

# GORIVNE ĆELIJE NA BAZI ĆVRSTIH OKSIDA KAO PERSPEKTIVNI IZVORI ENERGIJE

*Miroljub Adžić\**

**Ključne reči:** izvori energije, gorivne ćelije na bazi čvrstih oksida, performanse.

## SAŽETAK:

U radu se porede performanse gorivnih ćelija na bazi čvrstih oksida i konvencionalni sistemi za proizvodnju električne energije. Osnovne prednosti gorivnih ćelija su visoki stepen korisnosti, odlične ekološke karakteristike, jednostavnost i niski troškovi održavanja, dok su osnovni nedostaci vrlo visoka cena i manja pouzdanost. Međutim, očekuje se da u narednoj deceniji gorivne ćelije postanu komercijalno dostupne i to uglavnom sistemi manjih snaga do 200 kW, sa cenom od 600 - 700 DEM kW<sup>-1</sup> i radnim vekom od najmanje 40000 časova, za stacionarnu proizvodnju električne energije.

## 1. UVOD

Gorivne ćelije su elektrohemijski uređaji koji direktno pretvaraju energiju hemijske reakcije u električnu energiju. Iako su principi rada gorivnih ćelija poznati više od jednog veka njihov razvoj i komercijalna primena dugo vremena nisu bili mogući zbog velikih tehnoloških problema, veoma visoke cene i nedovoljne pouzdanosti u radu. Sa brzim tehnološkim razvojem uopšte, istraživanja u oblasti gorivnih ćelija naglo dobijaju u zamahu i neki tipovi gorivnih ćelija se već proizvode na komercijalnom nivou. Postoji više tipova gorivnih ćelija zavisno od upotrebljenog elektrolita. Ovaj rad se odnosi na gorivne ćelije na bazi čvrstih oksida, ali treba naglasiti da su osnovne performanse svih tipova bliske. Koliko se gorivne ćelije smatraju perspektivnim energetskim izvorom pokazuje činjenica da se za period 1995 - 2005. godina procenjuje da će izdvajanja u svetu za dalja istraživanja i razvoj biti oko 5 milijardi dolara.

---

\* Profesor Mašinskog fakulteta u Beogradu, 27 marta 80,  
e-mail: mike@eunet.yu.

## 2. OSNOVNE KARAKTERISTIKE I PERFORMANSE GORIVNIH ČELIJA

Gorivne ćelije na bazi čvrstih oksida sastoje se od keramičkih komponenti. Osnovni element je čvrsti elektrolit, uglavnom od cirkonijum oksida. Debljina elektrolita je reda veličine 0,1 mm. Elektrolit, jonski provodnik, razdvaja struje goriva i vazduha. Elektrolit je pokriven poroznim elektrodama. Gorivne ćelije proizvode električnu energiju reakcijom vodonika i kiseonika iz vazduha. Na katodi, molekuli kiseonika reaguju sa elektronima iz spoljnog električnog kola i kao joni prolaze kroz elektrolit, dospevaju na anodu gde reaguju sa gorivom. Pri tome oslobadaju elektrone koji prelaze u spoljno električno kolo, čime se uspostavlja jednosmerna električna struja. Ostvareni električni rad jednak je promeni Gibsove energije sistema. Radna temperatura je relativno visoka i kreće se oko 1100 K - 1300 K. Vodonik se dobija konverzijom fosilnih i drugih goriva kao što su prirodni zemni gas, tečna goriva, generatorski gasovi dobijeni gazifikacijom uglja i druga goriva. Proizvedena električna struja je proporcionalna aktivnoj površini elektrolita dok je električni napon oko 1 V. Radi povećanja napona ćelije se povezuju redno. Ilustracije radi, neke tipične radne karakteristike keramičkih gorivnih ćelija date su u Tabeli I, prema<sup>1</sup>.

Tabela I: Tipične radne karakteristike cirkonijumske gorivne ćelije

*Jedinična ćelija; radna temperatura 1190 K*

|                             |                          |
|-----------------------------|--------------------------|
| Gustina električne struje   | 0,25 A cm <sup>-2</sup>  |
| Napon                       | 0,7 V                    |
| Površinska specifična snaga | 0,175 W cm <sup>-2</sup> |

*100 redno vezanih ćelija*

|                             |                  |
|-----------------------------|------------------|
| Ukupna aktivna površina     | 3 m <sup>2</sup> |
| Napon                       | 70 V             |
| Električna snaga            | 5,25 kW          |
| Dimenzije- prečnik x visina | 0,2 x 0,7 m      |

Medjutim, ove karakteristike postaju impresivnije uz sledeće podatke - stepen korisnosti transformisanja energije hemijske reakcije u električnu energiju se kreće između 60 i 65%, što je 30-50 % više nego kod konvencionalnih sistema. Druga, veoma značajna prednost gorivnih ćelija nad klasičnim sistemima su izuzetna ekološka svojstva. Emisija NO<sub>x</sub>, CO, ugljovodonika i čestica je veoma mala. Poredjenja radi, gorivne ćelije

emituju 10 do 100 puta manje polutanata u odnosu na konvencionalne stacionarne sisteme za proizvodnju električne energije. Značajno niža emisija CO<sub>2</sub> po jedinici oslobodjene energije (25 - 30 %) je još jedna njihova povoljna karakteristika. Gorivne ćelije su vrlo jednostavne konstrukcije i lake za održavanje. Uz to gorivne ćelije su vrlo tihe. Buka koju proizvode odgovara buci gradskog saobraćaja iza zatvorenog prozora. Niski troškovi održavanja su još jedna u nizu prednosti. Visoka temperatura izduvnih gasova kao i moguće prisustvo gorivih komponenti omogućuje da se ova tehnologija istovremeno uspešno primeni i kao izvor toplotne energije, čime se njihova efikasnost dalje povećava. No i pored očiglednih veoma dobrih karakteristika, gorivne ćelije imaju i veoma ozbiljne nedostatke. Na sadašnjem nivou razvoja tehnologije dva su osnovna problema koji zahtevaju odgovarajuća rešenja u cilju njihove komercijalne primene: visoka cena po jedinici instalisane snage i nedovoljna pouzdanost. U tom smislu ulažu se veliki naponi u razvoj novih materijala za gorivne ćelije, njihovo dalje usavršavanje, sniženje radne temperature na 1100 K i povećanje pouzdanosti rada na najmanje 40 000 radnih sati. Njihova trenutna cena je veoma visoka s obzirom da je proizvodnja zasnovana praktično na laboratorijskim komponentama. Masovnom proizvodnjom moguće je postići cenu od 600 - 700 DEM kW<sup>-1</sup> instalisane snage, kao što se vidi na slici 1, prema proceni autora<sup>2</sup>, gde je prikazana promena cene po jedinici instalisane snage u funkciji vremena, odnosno broja proizvedenih jedinica gorivnih ćelija.

Radna temperatura gorivnih ćelija na bazi čvrstih oksida je oko 1300 K zbog niske provodljivosti standardnih elektrolita, kao što je cirkonijum oksid, na nižim temperaturama. Na tako visokim temperaturama javljaju se vrlo ozbiljni problemi kao što su difuzija između elektrolita i elektroda i veliki termalni naponi koji mogu da izazovu lom keramičkih elemenata. Termalni naponi se javljaju usled različitih koeficijenata širenja primenjenih materijala u kontaktu ili nehomogenog temperaturskog polja elektrolita. Stoga je poželjno da se radna temperatura gorivnih ćelija smanji a nehomogenosti temperaturskog polja minimalizuju. Uvodjenjem novih materijala za elektrolit, kao na primer<sup>3</sup>, radnu temperaturu je moguće smanjiti na 1100 K, a da se pri tome zadrže dobre performanse gorivnih ćelija. Ostaje, međutim, otvoreno pitanje efekta nehomogenosti temperaturskog polja. Preovladjujuće mišljenje zasnovano na teorijskim istraživanjima i odsustvu eksperimentalnih podataka da je u gorivnim ćelijama temperatursko polje vrlo homogeno sa razlikama od nekoliko °C nova eksperimentalna istraživanja opovrgavaju<sup>4,5</sup>. Uočene su lokalne toplije zone gde je temperatura viša za 16°C u odnosu na susedne zone. Izmereni temperaturski profil u graničnom sloju ravanskog elektrolita<sup>5</sup>, slika 2, pokazuje da konvektivni mehanizam razmene toplote učestvuje sa oko 10 % u ukupnoj razmeni toplote elektrolita i okoline, što je takodje prvi publikovani eksperimentalni rezultat te vrste u dostupnoj literaturi. Ovi nalazi pokazuju da se mora posvetiti znatno veća pažnja rešavanju problema prenosa toplote u ovom tipu gorivnih ćelija kako bi im se pouzdanost povećala na potrebni nivo.

Rešavanje gore navednih mana gorivnih ćelija je pitanje koje će u dogledno vreme biti uspešno rešeno. Pitanje je zapravo gde će gorive ćelije na bazi čvrstih oksida naći svoju pravu primenu. U svetlu sve veće nepopularnosti izgradnje vrlo velikih termo i

hidro-energetskih jedinica i tendencije uvođenja malih, decentralizovanih, kogeneracionih sistema za proizvodnju električne energije uvođenje gorivnih ćelija postaje atraktivno. S druge strane, ogromno iskustvo i standardna tehnologija primene klasičnih sistema u oblasti velikih snaga pruža dopunski otpor uvođenju gorivnih ćelija i pored njihove veće efikasnosti i izvanrednih ekoloških karakteristika. Tehnička složenost i visoki troškovi održavanja klasičnih agregata, kao što su klipni motori i gasne turbine u oblasti manjih snaga, do 200 kW, pružaju u ovom trenutku veoma izgledno polje gorivnim ćelijama u decentralizovanim, lokalnim postrojenjima za proizvodnju električne energije<sup>6,7</sup>. Procenjuje se da bi prve gradske mreže gorivnih ćelija na bazi čvrstih oksida bile realizovane između 2000 - 2002 godine<sup>7</sup>.

U narednoj deceniji predviđa se povećanje proizvodnje i potrošnje električne energije u SR Jugoslaviji. U isto vreme pitanja ekološke zaštite postavice se u oštrijem obliku kao posledica povećanja svesti o potrebi zaštite životne sredine, ali po svojoj prilici više zbog direktnih međunarodnih implikacija. Iako su naši osnovni energetski izvori ugalj i hidroenergija, nove tehnologije, kao što su visoko-temperatureske gorivne ćelije na bazi čvrstih oksida, predstavljaju rešenja koje treba ozbiljno uzeti u obzir prilikom planiranja instaliranja novih elektro-energetskih kapaciteta.

### 3. ZAKLJUČAK

I pored značajnih prednosti gorivnih ćelija nad konvencionalnim sistemima za proizvodnju električne energije vrlo visoka cena i manja pouzdanost ne dozvoljava njihovu komercijalnu primenu. Međutim, očekuje se da u narednoj deceniji gorivne ćelije postanu komercijalno dostupne i to uglavnom sistemi manjih snaga do 200 kW, sa cenom od 600 - 700 DEM kW<sup>-1</sup> i radnim vekom od najmanje 40000 časova.

### LITERATURA

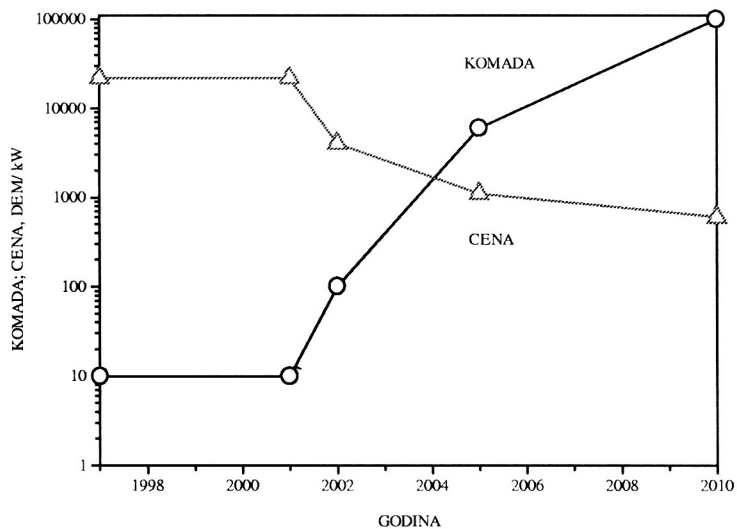
- [1] Diethelm: "R. Energy for the future.", *Sulzer Technical Review*, no. 2, 1996.
- [2] J. Willand, K.E. Norekait: "State of the Art and Development Trends for Fuel Cell Vehicles", *European Fuel Cell News*, vol. 3, no. 2, 1996.
- [3] T. Ishii, Y. Tajima: "Low Temperature Operation of Solid Oxide Fuel Cell", *J. Electrochem. Soc.*, vol. 141, no. 12, 1994.
- [4] M. Adžić, D. Santos, M. Heitor: "Project JOU2-CT 92-202", *4th Progress Rept.*, Lisbon, 1994.
- [5] M. Adžić, M.V. Heitor, D. Santos: "Design of dedicated instrumentation for temperature distribution measurements in solid oxide fuel cells", *J. of Appl. Electrochemistry*, vol. 27, no. 12, 1997.
- [6] K. Harasawa, I. Kanno, I. Masuda: "Fuel Cell R&D Demonsration. Programs at Electric Utilities in Japan", *Fuel Cell Seminar*, Tuscon, Arizona, 1992.

- [7] W. Winkler: "SOFC-integrated power plants for natural gas", *1st European Solid Oxide Fuel Cell Forum*, ed. Bossel, U., vol. 2, Lucerne: Kinzel, 1994.

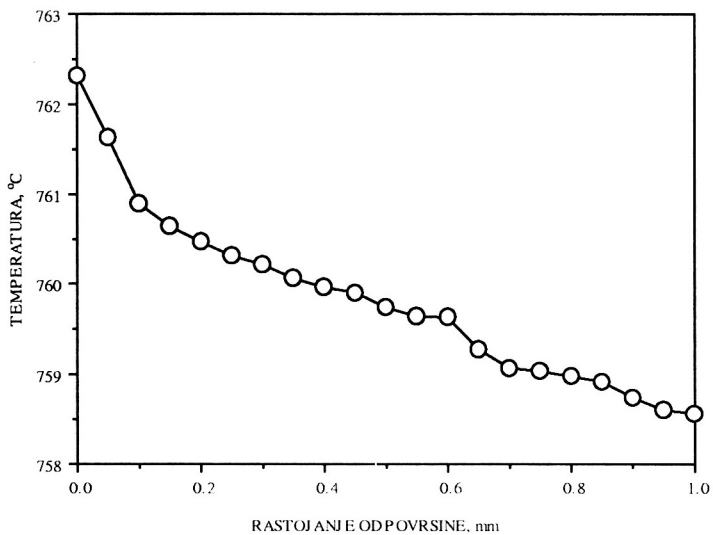
### FUEL CELLS BASED ON SOLID OXIDE

#### ABSTRACT:

This paper is concerned with solid oxide fuel cells performance when compared with conventional systems for electricity generation. Their main advantages are high efficiency, excellent environmental characteristics, simplicity and low maintenance costs, while main disadvantages are very high prices and lower reliability. However, it is to be expected that in the next decade solid oxide fuel cells will become commercially available, mainly in the lower power range of up to 200 kW, when their price will drop to 600 - 700 DEM kW<sup>-1</sup> with a lifetime of 40000 hours for stationary electricity generation.



Slika 1. Broj proizvedenih komada gorivih ćelija i cena



Slika 2. Profil temperature u granicnom sloju gorive ćelije