sistema so varnost, enostavna uporaba, ne prihaja do emisij škodljivih snovi v okolje in brezslišno delovanje.

Tabela 4:

vrsta goriva	zemeljski plin, propan
izhodna napetost	100/ 120/ 240 V
izmenične nap.	50 ali 60 Hz
izhodna električna moč	4,5 kW konstantno, 15 kW za 15 minut
kogeneracija	ogrevanje vode
poraba hladilne vode	3 l/u
mesto delovanja	odprt prostor, zunaj hiše
vzdrževanje	26000 do 44000 ur
dolžina	1,5 m
širina	1,2 m
višina	0,9 m



SLIKA 16:
Shematski prikaz delovanja domače elektrarne.

8.5. Agregat električne energije na gorivne celice za hišno uporabo

Ameriško podjetje Ballard Power Systems, ki je najbolj znano kot proizvajalec in razvijalec sistemov na gorivne celice, je izdelalo hišni električni agregat na gorivne celice imenovan AirGen. AirGen uporablja kot gorivo čisti vodik in omogoča napajanje najpomembnejših električnih porabnikov v gospodinjstvu ali poslovnih prostorih z električno napetosti 120V do 15 ur.

Prednosti pred dizelskimi agregati je v tem, da ga lahko imamo v zaprtem prostoru, ker pri delovanju poleg električne energije, toplove in vode pare ne ustvarja emisij, ki bi kvarno vplivale na ljudi v tem prostoru. Deluje na čisti plinasti vodik iz navadnih jeklenk za tehnične pline. Vodik je lahko shranjen tudi v posebnih posodah napolnjenih s kovinskimi hidridi, v katerih je vodik v vezanem stanju. Agregat je tudi lično oblikovan in je relativno majhnih dimenzijs in mase. Ker ima kolesa je zelo mobilni in ga lahko premikamo po celotnem poslovnom prostoru ali hiši.

Agregat je opremljen s sistemom za neprekinjeno delovanje (UPS) in vso potrebno električno zaščito.



SLIKA:17:
Električni agregat na gorivne celice AirGen.



SLIKA 18: Jeklenka v kateri je shranjen vodik.

Tabela 5: Podatki agregata AirGen.

izvedba gorivnih celic		PEM
izhodna električna moč (pri 20°C)		1kW, 1,2kVA
izhodna napetost		120V izmenično
čas delovanja pri 50% obremenitvi	vodik iz jeklenk	15 h
	vodik iz kovinske posode	5,5h
gorivo		99,99% suh plinast vodik
dobava goriva		valjaste jeklenke za tehnične pline, kovinske posode s kovinskimi hidrati
temperatura	delovna	od 5 do 32°C
	skladiščenja	od -29 do 55°C
dimenzije		69 × 40 × 48 cm
masa		49kg
emisije	hrup na 1m	65dB
	vodne pare pri nazivni moči	870ml/h

8.6. Minielektrarne

MCFC in SOFC sta primerna kot nadomestek obstoječih vrst elektrarn. Ta dva tipa gorivnih celic lahko delujeta namreč tudi na trenutne vire fosilne goriv, denimo zemeljski plin, saj je pri tako visokih temperaturah moč vodik iz njih pridobiti brez procesorja. Kako desetleje jih že uporabljajo kot minielektrarne, posebej zagnani so Japonci, ki so z njimi zapolnili pol Tokia. Vseeno dotičnima tipoma manjka surove moči, saj do več kot dveh megavatov z njima še niso prišli, medtem ko današnje velike elektrarne dobavljajo več sto MW. Rešitev je razdrobljena proizvodnja elektrike, ki bi hkrati razbremenila velike električne vode, katerih morebitni izpad botrujejo zloglasnim mrkom.

Ni dvakrat reči, da bomo v prihodnosti dobili elektriko iz centrale za ovinkom. Toploto, ki se sprošča pri delovanju, je moč v veliki meri uporabiti pri gretju vode za pomožne parne turbine ali pa za domačo oskrbo.

**SLIKI 19 IN 20:** Izgled elektrarn na gorivne celice.

8.7. Računalništvo

Kot se za proces miniaturizacije spodobi, so najbolj sveže iznajdbe s področja računalništva, kjer so preboj doživele PEM-celice na direktni vbrizg metanola. NEC se ponaša z baterijo z elektrodami iz ogljikovih nanocevk, s katero je moč prenosniku z enim polnjenjem metanola količine 0,3 litra zagotoviti pet ur delovanja (slika 21). A videti je, da so jih pri Toshiba prehiteli, saj enako trajanje dosežejo s šestkrat manjšo dozo. To naj bi se jim posrečilo s celicami, ki kot gorivo uporabljajo bolj koncentrirano raztopino metanola. Podobno učinkovitost napoveduje Casio. Razvitih je tudi že več modelov baterij za majhne prenosne naprave. Tovrstna Toshiba baterija naj bi z enim zanemarljivo majhnim polnjenjem poganjala dvajset ur, medtem ko NEC načrtuje baterije, ki so okoli desetkrat učinkovitejše od trenutnih litij-ionskih.



SLIKA 21 IN 22: Prenosna računalnika z napajanjem na gorivne celice.

9. Zaključek

Razvoj gorivnih celic je v zadnjem času naredil velik napredek. Uporablajo se že na vseh področjih, vendar je tehnologija gorivnih celic povsem drugačna od ostalih tehnologij, zato bo potrebno še precej časa preden bodo gorivne celice postale komercialno dovolj zanimive, da bodo dosegle nezanemarljiv tržni delež. S to ugotovitvijo se je moja hipoteza izkazala za napačno. Gorivne celice se sicer uporabljo vendar je zanimanje zanje še premajhno. Mogoče bo hitrejšemu prodoru botrovalo dejstvo, da se doba fosilnih goriv počasi izteka.

10. Zahvala

Zahvala gre predvsem mojemu mentorju Metodu Trunklu, ki me je ves čas mojega raziskovanja usmerjal in me spodbujal, ko sem bil v navidez neizhodnemu položaju.

Zahvalil bi se tudi družini, ki me je materialno in moralno spodbujala, da sem to raziskovalno nalogo pripeljal do konca.

11. Uporabljena literatura

- Marko BELŠAK, Seminarska naloga Gorivne celice, Ljubljana 9. 5. 2003
- SHIFC slovenska tehnološka platforma za vodik in gorivne celice
- Bojan GROBOVŠEK, Uporaba gorivnih celic za sisteme ogrevanja
- Joker, Računalniški zabavnik
- EGES, 1/2004
- Jelka SODJA – BOŽIČ, Fizikalna kemija, Tehniška založba Slovenije, Ljubljana 2005