

# Performanse sklopova termoelektrični modul - hladnjak namenjenih samonapajajućim sistemima u uslovima prirodnog hlađenja

Aleksandra Stojković, *Student Member, IEEE*, Miloš Marjanović, *Student Member, IEEE*,  
Jana Vračar, *Student Member, IEEE*, Aneta Prijic, *Member, IEEE* i Zoran Prijic, *Member, IEEE*

**Apstrakt**— Sklopovi termoelektrični modul-hladnjak nalaze široku primenu u sistemima za konverziju termičke u toplotnu energiju i obrnuto. U ovom radu je analiziran izabrani termoelektrični modul u ulozi termoelektričnog generatora u sprezi sa šest različitih hladnjaka bliskih dimenzija pod uslovima prirodnog hlađenja. Razmatrana je efikasnost sklopova sa aspekta električnog napona predatog potrošaču pri različitim temperaturnim pobudama. Izvršena su eksperimentalna merenja i odgovarajuće numeričke simulacije, pri čemu su analizirani doprinosi pojedinih termoelektričnih efekata i mehanizama odvođenja toplote sa površina hladnjaka. Pokazano je da ravni hladnjaci od mikroporoznih materijala mogu adekvatno da zamene ekstrudirane aluminijumske hladnjake kod samonapajajućih sistema u uslovima prirodnog hlađenja.

**Ključne reči**—Termoelektrični generator; hladnjak; samonapajajući sistem; prirodno hlađenje; radijacija.

## I. UVOD

Termoelektrični moduli (TEM-ovi) u sprezi sa različitim tipovima hladnjaka se često susreću kao delovi prenosnih mini uređaja za hlađenje/grejanje ili termoelektrično napajanih bežičnih senzorskih čvorova. Sami moduli baziraju svoj rad na Peltijevom (Peltier) odnosno Zebekovom (Seebeck) efektu. Kada rade kao izvori ili apsorberi toplote termoelektrični moduli se pobuđuju električnom strujom i kao takvi su poznati pod nazivom Peltijevi elementi za grejanje odnosno hlađenje [1]. Analogno, kada se na suprotne strane ovih modula primeni odgovarajuća temperaturna razlika oni generišu električni napon i tada se klasifikuju kao termoelektrični generatori (TEG-ovi) [2]. Za efikasan rad TEM-ova je neophodna dopunska razmena toplote sa njegove hladne i/ili tople strane što se obezbeđuje kako aktivnim tako i pasivnim hladnjacima. S obzirom da su standardni pasivni hladnjaci znatno jednostavnije konstrukcije i bez potrebe za dodatnim podsklopovima za protok rashladnog fluida, oni su

široko prisutni u komercijalnim sistemima. Performanse sklopova sa pasivnim hladnjacima, pod definisanim radnim uslovima, osim od karakteristika TEM-a zavise i od konstrukcije i materijala upotrebljenog hladnjaka [3].

Aluminijumski hladnjaci sa ekstrudiranim rebrima ili stubićima su standardno rešenje za primene u kojima se zahteva jednostavno povećanje površine za odvođenje toplote. Hladnjaci od keramike alumine ( $Al_2O_3$ ) zamenjuju aluminijumske pri zahtevima za visokim probojnim naponima i elektromagnetnom kompatibilnošću i primenjuju se kod LED rasvete, modula snage i specifičnih integrisanih kola [4]. Mikroporozni keramički hladnjaci ravne ili jednostavne rebraste geometrije su niskoprofilni, lagani i bez efekta antene [5]. Njihova mikroporozna struktura obezbeđuje povećanje efektivne kontaktne površine sa fluidom i niski toplotni kapacitet po jedinici zapremine, što ih čini pogodnim za primenu u sistemima gde prevladava prirodno hlađenje (bez strujanja okolnog fluida) unutar ograničenog prostora. Odnedavno komercijalno dostupne hladnjake od bakarne pene takođe karakteriše mikroporozna struktura, kao i dodatna prevlaka od bakar-oksida radi povećanja emisivnosti [6].

Ovaj rad analizira funkcionisanje sklopova TEG-hladnjak prvenstveno za primenu u bežičnim senzorskim čvorovima u uslovima prirodnog hlađenja. Osnovni cilj je da se uporede performanse nestandardnih pasivnih hladnjaka (keramičkih i mikroporoznih) sa aluminijumskim hladnjacima bliskih spoljašnjih dimenzija. Osim vrednosti generisanog napona na potrošaču, prati se i vremenski odziv sklopa na iznenadnu termičku pobudu, odnosno njegova termička inertnost. Sva eksperimentalna merenja prate numeričke simulacije sa ciljem uspostavljanja standardizovane procedure za predviđanje karakteristika novoprojektovanih sklopova.

## II. EKSPERIMENTALNA POSTAVKA

Razmatraju se komercijalno dostupne komponente tako da je izabran tipičan „minijturni“ TEG GM200-127-14-16 sa 127 termoelektričnih parova, spoljašnjih dimenzija ( $40 \times 40 \times 3,8$ ) mm [4]. Karakteristični električni parametri ovog TEG-a su dati u Tabeli I. Na hladnu stranu TEG-a je termoprovodnom adhezivnom trakom pričvršćen hladnjak. Analizirno je šest niskoprofilnih hladnjaka čije su osnove dimenziono kompatibilne sa pločama TEG-a a izrađeni su od aluminijuma, alumine, mikroporozne keramike i bakarne pene. Parametri izabranih hladnjaka su navedeni u Tabeli II.

Aleksandra Stojković – Univerzitet u Nišu, Elektronski fakultet, Aleksandra Medvedeva 14, 18000 Niš, Srbija (e-mail: aleksandra.stojkovic@elfak.ni.ac.rs).

Miloš Marjanović – Univerzitet u Nišu, Elektronski fakultet, Aleksandra Medvedeva 14, 18000 Niš, Srbija (e-mail: milos.marjanovic@elfak.ni.ac.rs)

Jana Vračar – Univerzitet u Nišu, Elektronski fakultet, Aleksandra Medvedeva 14, 18000 Niš, Srbija (e-mail: jana.vracar@elfak.ni.ac.rs)

Aneta Prijic – Univerzitet u Nišu, Elektronski fakultet, Aleksandra Medvedeva 14, 18000 Niš, Srbija (e-mail: aneta.prijic@elfak.ni.ac.rs)

Zoran Prijic – Univerzitet u Nišu, Elektronski fakultet, Aleksandra Medvedeva 14, 18000 Niš, Srbija (e-mail: zoran.prijic@elfak.ni.ac.rs)

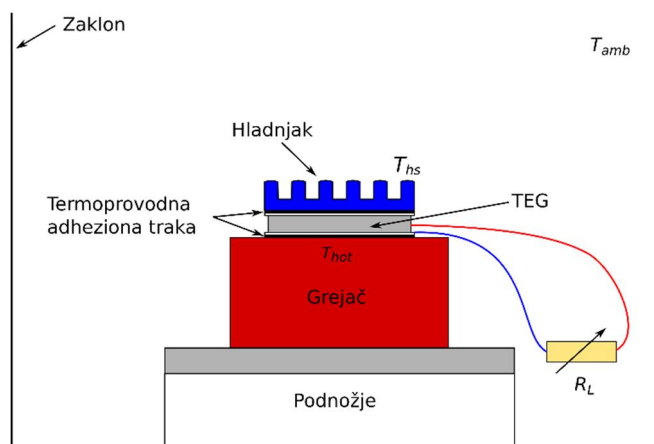
Eksperimentalna postavka koja obezbeđuje automatizovanu kontrolu radnih uslova i merenje napona predatog od strane TEG-a potrošaču je šematski prikazana na Sl. 1. Sklop je termoprovodnom trakom fiksiran za površinu grejača u horizontalnom položaju a ceo sistem je okružen zaklonom koji obezbeđuje uslove prirodnog hlađenja. Grejač generiše toplotnu pobudu, pri čemu se njegova temperatura, koja je ujedno i temperatura tople strane TEG-a ( $T_{hot}$ ), zadaje po predefinisanim vrednostima nekoliko desetina °C višim od temperature okoline ( $T_{amb}$ ). S obzirom da nije moguće direktno merenje temperature hladne strane TEG-a ( $T_{cold}$ ), kao kontrolni parametar se prati temperatura površine hladnjaka ( $T_{hs}$ ). Električni izvodi TEG-a su vezani za programabilno aktivno opterećenje koje istovremeno predstavlja potrošač promenljive vrednosti ( $R_L$ ) i ima ulogu multimetra. Sve vrednosti temperatura se prate pomoću računarnom vođenih digitalnih multimetara.

TABELA I  
KARAKTERISTIČNI ELEKTRIČNI PARAMETRI TEG-A GM200-127-14-16

Maksimalna snaga - $P_{max}$	4,73 W
Maksimalna struja - $I_{max}$	1,19 A
Maksimalni napon - $U_{max}$	3,98 V
Unutrašnja otpornost - $R_{TEG}$	2,1 $\Omega$

TABELA II  
GEOMETRIJSKI PARAMETRI RAZMATRANIH HLADNJAKA

Oznaka hladnjaka	Geometrija	Materijal	Dimenzije L×W×H mm
HS1	110 stubića	aluminijum	40×40×10
HS2	100 stubića	aluminijum	40×40×5
HS3	121 stubić	alumina	42×42×12
HS4	7 niskih rebara	mikroporozna keramika	40×40×5,25
HS5	ravan	mikroporozna keramika	40×40×2,5
HS6	ravan	bakarna pena	40×40×5



Sl. 1. Šematski prikaz eksperimentalne postavke za kontrolu radnih uslova sklopa i merenje temperature i napona na potrošaču.

Grejač se postavlja na željenu temperaturu i prati promena  $T_{hot}$  kao i napon otvorenog kola TEG-a ( $V_{oc}$ ). Kada sistem uđe u termičku ravnotežu, uključuje se aktivno opterećenje koje obezbeđuje otpornost u opsegu od 2  $\Omega$  do 5  $\Omega$  sa korakom od 1  $\Omega$  (od veće ka manjoj vrednosti). Ove otpornosti odgovaraju ulaznoj otpornosti tipičnog kola za upravljanje energijom u samonapajajućim sistemima. Za svaku zasebnu vrednost otpornosti potrošača meri se vrednost pada napona na njemu ( $V_L$ ) i struje kroz kolo ( $I_L$ ). Zatim se isključuje aktivno opterećenje i kada se napon otvorenog kola vrati na stacionarnu vrednost ponavlja se ciklus za sledeću temperaturu grejača. S obzirom da je opterećenje direktno vezano za TEG, električne veličine zadovoljavaju relaciju:

$$V_L = R_L I_L = V_{TEG} - R_{TEG} I_L = N \alpha_{pn} (T_{hot} - T_{cold}) - R_{TEG} I_L, \quad (1)$$

gde je  $N$  broj termoelektričnih parova a  $\alpha_{pn}$  Zebekov koeficijent materijala TEG-a.

### III. POSTAVKA SIMULACIJE

Postavka simulacije u potpunosti prati eksperimentalnu postavku sa Sl. 1. Elementi sklopa i okruženje su modelirani u CAD softveru [7] i uvezeni u simulator za numeričku multifizičku analizu metodom konačnih elemenata [8]. Simulira se stacionarno stanje pri odgovarajućoj temperaturnoj pobudi primenom modula za rešavanje problema u spregnutom termo-električnom i domenu dinamike fluida. Simulacioni domen obuhvata okolni fluid (vazduh) dovoljnih dimenzija da granični uslovi odgovaraju uslovima prirodnog hlađenja. Sa gornje strane je domen otvoren kako bi se dozvolilo slobodno odvođenje toplote.

Model TEG-a obuhvata 127 termoelektričnih spojeva (parova  $\text{Bi}_2\text{O}_3$  nožica n- i p-tipa) redno povezanih bakarnim kontaktima i smeštenih između dve ploče od alumina keramike. Geometrija hladnjaka je modelirana detaljno, dok su grejač i podnožje pojednostavljeni. Termoprovodna adhezijska traka se, usled male debljine, smatra idealnim termičkim kontaktom. Grejač obezbeđuje konstantan dotok toplote kao uslov termičkog opterećenja dok eksterni otpornik vezan za izvode TEG-a predstavlja električno opterećenje. Uključeni mehanizmi prenosa toplote su provođenje kroz čvrste i mikroporozne strukture, laminarno strujanje zagrejanog fluida pod dejstvom gravitacije i radijacija. U uslovima prirodnog hlađenja, radijacija ima značajan doprinos odvođenju toplote sa elemenata sklopa kako putem direktnog zračenja površine ka ambijentu tako i putem indirektnog zračenja od jedne ka drugoj površini [9]. Automatski kreirana inicijalna simulaciona mreža je naknadno poboljšana u okolini dodirne površine hladnjaka sa vazduhom, tako da tipična mreža sadrži 400.000-500.000 diskretizacionih elemenata.

Specifični geometrijski i parametri materijala TEG-a i hladnjaka, neophodni za realizaciju simulacije, dati su u Tabeli III i Tabeli IV, respektivno. Naglašava se da su ukupan Zebekov koeficijent, specifična električna otpornost i specifična termička provodnost  $\text{Bi}_2\text{Te}_3$  nožica temperaturno

zavisni parametri [10]. Kod mikroporoznih hladnjaka, usled složene strukture uslovljene postojanjem otvorenih pora, za proračun efektivnih vrednosti specifične termičke provodnosti, specifičnog toplotnog kapaciteta, kao i efikasnosti protoka fluida, softver koristi vrednosti koeficijenta poroznosti i permeabilnosti [11].

TABELA III  
GEOMETRIJSKI I PARAMETRI MATERIJALA TEG-A

Dimenzije nožica - l×w×h (mm)	1,4×1,4×1,6
Dimenzije Cu kontakta (mm)	4,2×1,4×0,3
Debljina ploče od alumine (mm)	0,8
Ukupan Zebekov koeficijent termopara $\alpha_{pn}$ ( $\mu\text{V/K}$ )	$1,22 \cdot 10^{-5} \times T^3 - 0,021 \times T^2 + 10,23 \times T - 1081$
Specifična električna otpornost termopara ( $10^{-5} \Omega\text{m}$ )	$-1,48 \cdot 10^{-5} \times T^2 + 0,017 \times T - 2,78$
Specifična termička provodnost termopara (W/mK)	$3,96 \cdot 10^{-5} \times T^2 - 0,026 \times T + 5,84$

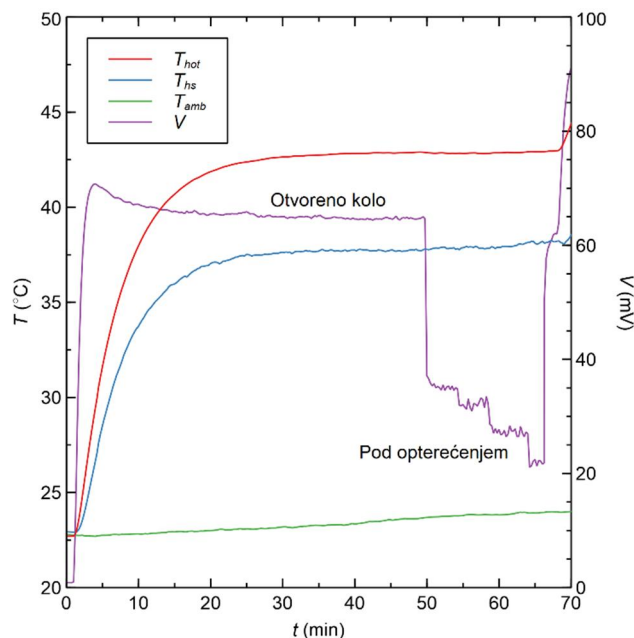
TABELA IV  
PARAMETRI MATERIJALA RAZMATRANIH HLADNJAKA

Parametar	Materijal			
	Alumini- jum	Alumina	Mikro- porozna keramika	Bakarna pena
Gustina ( $\text{kg/m}^3$ )	2700	3660	1800	3320
Specifična termička provodnost (W/mK)	201	25	125	45
Specifični toplotni kapacitet (J/kgK)	900	880	670	385
Poroznost (%)	-	-	30	63
Permeabilnost ( $\text{m}^2$ )	-	-	$0,54 \cdot 10^{-10}$	$5,32 \cdot 10^{-8}$
Emisivnost	0,85	0,6	0,6	0,7

#### IV. REZULTATI I DISKUSIJA

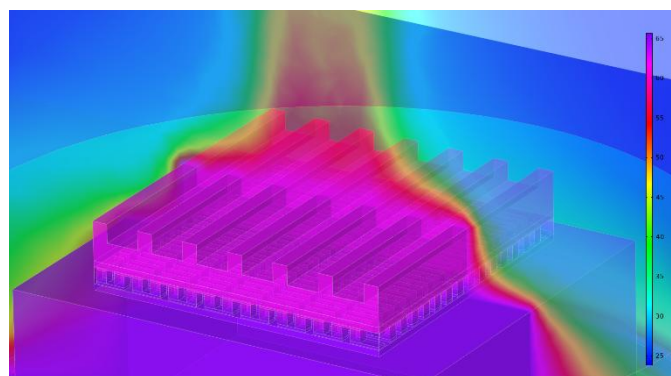
Tipičan rezultat eksperimentalnog merenja na sklopu sa hladnjakom HS4 je prikazan na Sl. 2. Na sklop se primenjuje iznenadna termička pobuda  $\Delta T = T_{hot} - T_{amb} = 20 \text{ }^\circ\text{C}$  koja stvara temperaturnu razliku na stranama TEG-a a time se generiše napon otvorenog kola  $V_{oc} = V_{TEG}$ . Ovakva pobuda odgovara uslovima hladnog starta u samonapajajućim sistemima. U prvom trenutku postoji premašenje napona koje nastaje usled termičke inertnosti sklopa [12] i ono lagano opada kako se sklop zagreva i pune njegove termičke kapacitivnosti [13]. Kada sklop uđe u stabilno stanje uključuje se aktivno opterećenje tako da kroz TEG protiče struja  $I_L$  a vrednost merenog napona  $V_L$  prati relaciju (1). Treba napomenuti da je napon  $V_{TEG}$  pri uslovima proticanja struje manji od  $V_{oc}$  usled

izraženog delovanja Peltijevog efekta koji povećava temperaturu hladne a smanjuje temperaturu tople strane, odnosno smanjuje efektivnu temperaturnu razliku na TEG-u [10]. Smanjenje napona je izraženije pri većim temperaturnim razlikama  $\Delta T$  i nižim vrednostima  $R_L$  usled viših vrednosti  $I_L$ . Ovaj fenomen se može kvalitativno uočiti pri isključenju aktivnog opterećenja kod sklopova sa aluminijumskim hladnjacima jer su oni manje inertni i lakše se oslobode toplote generisane Peltijevim efektom.



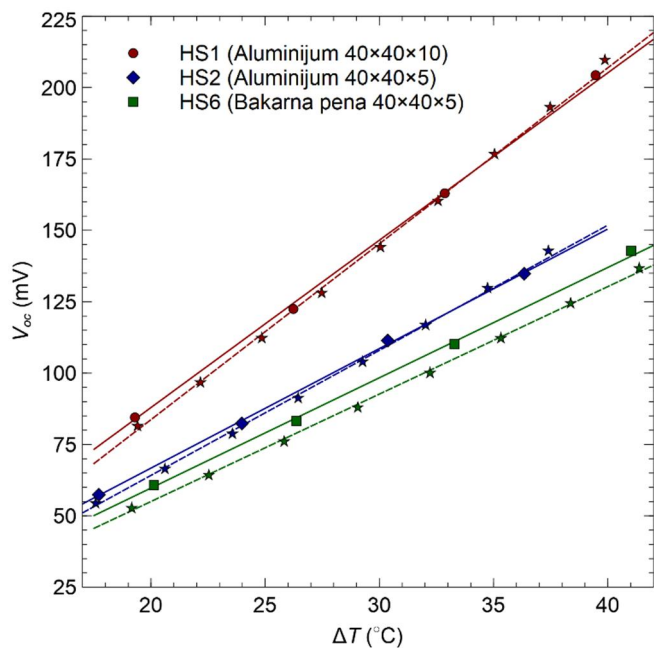
Sl. 2. Eksperimentalne vrednosti temperature na sklopu sa HS4 i napona na potrošaču za  $\Delta T = T_{hot} - T_{amb} = 20 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Temperaturna raspodela dobijena simulacijom za sklop sa HS4 pri  $\Delta T = T_{hot} - T_{amb} = 40 \text{ }^\circ\text{C}$  i bez električnog opterećenja TEG-a je prikazana na Sl. 3. Jasno se uočava raspodela temperature kroz nožice i na hladnoj strani TEG-a kao i profil strujanja toplog vazduha sa hladnjaka, odnosno oblik perjanice. Simulacijama je uočeno da efekat radijacije, značajno doprinosi izgledu raspodele i vrednostima temperature na elementima sklopa.



Sl. 3. Raspodela temperature na sklopu sa HS4 i okolnom fluidu dobijena simulacijom pri  $\Delta T = T_{hot} - T_{amb} = 40 \text{ }^\circ\text{C}$  i pri otvorenom kolu.

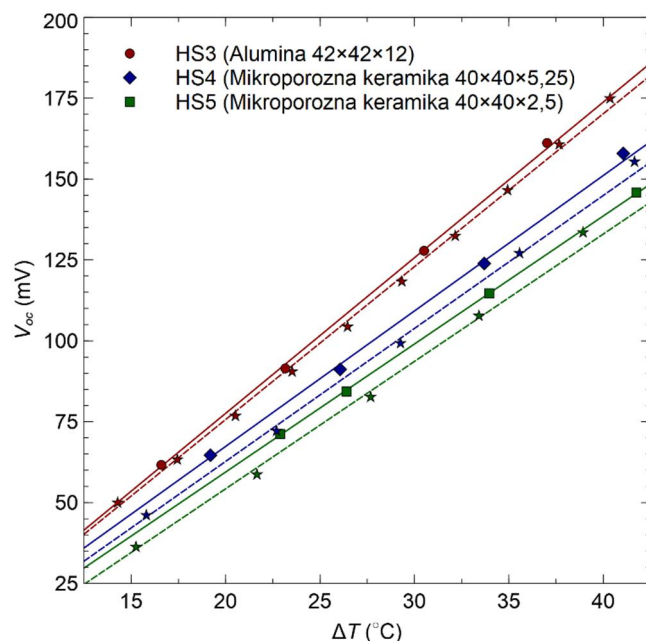
Rezultati eksperimentalnih merenja i simulacija su predstavljeni u vidu zavisnosti napona  $V_{oc}$  od temperaturne razlike  $\Delta T = T_{hor} - T_{amb}$  na Sl. 4 i Sl. 5. Opseg temperaturnih razlika je karakterističan za najčešće dostupne razlike u temperaturi grejača i okoline kod samonapajajućih sistema. Rezultati simulacije veoma dobro prate rezultate eksperimentalnih merenja. Maksimalno odstupanje kod aluminijumskih i alumina hladnjaka je 6% dok je kod mikroporoznih hladnjaka 10%, prvenstveno zbog nemogućnosti softvera da adekvatno simulira efekte indirektno radijacije kod ovakvih materijala. Napominje se da, obično zanemarivana, radijacija utiče čak do 30% na vrednost generisanog napona dobijenu simulacijama.



Sl. 4. Zavisnost napona otvorenog kola od temperaturne razlike  $\Delta T = T_{hor} - T_{amb}$  za sklopove sa hladnjacima od aluminijuma i bakarne pene. Simboli i pune linije – eksperiment; zvezdice i isprekidane linije – simulacije.

Hladnjaci HS1 i HS3 daju najviše vrednosti napona za ceo opseg razmatranih temperaturnih razlika, što je i očekivano s obzirom da imaju najveći broj i visinu stubića ali oni zauzimaju najveću zapreminu. Uočava se da hladnjaci HS2 i HS4, bliskih spoljašnjih gabarita, imaju skoro identičnu efikasnost. Ovo je značajno jer je HS2 ekstrudirani aluminijumski hladnjak, složene geometrije a HS4 od mikroporozne keramike, niskoprofilni i jednostavne geometrije. Mikroporozni ravni hladnjaci HS5 i HS6 su skoro jednakih performansi. Pri tome, debljina i poroznost hladnjaka od keramike je dvostruko manja u odnosu na hladnjak od bakarne pene. Kvantitativnim poređenjem karakteristika hladnjaka HS2 i HS6, uočava se da aluminijumski hladnjak daje približno 10% više napone, što ne predstavlja prevelik doprinos. Istovremeno, analiza rezultata za mikroporozne keramičke hladnjake HS4 i HS5, ukazuje da dvostruko veća debljina hladnjaka poboljšava performanse za svega 8%. Opšti zaključak je da u uslovima prirodnog hlađenja, a uzevši u obzir gabarite i složenost geometrije, keramički materijali (alumina i mikroporozna keramika) pokazuju

najbolju efikasnost. Ravni hladnjaci od bakarne pene se takođe mogu uspešno primeniti u uslovima prirodnog hlađenja. Evidentno je da stubići kod ekstrudiranih hladnjaka poboljšavaju efikasnost prevashodno kod hlađenja uz postojanje strujanja okolnog fluida.

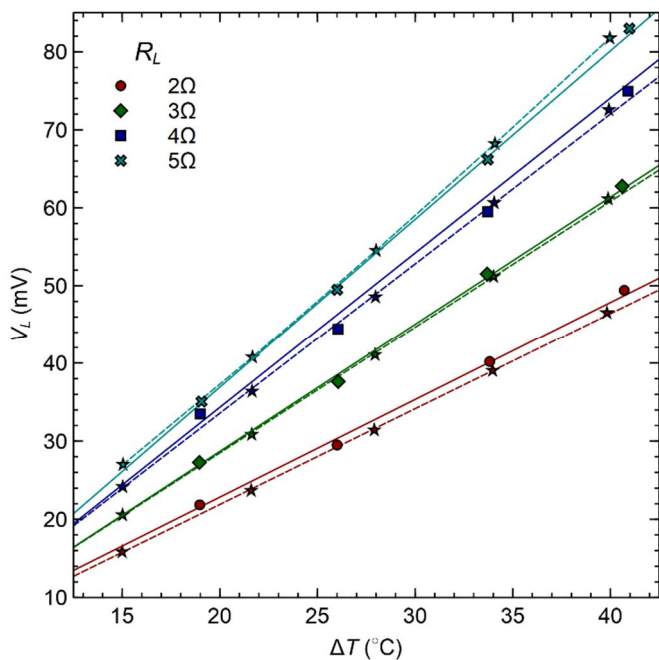


Sl. 5. Zavisnost napona otvorenog kola od temperaturne razlike  $\Delta T = T_{hor} - T_{amb}$  za sklopove sa hladnjacima od alumine i mikroporozne keramike. Simboli i pune linije – eksperiment; zvezdice i isprekidane linije – simulacije.

Zavisnost napona na potrošaču  $V_L$  od temperaturne razlike za sklop sa rebrastim hladnjakom od mikroporozne keramike (HS4) i pri različitim vrednostima aktivnog opterećenja  $R_L$  je prikazana na Sl. 6. Rezultati omogućavaju kvantitativnu procenu uticaja Peltijevog efekta na vrednost generisanog napona. U odnosu na vrednost  $V_L$  koja bi se dobila raspodelom  $V_{oc}$  na otpornostima  $R_L$  i  $R_{TEG}$ , ovaj efekat doprinosi njenom smanjenju za 22% do 36% u zavisnosti od  $\Delta T$  i  $R_L$ , što je u saglasnosti sa ranijim analizama termoelektrično napajanih senzorskih čvorova [14].

## V. ZAKLJUČAK

Analiza performansi sklopova TEM-hladnjak treba da obezbedi jednostavniji proces projektovanja sistema koji se na njima baziraju. U ovom radu je akcenat stavljen na primene u termoelektrično napajanim bežičnim senzorskim čvorovima gde moduli imaju ulogu generatora i to pod najnepovoljnijim uslovima rada tj. pri prirodnom hlađenju. Posvećena je pažnja i radu sklopova pod opterećenjem koji odgovaraju realnom funkcionisanju senzorskog čvora. Tada dolazi do izražaja Peltijev efekat koji smanjuje vrednost efektivno generisanog napona čak do 36%. Simulacije su pokazale i da efekat radijacionog zračenja uvećava vrednost generisanog napona do 30%. Uočava se da keramički hladnjaci, bilo čvrsti ili mikroporozni, pokazuju najbolje performanse za data geometrijska ograničenja. Rezultati analize mogu potpuno analogno da se primene i na mini sisteme za hlađenje/grejanje.



Sl. 6. Zavisnost napona na potrošaču od temperature razlike  $\Delta T = T_{hor} - T_{amb}$  za sklop sa HS4. Simboli i pune linije – eksperiment; zvezdice i isprekidane linije – simulacije.

#### ZAHVALNICA

Ovaj rad je realizovan u okviru projekta finansiranog od strane Ministarstva za prosvetu, nauku i tehnološki razvoj Republike Srbije (Ev. br. 451-03-9/2021-14/200102).

#### LITERATURA

- [1] H. J. Goldsmid, "Thermoelectric Modules and Their Application", in *Introduction to Thermoelectricity. Springer Series in Materials Science*, vol 121, pp. 197-220, Springer, Berlin, Heidelberg, 2016.
- [2] N. Jaziri, A. Boughamoura, J. Müller, B. Mezghani, F. Tounsi, M. Ismail, "A comprehensive review of Thermoelectric Generators: Technologies and common applications", *Energy Reports*, vol. 6, Suppl. 7, pp. 264-287, 2020.
- [3] M. Baldry, V. Timchenko, C. Menictas, "Optimal design of a natural convection heat sink for small thermoelectric cooling modules", *Appl. Therm. Eng.*, vol. 160, 114062, Sept., 2019.
- [4] European Thermodynamics Ltd, <https://www.europanthermodynamics.com/>

- [5] AMEC Thermasol, <https://amecthermasol.co.uk/datasheets/MPC%20Ceramic%20Series.pdf>
- [6] Versarien Technologies Ltd, <http://www.versarien-technologies.co.uk/>.
- [7] FreeCAD 3D parametric modeler, <https://www.freecadweb.org>.
- [8] ANSYS Inc., Multiphysics simulation, <https://www.ansys.com/products/platform/multiphysics-simulation>.
- [9] A. Sarkar, S. Mahapatra, "Role of surface radiation on the functionality of thermoelectric cooler with heat sink", *Appl. Therm. Eng.*, vol. 69, no. 1-2, pp. 39-45, Aug. 2014.
- [10] M. Liao, Z. He, C. Jiang, X. Fan, Y. Li, F. Qi, "A three-dimensional model for thermoelectric generator and the influence of Peltier effect on the performance and heat transfer", *Appl. Therm. Eng.*, vol. 133, pp. 493-500, March, 2018.
- [11] J. Wang, J. Carson, M. North, D. Cleland, "A new approach to modelling the effective thermal conductivity of heterogeneous materials", *Int. J. Heat Mass Transf.*, vol. 49, no. 17-18, pp. 3075-3083, Aug. 2006.
- [12] N. Nguyen, K. Pochiraju, "Behavior of thermoelectric generators exposed to transient heat sources", *Appl. Thermal Eng.*, vol. 51, no. 1, pp.1-9, Mar., 2013.
- [13] M. Marjanović, A. Prijić, B. Randjelović, Z. Prijić, "A transient modeling of the thermoelectric generators for application in wireless sensor network nodes", *Electronics-MDPI*, vol. 9, 1015, Jun. 2020.
- [14] A. Prijić, M. Marjanović, Lj. Vračar, D. Danković, D. Milić, Z. Prijić, "A Steady-State SPICE Modeling of the Thermoelectric Wireless Sensor Network Node", *Proc. of the 4th IcETRAN, Kladovo, Serbia*, pp. MOI2.3.1-6, June 05-08, 2017.

#### ABSTRACT

Thermoelectric module-heatsink assemblies are widely used in systems converting thermal into electrical energy and vice versa. In this paper, performances of the selected thermoelectric module in conjunction with six different heatsinks of similar dimensions under natural cooling conditions are analyzed. The efficiency of the assemblies is determined by the value of the voltage transferred to the electric load at different temperature loads. Experimental measurements and appropriate numerical simulations were performed, and the contributions of individual thermoelectric effects and heat dissipation mechanisms were analyzed. It is shown that flat heatsinks made of microporous materials can adequately replace extruded aluminum heatsinks in energy harvesting systems under natural cooling conditions.

#### Performances of the thermoelectric module-heatsink assemblies for energy harvesting under natural cooling

Aleksandra Stojković, Miloš Marjanović, Jana Vračar,  
Aneta Prijić, Zoran Prijić