

EKONOMSKA OPRAVDANOST MONTAŽE TANKOSLOJNIH SOLARNIH PANELA NA MALE BRODOVE

Kurjakov Aleksandar¹Carić Marijana²Mišković Dušan³

Sažetak: Cilj ovog rada je bio obezbeđivanje električne energije za funkcionisanje električnih potrošača na brodu na ekološki prihvatljiv način, u kontekstu smanjenja potrošnje dizel goriva. Analizirane su električne karakteristike, stepen efikasnosti i ekonomska isplativost montaže tankoslojnih solarnih panela PV sistema na manjem rečnom brodu. Nakon urađenih analiza pokazano je da korišćenje tankoslojnih solarnih panela u dužem vremenskom periodu ima svoje opravdanje.

Ključne reči: tankoslojni solarni paneli / autonomni plovni objekti / efikasnost tankoslojnog fotonaponskog panela / ekonomska isplativost tankoslojnih solarnih panela

UVOD

Korišćenje obnovljivih izvora energije nameće se kao ekološki najprihvatljivije rešenje za podmirivanje svetskih potreba za energijom. U tom smislu energija sunca predstavlja značajan resurs koji se može koristiti. Tehnologija koja to omogućava bazira se na primeni solarnih (*Photovoltaic-PV*) panela, koji omogućuju pretvaranje energije sunčeve svetlosti u električnu energiju. U praksi se PV paneli koriste

¹ Zavod za zdravstvenu zaštitu radnika, Odeljenje za ekologiju radne i životne sredine, Novi Sad, Futoška 121, e-mail: kurjak021@gmail.com

² Univerzitet Privredna akademija u Novom Sadu, Fakultet za ekonomiju i inženjerski menadžment u Novom Sadu, Novi Sad, Cvečarska 2, e-mail: caricom@eunet.rs

³ Univerzitet Privredna akademija u Novom Sadu, Fakultet za ekonomiju i inženjerski menadžment u Novom Sadu, Novi Sad, Cvečarska 2, e-mail: dusanmiskovic@hotmail.com

kao samostalni izvor energije ili dodatni nekom već postojećem sistemu. Današnja proizvodnja solarnih panela se uglavnom zasniva na korišćenju kristalnog silicijuma. Prema podacima za 2004. godinu, najveći deo proizvodnje (58%) odlazio je na panele bazirane na polikristalnom silicijumu, dok se 36% proizvedenih solarnih panela odnosilo na monokristalni silicijum. Oko 4% se odnosio na proizvodnju tankoslojnih (*thin-film*) solarnih panela (amorfni silicijum). Solarni paneli bazirani na kombinaciji CdTe i CuInSe₂ bili su zastupljeni sa 2% (Poortmans i Arkhipov, 2006). Tankoslojni solarni paneli predstavljaju drugu generaciju solarnih panela i odlikuju se relativno niskim stepenom efikasnosti (oko 15%), (Green, 2006), kao i niskom cenom proizvodnje (trenutno oko 0.5 \$/W) (*Anwell Technologies Limited*). Proces proizvodnje tankoslojnih (amornih) solarnih panela se zasniva na postavljanju tankog filma amornog silicijuma na staklo ili neku drugu podlogu. Debljina postavljenog sloja iznosi manje od 1 μm, što smanjuje troškove proizvodnje kroz nižu cenu upotrebljenog materijala (Shah i sar., 2004). Kako je stepen efikasnosti tankoslojnih solarnih panela dosta niži u poređenju sa drugim tipovima panela, ovakve solarne ćelije se uglavnom koriste za potrošače gde je potrebna mala snaga (satovi, kalkulatori). U svetu je u poslednjih deset godina prosečni godišnji rast PV sistema bio oko 40%, sa svega 0.1 GW u 1992. godini do 14 GW u 2008. (Mišković, 2011). Glavni problem u ekspanziji fotonaponskih sistema je njihova još uvek relativno visoka cena. Predviđanja pokazuju da će PV tehnologija u skoroj budućnosti postati konkurentna tradicionalnoj električnoj mreži. U ovom radu su analizirane karakteristike tankoslojnih solarnih panela. Merena je izlazna snaga u funkciji količine svetla, upadnog ugla svetla i mikroklimatskih parametara. Izračunat je stepen efikasnosti kao odnos dobijene i uložene energije za tankoslojni solarni panel. Na kraju je analizirana ekonomska isplativost montaže samostalnog tankoslojnog PV sistema na manjem rečnom brodu, a u cilju napajanja električnih sistema istog.

MATERIJAL I METODE

U ovom radu vršeno je merenje izlazne električne snage dva jednaka tankoslojna solarna panela (proizvođač: Solar Cells, Hrvatska). Solarni paneli su bili postavljeni na krov broda (dimenzije broda: dužina 8,5 metara, širina 3,5 metra i deplasman 5 tona), lociranog u rukavcu toka Dunava u Novom Sadu. Fotonaponske površine, kao i pramac broda, bile su usmerene u pravcu juga u cilju ostvarivanja što većeg svetlosnog fluksa po jedinici površine panela. Paneli nisu bili postavljeni pod jednakim uglom u odnosu na horizontalnu površinu. Levi panel se nalazio pod uglom od 15° u odnosu na ravan vode, a desni panel pod uglom od 5° u odnosu na ravan

vode. Oba panela su se nalazila na visini od oko 2,5 metra od nivoa vode. Paneli su ovako postavljeni da bi se utvrdilo da li postoji razlika u izlaznim snagama panela sa promenom ugla pod kojim se paneli nalaze i kakav je uticaj temperature vode na snagu panela.

Brod se za vreme merenja parametara nije kretao, niti je menjao lokaciju. Ovim je uklonjen uticaj promene ambijenta i okruženja na proces merenja. Za vreme merenja beleženi su sledeći parametri: datum, vreme merenja, vremenski uslovi (procenat oblačnosti), količina upadnog svetla [lux], upadni ugao svetla u odnosu na panel [°], temperatura okolnog vazduha [°C], relativna vlažnost vazduha [%], temperatura vode [°C] i temperatura vazduha u gradu [°C].

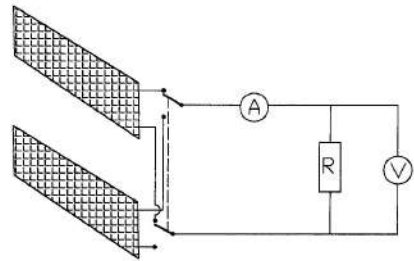
Korišćeni tankoslojni solarni paneli su deklarirani od strane proizvođača na snagu od 12 Wp (maksimalna snaga u piku) i struju od 1 A sa dimenzijama 930×320 mm po solarnom panelu. Efikasna površina je iznosila 905×295 mm po panelu. Ostale deklarirane karakteristike panela su bile: $V_{oc} = 22,5$ V (napon praznog hoda), $I_{sc} = 990$ mA (struja kratkog spoja), $V_{spec} = 14,5$ V). Instrumenti koji su korišćeni u toku merenja su bili sledeći: digitalni multimetri DT9208A + (merni opseg 200 mV – 1000 V i 20 μ A – 20 A) (2 kom); digitalni multimetar METEX M 3800 (merni opseg 200 mV – 1000 V i 200 μ A – 20 A) (1 kom); luksmetar ISKRA MI 7060 (merni opseg 0 – 50000 luxa); digitalni termometar DALMACIJA DT 1 (Termopar NiCr – Ni, merni opseg -65,0°C – 1150°C); sonar sa temperaturnom sondom GARMIN 300C (merni opseg -15°C – 55°C); vlagomer FISCHER (merni opseg 0 – 100 % relativne vlažnosti vazduha). Luksmetar nije mogao da prikaže na displeju intenzitet osvetljenja pri maksimalnoj insolaciji, zbog ograničenja displeja u mogućnosti prikazivanja više od četiri cifre. Meren je napon fotoosetljive ćelije luksmetra i na osnovu toga izračunata vrednost osvetljenja u luksima. Jednačina koja opisuje zavisnost luksa od napona na ćeliji luxmetra je: A (lux) = B (mV) * 1111,1. Ovo je utvrđeno eksperimentalno.

Planom merenja se nije želelo vršiti određivanje napona i struje praznog hoda solarnih panela (bez opterećenja), nego njihova realna snaga. Solarni paneli su bili vezani u jednostavno električno kolo sa otporom koji je imao ulogu električnog potrošača. Jedan multimetar bio je vezan redno sa otporom i imao ulogu ampermetra. Drugi multimetar je bio vezan paralelno sa potrošačem i imao ulogu voltmetra. Izlazna snaga panela je merena za svaki panel pojedinačno, sa razmakom od pola minuta. Ovo je bio zanemarljiv vremenski period za eventualnu promenu parametara koji su praćeni i mereni. Ovim se omogućilo merenje u istim uslovima, odnosno bez promene merenih parametara mikroklimi i osvetljenosti. Slika 1. prikazuje električno kolo na koje su bili povezani solarni paneli. Element označen

slovom R predstavlja električni otpor u kolu, a elementi A i V, ampermetar i voltmetar, respektivno.

Merenje je vršeno u svim vremenskim uslovima, pri čemu su prvo mereni parametri za levi panel, a zatim parametri za desni panel.

Slika 1. Shematski prikaz veze električnog kola, solarnih panela i elemenata kola.

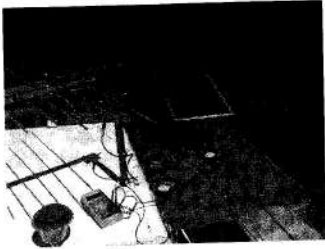


Ovako formiranim električnim kolom se omogućilo lakše praćenje izmerenih vrednosti uz minimalnu vremensku razliku između merenja levog i desnog panela. Na slici 2 je prikazana postavka instrumenata za merenje struje i napona panela. Prikaz panela nagnutog pod uglom od 15° dat je na slici 3, dok je na slici 4 prikazan panel nagnut pod uglom od 5°. Opšti izgled krova brodske kabine sa različitim uredajima je prikazan na slici 5.

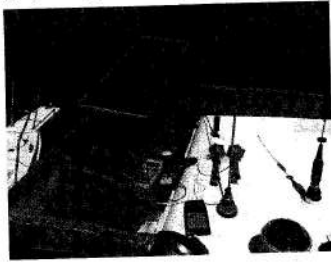
Slika 2. Povezano električno kolo sa otporom i pratećim instrumentima



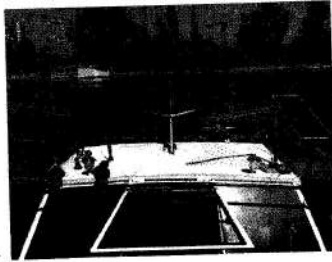
Slika 3. Položaj levog solarnog panela nagnutog pod uglom od 15°



Slika 4. Položaj desnog solarnog panela nagnutog pod uglom od 5°



Slika 5. Zajednička slika oba solarna panela i njihov međusobni položaj



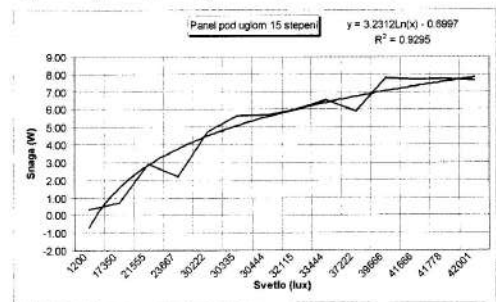
REZULTATI ISTRAŽIVANJA

Rezultati merenja generisane snage panela u funkciji izabranih parametara

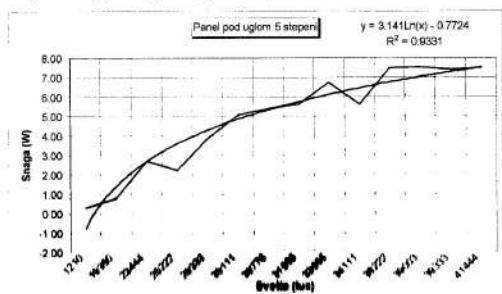
Rezultati merenja su prikazani na slikama 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12 i 13.

Na osnovu prikupljenih podataka dobijena je zavisnost između količine upadnog svetla [lux] i izlazne električne snage [W] generisane od strane panela, što je prikazano na slikama 6 i 7:

Slika 6. Dijagram zavisnosti promene generisane snage panela od intenziteta osvetljenosti (panel pod uglom 15°)

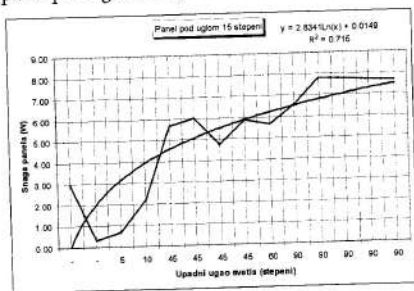


Slika 7. Dijagram zavisnosti promene generisane snage panela od intenziteta osvetljenosti (panel pod uglom 5°)

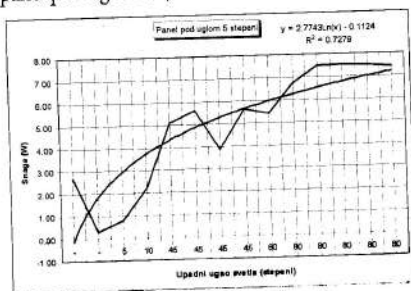


Empirijski model, odnosno logaritamska linija trenda osvetljenosti panela i njihove generisane izlazne snage je bio očekivan. Linija trenda pokazuje da sa porastom osvetljenosti raste i generisana snaga solarnog panela kao posledica porasta struje i napona panela. Moguće je uočiti da je generisana snaga panela pod uglom od 15° u odnosu na horizontalnu površinu veća u odnosu na snagu panela pod uglom od 5° (slike 8 i 9). Ovo je posledica većeg upadnog ugla svetla na panel. Iz gornjeg proizilazi da generisana snaga panela raste sa povećanjem upadnog ugla svetla. Ovu zavisnost je, takođe, moguće prikazati u formi logaritamskog empirijskog modela.

Slika 8. Dijagram zavisnosti promene generisane snage panela od ugla osvetljenosti panela (panel pod uglom 15°)



Slika 9. Dijagram zavisnosti promene generisane snage panela od ugla osvetljenosti panela (panel pod uglom 5°)

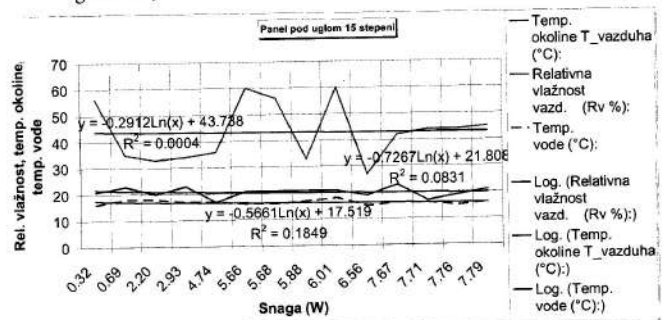


Ovde treba primetiti da su izvesna odstupanja u trendu rasta snage sa porastom ugla osvetljenja posledica promenljivog vremena, odnosno **oblačnosti** u periodu

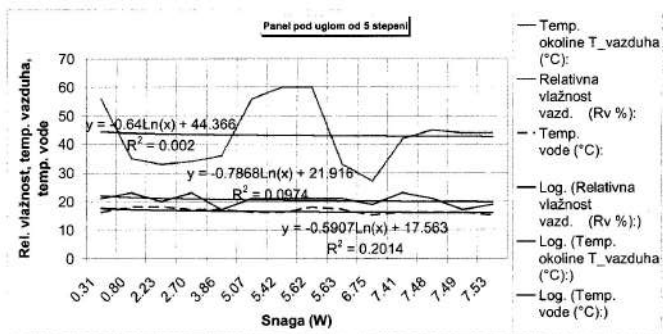
merjenja. Ovo je uzrokovalo smanjenje snage panela i pored povećanja ugla pod kojim svetlo pada na panel. Uticaj se najbolje vidi za vrednosti snage za koje nije definisan ugao osvetljenja zbog totalne oblačnosti, kada su paneli bili izloženi uticaju difuznog svetla. Sa grafika 8 i 9 se vidi da se za dva slučaja uticaja difuznog svetla na panel, generisana snaga panela drastično menjala. Uticaj vremenskih uslova je smanjio stepen predviđanja generisane logaritamske linije trenda (R^2) u odnosu na realno uspostavljenju zavisnost snage solarnog panela i ugla osvetljenja panela.

Uspostavljanje zavisnosti između mikroklimatskih parametara, relativne vlažnosti vazduha, temperature vazduha i temperature vode, sa generisanom snagom panela, nije dalo jasan trend. U ovom slučaju ne može se jasno definisati kakav je uticaj temperature i vlažnosti okoline na efikasnost panela. Veze između ovih veličina su prikazane na slikama 10 i 11.

Slika 10. Dijagram zavisnosti promene generisane snage panela od relativne vlažnosti vazduha, temperature okoline i temperature vode (panel pod uglom 15°)



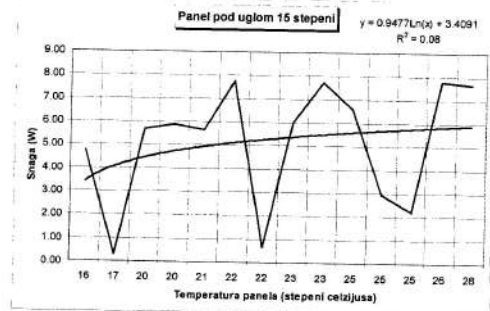
Slika 11. Dijagram zavisnosti promene generisane snage panela od relativne vlažnosti vazduha, temperature okoline i temperature vode (panel pod uglom 15°)



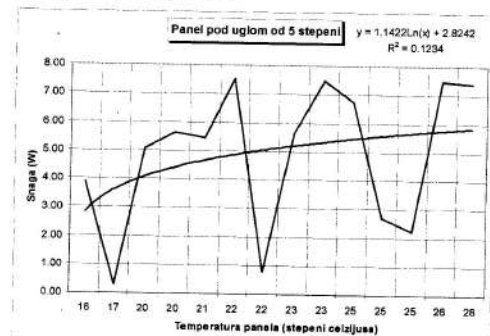
Stepen predviđanja generisane logaritamske linije trenda (R^2) i dobijena logaritamska jednačina (model) za svaki od parametara prikazanih na slikama 10 i 11, odstupaju od realno dobijenih vrednosti. U ovom slučaju nije dobijena jasna međuzavisnost promene vlažnosti vazduha, temperature vazduha i temperature vode sa generisanom snagom panela. Ovakav rezultat se može objasniti činjenicom da su u toku merenja promene temperature vazduha i temperature vode bile male. Time se njihov uticaj na snagu panela nije značajnije odrazio. Promena relativne vlažnosti vazduha u toku merenja je bila intenzivnija. Na osnovu slika 10 i 11 može se zaključiti da relativna vlažnost u izmerenom opsegu promene nema neki veći uticaj na snagu panela. Pretpostavka je da bi u slučaju veće vlažnosti vazduha (preko 90%), ista imala izraženiji uticaj na snagu, jer bi otežavala insloaciju solarne panela.

Na slici 12 i 13 prikazana je veza između temperature panela i generisane snage panela.

Slika 12. Dijagram zavisnosti promene generisane snage panela od temperature panela (panel pod uglom 15°)



Slika 13. Dijagram zavisnosti promene generisane snage panela od temperature panela (panel pod uglom 5°)



Slike 12 i 13 pokazuju da ni ovde ne postoji jasan trend promene generisane snage panela sa promenom temperature panela. Temperatura panela je određena ukupnim uticajem temperature i vlažnosti okolnog vazduha, kao i količinom svetla kojoj je panel izložen. Na osnovu linije trenda, prikazane na slikama 12 i 13, moglo bi se zaključiti da generisana snaga panela ima trend porasta sa porastom temperature istog. Već je pokazano na slikama 6 i 7 da generisana snaga panela raste sa količinom svetla koja pada na panel, što sa posledicom ima i zagrevanje panela od

strane istog tog svetla. Upoređujući slike 6 i 7 sa slikama 12 i 13, može se zaključiti da je porast temperature panela posledica povećanja količine svetla koje pada na panel, a ne uzrok povećanja generisane snage solarnog panela. Analiza pokazuje da promena temperature solarnih panela, u izmerenom opsegu, nije imala značajniji uticaj na snagu koju su paneli generisali. Temperatura panela je intenzivnije rasla sa povećanjem upadnog ugla svetla, čime se povećavala i količina energije predata panelu. Za manje upadne uglove temperatura panela je bila približna temperaturi okolnog vazduha.

Na osnovu prethodno prikazanih rezultata može se doći do opšteg zaključka da na izlaznu snagu solarnog panela najviše utiče količina svetla koje pada na panel i ugao pod kojim je panel osvetljen. Ostali parametri nisu imali značajniji uticaj na generisanu snagu panela. Veze između snage panela i izmerenih vrednosti mikroklimne, temperature vode i temperature panela manifestovale su se stohastički.

Efikasnost solarnog panela može se definisati kao odnos generisane električne snage fotonaponskog panela (izlazne snage) i snage koja se predaje fotonaponskom panelu insolacijom (ulazne snage). Ovaj odnos se matematički prikazuje na sledeći način:

$$\eta = \frac{P_{izlaza}}{P_{ulaza}} \cdot 100 \quad (1)$$

Za ulaznu snagu u ovom radu uzet je univerzalno prihvaćen podatak da sunce u proseku izrači 1 kW po m² osvetljene površine. Za analizu izlazne snage, odnosno generisane snage panela, uzeto je u obzir da su tankoslojni solarni paneli deklarirani od strane proizvođača na izlaznu snagu od 12 Wp (maksimalna snaga u piku), čime se odredio maksimalni (deklarirani) stepen efikasnosti tankoslojnih solarnih panela.

Za proračun deklarirane efikasnosti panela određena je i efikasna površina kojom panel generiše snagu na izlazu. Efikasna površina po jednom panelu korišćenom u ovom radu iznosi:

$$P_{panela} = 0.905[m] \cdot 0.295[m] = 0.267[m^2] \quad (2)$$

Veza između izračene svetlosne energije sunca po metru kvadratnom i površine panela daje odnos: $\alpha = \frac{1[m^2]}{0.267[m^2]} = 3,74$, koji pokazuje da od ukupne izračene svetlosti sunca po m², na površinu panela pada oko 27% energije.

Na osnovu prethodnog, deklarirana efikasnost je izračunata na sledeći način:

$$\eta = \frac{12[W] \cdot 3,74}{1000[W]} \cdot 100 = 4,48\% \quad (3)$$

Teorijski stepen efikasnosti današnjih tankoslojnih panela kreće oko 15%, u zavisnosti od tehnologije i materijala koji se koriste u proizvodnji. Iz jednačine (3) se vidi da paneli korišćeni u ovom radu, pri maksimalnoj deklariranoj efikasnosti, mogu da ostvare efikasnost od oko 4,5%. To je oko 70% manja efikasnost u odnosu na aktuelne teorijske stepene efikasnosti.

U realnim uslovima panel nagnut pod uglom od 15° davao je pri maksimalnoj osvetljenosti 7,7 W. Proračun stepena efikasnosti za realne uslove daje sledeći rezultat:

$$\eta(15^\circ) = \frac{7,7[W] \cdot 3,74}{1000[W]} \cdot 100 = 2,87\% \quad (4)$$

Panel pod uglom od 5° generisao je pri maksimalnoj osvetljenosti nešto manju snagu od 7,5 W. Proračun stepena efikasnosti je dao sledeći rezultat:

$$\eta(5^\circ) = \frac{7,5[W] \cdot 3,74}{1000[W]} \cdot 100 = 2,8\% \quad (5)$$

Razlika u realnom stepenu efikasnosti panela je zanemarljiva i predstavlja posledicu različitog ugla nagiba solarnih panela. Na osnovu rezultata jednačine (4) vidi se da je panel pod uglom od 15° u realnim uslovima imao efikasnost od 64% u odnosu na deklarisanu. Na osnovu rezultata jednačine (5), vidi se da je panel pod uglom od 5° u realnim uslovima imao efikasnost od 62% u odnosu na deklarisanu.

ANALIZA EKONOMSKE OPRAVDANOSTI PRIMENE TANKOSLOJNIH SOLARNIH PANELA

Analiza ekonomske opravdanosti montaže sistema baziranog na solarnim panelima urađena je na osnovu izračunate potrošnje električne energije broda u toku 24 časa. U tabeli 1 navedeni su električni potrošači koji se nalaze na brodu i energija koju troše izražena u vatčasovima (Wh).

Tabela 1. Električni potrošači i potrošnja energije po potrošaču u toku 24 časa

Potrošač	Snaga potrošača	Vreme rada potrošača u toku 24 časa	Utrošena električna energija za potrošača u toku 24 časa
Signalno svetlo	5 W	12 časova	60 Wh
Rasveta enterijera broda	8 W	3 časa	24 Wh
Radio	10 W	10 časova	100 Wh
Frižider	50 W	2 časa i 40 minuta	133 Wh
Televizor	45 W	3 časa	135 Wh
Električna pumpa za vodu	100 W	30 minuta	50 Wh

Na osnovu tabele 1 ukupna potrošnja broda na nivou 24 časa iznosi 502 Wh, odnosno 0,502 kWh. U daljoj analizi vrednost snage potrošača zaokružena je na 0,5 kWh. Na osnovu izračunate potrošnje broda definisana je i potrebna snaga koju solarni paneli moraju da generišu u toku dana. Pretpostavljeno je da je prosečna osvetljenost solarnih panela u toku godine 10 sati dnevno. U toku letnjeg perioda prosečna insolacija iznosi oko 13 sati, a u toku zimskog perioda oko 7 sati. Zanimajući procenat oblačnih dana u toku godine, sledeći proračun daje snagu koju paneli treba da generišu u toku insolacije od 10 sati na nivou od 24 časa:

$$P_{\text{panela}} = \frac{500 \text{ Wh}}{10 \text{ h}} = 50 \text{ W} \quad (6)$$

Ovako generisana električna energija se „skladišti“ u akumulator, kojima se kasnije napaja ceo električni sistem broda. Na osnovu prethodno urađenih merenja snage panela može se uzeti da je prosek snage koji jedan panel generiše 5 W, pa se konačno može doći do rezultata o potrebnom broju panela za napajanje električnog sistema broda:

$$N_{\text{panela}} = \frac{50 \text{ W}}{5 \text{ W}} = 10 \text{ panela} \quad (7)$$

Jednačina (7) pokazuje da je potrebno postaviti 10 panela, kako bi električni sistem broda mogli da funkcionišu. Ovaj broj solarnih panela bi zauzimao ukupnu površinu od 2,67 m². U odnosu prema ukupnoj površini broda, koja bi se mogla aproksimirati na 29 m², paneli bi pokrili oko 10% površine broda.

Tankoslojni solarni paneli korišćeni u ovom radu spadaju u red jeftinijih (jedinična cena 100 €). Deklarisana efikasnost im je niska, pa se ekonomskom analizom želela odrediti isplativost i opravdanost montaže solarnih panela na brodske sisteme.

Ako uzmemo u obzir potreban broj panela i njihovu jediničnu cenu dolazimo do iznosa investicije od 1000 € u sistem tankoslojnih solarnih panela. Ovom investicijom bi se obezbedilo napajanje broda električnom energijom za potrošače navedene u tabeli 1. Ovde će se uraditi analiza na period od 5 godina, zbog pretpostavke da se tehnologija proizvodnje panela stalno unapređuje, kao i da efikasnost panela sa protokom vremena opada. Odnos investicije na vremenski period od 5 godina daje:

$$I_{\text{panela}} = \frac{1000 \text{ evra}}{5 \text{ godina}} = 200 \text{ evra / godini} \quad (8)$$

Iz odnosa investicije i vremenskog perioda od 5 godina i jednačine (8) vidi se da uložena sredstva na godišnjem nivou iznose 200 €. Analiza odnosa investicije po proizvedenom kilovatsatu na godišnjem nivou za period od 5 godina, za sistem tankoslojnih solarnih panela, prikazana je u jednačinama (9) i (10):

$$Q = 0,5[\text{kWh}] \cdot 365[\text{dana}] = 182,5 \text{ kWh/godini} \quad (9)$$

$$W_{\text{panela}} = \frac{200 \text{ evra / godina}}{182,5 \text{ kWh / godina}} = 1,09 \text{ evra / kWh} \approx 1,1 \text{ evra / kWh} \quad (10)$$

Jednačina (10) pokazuje da vrednost proizvedenog kilovatsata na godišnjem nivou, za period od 5 godina, iznosi 1,1 evra.

Kako bi se uporedili dobijeni rezultati isplativosti korišćenja tankoslojnih solarnih panela kao izvora električne energije za napajanje brodskih sistema, urađena je i ekonomska analiza za korišćenje dizel goriva kao izvora energije za generisanje električne struje. Jedan kilogram dizel goriva u sebi sadrži 47 MJ energije, što iznosi 13,05 kWh. Ako uzmemo u obzir da oko 0,85 kg dizel goriva zauzima zapreminu od 1 litre, dobijamo sledeći odnos kWh po litri:

$$E_{\text{nafta}} = 13,05[\text{kWh/kg}] \cdot 0,85[\text{kg/l}] = 11,09[\text{kWh/l}] \approx 11,1[\text{kWh/l}] \quad (11)$$

Stepen iskorišćenja dizel motora iznosi oko 20%, a alternatora (kojim se mehanička energija dizel motora prevodi u električnu) oko 95%. Na osnovu ovih podataka i relacije (11) dobija se električna snaga koju generiše alternator pri sagorevanju dizel goriva u motoru:

$$P_{\text{alternatora}} = 11,1[\text{kWh/l}] \cdot 0,2 \cdot 0,95 = 2,1[\text{kWh/l}] \quad (12)$$

Relacija (12) pokazuje da se na svaku potrošenu litru dizel goriva dobija 2,1 kWh električne energije. Kao što je već pokazano u Tabeli 1, ukupna potreba broda za električnom energijom iznosi 0,5 kWh, što znači da je na dnevnom nivou potrebno potrošiti oko 0,24 litre dizel goriva kako bi električni sistem broda bili u funkciji. Analiza odnosa cene po litri dizel goriva i potrošnje dizel goriva u vremenskom periodu od 5 godina, te pod pretpostavkom konstantne cene dizel goriva u tom periodu (1,3 € po litri), uz podatak iz relacije (9) pokazuje sledeće:

$$Q = 182,5[\text{kWh / godina}] \cdot 5[\text{godina}] = 912,5 \text{ kWh} \quad (13)$$

$$I_{\text{dizela}} = \frac{912,5[\text{kWh}]}{2,1[\text{kWh/l}]} \cdot 1,3[\text{evra}] = 434[\text{l}] \cdot 1,3[\text{evra}] = 564[\text{evra}] \quad (14)$$

za 5 godina,

$$\text{Odnosno } J_{\text{dizela}} = \frac{564[\text{evra}]}{5 \text{ godina}} = 113 \text{ evra / godini} \quad (15)$$

$$\text{pri } W_{\text{dizela}} = \frac{1,3[\text{evra}]}{2,1[\text{kWh}]} = 0,62 \text{ evra / kWh} \quad (16)$$

Jednačina (14) pokazuje da je u toku 5 godina potrebno investirati 564 evra u dizel gorivo kako bi se dobila potrebna električna snaga za potrošače broda. Na godišnjem nivou ovaj utrošak iznosi 113 evra. Uporedivši relacije (8) i (15) vidi se da je investicija u solarne panele na nivou od 5 godina veća oko 45% u odnosu na investiciju za dizel gorivo. Takođe, na isti način se mogu uporediti rezultati dobijeni relacijama (10) i (16). Odnos cene po kilovatsatu za solarne panele i za dizel gorivo daje isti rezultat u korist dizel goriva. Naime, cena korišćenja dizel goriva u odnosu na solarne panele manja je za oko 45%.

ZAKLJUČCI

Na osnovu izmerenih vrednosti električnih i fizičkih parametara praćenih na dva tankoslojna fotonaponska panela postavljena na rečni brod, možemo utvrditi sledeće: izlazna snaga solarnog panela raste sa povećanjem osvetljenosti panela i sa povećanjem upadnog ugla svetla na panel; na izlaznu snagu panela, za izmereni opseg promene vrednosti parametara ne utiče: promena relativne vlažnosti vazduha, temperatura vazduha, temperatura vode i temperatura panela; deklarisanu efikasnost tankoslojnih solarnih panela je bila za oko 70% manja u odnosu na teorijsku, a realna za 40% manja u odnosu na deklarisanu. Ekonomska analiza za period od 5 godina pokazuje da je investicija u tankoslojne solarne panele kao izvor električne energije za potrošače na brodu veća za 45% u odnosu na cenu dizel goriva. Ovaj odnos bi sa povećanjem vremenskog perioda na koji se ekonomska analiza odnosi opadao. Ovo govori u prilog konceptu generisanja električne energije putem jeftinih tankoslojnih solarnih panela na autonomnim plovnim objektima sa malom potrošnjom.

ECONOMIC JUSTIFICATION FOR ASSEMBLING THIN FILM SOLAR PANELS TO SMALL BOATS

Kurjakov Aleksandar

Caric Marijana

Miskovic Dusan

Abstract: *The aim of this study was to provide electricity for the operation of electrical appliances on the boat in an environmentally sound manner, in order to reduce consumption of diesel fuel. It was measured and analyzed the electrical characteristics, the degree of efficiency and economic viability of installing thin solar panel PV systems on a small river boat. Based on the analysis it was shown that the use of thin film solar panels over a longer period is justified.*

Key words: *thin-film solar panels / autonomous vessels / the efficiency of photovoltaic thin panel / economic viability of thin film solar panels*

LITERATURA

1. Anwell Technologies Limited, www.anwell.com.
2. Goetzberger, A., Hoffmann, U. V. (2005). *Photovoltaic solar energy generation*, Berlin Heidelberg, Springer-Verlag.
3. Green, A. M. (2006). *Third Generation Photovoltaics Advanced Solar Energy Conversion*, New York, Springer Berlin Heidelberg.
4. Grupa Aurora (1978). *Inženjersko Tehnički Priručnik*, Beograd, Izdavačko preduzeće RAD.
5. Katagi, T., Fujii, Y., Nishikawa, E., Hashimoto, T., Ishida, K. (1996). *Photovoltaic Generating System on Ships to Reduce Fossil Fuel Dependence*. Preuzeto sa: www.mesj.or.jp/publication/bulletin/english/pdf/mv24n021996p70.pdf
6. Mišković, D. (2011). *Inženjerski menadžment konvencionalnih i obnovljivih izvora energije*, Novi Sad, Fakultet za ekonomiju i inženjerski menadžment u Novom Sadu.
7. Poortmans, J., Arkhipov, V. (2006). *Thin Film Solar Cells Fabrication, Characterization and Applications*, The Atrium, Chichester, John Wiley & Sons Ltd.

8. Shah, A. V., Schade, H., Vanecek, M., Meier, J., Vallat-Sauvain, E., Wyrsh, N., Kroll, U., Droz, C., Bailat, J. (2004). *Thin-film Silicon Solar Cell Technology*.
Preuzeto sa:
<http://159.226.64.60/fckeditor/UserFiles/File/tyn-dc/reference/19938777866047.pdf>
9. Wenham, S. R., Green, M. A., Watt, M. E., Corkish, R. (2007). *Applied Photovoltaics* (2nd ed.), Sterling, Earthscan.

ZAHVALNICE

Autori se zahvaljuju gospodinu Milanu Kurjakovu na velikoj pomoći, na čijem brodu su vršena merenja i koji je svojim savetima i sugestijama mnogostruko doprineo u procesu realizacije ovog rada.

Takode, zahvaljujemo se Zavodu za zdravstvenu zaštitu radnika, Novi Sad, na ustupljenim instrumentima koji su bili korišćeni u toku merenja.

Aleksandar Kurjakov se posebno zahvaljuje direktoru Zavoda, gospodinu Branku Miličeviću na podršci, na čiju inicijativu se i prihvatio celog posla, a na osnovu kojeg je nastao ovaj rad.