Pretvorba kemijske energije gorivnih ćelija u električnu energiju u laboratoriju za OIE

Orešković, Matija

Undergraduate thesis / Završni rad

2018

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **Josip Juraj Strossmayer University of Osijek, Faculty of Electrical Engineering, Computer Science and Information Technology Osijek / Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Fakultet elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija Osijek**

Permanent link / Trajna poveznica: https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:200:571711

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-03-28**

Repository / Repozitorij:

Faculty of Electrical Engineering, Computer Science and Information Technology Osijek

zir.nsk.hr

Image not found or type unknown

SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA I INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA
Osijek
Preddiplomski sveučilišni studij ELEKTROTEHNIKA

PRETVORBA KEMIJSKE ENERGIJE GORIVNIH ĆELIJA U ELEKTRIČNU ENERGIJU U LABORATORIJU ZA OIE

Završni rad

Matija Orešković

Osijek, 2018. godina.

SADRŽAJ

1. Uvod……..…..4
2. O gorivnoj ćeliji……..…..……..…5
   2.1 Energija gorivne ćelije – osnovni principi……..……..5
      2.1.1 Gorivna ćelija – povijest……..……5
      2.1.2 Gorivna ćelija – princip rada……..…….5
      2.1.3 Gorivna ćelija – dizajn……..……...7
      2.1.4 Gorivna ćelija – funkcija…….……....7
      2.1.5 Gorivna ćelija u odnosu na baterije…….……....8
      2.1.6 Karakteristična krivulja gorivne ćelije…….……....8
   2.2 Vrste gorivnih ćelija……..…..10
      2.2.1 Gorivna ćelija s alkalnim elektrolitom…….……..10
      2.2.2 Gorivna ćelija s rastaljenim karbonatima kao elektrolitom……...11
      2.2.3 Gorivna ćelija s fosfornom kiselinom……12
      2.2.4 Gorivna ćelija s polimernom membranom kao elektrolitom…….13
      2.2.5 Gorivna ćelija s čvrstim oksidima kao elektrolitom……..13
   2.3 Primjena gorivnih ćelija……..15
      2.3.1 Primjena gorivnih ćelija u automobilima……...15
      2.3.2 Ostala primjena gorivnih ćelija……..16
3. Pregled svih pokusa……...17
   3.1 Pokus 1 - Gorivna ćelija, zaliha kisika, potrošnja vodika……...17
   3.2 Pokus 2 – Određivanje karakterističnih krivulja gorivne ćelije……..22
   3.3 Pokus 3 – Računanje učinkovitosti gorivne ćelije……..28
   3.4 Pokus 4 – Efekt dimnjaka u gorivnoj ćeliji…….33
4. Izvedba pokusa……..39
   4.1 Pokus 1……39

4.2 Pokus 2……43
4.3 Pokus 3……46
4.4 Pokus 4……49
5. Zaključak……...52

1. UVOD

Tema završnog rada je prikazati kako uz pomoć gorivnih ćelija možemo pretvoriti kemijsku energiju u električnu energiju. U drugom poglavlju opisane su općenito gorivne ćelije. O njihovoj primjeni, o vrstama gorivnih ćelija, o njihovoj povijesti, opisan je njihov princip rada i dizajn i na kraju poglavlja uspoređene su gorivne ćelije u odnosu na baterije. U trećem poglavlju se nalaze 4 pokusa za pretvorbu kemijske energije u električnu energiju uz pomoć gorivnih ćelija u laboratoriju za OIE. U prvom pokusu se pažnja obraća na zalihu kisika i potrošnju vodika, u drugom pokusu se određuju U/I i P/I karakteristike za gorivne ćelije, u trećem pokusu se računa učinkovitost gorivne ćelije dok se u četvrtom pokusu obrađuje efekt dimnjaka u gorivnoj ćeliji. U četvrtom poglavlju se izvode pokusi iz trećeg poglavlja i odgovara se na pitanja postavljena u prethodnom poglavlju. Budući da je produkt gorivne ćelije čista voda, one su vrlo ekološki prihvatljive. Najčešće se koriste kao pohrana i proizvodnja električne energije za elektroenergetski sustav, ali imaju svoju primjenu i u automobilskoj industriji kao i u svemirskim letjelicama i u vojnim svrhama gdje visoka nabavna cijena nije problem.

2. O GORIVNOJ ĆELIJI

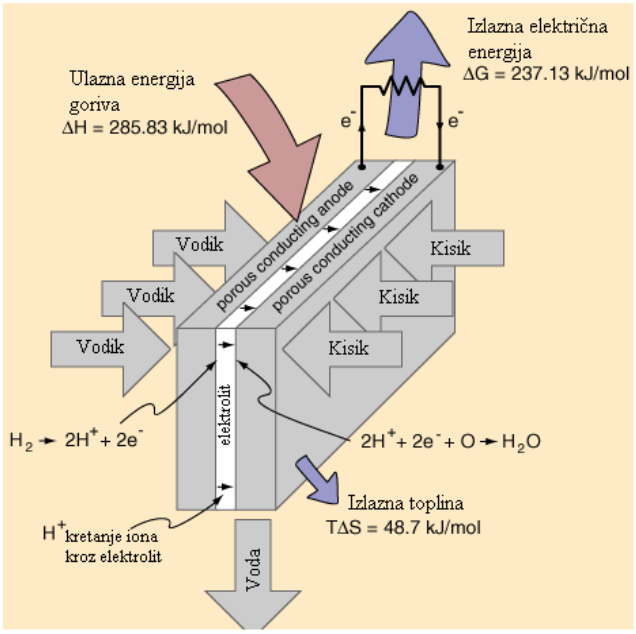
2.1. Energija gorivne ćelije – osnovni principi

2.1.1 Gorivna ćelija – povijest

Prvu gorivnu ćeliju je otkrio britanski fizičar Sir William Robert Grove 1839. godine. On je otkrio da se elektrokemijskim spajanjem vodika i kisika dobiva električna struja. Budući da se pomoću strujnog generatora električni učinak mogao proizvoditi mnogo jednostavnije gorivne ćelije se nisu uspjele nametnuti. Početkom 1930.-ih F.T. Bacon dolazi do rješenja da umjesto kiselinskog elektrolita koristi alkalni elektrolit. Zanimanja za gorivne ćelije nije bilo sve do 1960.-ih kad su SAD za svemirski program odabrale gorivne ćelije, koje su služile za opskrbljivanje vodom i električnom energijom u letjelicama. Danas se gorivne ćelije koriste i u vojnim područjima.

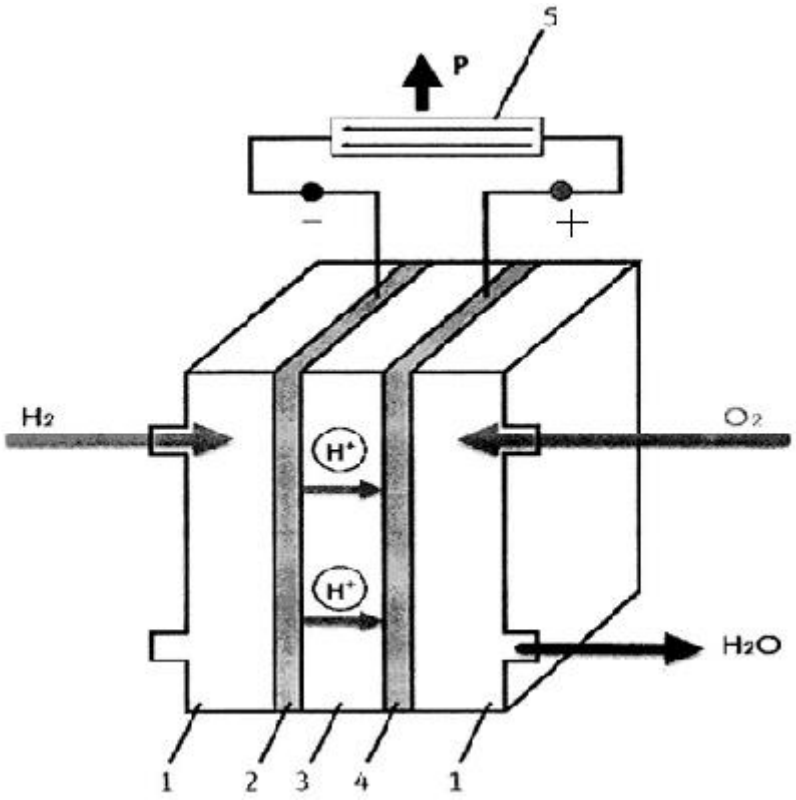
2.1.2 Gorivna ćelija – princip rada

Gorivne ćelije su uređaji koji neposredno pretvaraju kemijsku u električnu energiju, a sastoje se od dvaju elektroda uronjenih u isti elektrolit. Gorivna ćelija će proizvoditi energiju u obliku električne struje i topline dokle bude opskrbljena gorivom. Gorivo je kemijski element koji se dovodi na anodu gdje oksidira, a rezultat oksidacije je oslobađanje elektrona koji putem vanjskog kruga dolaze na katodu. Elektroni na katodi reduciraju drugi kemijski element ili spoj koji je oksidans u kemijskoj reakciji. Vodik se dovodi anodi, a kisik se koristi kao oksidacijsko sredstvo. Kemijska reakcija oksidacije je da atom vodika postaje ioniziran i nosi pozitivan električni naboj. Negativno nabijeni elektroni prenose struju preko vodiča do trošila. Kisik ulazi u gorivnu ćeliju na katodi i tamo se spaja sa elektronima koji se vraćaju iz strujnog kruga i vodikovim ionima koji su putovali kroz elektrolit od anode.



Slika 2.1: Slikovni prikaz načela rada gorivne ćelije

Elektrolit propušta samo važne ione, u protivnom će se dogoditi raskid kemijske reakcije. Elektroliti mogu biti tekući ili čvrsti. Tekući elektroliti su tekućine koje otapaju ionske kristale ili rastopljive soli. Elektrode su metali ili materijali s poluvodičkim svojstvima čija površina katalizira kemijske reakcije. Moraju imati dobra mehanička svojstva, visoku specifičnu površinu i poroznost, i pri tome zadržati dobru otpornost na korozivno djelovanje elektrolita i spojeva koji nastaju kao rezultat reakcije. Da bi dobili veću snagu, stotine ovakvih sklopova anoda-membrana-katoda se slažu jedna do druge tako da čine više gorivnih ćelija u jednoj.



Slika 2.2: Dizajn i funkcija jednostavne gorivne ćelije

1-Ploče za protok plina, 2-Anoda, 3-Polimerna membrana, 4-Katoda, 5-Električno opterećenje

2.1.3 Gorivna ćelija – dizajn

PEM gorivnu ćeliju obično čine dvije elektrode građene od porozna ugljikova materijala i od polimerne membrane. Membrana je stisnuta između anode i katode. Služi kao elektrolit i odvaja vodikove i kisikove plinove. Membrana se sastoji od politetrafluroetilenskog kopolimera i obložen je dobro raširenom platinom. Platina je katalizator u obje kemijske reakcije u gorivoj ćeliji. Ploče kroz koje prolazi plin leže s vanjske strane elektroda. Ove ploče imaju male kanale koje vode vodik i kisik do svojih strana elektrode. Kod čišćenja gorivne ćelije, voda, sporedni produkt reakcije, je transportirana kroz ove kanale.

2.1.4 Gorivna ćelija – funkcija

Gorivna ćelija pretvara kemijsku energiju, koja je prisutna u kisiku i vodiku, u električnu energiju. Vodik je oksidiran s katalizatorom na anodi oduzimanjem elektrona:

Anoda: Oksidacija: $2\ H_2 \rightarrow 4\ H^+ + 4e^-$

Ovi elektroni teku od anode, koja postaje negativan pol ćelije u procesu, kroz vanjski krug do katode, koja postaje pozitivan pol ćelije u procesu. U isto vrijeme, vodikovi ioni prolaze kroz membranu do katode i reducirani su, što znači da primaju elektrone:

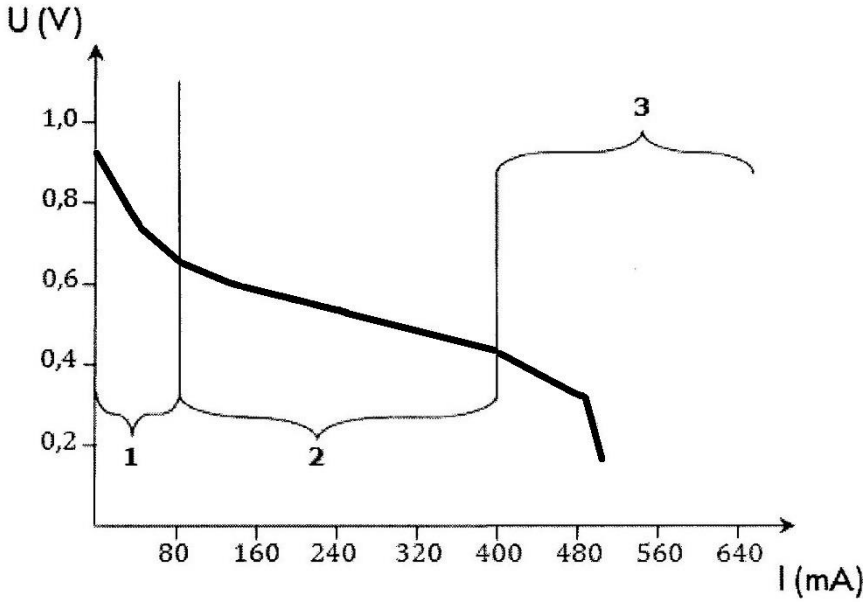
Katoda: Redukcija: $O_2 + 4H^+ + 4e^- \rightarrow 2H_20$

Redukcija također zahtjeva isti katalizator, obično platinu.

2.1.5 Gorivna ćelija u odnosu na baterije

Gorivna ćelija stoga prati isti funkcionalni princip kao i baterija. Prednost nad baterijom je ta što ne treba biti napunjena, i da elektrode se ne mijenjaju tijekom vladajućih kemijskih reakcija. U bateriji, pohranjena energija je u samim elektrodama, dok u gorivnoj ćeliji, energija je pohranjena u gorivu.

2.1.6 Karakteristična krivulja gorivne ćelije



Slika 2.3: Karakteristična krivulja gorivne ćelije

Teorijski mogući napon vodikove gorive ćelije u standardnim uvjetima je 1,23V. Ova vrijednost je uzeta termodinamičkih podataka reakcije vodika i kisika do vode. U praksi, gubitci u toku struje očituju se kroz kinetičku inhibiciju reakcije, unutarnji otpor ili nedovoljnu difuziju. Stvarni napon dobiven od individualne ćelije je stoga od 0.4 do 0.9V. Razlika između izmjerenog napona i termodinamički mogućeg napona se zove nadpotencijal. Razni faktori pridonose ovom

nadpotencijalu. Kod malih struja, karakteristična krivulja je određena kataličnim procesima koji se odvijaju na elektrodama. Porast u struji ovisi o brzini spajanja vodika i kisika, što znači da brzina kojom elektroni prelaze kontaktnu površinu između molekula plina i katalizatora platine. Ovaj oblik nadpotencijala se zove aktivacijski nadpotencijal. Svaka ćelija ima unutarnji otpor, koji, na primjer, je uzrokovan otporom na tok struje u elektrolitu, sakupljačem struje, i vanjskim žicama. Ohmski pad napona može biti promotren pri višim strujama; napon doživljava linearni pad s povećanjem struje. Difuzijski nadpotencijal se javlja ako su plinovi potrošeni brže elektrokemijskom reakcijom kod katalizatora nego što mogu doći do katalizatora kroz difuziju. Tipičan znak ovog difuzijskog nadpotencijala je iznenadno savijanje prema dolje strujno-naponske karakteristične krivulje. Napon se smanjuje oštro dok struja raste.

2.2 Vrste gorivnih ćelija

Gorivne ćelije se mogu podijeliti prema načinu rada i prema vrsti elektrolita.

Prema načinu rada se dijele na:

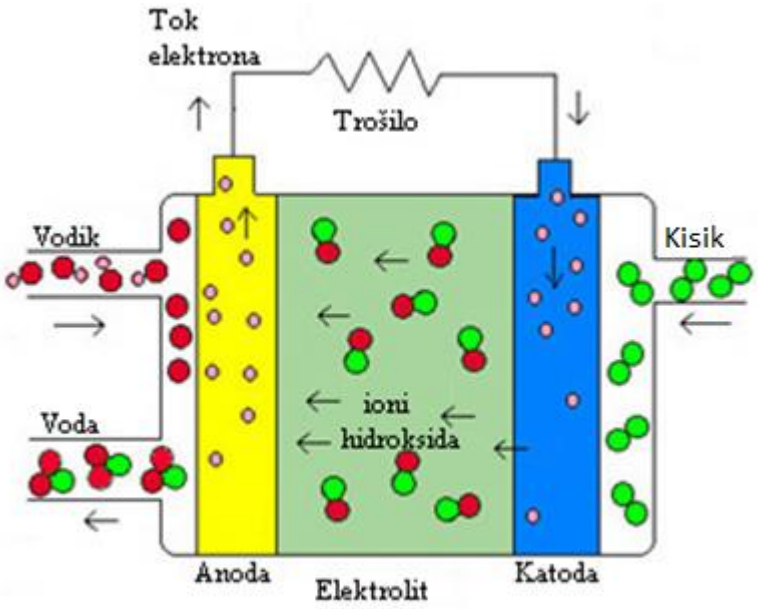
- Primarne gorivne ćelije- tijekom rada neprestano dovodimo novo gorivo i oksidans iz vanjskog spremnika, a produkti reakcije se odvode.
- Sekundarne (regenerativne) gorivne ćelije- reakcije se regeneriraju u polazne reaktante potroškom nekog od oblika energije.

Prema vrsti elektrolita dijele se na:

- S alkalnim elektrolitom
- S rastaljenim karbonatima kao elektrolitom
- S fosfornom kiselinom
- S polimernom membranom kao elektrolitom
- S čvrstim oksidima kao elektrolitom

2.2.1 Gorivne ćelije s alkalnim elektrolitom (AFC)

Ova vrsta gorivne ćelije koristi komprimirani vodik i kisik, te uglavnom se koristi otopina kalij-hidroksida sa vodom koji služe kao elektrolit. Negativni ioni hidroksida (OH^-) idu od katode prema anodi. Vodikovi plinovi na anodi djeluju sa OH^- ionima pri čemu proizvode vodu i otpuštaju elektrone. Elektroni se pojavljuju na anodi, te opskrbljuju vanjski električni krug a potom se vraćaju na katodu, djeluju sa kisikom i vodom čime se stvara još iona hidroksida koji se šire kroz elektrolit. Stupanj djelovanja ima najviše do 50% [1]. Veliki nedostatak je što za rad koristi vrlo čisti vodik, a pri dobivanju vodika iz drugih goriva uvijek ostane malo $C0_2$, što je znatno usporilo razvoj ove gorivne ćelije. Koristi i velike količine skupe platine kao katalizatora za ubrzanje reakcije. Snaga joj je do 250 kW [1], a primjenjuje se za dobivanje električne energije i pitke vode u svemirskim letjelicama i u vojne svrhe.



Slika 2.4: Prikaz rada gorivne ćelije s alkalnim elektrolitom

2.2.2 Gorivna ćelija s rastaljenim karbonatima kao elektrolitom (MCFC)

Ove ćelije su razvijene 1950-ih. Kao elektrolit se koristi slani karbonat. Zagrijana do temperature 650 ºC, sol se otapa te vodi karbonatne ione (CO_3) od katode do anode. Na anodi, vodik djeluje sa ionima te se kao rezultat stvara voda, ugljični dioksid i elektroni. Elektroni putuju kroz vanjski krug, dajući pri tome elekrtičnu energiju, i vraćaju se na katodu. Ondje, kisik iz zraka i CO_2 reciklirani na anodi djeluju sa elektronima stvarajući pri tome CO_3 ione, koji pune elektrolit i prenose struju kroz gorivnu ćeliju. Visokotemperaturne MCFC mogu izdvojiti vodik iz niza goriva koristeći ili unutarnji ili vanjski reformator. Manje su naklonjene stvaranju ugljičnog monoksida nego nisko temperaturne gorive ćelije, što čini gorivo na bazi ugljena više privlačnijim za ovaj tip gorive ćelije. Kao katalizator se koristi nikal, koji je jeftiniji od platine. Stupanj djelovanja ove ćelije doseže do 60% [1], a snaga može biti od kW do nekoliko MW [1]. Nedostaci su visoke temperature koje povećavaju koroziju i uzrokuju raspadanje materijala.



Slika 2.5: Gorivna ćelija s rastaljenim karbonatima kao elektrolitom [2]

2.2.3 Gorivna ćelija s fosfornom kiselinom (PAFC)

Kao što im ime govori, gorivne ćelije s fosfornom kiselinom koriste fosforne kiseline kao elektrolit. Pozitivno nabijeni vodikovi ioni sele se kroz elektrolit od anode prema katodi. Elektroni generirani na anodi putuju kroz vanjski električni krug, te se vraćaju na katodu. Ondje, elektroni, vodikovi ioni i kisik formiraju vodu, koja se odvodi iz ćelije. Za ubrzanje kemijske reakcije stavlja se na elektrode katalizator od platine. Stvaranje CO oko elektroda može zagaditi gorivnu ćeliju. Jedna od prednosti PAFC ćelije je da koncentrirani fosforni kiselinski elektrolit može raditi iznad točke ključanja vode, dok je ograničenje nekih od kiselinskih elektrolita u tome da trebaju vodu za vodljivost. Zbog kiseline potrebno je da su komponente ćelije otporne na koroziju. Vodik za ćeliju dobiva se iz ugljikovodikovih goriva pomoću vanjskih reformatora. Ako je gorivo benzin, mora se izdvojiti sumpor jer bi mogao oštetiti katalizator na elektrodama. Stupanj djelovanja PAFC ćelije iznosi prosječno do 30% [1], ali se može povisiti na 40% [1] ako iskoristimo otpadnu toplinu. Snaga ove gorive ćelije je do 11 MW [1].



Slika 2.6: Gorivna ćelija s fosfornom kiselinom [3]

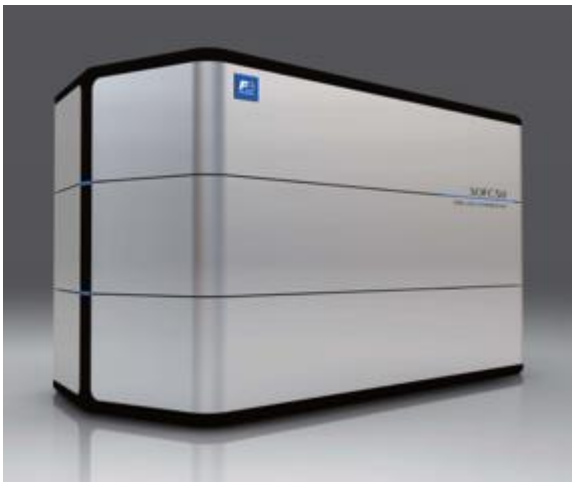
2.2.4 Gorivna ćelija s polimernom membranom kao elektrolitom (PEMFC)

Ova gorivna ćelija koristi polimerni elektrolit u obliku tankog, propusnog lista. Membrana je mala i lagana. Sa obje strane membrane stavlja se katalizator od platine radi ubrzanja reakcije. Na anodi su elektroni izvučeni iz atoma vodika. Ionizirani, te pozitivno nabijeni protoni se šire kroz poroznu membranu prema katodi. Na katodi, elektroni, vodikovi protoni i kisik iz zraka formiraju vodu. Da bi ova ćelija radila, membrana mora propustiti vodikove protone ali spriječiti prolazak elektrona i težih plinova. Stupanj djelovanja PEMFC ćelije se kreće do 60% [1]. Da bi se dobio vodik iz metanola ili benzina potreban je vanjski reformator. Trenutačno su u pokusnom radu jedinice od 80 kW do 100 kW [1]. S obzirom na snage i činjenicu da ova ćelija radi na nižim temperaturama pogodna je za primjenu u kućanstvima i automobilima.

2.2.5 Gorivna ćelija s čvrstim oksidima kao elektrolitom (SOFC)

Za SOFC ćeliju se umjesto tekućine koristi čvrsta keramika kao elektrolit, obično mješavina cirkonij-oksida i kalcij-oksida. Čvrsti elektrolit sa obje strane je zatvoren elektrodama od specijalnog poroznog materijala. Pri visokim radnim temperaturama ioni kisika se kreću kroz kristalnu rešetku. Kada plinovi goriva s vodikom prođu kroz anodu, bujica negativno nabijenih

iona kisika krene kroz elektrolit da oksidira gorivo. Kisik iz zraka se dovodi na katodu. Elektroni generirani na anodi putuju kroz vanjski električni krug ka katodi**.** Stupanj djelovanja iznosi od 50 do 70% [1], a napravljene su jedinice snage do 200 kW [1]. Moguće su izvedbe SOFC ćelija u obliku mnoštva cijevi ili u obliku više ploča. Budući da SOFC ćelija radi na visokim temperaturama, za izdvajanje vodika iz goriva nije potreban reformator, niti skupi katalizator, ali je keramika skupa.



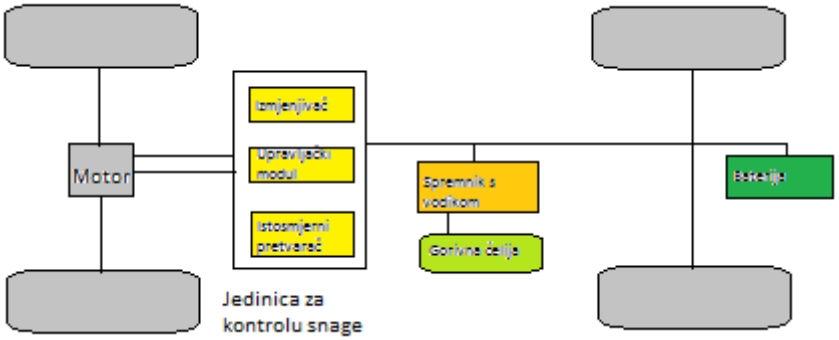
Slika 2.7: Pločasta gorivna ćelija s čvrstim oksidima kao elektrolitom [4]

2.3 Primjena gorivnih ćelija

Zbog visokog stupnja djelovanja i malog negativnog utjecaja na okoliš upotreba gorivnih ćelija će u budućnosti značajno porasti. Stupanj djelovanja gorivne ćelije je znatno veći od ostalih termičkih procesa za proizvodnju energije. Produkti izgaranja kod gorive ćelije ne sadrže štetne sastojke. Ipak da bi se gorivne ćelije još više koristile potrebno je riješiti dva ključna problema. Prvi problem je zamjena plemenitih metala i platina kao materijala elektroda sa nekim drugim jeftinijim i pristupačnijim materijalima. Drugi je problem pouzdanost i trajnost gorivih ćelija. Ako se uspiju riješiti ti problemi gorivne ćelije će se najvjerojatnije upotrebljavati za pogon automobila. Tada bi pogonski motor bio istosmjerni električni motor napajan iz gorivne ćelije.

2.3.1 Primjena gorivnih ćelija u automobilima

DC-DC pretvornik se sastoji od dva modula koji upravljaju radom vozila. Prvi modul služi za pokretanje, a drugi za normalnu vožnju. Vodik je zatvoren u visokotlačnom spremniku, a zračnim kompresorom opskrbljujemo ćeliju kisikom. Prilikom pokretanja vozila, pomoću 12 V akumulatora se pokreće zračni kompresor koji isporučuje kisik u ćeliju. Kisik stupa u kemijsku reakciju sa vodikom koji je doveden iz visokotlačnog spremnika, te time dobivamo istosmjernu električnu struju kojom opskrbljujemo visokonaponsku sabirnicu. Tijekom procesa pokretanja, napon pretvaramo od niskog prema visokom pomoću DC-DC pretvarača. Kada sustav postigne stacionarno stanje, stabilni istosmjerni napon, vozilo može ući u normalnu vožnju. Podrazumijeva se, struja se odvodi u elektromotor koji pokreće automobil. Velika prednost FCEV vozila je što nema nikakvih ispušnih plinova, ali problema zadaje sami energent vodik jer bi se morale izgraditi nove mreže crpnih postaja.



Slika 2.8: Automobil s gorivnom ćelijom

Neki od automobila novije generacije na gorivne ćelije su Hyundai Nexo, Honda Clarity Fuel Cell, Toyota Mirai i tako dalje. Hyundai Nexo je predstavljen 2018. godine, a neki od najvažnijih podataka su mu snaga gorivne ćelije 95 kW [5], snaga baterije 40 kW [5]. Toyota Mirai je predstavljena 2015. godine, a ima snagu motora od 114 kW [6], a kapacitet baterije je 1.6 kWh [6].



Slika 2.9: Hyundai Nexo [5]

2.3.2 Ostala primjena gorivnih ćelija

Gorivne ćelije se osim u automobilskoj industriji koriste i kao izvori energije u ruralnim područjima, istraživačkim stanicama, u vojnim misijama kao i u svemirskim postajama. U ruralnim područjima se često koriste za pohranu energije. Ima mnogo različitih tipova stacionarnih ćelija pa njihova efikasnost varira od 40 do 60% [7], ali kad se toplina koja je otpadni produkt gorivne ćelije koristi za grijanje zgrada u kogeneraciji njihova efikasnost naraste i do 85% [7], što je mnogo efikasnije nego nuklearne elektrane na ugljen.

3. PREGLED SVIH POKUSA:

U ovom poglavlju prikazat će se pokusi koji se mogu provoditi u Laboratoriju za obnovljive izvore energije FERIT-a s Clean Enery Trainer opremom opisanom u [8].

Slijedi pregled i opis pokusa u nastavku.

3.1 Pokus 1 – Gorivna ćelija, zaliha kisika, potrošnja vodika

Pokus 1 – Gorivna ćelija, zaliha kisika, potrošnja vodika
Sažetak – U ovom pokusu, studenti će otkriti kako staviti gorivnu ćeliju u pogon. Oni uče iz pokusa da izravna zaliha kisika pozitivno utječe na jakost gorive ćelije. Potrošnja kisikom je promatrana preko vremena. Utjecaj povećanja zalihe zraka je promatran.
Tema radnog lista – Općenita pitanja o gorivnoj ćeliji, pitanja o pokusu, pitanja razumijevanja o načinu rada gorivne ćelije.
Razina složenosti – lagano
Prijašnje znanje – Rad s voltmetrima i ampermetrima, strujni krugovi, rukovoditi uređajem za elektrolizu, rad s gorivnom ćelijom

Ciljevi učenja**:**

- Puštanje u rad gorivnu ćeliju i uređaja za proizvodnju vodika
- Mjerenje vrijednosti karakteristika gorivne ćelije
- Kvalitativna ovisnost gorivne ćelije o kisiku
- Potrošnja vodika gorivne ćelije tijekom rada

Zahtjevi:

- Gorivna ćelija
- Uređaj za proizvodnju vodika
- Kontrolna ploča s USB kablom
- Baza
- Kućište potrošača

- 4 skladišna kanistra punjena destiliranom vodom do granice 5 cm^3
- 9 spajajućih cijevi, 2 stezaljke cijevi
- 2 crna kabla, 2 crvena kabla
- Štoperica

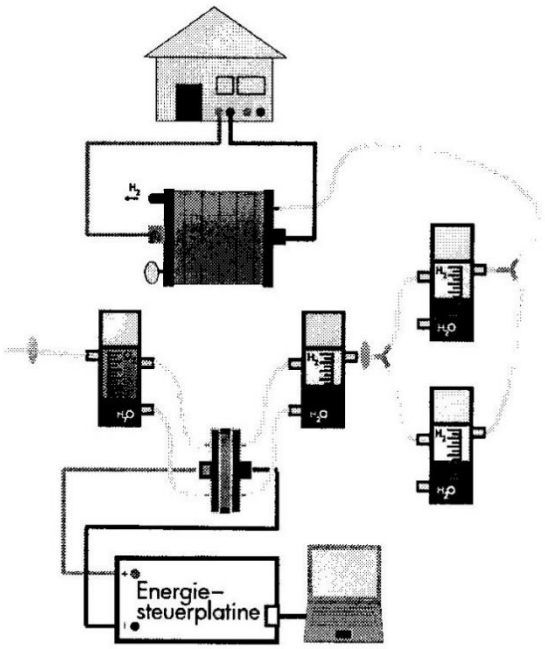
OPREZ!

RIZIK OZLJEDE OD OPEKLINA

Izlazeći vodik može zapaliti i opeći kožu.

- Izbjeći stvaranje iskri.
- Test curenja mora se provesti svaki put kada je goriva ćelija sastavljena; pogledaj radni priručnik.

Kako upravljati gorivnom ćelijom?



Slika 3.1: Pokus za proizvodnju vodika; kontrolna ploča se koristi za napajanje

Šteta zbog vode!

Voda u gorivnoj ćeliji može uništiti membranu.

- Napuni skladišne kanistre dalje od gorivne ćelije.
- Drži gorivu ćeliju suhom.
- Nemoj nikad puniti skladišne kanistre s vodom razinom vode višom od 5cm^3.

Kako se potrošnja vodika odvija?

1. Postavi pokus kao što je pokazano na slici 3.1; napuni sve skladišne kanistre s vodom do razine 5 cm^3, ako već to nije napravljeno.
2. Zatvori vodikov otvor gorivne ćelije.
3. Odspoji potrošačko kućište od gorivne ćelije.
4. Odaberi H_2 uređaj za proizvodnju vodika u softveru.

Prekomjerno visoki naponi će oštetiti hidrogen generator. Kod postavljanja željene struje, budite sigurni da napon bude ispod 2,3V!

5. Postavi uređaj za proizvodnju vodika do 650mA i proizvedi 30 cm^3 vodika i 15 cm^3 kisika.
6. Zaustavi elektrolizu u softveru. Postavi željenu struju na 0 mA.
7. Očisti gorivnu ćeliju. Otvori vodikov otvor gorive ćelije na jednu sekundu pa ga opet zatvori.
8. Opet pokreni uređaj za proizvodnju vodika dok određene vrijednosti ne budu ponovno dostignute.
9. Poveži potrošačko kućište s gorivnom ćelijom.
10. Zabilježi svoja opažanja.
11. Zaustavi elektrolizu u softveru. Postavi željenu struju na 0 mA.
12. Rastavi uređaj za proizvodnju vodika od kontrolne ploče.
13. Rastavi potrošačko kućište od gorivne ćelije.
14. Poveži gorivnu ćeliju s kontrolnom pločom i promijeni na način rada *Gorivna ćelija* u programu.

Oprez: **Šteta zbog kratkog spoja!** Izvori napona na gorivnoj ćeliji mogu uništiti membranu. Dok je u načinu rada *Generator vodika*, kontrolna ploča je izvor napona koji

može uništiti membranu. Generator vodika također postaje izvor napona kada ništa ne radi, jer ostali vodik u generatoru može reagirati s kisikom.

-> Spoji gorivu ćeliju samo u načinu rada *Gorivna ćelija*

-> Nikada nemoj spajati gorivu ćeliju i uređaj za proizvodnju vodika na kontrolnu ploču u isto vrijeme

Očisti gorivnu ćeliju s vodikom kako bi se uklonila vlaga ako gorivna ćelija dosegne 1 V vanjskog napona:

- Otvori vodikov otvor na gorivnoj ćeliji i odmah ga zatvori
  ➔ Napon gorive ćelije će narasti do 3000 mV (staro) / 4000 mV(normalno)/5000 mV(novo stanje)
- Proizvedi vodik ponovno do određene vrijednosti

15. Postavi željenu struju na 150 mA u softveru.
16. Izmjeri vrijeme, pročitaj potrošnju vodika i unesi vrijednosti u tablicu radnog lista.
17. Povećaj vrijednost struje na 300 mA i ponovi mjerenje.

Kako gorivna ćelija reagira na izravnu zalihu kisika?

1. Postavi pokus ponovno kao što je pokazano na slici 3.1
2. Odaberi *H_2 Generator vodika* u programu.
3. Postavi uređaj za proizvodnju vodika na 650 mA i proizvedi 30 cm^3 vodika.
4. Zaustavi elektrolizu u softveru
5. Rastavi uređaj za proizvodnju vodika od kontrolne ploče.
6. Poveži gorivnu ćeliju s kontrolnom pločom i promijeni na način rada *Gorivna ćelija* u programu.
7. Postavi željenu struju na 150 mA u softveru.
8. Promotri napon gorivne ćelije.
9. Opskrbi gorivnu ćeliju dodatnim kisikom iz kanistra kisika: Otvori stezaljku cijevi i drži je ispred ventilacijskog otvora gorivne ćelije. Promotri vrijednosti napona gorivne ćelije.

Pokus 1: Radni list

Općenita pitanja/inicijalni test

1. Tko je izumitelj gorivne ćelije?
2. Zašto je gorivna ćelija bila zaboravljena?
3. Objasni formulu $2\ H_2 + 0_2 \dashrightarrow 2\ H_2O$ riječima:
4. U kojim aplikacijama su gorivne ćelije ili su bile uspješno testirane?
5. Je li ostvarivo koristi gorivne ćelije kod putovanja svemirom?
6. Koji tipovi gorivnih ćelija postoje?

Pitanja o pokusu

7. Zašto mora potrošač bit rastavljen od gorivne ćelije prije izvođenja pokusa?
8. Kako i s kojim materijalom se čisti gorivna ćelija?
9. Kako potrošnja vodika ovisi o potrošaču?

   Tablica 3.1: Potrošnja vodika u ovisnosti o potrošaču

	150 mA	300 mA
Potrošnja vodika (cm^3)	Trajanje (s)	Trajanje (s)
5		
10		
15		
20		
25		
30		

10. Što se dogodilo kada je čisti kisik bio pridodan gorivnoj ćeliji?

Pitanja razumijevanja

11. Kako je sastavljena PEM gorivna ćelija?
12. Kako radi gorivna ćelija?

3.2 Pokus 2 - Određivanje karakterističnih krivulja gorivne ćelije

Pokus 2 – Određivanje karakterističnih krivulja gorivne ćelije
Sažetak – U ovom pokusu, studenti će odrediti kako strujno-naponska karakteristična krivulja i karakteristična snaga/struja krivulja izgledaju za gorivnu ćeliju.
Tema radnog lista – Općenita pitanja o gorivnoj ćeliji, pitanja o pokusu, pitanja razumijevanja o načinu rada gorivne ćelije.
Razina složenosti – srednje složeno
Prijašnje znanje – Snimanje mjernih krivulja, strujni krugovi, rukovoditi uređajem za elektrolizu, rad s gorivnom ćelijom

Ciljevi učenja:

- Bilježenje strujno-naponske karakteristične krivulje
- Prikazivanje energijsko/naponske karakteristične krivulje
- Opisivanje glavnih značajka karakterističnih krivulja

Zahtjevi:

- Gorivna ćelija
- Uređaj za proizvodnju vodika
- Kontrolna ploča sa USB kablom
- Baza
- 4 skladišna kanistra napunjena sa destiliranom vodom do oznake 5 cm^3
- 8 povezanih cijevi, 2 stezaljke cijevi
- 1 crni kabel, 1 crveni kabel
- štoperica

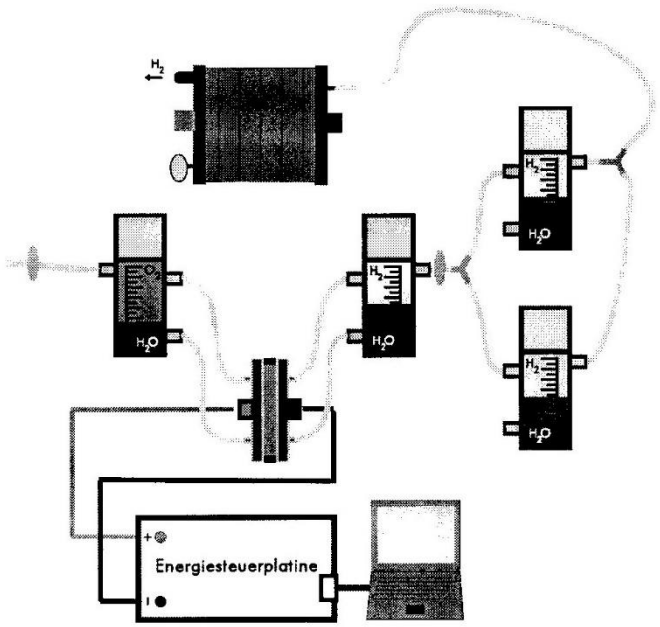
Kako se struja i napon ponašaju ovisno o potrošaču?

OPREZ!

RIZIK OZLJEDE OD OPEKLINA

Izlazeći vodik može zapaliti i opeći kožu.

- Izbjeći stvaranje iskri.
- Test curenja mora se provesti svaki put kada je gorivna ćelija sastavljena; pogledaj radni priručnik.



Slika 3.2: Pokus za proizvodnju vodika, radna ploča se koristi kao izvor napona

Šteta zbog vode!

Voda u gorivnoj ćeliji može uništiti membranu.

- Napuni skladišne kanistre dalje od gorive ćelije.
- Drži gorivu ćeliju suhom.
- Nemoj nikad puniti skladišne kanistre s vodom razinom vode višom od 5 cm^3.

Kako se potrošnja vodika odvija?

1. Postavi pokus kao što je pokazano na slici 3.2; napuni sve skladišne kanistre s vodom do razine 5 cm^3, ako već to nije napravljeno.

2. Zatvori vodikov otvor gorivne ćelije.

3. Odaberi *H_2 Generator vodika* u programu.

Prekomjerno visoki naponi će oštetiti uređaj za proizvodnju vodika. Kod postavljanja željene struje, budite sigurni da napon bude ispod 2,3 V!

4. Postavi uređaj za proizvodnju vodika do 650mA i proizvedi 30 cm^3 vodika i 15 cm^3 kisika.

5. Zaustavi elektrolizu u softveru. Postavi željenu struju na 0 mA.

6. Očisti gorivnu ćeliju. Otvori vodikov otvor gorivne ćelije na 0,5 sekundi pa ga opet zatvori.

7. Opet pokreni uređaj za proizvodnju vodika dok određene vrijednosti ne budu ponovno dostignute.

8. Zaustavi elektrolizu u softveru. Postavi željenu struju na 0 mA.

9. Rastavi uređaj za proizvodnju vodika od kontrolne ploče.

10. Poveži gorivnu ćeliju s kontrolnom pločom

Oprez: **Šteta zbog kratkog spoja!** Izvori napona na gorivnoj ćeliji mogu uništiti membranu. Dok je u načinu rada *Generator vodika*, kontrolna ploča je izvor napona koji može uništiti membranu. Generator vodika također postaje izvor napona kada ništa ne radi, jer ostali vodik u generatoru može reagirati s kisikom.

-> Spoji gorivnu ćeliju samo u načinu rada *Gorivna ćelija*

-> Nikada nemoj spajati gorivnu ćeliju i uređaj za proizvodnju vodika na kontrolnu ploču u isto vrijeme

11. Uključi način rada *Gorivna ćelija* u programu.

12. Postavi željenu struju na 0 mA u softveru.

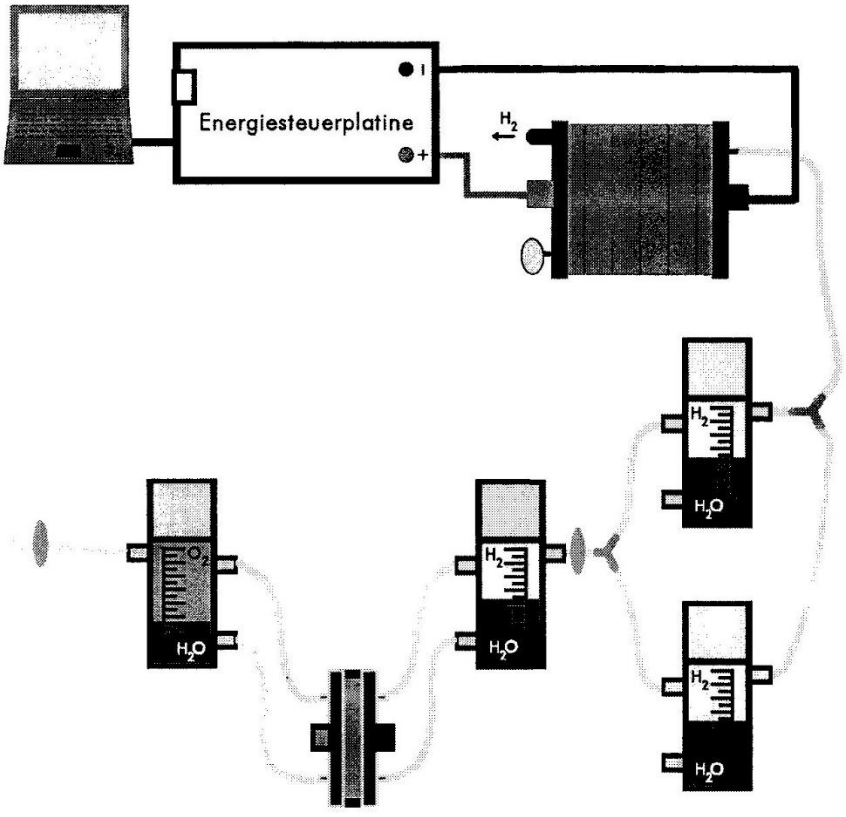
Očisti gorivnu ćeliju s vodikom kako bi se uklonila vlaga ako gorivna ćelija samo dosegne 1 V vanjskog napona:

• Otvori vodikov otvor na gorivnoj ćeliji i odmah ga zatvori

➔ Napon gorivne ćelije će narasti do 3000 mV (staro)/4000 mV (normalno)/5000 mV (novo stanje)

• Proizvedi vodik ponovno do određene vrijednosti

13. Bilježi napon dok povećavaš struju i unesi vrijednosti u tablicu na radnom listu.



Slika 3.3: Pokus za potrošnju vodika gorivne ćelije

14. Postavi pokusu ponovno kao što je pokazano na slici 3.2.

15. Odaberi *H_2 Generator vodika* u programu.

Prekomjerno visoki naponi će oštetiti uređaj za proizvodnju vodika. Kod postavljanja željene struje, budite sigurni da napon bude ispod 2,3V!

16. Postavi uređaj za proizvodnju vodika do 650 mA i proizvedi 30 cm^3 vodika i 15 cm^3 kisika.

17. Zaustavi elektrolizu u softveru.

18. Rastavi uređaj za proizvodnju vodika od kontrolne ploče.

19. Poveži gorivnu ćeliju sa kontrolnom pločom i promijeni na način rada *Gorivna ćelija* u programu.

20. Postavi željenu struju na 150 mA u softveru.

21. Promotri napon gorivne ćelije

22. Opskrbi gorivnu ćeliju s dodatnim kisikom iz kanistra s kisikom: Otvori stezaljku cijevi i drži je ispred ventilacijskog otvora. Promotri vrijednosti napona gorivne ćelije.

Pokus 2: Radni list

Općenita pitanja/inicijalni test

1. Što je galvanska ćelija/galvanski element?
2. Kako vodik može biti pohranjen?

Pitanja o pokusu

3. Unesi svoje vrijednosti mjerenja ovdje. Izračunaj snagu.

Tablica 3.2: Mjerenje struje i napona i računanje snage

I (mA)	U (mV)	P (mW)

4. Napravi karakterističnu krivulju ovisnosti napona i struje.

5. Napravi karakterističnu krivulju ovisnosti snage i struje.

Pitanja razumijevanja

6. Ako je više struje proizvedeno u elektranama, nego što je zapravo iskorišteno, raspon mehanizama se koristi kako bi se stvorila ravnoteža. Jedna opcija je pohraniti dio viška energije. Koje metode pohrane energije poznaješ?

7. Postoji li vodik u svojem pravom obliku na našem planetu?

8. Tvrtka u Njemačkoj je imala gorivne ćelije u podrumu da bi se smanjio rizik od požara. Kako gorivne ćelije mogu smanjiti rizik od požara?

3.3 Pokus 3 – Računanje učinkovitosti gorivnih ćelija

Pokus 3 – Računanje učinkovitosti gorivne ćelije
Sažetak – U ovom pokusu, studenti će izračunati učinkovitost gorivne ćelije
Tema radnog lista – Građa gorivne ćelije, pitanja o pokusu, pitanja razumijevanja o načinu rada gorivne ćelije.
Razina složenosti – srednje složeno
Prijašnje znanje – Rad s voltmetrima i ampermetrima, strujni krugovi, rad sa gorivnom ćelijom

Ciljevi učenja:- Računanje učinkovitosti gorivnih ćelija

- Jednadžbe kemijskih reakcije za gorivne ćelije i elektrolizu
- Razumijevanje uloge membrane

Uvjeti:

- Gorivna ćelija
- Uređaj za proizvodnju vodika
- Kontrolna ploča s USB kablom
- Baza
- 4 spremišna kanistra napunjeni destiliranom vodom do oznake 5 cm^3
- 8 crijeva za povezivanje, 2 stezaljke za crijeva
- 1 crni kabel, 1 crveni kabel
- štoperica

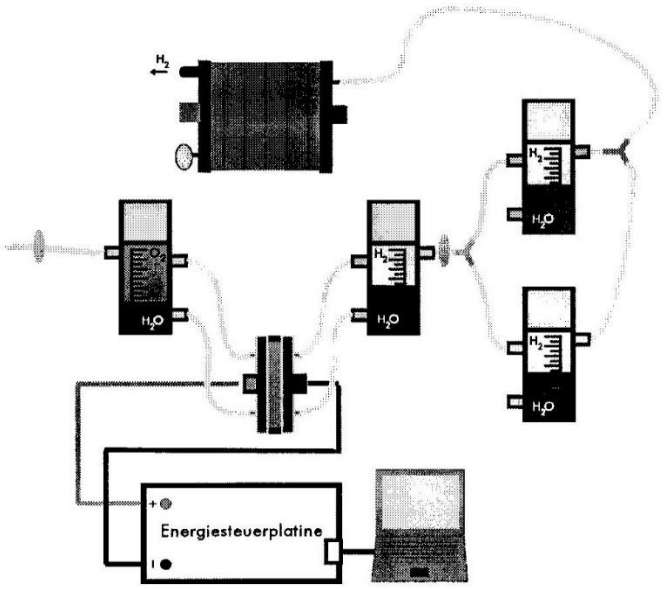
Oprez: **Opasnost od opeklina!** Nastali vodik se može zapaliti i spaliti kožu.

-> Izbjegavaj stvaranje iskri

-> Test curenja se mora obaviti svaki put kada se sklopi stog gorivnih ćelija; pogledajte upute

Upute za pokus:

Kako se mijenjaju struja i napon ovisno o potrošaču?



Slika 3.4: Namješten pokus za proizvodnju vodika; uređaj za kontrolu energija radi kao izvor snage

Oprez: **Šteta od vode!** Voda u gorivnoj ćeliji može oštetiti membranu.

-> Napuni kanistre daleko od gorivih ćelija

-> Drži gorive ćelije na suhom

-> Nikad nemoj napuniti kanistre iznad oznake 5 cm^3

Proizvodnja vodika:

1. Postavi pokus kao u slici 3.4; ispuni sve kanistre s vodom do oznake 5 cm^3 ako to već nije učinjeno.

2. Zatvori izlaz za vodik na gorivnoj ćeliji.

Oprez: Izrazito visoki naponi će oštetiti uređaj za proizvodnju vodika. Pri postavljanju struje, neka napon ostane niži od 2,3V.

3. Odaberi *H_2 Generator vodika* u programu.

4. Postavi uređaj za proizvodnju vodika na 650mA i proizvedi 15 cm^3 vodika.

5. Zaustavi elektrolizu u programu: Postavi struju na 0 mA.

6. Očisti gorivnu ćeliju: Otvori izlaz za vodik na gorivnoj ćeliji na 0.5 sekundi, a onda ga opet zatvori.

7. Ponovo odaberi uređaj za proizvodnju vodika dok se ne dosegnu određene količine.

8. Zaustavi elektrolizu u programu: Postavi struju na 0 mA.

9. Rastavi uređaj za proizvodnju vodika od kontrolne ploče.

Potrošnja vodika:

10. Spoji gorivnu ćeliju s kontrolnom pločom.

Oprez: **Šteta zbog kratkog spoja!** Izvori napona na gorivnoj ćeliji mogu uništiti membranu. Dok je u načinu rada *Generator vodika*, kontrolna ploča je izvor napona koji može uništiti membranu. Generator vodika također postaje izvor napona kada ništa ne radi, jer ostali vodik u generatoru može reagirati s kisikom.

-> Spoji gorivnu ćeliju samo u načinu rada *Gorivna ćelija*

-> Nikada nemoj spajati gorivnu ćeliju i uređaj za proizvodnju vodika na kontrolnu ploču u isto vrijeme

11. Uključi način rada *Gorivna ćelija* u programu.

12. Postavi struju na vrijednost između 200 i 400 mA u programu i zapiši vrijednosti trajanja, napona i struje za svaku razinu vodika na radnom listu.

Savjet: Očisti gorivnu ćeliju s vodikom kako bi maknuo vlagu ako goriva ćelija dosegne oko 1V izlaznog napona:

-> Otvori izlaz za vodik na gorivnoj ćeliji i odmah ga zatvori.

-> Napon gorivne ćelije će se povećati na 3000 mV (staro) / 4000 mV (normalno) / 5000mV (novo)

-> Ponovno proizvodi vodik do određene količine.

Pokus 3: Radni list

Općenita pitanja / inicijalni test

1. Što je energetska učinkovitost?

2. Što je PEM u gorivnoj ćeliji?

3. Od kojeg je materijala napravljena membrane PEM gorivne ćelije?

4. Koja osobine mora imati membrana gorivne ćelije?

Pitanja o pokusu

6. Potrošnja vodika gorivne ćelije (vrijednosti za primjer):

Tablica 3.3: Potrošnja vodika gorivne ćelije

Mjerenje broj i.	Potrošnja vodika (cm^3)	Trajanje (s)	Napon (mV)	Struja (mA)
0	0			
1	5			
2	10			
3	15			
4	20			
5	25			

6. Napravi V/t graf. Što se može vidjeti iz grafa?

7. Izračunaj energetsku učinkovitost i > 0:

$$\eta = \frac{E_{el}}{E_{H2}} = \frac{U_i \; x \; I_i \; x \; t_i}{V_{H2} \; x \; H_u}$$

gdje je H_u standardna vrijednost reakcijske entalpije = $9.9 * 10^6$ J/m^3

Savjet: Izračunaj učinkovitost za razna mjerenja. Rezultati bi trebali biti jednaki unutar granica preciznosti mjerenja.

Pitanja za razumijevanje

8. Zašto je formula za računanje energetske učinkovitosti gorivne ćelije obrnuta funkcija formule energetske učinkovitosti uređaja za proizvodnju vodika?

9. Zašto su membrane tako skupe?

3.4 Pokus 4 – Efekt dimnjaka u gorivnoj ćeliji

Pokus 4 – Efekt dimnjaka u gorivnoj ćeliji
Sažetak – U ovom pokusu, studenti će odrediti karakteristične vrijednosti gorivne ćelije u različitim položajima.
Tema radnog lista – Općenita pitanja o gorivnoj ćeliji, pitanja o pokusu, pitanja razumijevanja o načinu rada gorivne ćelije
Razina složenosti – srednje složeno

Prijašnje znanje – Snimanje mjernih krivulja, strujni krugovi, rad s gorivnom ćelijom

Ciljevi učenja:- Razumijevanje procesa u gorivnoj ćeliji

- Mjerenje karakterističnih vrijednosti gorivnih ćelija
- Kvalitativna ovisnost o kisiku gorivne ćelije
- Potrošnja vodika gorivne ćelije tijekom rada

Uvjeti:

- Gorivna ćelija
- Uređaj za proizvodnju vodika
- Kontrolna ploča s USB kablom
- Baza
- 4 spremišna kanistra napunjeni distiliranom vodom do oznake 5 cm^3
- 8 crijeva za povezivanje, 2 stezaljke za crijeva
- 1 crni kabel, 1 crveni kabel

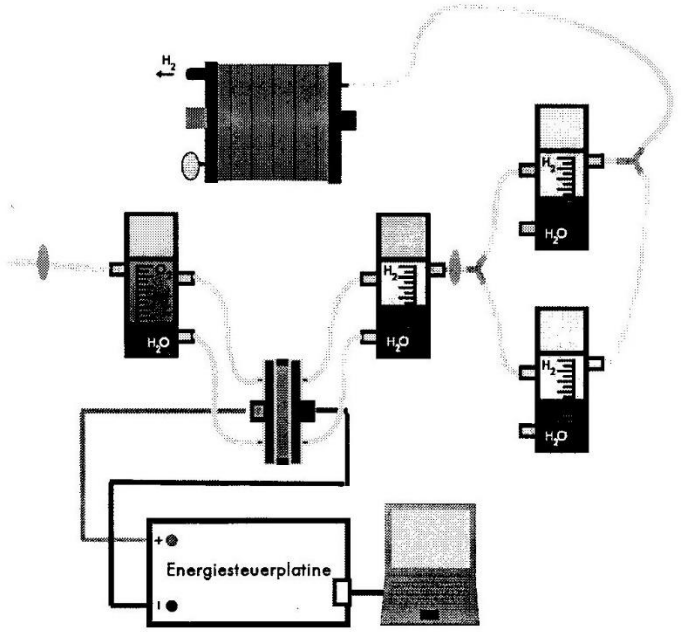
Oprez: **Opasnost od opeklina!** Nastali vodik se može zapaliti i spaliti kožu.

-> Izbjegavaj stvaranje iskri

-> Test curenja se mora obaviti svaki put kada se sklopi stog gorivnih ćelija; pogledajte upute

Upute za pokus:

Kako se mijenjaju struja i napon ovisno o potrošaču?



Slika 3.5: Namješten pokus za proizvodnju vodika; uređaj za kontrolu energija radi kao izvor snage

Oprez: **Šteta od vode!** Voda u gorivnoj ćeliji može oštetiti membranu.

-> Napuni kanistre daleko od gorivnih ćelija

-> Drži gorive ćelije na suhom

-> Nikad nemoj napuniti kanistre iznad oznake 5 cm^3

Proizvodnja vodika:

1. Postavi pokus kao u slici 3.5; ispuni sve kanistre s vodom do oznake 5 cm^3 ako to već nije učinjeno.

2. Zatvori izlaz za vodik na gorivnoj ćeliji.

3. Odaberi *H_2 Generator vodika* u programu.

Oprez: Izrazito visoki naponi će oštetiti uređaj za proizvodnju vodika. Pri postavljanju struje, neka napon ostane niži od 2.3VI.

4. Postavi struju generatora na takvu razinu da napon bude približno 2300 mV. Ovisno o dobi i stanju uređaja za proizvodnju vodika, struja potrebna da se dosegne ova razina bi trebala biti približno 660 mA.

-> U oko šest do osam minuta, sva 3 kanistra bi trebala biti puna vodika.

5. Zaustavi elektrolizu u programu: Postavi struju na 0 mA.

Savjet: Očisti gorivnu ćeliju s vodikom kako bi maknuo vlagu ako gorivna ćelija dosegne oko 1 V izlaznog napona:

-> Otvori izlaz vodika gorivne ćelije i zatvori ga odmah.

-> Napon gorivne ćelije bi se trebao povećati na 3000 mV (staro) / 4000 mV (normalno) / 5000 mV (novo)

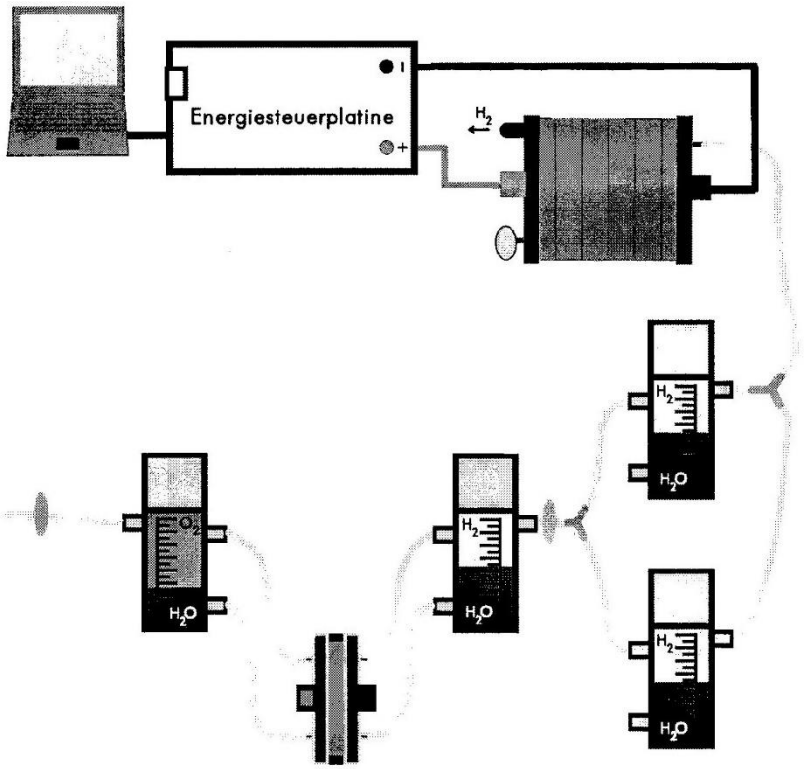
-> Proizvodi vodik ponovno do određene količine.

6. Zaustavi elektrolizu u programu: Postavi struju na 0 mA.

7. Rastavi uređaj za proizvodnju vodika od kontrolne ploče.

Potrošnja vodika:

8. Poveži gorivnu ćeliju s kontrolnom pločom.



Slika 3.6: Pokus za potrošnju vodika gorivne ćelije.

Oprez: **Šteta zbog kratkog spoja!** Izvori napona na gorivnoj ćeliji mogu uništiti membranu. Dok je u načinu rada *Generator vodika*, kontrolna ploča je izvor napona koji može uništiti membranu. Uređaj za proizvodnju vodika također postaje izvor napona kada ništa ne radi, jer ostali vodik u generatoru može reagirati s kisikom.

-> Spoji gorivnu ćeliju samo u načinu rada *Gorivna ćelija*

-> Nikada nemoj spajati gorivnu ćeliju i uređaj za proizvodnju vodika na kontrolnu ploču u isto vrijeme

9. Promijeni na način rada *Gorivna ćelija* u programu.

10. Stisni *Automatska karakteristična krivulja*.

Prikazane krivulje su:

- U = f(I)

- P = f(I)

Snaga P je izračunata formulom P = U * I.

Karakteristične krivulje će biti spremne nakon oko jedne minute.

Tada će tipka *Automatska karakteristična krivulja* ponovno biti siva.

11. *Spremi mjerenja*.

12. Proizvodi ponovno vodik ako je ukupni vodik u kanisterima manja od 30 cm^3; vidi Korak 3. Inače, nastavi na sljedeći korak.

Savjet: Očisti gorivnu ćeliju s vodikom kako bi maknuo vlagu ako gorivna ćelija dosegne oko 1 V izlaznog napona:

-> Otvori izlaz vodika gorivne ćelije i zatvori ga odmah.

-> Napon gorivne ćelije bi se trebao povećati na 3000 mV (staro) / 4000 mV (normalno) / 5000 mV (novo)

-> Proizvodi vodik ponovno do određene količine.

13. Položi gorivnu ćeliju na stranu, tako da je ventilacija na vrhu i dnu kako bi zrak mogao teći vertikalno.

14. Stisni *Automatska krivulja*.

Karakteristične krivulje će biti spremne nakon oko jedne minute. Tada će tipka *Automatska karakteristična krivulja* ponovno biti siva.

15. *Spremi mjerenja*.

Pokus 4: Radni list

Općenita pitanja / inicijalni test

1. Opiši efekt dimnjaka.

2. Skiciraj gorivnu ćeliju u uspravnoj poziciji.

3. Skiciraj položenu gorivnu ćeliju.

4. Zašto se gorivna ćelija ugrije?

Pitanja o pokusu

5. Opiši tok plina (zrak, kisik) u gorivnoj ćeliji u uobičajenoj uspravnoj poziciji.

6. Opiši tok plina (zrak, kisik) u položenoj gorivnoj ćeliji.

7. Skiciraj U/I graf za gorivnu ćeliju.

Pitanja za razumijevanje

8. Kako je vidljiv efekt dimnjaka u položenoj gorivnoj ćeliji?

9. Što koriste komercijalne gorivne ćelije umjesto efekta dimnjaka kako bi unijele više kisika?

10. Velike gorive ćelije su toplije od malih CET gorivnih ćelija. Koji je rezultat?

4. IZVEDBA POKUSA

U ovom poglavlju dan je prikaz izvedenih pokusa u Laboratoriju za OIE na temelju opisa u 3. poglavlju.

4.1 Pokus 1 - Gorivna ćelija, zaliha kisika, potrošnja vodika

1. Tko je izumitelj gorivne ćelije?

   ➔ Princip gorivne ćelije bio je otkriven 1838. i otkrio ga je Christian Friedrich Schoenbein na osnovi sljedeće reakcije: $2\ H_2 + O_2 \rightarrow 2\ H_2O$

   ➔ Izum gorivne ćelije je, međutim, pripisan odvjetniku i fizičaru Sir Williamu Robertu Groveu 1839.

2. Zašto je gorivna ćelija bila zaboravljena?

   ➔ Zbog izuma električnog generatora (1866., Werner von Siemens), izum je bio oslovljen kao "galvanska plinovita baterija" i inicijalno zaboravljen. Kombinacija dinama s parnim motorom je bila relativno jednostavna u smislu goriva i materijala, i stoga preferirana više od kompleksne gorivne ćelije u to vrijeme.

3. Objasni formulu $2\ H_2 + 0_2 \dashrightarrow 2\ H_2O$ riječima:

   ➔ Elementarni kisik reagira s kisikom da bi se dobila voda.

4. U kojim aplikacijama su gorivne ćelije ili su bile uspješno testirane?

   ➔ Gorivne ćelije se koriste za vozila, neprekinuta zaliha snage, tornjeve za mobilne mreže, laptope i mobitele.

   ➔ Mobitel:

   Gorivne ćelije su korištene kao zaliha snage za neke sisteme. U raznim istraživačkim projektima, sistemi gorivnih ćelija i komponente su razvijeni i optimizirani za mobilne aplikacije. Moraju biti izdržljivi i moćni dok u isto vrijeme moraju biti lagani, kompaktni, snažni i podložni vibraciji - i povrh svega jeftini.

   ➔ Automobili:

Gorivne ćelije koriste se u vozilima za kampiranje ili brodovima i bile su dostupne već dulje vrijeme. Gorivne ćelije proizvedene iz prve serije ćelija su se dokazale u operacijskim testovima.

➔ Vodikova infrastruktura:

Dok javni busovi mogu proći sa jednom centralnom vodikovom gorivom stanicom, infrastruktura nije još dovoljno razvijena za individualnu vožnju na dugu udaljenost. Vodik, proizveden solarno i pomoću vjetra kroz elektrolizu, dopušta emisijski slobodnu mobilnost.

➔ Letjelice:

U letjelicama, sistemi gorivnih ćelija su predviđeni da zamijene cijelu pomoćnu energijsku jedinicu. Dok glavni motori se odmaraju, oni mogu pridavati energiju električnim sistemima, sistemima na pritisak zrak i klimi u letjelici. Kotač pogonjen gorivnom ćelijom je također bio testiran uspješno, s njim, letjelice su bile u mogućnosti letjeti tiho bez ikakvih emisija.

➔ Morska plovila:

Gorivne ćelije pogone podmornice i prikladne su za koristiti kao zalihe energije za sisteme u podmornici i kao izvori energije za pogon. Dizel, prirodni plin, metanol, ili vodik mogu biti korišteni kao goriva.

5. Je li ostvarivo koristi gorivne ćelije kod putovanja svemirom?

➔ Gorivne ćelije se koriste za putovanje svemirom od 1960-ih kako bi stvarale struju, toplinu, i vodu za sisteme u vozilu, uključujući Apollo misije i svemirske šatlove, na primjer.

6. Koji tipovi gorivnih ćelija postoje?

➔ Postoje alkalijske gorivne ćelije, PEM gorive ćelije, izravne metanol gorivne ćelije, gorivne ćelije čvrstih oksida, topljene karbonatne gorivne ćelije, i gorivne ćelije s fosfornom kiselinom.

Pitanja o pokusu

7. Zašto mora potrošač bit rastavljen od gorivne ćelije prije izvođenja pokusa?

➔ Gorivna ćelija zahtjeva vodik kako bi proizvodila električnu energiju. Mala količina vodika morala je biti proizvedena prije nego što je potrošač mogao bit spojen sa gorivnom ćelijom.

8. Kako i s kojim materijalom se čisti gorivna ćelija?

➔ Kako bi očistili gorivnu ćeliju, otvori vodikov otvor na gorivnoj ćeliji na kratko.

➔ Čisteći vodik na otvoru privlači se više vodika iz uvale kroz cijelu gorivnu ćeliju, time izbacujući bilo koji vodeni plin.

9. Kako potrošnja vodika ovisi o potrošaču?

➔ Potrošnja vodika se povećava proporcionalno sa strujom potrošača.

Tablica 4.1: Ovisnost potrošnje vodika o potrošaču

	150 mA	300 mA
Potrošnja vodika (cm^3)	Trajanje (s)	Trajanje (s)
5	89	41
10	137	79
15	190	98
20	236	133
25	293	161
30	351	189

10. Što se dogodilo kada je čisti kisik bio pridan gorivnoj ćeliji?

➔ Napon se povisio.

Pitanja razumijevanja

11. Kako je sastavljena PEM gorivna ćelija?

➔ PEM gorivna ćelija obično se sastoji od dvije elektrode izgrađene od porozne ugljične tkanine i od polimerne membrane.

Membrana je stisnuta između anode i katode. Služi kao elektrolit i odvaja kisik i vodik. Membrana se sastoji od politetraflouretilenskog kopolimera i obložena je finom platinom. Platina je katalizator za obje kemijske reakcije u gorivnoj ćeliji. Ploče kroz koje prolazi plin leže s vanjske strane elektroda. Ove ploče imaju male kanale koje vode vodik i kisik do svojih strana elektrode. Kod čišćenja gorive ćelije, voda, sporedni produkt reakcije, je transportirana kroz ove kanale.

12. Kako radi gorivna ćelija?

➔ U gorivnoj ćeliji, kemijska energija vodika i kisika se pretvara u električnu energiju. Vodik je oksidiran s katalizatorom kod anode sa pražnjenjem elektrona:

Anoda: Oksidacija: $2\ H_2 \rightarrow 4\ H^+ + 4e^-$

Ovi elektroni teku od anode, koja postaje negativan pol ćelije u procesu, kroz vanjski krug do katode, koja postaje pozitivan pol ćelije u procesu.

U isto vrijeme, vodikovi ioni prolaze kroz membranu do katode i reducirani su, što znači da primaju elektrone:

Katoda: Redukcija: $O_2 + 4H^+ + 4e^- \rightarrow 2H_20$

Redukcija također zahtjeva isti katalizator, obično platinu.

4.2 Pokus 2 - Određivanje karakterističnih krivulja gorivne ćelije

Općenita pitanja / inicijalni test

1. Što je galvanski članak / galvanski element?

-> Svaka kombinacija dvije elektrode i elektrolita se naziva galvanskim elementom

-> Galvanski članak pretvara kemijsku energiju u električnu energiju

-> Goriva ćelija je galvanski element

2. Kako se može sačuvati vodik?

-> Uz sadašnju tehnologiju se vodik sprema kao komprimirani plin, tekući plin, metalni hidrid, ili u nano vlaknima

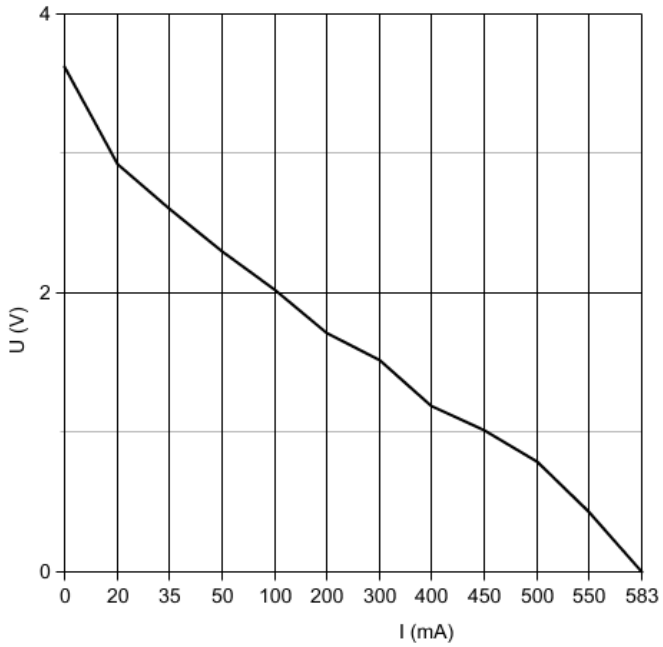
Pitanja o pokusu

3. Unesi izmjerene vrijednosti. Izračunaj snagu.

Tablica 4.2: Snaga, struja i napon gorivne ćelije

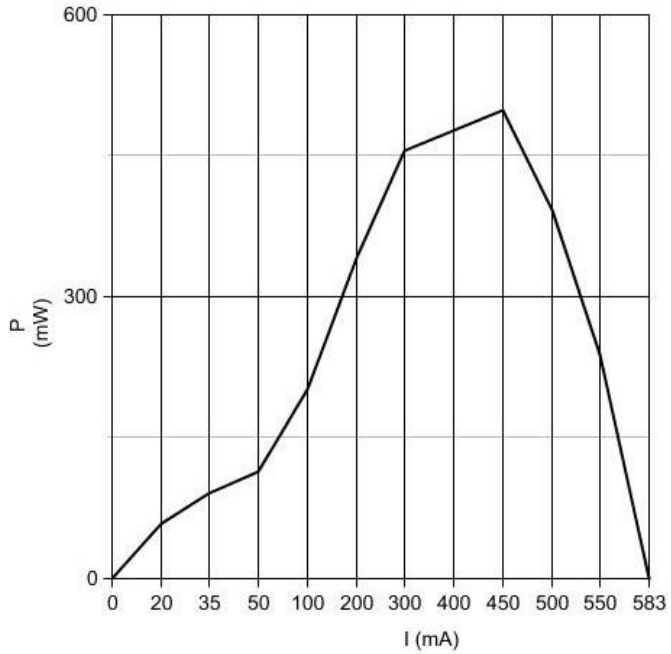
I (mA)	U (mV)	P (mW)
0	3624	0
20	2923	58
35	2602	91
50	2298	114
100	2023	202
200	1713	342
300	1520	456
400	1193	477
450	1019	499
500	787	393
550	433	238
583	0	0

4. Napravi karakteristični U/I graf



Slika 4.1: U/I graf za CET gorivnu ćeliju

5. Napravi karakteristični P/I graf



Slika 4.2: P/I graf za CET gorivnu ćeliju

Pitanja za razumijevanje

6. Ako je u postrojenjima proizvedeno više električni energije nego što se koristi, niz mehanizama se koristi kako bi se stvorila ravnoteža. Jedna mogućnost je spremanje dijela viška energije. Za koje metode spremanja energije znaš?

-> Spremište s pumpom: Voda se viškom energije pumpa u spremište na planini. Kada je to potrebno, vodom iz spremišta se tada mogu pokrenuti turbine.

-> Snaga u gorivo: Energija je iskorištena za elektrolizu; vodik koji nastaje onda može biti iskorišten ili direktno u gorivnim ćelijama ili, na primjer, pretvoren u metan. Metan može biti spremljen u mreži prirodnog plina, na koju su mnoge kuće već povezane.

7. Postoji li čisti vodik na našem planetu?

-> Ne, vodik je prisutan jedino kao dio drugih spojeva, poput vode ili ugljikohidrata (biomasa, nafta, prirodni plin, ugljen)

8. Tvrtka u Njemačkoj je imala gorive ćelije postavljenje u podrumu kako bi se smanjio rizik od vatre. Kako mogu gorivne ćelije smanjiti rizik od vatre?

-> Gorivna ćelije smanjuje količinu kisika u sobi, čime se smanjuje mogućnost zapaljivanja u zraku.

4.3 Pokus 3 – Računanje učinkovitosti gorivnih ćelija

Općenita pitanja / inicijalni test

1. Što je energetska učinkovitost?

    -> Energetska učinkovitost opisuje odnos iskoristive i uložene energije.

2. Što je PEM u gorivnoj ćeliji?

    -> PEM je naziv za membranu u gorivnoj ćeliji. PEM znači Polimerna Elektrolitna Membrana, ponekad zvana i Membrana za Izmjenu Protona.

    -> Izmjena protona znači da membrana provodi protone. To nije jednako kao i električna provodljivost.

3. Od kojeg je materijala napravljena membrana PEM gorivne ćelije?

    -> Polimerni elektrolit znači da je elektrolit polimer, ili drugim riječima, plastika. Membrana izgleda kao folija, ali je puno skuplja.

    -> Najčešće korištena polimerna membrana je sulfonski politetrafluoretilen (PTFE). Folija je poboljšanje elementa poznatog kao Teflon, i prodana je pod nazivom Nafion od strane DuPonta.

    -> Ostale membrane se temelje na polibenzimidazolima i fosfornoj kiselini.

4. Koja osobine mora imati membrana gorivne ćelije?

    -> Membrana mora omogućiti protok protona ostajući nepropusna za reaktivne plinove vodik i kisik te elektrone

Pitanja o pokusu

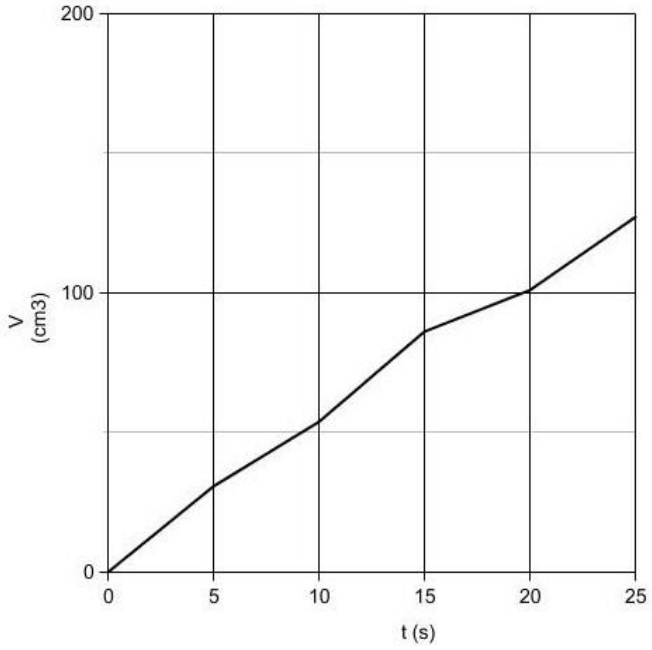
7. Potrošnja vodika gorivne ćelije (vrijednosti za primjer):

Tablica 4.3: Potrošnja vodika gorivne ćelije

Mjerenje broj i.	Potrošnja vodika (cm^3)	Trajanje (s)	Napon (mV)	Struja (mA)
0	0	0	2994	352
1	5	31	3006	347
2	10	54	2930	342
3	15	86	2854	329
4	20	101	2876	328
5	25	127	2863	329

-> Potrošnja vodika raste proporcionalno u odnosu na snagu potrošača.

6. Napravi V/t graf. Što se može vidjeti iz grafa?



Slika 4.3: V/t graf za CET gorivnu ćeliju

7. Izračunaj energetsku učinkovitost i>0:

$$\eta = \frac{E_{el}}{E_{H2}} = \frac{U_i \; x \; I_i \; x \; t_i}{V_{H2} \; x \; H_u}$$

gdje je H_u standardna vrijednost reakcijske entalpije = $9.9 * 10^6$ J/m^3

$$\eta = \frac{2{,}87\ V\ x\ 0{,}337\ A\ x\ 112s}{0{,}000025\ cm^3 x\ 9{,}9\ x\ 10^6}$$

$$\eta = 0{,}44 = 44\%$$

-> Učinkovitost je jednaka za sve vrijednosti struje i sve t_i.

Pitanja za razumijevanje

8. Zašto je formula za računanje energetske učinkovitosti gorivne ćelije obrnuta funkcija formule energetske učinkovitosti uređaja za proizvodnju vodika?

-> Reakcija u gorivnoj ćeliji je suprotna elektrolizi.

-> U elektrolizi, vodik i kisik se proizvode iz vode i pod odgovarajućim naponom i strujom.

-> U gorivnoj ćeliji, vodik i kisik se spajaju u vodu, proizvodeći struju.

9. Zašto su membrane tako skupe?

-> Membrane sadržavaju platinu i ostale skupe plemenite metale kao katalizatori za reakcije ćelije.

4.4 Pokus 4 – Efekt dimnjaka u gorivnoj ćeliji

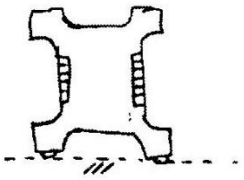
Općenita pitanja / inicijalni test

1. Opiši efekt dimnjaka.

-> Efekt dimnjaka je kretanje plina zbog uzgona prema Arhimedovom zakonu.

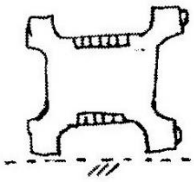
-> Uzgon se javlja zbog razlike u gustoći zraka, koja nastaje zbog razlike temperature ili vlage: Topli zrak ima manju gustoću. Razlika u gustoći zraka uzrokuju razliku u tlaku što čini efekt dimnjaka. Topli zrak se diže gore zbog manje gustoće, stvarajući zonu niskog pritiska. Hladniji zrak ima veću gustoću i tone – izvan dimnjaka, u ovom slučaju. U zoni dimnjaka se javlja usisavanje, što uvlači hladan zrak izvana.

2. Skiciraj gorivnu ćeliju u uspravnoj poziciji.



Slika 4.4: Uspravna gorivna ćelija s ventilacijom sa strane

3. Skiciraj položenu gorivnu ćeliju.



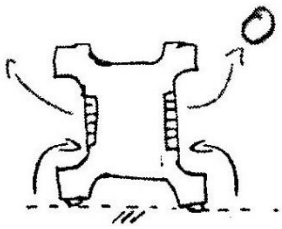
Slika 4.5: Položena gorivna ćelija s ventilacijom na vrhu i dnu

4. Zašto se gorivna ćelija ugrije?

-> Toplina je produkt kemijske reakcije: $2\ H_2 + O_2 \rightarrow 2\ H_2O$ + toplina

Pitanja o pokusu

5. Opiši tok plina (zrak, kisik) u gorivnoj ćeliji u uobičajenoj uspravnoj poziciji.



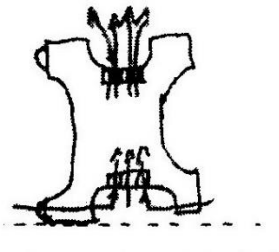
Slika 4.6: Uspravna pasivno-disajuća gorivna ćelija s ventilacijom sa strane

-> Zrak teče kroz ventilaciju s obje strane.

-> Zrak se grije u gorivnoj ćeliji i diže se.

-> Kisik i zrak teku iz gornjih dijelova ventilacije s obje strane.

6. Opiši tok plina (zrak, kisik) u položenoj gorivnoj ćeliji.



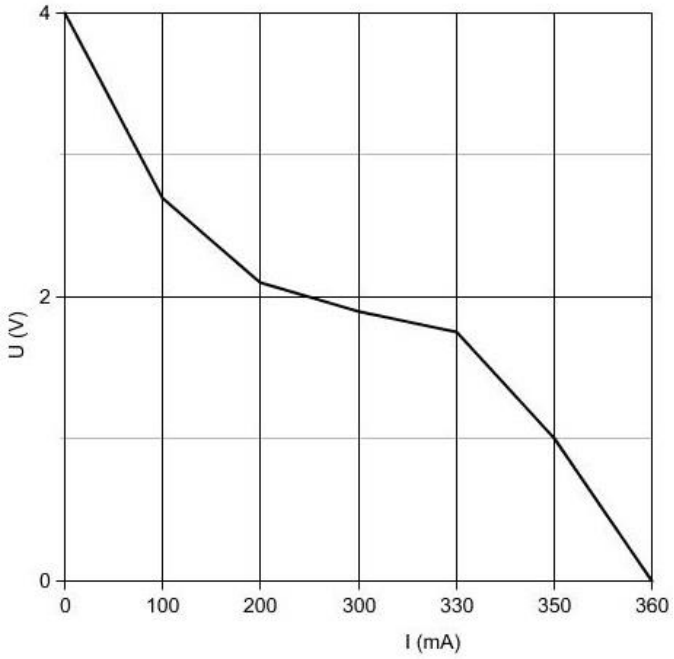
Slika 4.7: Uspravna gorivna ćelija s ventilacijom sa strane

-> Zrak utječe kroz donju ventilaciju.

-> Zrak se grije u gorivoj ćeliji i diže se.

-> Kisik i zrak teku iz gornje ventilacije.

7. Skiciraj U/I graf za gorivnu ćeliju.



Slika 4.8: U/I graf za CET gorivnu ćeliju

-> Zbog efekta dimnjaka se javljaju viši napon i struja. Snaga gorivne ćelije poraste za oko 3 posto.

Pitanja za razumijevanje

8. Kako je vidljiv efekt dimnjaka u položenoj gorivnoj ćeliji?

-> Zrak je ugrijan u gorivnoj ćeliji i diže se, zbog čega se svježi zrak odozdo usisava. Zbog usisavanja je više kisika dostupno za kemijsku reakciju nego u gorivnoj ćeliji s horizontalnom ventilacijom.

-> Izmjerljivo više snage je proizvedeno.

9. Što koriste komercijalne gorivne ćelije umjesto efekta dimnjaka kako bi unijele više kisika?

-> Ventilatore

10. Velike gorivne ćelije su toplije od malih CET gorivnih ćelija. Što je posljedica toga?

-> Te gorivne ćelije trebaju hlađenje. Hlade se zrakom ili vodom.

5. ZAKLJUČAK

U ovom završnom radu objašnjeno je pretvaranje kemijske energije u električnu energiju pomoću gorivnih ćelija. U teorijskom dijelu završnog rada opisane su gorivne ćelije, opisana je njihova primjena i princip rada. Gorivne ćelije su još relativno mlada tehnologija sa velikim potencijalom i velikim ograničenjima. Ekološki čista energija sa vrlo širokim područjem primjene, velikom energetskom iskoristivošću, koja koristi gorivo koje se može proizvesti iz puno izvora nudi mnogo mogućnosti. Cijena materijala potrebnih za izradu gorivnih ćelija i problemi sa proizvodnjom i skladištenjem goriva koje može biti opasno, te nedostatak infrastrukture za veliku upotrebu ograničavaju gorivne ćelije upotrebu gorivnih ćelija. U praktičnom dijelu završnog rada odrađena su 4 pokusa. U prvom pokusu je promatrano kako kisik utječe na jakost gorivne ćelije i također je promatrano kako potrošnja vodika ovisi o struji potrošača. Zaključeno je da potrošnja vodika raste proporcionalno sa porastom struje potrošača, a dodavanjem kisika se povećava napon. U drugom pokusu su određivane strujno – naponska karakteristika i P/I karakteristika za gorivnu ćeliju. Porastom struje gorivne ćelije napon se proporcionalno smanjivao. U trećem pokusu se računala učinkovitost gorivne ćelije. Potrošnja vodika raste proporcionalno u odnosu na snagu potrošača. U četvrtom pokusu je promatran efekt dimnjaka u gorivnim ćelijama. Efekt dimnjaka je kretanje plina zbog uzgona prema Arhimedovom zakonu. Uzgon se javlja zbog razlike u gustoći zraka, koja nastaje zbog razlike temperature ili vlage. Razlika u gustoći zraka uzrokuju razliku u tlaku što čini efekt dimnjaka. Zbog efekta dimnjaka se javljaju viši napon i struja.

LITERATURA

[1] – IEA Technology Roadmap: Hydrogen and Fuel Cells, 30.6.2015.

[2] – Slika preuzeta sa: Global Molten Carbonate Fuel Cell http://legmannews.com/global-molten-carbonate-fuel-cell-mcfc-market-competitors-profiles-sharp-corp-fujikura-ltd-toshiba-corp-sfc-power/ na dan 13.9.2018.

[3] – Slika preuzeta sa: http://www.fuelcell.no/fuel_cell_types_pafc_eng.htm na dan 13.9.2018.

[4] – Slika preuzeta sa: Fuji Electric Global https://www.fujielectric.com/company/research_development/theme/fuelcell.html na dan 13.9.2018.

[5] – Podaci i slika preuzeti sa: Express https://www.express.co.uk/life-style/cars/902027/Hyundai-Nexo-fuel-cell-hydrogen-EV-CES-2018-specs na dan 13.9.2018.

[6] – Podaci preuzeti sa: Clean Tehnica https://cleantechnica.com/2018/06/16/toyota-mirai-hydrogen-fuel-cell-vehicle-review-cleantechnica-exclusive/ na dan 13.9.2018.

[7] – Podaci preuzeti sa: Energy.gov https://www.energy.gov/eere/fuelcells/fuel-cell-technologies-office na dan 13.9.2018.

[8] – Heliocentris, Clean Energy Trainer, Experiment Guide

ŽIVOTOPIS

Matija Orešković rođen je 5.ožujka.1997. godine u Slavonskom Brodu. Nakon završetka osnovne škole upisuje 2011. Tehničku školu Slavonski Brod za zanimanje elektrotehničar. 2015. završava srednju školu i polaže državnu maturu. 2015. godine upisuje preddiplomski studij elektrotehnike na Fakultetu elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija, za vrijeme upisa Elektrotehnički fakultet Osijek. Na drugoj godini studija odabire izborni blok elektroenergetika.