

EKONOMSKA EFIKASNOST SOLARNIH KOLEKTORA I PV PANELE

Slavka Zeković, Mila Pucar¹

SAŽETAK:

U radu se razmatra ekonomska efikasnost solarnih kolektora i PV panela (u daljem tekstu zajednički naziv: solarni konvertori), putem cost-benefit analize i elemenata analize opravdanosti. U analizu su uključene varijante ispitivanja ekonomske efikasnosti solarnih konvertora standardnog tipa i varijanta sa ugrađajem koji se pokreće u toku celog dana prateći sunce, tj. postavljajući aktivnu površinu upravno na njegove zrake, što omogućava 250% veću energetska efikasnost. Na primeru 1m² solarnog konvertora (sa ugradnjom novog uređaja) u odnosu na standardne sisteme (bez uređaja), procenjeno je da je njihovo korišćenje sa ugradnjom novog uređaja ekonomski isplativije zbog ukupnih efekata ulaganja (uštede energije iz sistema), kraćeg perioda povraćaja ulaganja (5,1 godina u odnosu na 6,9 godina), nižeg obima investicionih ulaganja, ušteta u troškovima održavanja i sl.

Ključne reči: *solarni kolektori, PV paneli, solarni konvertori, ekonomska efikasnost, ušteta energije*

1. UVOD

Solarni kolektori koriste direktno i difuzno sunčevo zračenje, a njihova upotreba vezuje se uglavnom za proizvodnju energije za grejanje i toplu vodu. Korišćenjem solarnih kolektora, sunčevo zračenje se transferiše u toplotu, tj. za pro-

¹ dr Slavka Zeković, Institut za arhitekturu i urbanizam Srbije, Beograd, Bulevar kralja Aleksandra 73/II, e-mail: zeksbm@eunet.yu, tel.011/3370-091.

dr Mila Pucar, Institut za arhitekturu i urbanizam Srbije, Beograd, Bulevar kralja Aleksandra 73/II, e-mail: milap@iaus.org.yu, tel.011/3370-091.

izvodnju tople vode ili grejanje objekata. PV paneli koriste se za dobijanje električne energije. U ovom radu korišćen je zajednički termin solarni konvertori, osim u slučajevima koji se odnose na podatke date posebno za solarne kolektore ili PV panele.

Naučnoistraživačkim projektom “Razvoj i ispitivanje ravnog prijemnika sunčeve energije za toplotno pretvaranje”, koji se odvijao tokom 2004. godine i bio delom finansiran od Ministarstva nauke i zaštite životne sredine RS, a delom od Naučnog fonda SANU, rukovodio je pok. akademik Aleksandar Despić. Pre rada na ovom projektu, u predhodnih par godina, istraživački tim je radio na mogućnosti povećanja energetske dobitaka solarnih konvertora [1,2,3,4]. Nakon dobijenih rezultata postignutih u tom periodu došlo se do zaključka da je moguće tehničko poboljšanje prototipa da bi se dobili bolji rezultati i povećala njegova energetska i ekonomska efikasnost. U 2004. godini izađen je novi prototip na kojem su nastavljena merenja. Na osnovu ovih saznanja prijavljena su četiri nova patenta [5,6,7,8]. Svaki novi patent nastao je kao rezultat rada i stečenog iskustva, tako da je svako novo rešenje bilo jednostavnije i jeftinije u odnosu na prethodno.

Načinjena su dva modela solarnog konvertora – jedan klasičan, fiksiran za nagnutu krovnu površinu a drugi napravljen tako da je obezbeđeno njegovo kretanje u dva pravca, tako da pokriva sve uglove koji su potrebni da se prati elevacija i azimut sunca. Pored toga, napravljen je venac od reflektujućih površina koji se montira na pokretni konvertor. U ovom radu analizirana je ekonomska efikasnost solarnih konvertora koji prete kretanje sunca, bez dodatka reflektujućih površina.

Oba konvertora opremljena su sensorima temperature na ulazu i na izlazu vode i sensorima za protok vode. Načinjen je kompjuterski program za automatsku akviziviju podataka o dve temperature i protoku svakih pet minuta u toku celog dana. Suncokretni konvertor upravljani je prema suncu, s tim da mu je položaj korigovan svakih 15 minuta.

Analizirani su rezultati koja se zasnivaju na teorijskim razmatranjima i merenjima mogućih energetske dobitaka u suncokretnim solarnim konvertorima. Cilj ovog razmatranja je da se ustanovi koliko maksimalno povećanje energetske efikasnosti može da se postigne u odnosu na tradicionalne stacionarne kolektore.

Postoji velika razlika u intenzitetu osunčanja između klasičnog konvertora koji je učvršćen u određenom položaju (obično okrenut ka jugu pod nagibom od 35°) i konvertora koji se pokreće u toku celog dana prateći sunce, tj. postavljajući aktivnu površinu upravno na njegove zrake. Fiksni konvertor prima punu snagu sunčevog zračenja samo u jednom trenutku u toku dana kada zraci padaju upravno na njegovu površinu. U svakom drugom času, padajući iskosa pod manjim ili većim uglom, deo te snage se gubi. Ova činjenica je predstavljala dovo-

ljan motiv da se pokuša da se ostvare takve konstrukcije nosača konvertora koje bi obezbeđivale praćenje sunca a da se pri tom prevaziđu prepreke koje su do sada sprečavale da suncokretni konvertori dobiju široku praktičnu primenu: visoka cena izrade i veće mehaničko opterećenje pri udarima vetrova koje zahteva robustniju konstrukciju.

Uređaj koji se okreće prema suncu omogućava 250% veću energetska efikasnost po jedinici površine, odnosno znatno uvećanu ekonomsku efikasnost i opravdanost ulaganja u ove sisteme.

U komparativnoj proceni ekonomske efikasnosti standardnih solarnih kolektora i PV panela u varijanti sa novim uređajem i bez njega, korišćena je cost-benefit analiza i elementi analize ekonomske opravdanosti ulaganja, uz opšte-prihvaćene polazne tehno-ekonomske pretpostavke o solarnim kolektorima i PV panelima.

Prema podacima studije "Renewal energies" [9] prosečna cena energije dobijena u solarnim kolektorima kreće se od 10 do 25 centi/kWh, ili 9-16 centi/kWh kod solarnih termalnih kolektora (po drugim izvorima). Cena električne energije iz konvencionalnih goriva je oko 3-8 centi/kWh. U Srbiji cena struje je određena tarifnim sistemom za različite potrošače i različite "zone" potrošnje i u domaćinstvima se kreće od 0,99 do 3,95 dinara/kWh (0,15-5 centi/kWh) u zoni potrošnje > 400 kWh, i u zavisnosti od niže ili više tarife/vremena. Struja dobijena iz solarnih sistema je generalno skuplja u odnosu na onu dobijenu u konvencionalnim izvorima, pre svega zbog njihove niske cene (uglja, nafte, gasa). To čini startnu poziciju struje iz solarnih kolektora nepovoljnijom. Procena je ekspektirana za efikasnost energije da bi prosečna cena struje dobijene iz fosilnih goriva mogla da se gotovo udvostruči u narednoj deceniji. Na taj način bi razlike u ceni struje "solarnog porekla" u odnosu na struju iz konvencionalnih izvora bile svedene na samo nekoliko centi/m².

Solarni kolektori na geografskoj širini Srbije (npr. Beograda) mogu da rade oko 1500 časova godišnje.

Prosečni zahtevi za toplotom/grejanjem su oko 65-68 kWh/m² za prosečne kuće i oko 20-35 kWh/m² za pasivne kuće. Efikasnost korišćenja energije kod zagrevanja vode je 45-50% (ili 26-65%), dok je kod grejanja znatno niža - 3-18%. Kada su u pitanju područja sa umerenom kontinentalnom klimom, solarni kolektor obično zadovoljava sve potrebe za grejanjem vode tokom leta, ali u preostalom delu godine potrebno je korišćenje energije iz konvencionalnih izvora - elektromreže. Ako se koristi solarni kolektor za grejanje vode, prosečno će biti potrebno oko 70 l vode/m² površine kolektora.

Prosečni investicioni troškovi za postavljanje solarnih kolektora za grejanje na jednoj porodičnoj kući iznosili su smanjeni sa oko 15.000 evra u 1998. na oko

14.000 evra. Istovremeno, investicije u sistem solarnih kolektora za zagrevanje vode za potrošnju u jednoj kući smanjeni su sa oko 5000 evra u 2002. godini na oko 4000 evra u 2004. godini. [9].

Prema pojedinim izvorima [9], investicioni troškovi solarnih kolektora za grejanje vode za kompletan sistem, uključujući skladištenje, cevi i instalacije su različiti - kreću se od oko 800-830 evra/m² površine kolektora.

Prosečni operativni troškovi u funkcionisanju javnih elektroenergetskih sistema iznose oko 0,3 evra/kWh, dok su kod solarnih kolektora gotovo zanemarljivi. S druge strane, instalacija solarnih kolektora podrazumeva uštede električne energije (npr. za grejanje vode) iz javne elektroenergetske mreže. Prosečna ušteda energije iz fosilnih/konvencionalnih izvora iznosi 420-500 kWh/m² kolektora. Drugim rečima, godišnja proizvodnja solarne energije kreće se od 420 do 500 kWh/m². Prema podacima iz Nemačke, u toj zemlji ima oko 5 miliona m² solarnih kolektora, koji godišnje uštede oko 2,5 milijarde kWh iz javnog elektroenergetskog sistema, što je ekvivalent potrošnji oko 250 miliona litara lož-ulja. Drugim rečima, 1 m² solarnog kolektora ima uštedu od 500 kWh godišnje ili oko 50 litara lož-ulja.

Solarni kolektori imaju dug eksploatacioni vek-vek trajanja (oko 30 godina).

2. EKONOMSKA ANALIZA EFIKASNOSTI SOLARNIH KOLEKTORA

Na osnovu polaznih pretpostavki o tehno-ekonomskim parametrima proizvodnje ili potrošnje energije iz solarnih kolektora i konvencionalnih izvora, na primeru 1m² solarnog kolektora, ekonomska efikasnost je ispitana korišćenjem komparativne cost-benefit analize (sa novim uređajem ili bez njega) i nekih elemenata analize opravdanosti (feasibility analysis) projekta (sa novim uređajem ili bez njega). U izradi feasibility analize korišćeni su dinamički elementi projekta u ekonomskom veku (30 godina) - tj. njegovi efekti/uštede i troškovi (investicije+razni rashodi), uz izradu ekonomskog i finansijskog toka i procenu neto efekata i vremena povraćaja ulaganja.

Pretpostavku za ispitivanje ekonomske efikasnosti predstavlja formulisanje dve varijante projekta:

I - Sa uređajem

- solarni termalni sistemi ili solar kolektor (grejanje vode)
- fotonaponski paneli (PV) (proizvodnja struje)

II - Bez uređaja

- solarni termalni sistemi ili solar kolektor (grejanje vode)
- fotonaponski paneli (PV) (proizvodnja struje).

Na osnovu raspoloživih podataka (literature, internet izvora, prospekata proizvođača kolektora i panela i dr.) i dobijenih eksperimentalnih rezultata – efekata, ušteda energije solarnih kolektora sa novim (patentiranim) uređajem (250% veća energetska efikasnost), u ovom trenutku moguća i pouzdana je samo preliminarna cost-benefit analiza projekta. U tabeli 1 prikazana je cost-benefit analiza za solarni kolektor za grejanje vode (varijante sa i bez primene novog uređaja), na primeru 1 m² solarnog kolektora.

Tabela 1: Preliminarna cost-benefit analiza solarnog kolektora za grejanje vode na primeru jedinične mere 1 m² kolektora

I VARIJANTA (bez uređaja)	evra	II VARIJANTA (sa uređajem)	evra
a. Investicioni trošak	400	a. Investicioni trošak	700
-1 m ² solarnog kolektora (313-800evra/m ² , prosečno 400 e/m ²)	400	-1 m ² solarnog kolektora (313-800evra/m ² , prosečno 400 e/m ²)	400
-ulaganja u uređaj	-	-ulaganja u uređaj	300
-životni (eksploatacioni) vek (god.)	30	-životni (eksploatacioni) vek (god.)	30
b. Godišnji eksploatacioni troškovi	13,33	b. Godišnji eksploatacioni troškovi	23,33
-amortizacija 3,3%	13,33	-amortizacija 3,3%	23,33
-operativni troškovi (ljudski rad, osiguranje, troškovi deponovanja kolektora nakon životnog veka)	-	-operativni troškovi (ljudski rad, osiguranje, troškovi deponovanja kolektora nakon životnog veka)	-
UKUPNI EFEKTI	60	UKUPNI EFEKTI	150
a. Uštedeći troškovi kWh iz fosilnih izvora/god. (500 kWh/m ² x 4 din/kWh)	25	a. Uštedeći troškovi kWh iz fosilnih izvora/god. (250% veća energetska efikasnost. -500 kWh/m ² x 4 din/kWh x 250%)	62,5
b. Ušteda lož-ulja/god. (1m ² x 50 l x 56 din)	35	b. Ušteda lož-ulja/god. (1m ² x 50 l x 56 din. x 250%)	87,5
Rok povraćaja ulaganja (god.)	8,6	Rok povraćaja ulaganja (god.)	5,5

U varijanti solarnih kolektora bez uređaja, ukupna investiciona ulaganja po jedinici mere 1m² iznosi 400 evra, sa rokom povraćaja ulaganja 8,6 godina, dok

su ulaganja u varijanti solarnih kolektora sa uređajem po 1m² 700 evra sa rokom povraćaja 5,5 godina. Ukupni neto efekti su 150 evra/m² kod korišćenja uređaja, odnosno 60 evra/m² bez uređaja.

3. EKONOMSKA EFIKASNOST PV PANELA

PV paneli su veoma ekonomični i imaju najveću primenljivost kod malog obima potrošača koji su udaljeni od javne elektroenergetske mreže. Jedna od polaznih pretpostavki kod ispitivanja ekonomske efikasnosti – fizibiliti analize solarnog PV panela (sa i bez novog uređaja koji je rezultat ovog projekta) jeste da 1m² solarnog kolektora proizvede 0,14 kWh/m²/dnevno.

Prema nekim izvorima [10], godišnja proizvodnja električne energije kreće se prosečno oko 420 kWh/m² PV panela.

Cene za solarne konvertore kreću se od 313-656 evra/m², i to 313 evra/m² za termalne kolektore i 656 evra/m² za PV panele [11]. Drugi iskaz cena PV sistema je putem cene PV panela/W. Prosečne cene PV panela kreću se od 3, 5 do 3,95 evra/W.

Godišnji troškovi održavanja PV sistema kreću se oko 0,166 evra/W [10]. U tome troškovi održavanja sistema su 0,083 evra/W i ukupni operativni troškovi takođe 0,083 evra/W. Operativni troškovi uključuju uglavnom ljudski rad/angažovaje, amortizaciju, osiguranje i sl. Troškovi deponovanja PV panela nakon isteka životnog veka kreću se oko 10 evra/m².

Tabela 2. Preliminarna cost-benefit analiza PV solarnog panela za struju iz solarne energije (na primeru jedinice mere od 1m²)

I VARIJANTA (bez uređaja)	evra	II VARIJANTA (sa uređajem)	evra
a. Investicioni troškovi PV panela.	313-656	a. Investicioni troškovi PV panela.	613-956
-cena PV panela /W	3,5-3,95	-cena PV panela/W	3,5-3,95
- cena 1 m ² PV panela	313-656	- cena 1 m ² PV panela	313-656
-životni (eksploatacioni) vek	30 god.	-životni (eksploatacioni) vek	30 god.
-ulaganja u uređaj	-	-ulaganja u uređaj	300
b. Godišnji eksploatacioni troškovi	10,43-21,86	b. Godišnji eksploatacioni troškovi	20,43-31,86

-održavanje(0,083 evra x560 W)	-	-održavanje(0,083evra x560 W)	-
-ukupni operativni troškovi (amortizacija, ljudski rad, osiguranje, troškovi deponovanja panela nakon životnog veka i dr.) ili 0,083 evra x 560W	10,43-21,86	-ukupni operativni troškovi (amortizacija, ljudski rad, osiguranje, troškovi deponovanja panela nakon životnog veka i dr.) ili 0,083 evra x 560W	20,43-31,86
UKUPNI EFEKTI	56		140
a. Uštedeni troškovi kWh iz fosilnih izvora/god. (420 kWh/m ² x 4 din./kWh)	21	a. Uštedeni troškovi kWh iz fosilnih izvora/god. (420 kWh/m ² x 4 din./kWh x 250%)	52,5
b. Ušteta lož-ulja/god (1m ² x 50 l x 56 din.)	35	b. Ušteta lož-ulja/god (1m ² x 50 l x 56 din. x 250%)	87,5
Rok povraćaja ulaganja (godina)	6,9-19,2	Rok povraćaja ulaganja (godina)	5,1-8,8

Prema prethodnim polaznim pretpostavkama, sledi da će ukupni troškovi investicionog ulaganja u PV sistem u varijanti sa standardnim panelima (bez uređaja) biti 313-656 evra, a u varijanti sa uređajem oko 613-956 evra. Ukupni efekti ulaganja (uštede energije iz sistema) kreću se od 56 evra/god. (varijanta bez uređaja) do 140 evra/god. (u varijanti sa uređajem).

Rok povraćaja uloženi sredstava je od 6,9-19,2 godine u varijanti bez uređaja i od 5,1-8,8 godina u varijanti sa uređajem.

4. ZAKLJUČAK

Na osnovu procene ekonomske efikasnosti solarnih kolektora i PV panela, putem cost-benefit analize i elemenata analize opravdanosti, u koju su uključene varijante ispitivanja ekonomske efikasnosti solarnih kolektora i PV panela standardnog tipa, i varijanta sa ugrađenim novim uređajem, zaključuje se da njegovo korišćenje omogućava 250% veću energetska efikasnost i izrazitu ekonomsku efikasnost. U skladu sa polaznim pretpostavkama- prosečnim tehnno-ekonomskim pokazateljima energetske potrošnje/proizvodnje, klimatskim parametrima (broj sunčanih sati i dr.), investicionim parametrima, troškovima održavanja i dr., procenjuje se da je korišćenje solarnih kolektora i PV panela sa ugradnjom novog uređaja vrlo isplativo u odnosu na standardne sisteme, zbog kraćeg perio-

da povraćaja ulaganja, nižeg obima investicionih ulaganja, ušteta u troškovima održavanja i sl. Na primeru jedinične mere 1 m² solarnog PV panela pokazano je da će ukupni troškovi investicionog ulaganja u PV panel u varijanti sa standardnim panelima (bez uređaja) biti 313-656 evra/m², a u varijanti sa uređajem 613-956 evra/m². Ukupni efekti ulaganja (uštete energije iz sistema) kreću se od 56 do 140 evra/god. Rok povraćaja uloženi sredstava je 6,9 godina u varijanti bez uređaja i 5,1 godina u varijanti sa uređajem.

Na primeru jedinične mere 1 m² solarnog kolektora sa primenom novog uređaja, pokazana je veća ekonomska efikasnost u odnosu na standardni tip kolektora. Period povrata investicionih ulaganja kada se primenjuje novi uređaj je kraći (5,5 godina) u odnosu na standardne solarne kolektore (8,6 godina).

5. LITERATURA

- [1] Pucar, M., Despić, A.: "Increase in Insolation Intensity and Energy Gain of Solar Convertors by Using Reflection of Solar Beams" Svetski kongres obnovljivih izvora energije WREC 2002, Keln, juli 2002.
- [2] Pucar, M., Despić A.: "The enhancement of energy gain of solar collectors and photovoltaic panels by the reflection of solar beams", časopis Energy 27 (2002), str. 205-223.
- [3] Pucar, M., Despić, A.: "Solarni kolektori sa praćenjem kretanja sunca", Treći naučni skup: Alternativni izvori energije i budućnost njihove primjene u zemlji, CANU, 2003, str. 67-72.
- [4] Pucar, M., Despic, A.: "A Construction of Sun-tracking Solar Energy Converter", VIII World Renewable Energy Congress, Denver, Kolorado, USA, Knjiga apstrakta, str. 515. Kompletan rad se nalazi na CD Kongresa.
- [5] Pucar, Lj., Pucar, M, Despić, A: "Uređaj za automatsko usmeravanje solarnih konvertora prema suncu", P- 514/04. Patent prijavljen u Saveznom zavodu za intelektualnu svojinu.
- [6] Pucar M., Despić A, Pucar Lj: "Poboljšanje konstrukcije univerzalnog nosača solarnog konvertora za automatsko podešavanje položaja prema suncu", P- 515/04. Patent prijavljen u Saveznom zavodu za int.svojinu.
- [7] Pucar M., Despić A., Pucar Lj.: "Dodatak konvertorima solarne energije radi poboljšanja njihove energetske efikasnosti", P- 588/04. Patent prijavljen u Saveznom zavodu za intelektualnu svojinu.
- [8] Pucar, M., Despić, A., Pucar, Lj.: "Konstrukcija koja omogućuje poboljšanje energetske efikasnosti konvertora solarne energije", P- 587/04. Patent prijavljen u Saveznom zavodu za intelektualnu svojinu.
- [9] "Renewal energies", Federal Ministry for the Environment, Nature Conservation and Nuclear Safety, Berlin, May 2004.
- [10] Case study: Photovoltaic water pumping system at skinner ranch, www.energy.state.or.us/renew/solar/
- [11] Feasibility study solar PV, <http://www.energy.state.or.us/renew/solar/skinner.pdf>

ECONOMICAL EFFICIENCY OF SOLAR COLLECTORS AND PV PANELS

ABSTRACT:

The paper analysed the economical efficiency of solar collectors and PV systems (solar convertor) by cost-benefit analyses and by elements of feasibility analyses. In this analysis are included different options of investigation of economical efficiency standard type of solar collector, and options with included the convertor which moves following the sun all day long, meaning that its active surface always positions itself to get the sun rays falling on it vertically, which supports 250% more energy efficiency. For example, 1 m² of the solar convertor (with the new mechanism included), compared to the standard systems without this new mechanism has been estimated as more efficient because the total effects of investment are bigger (saving energy from the system), because of a short period of return investment (5,1 year in relation to 6,9 year), a slow level of investment, saving in maintenance costs etc.).

Key words: *solar collectors, PV panels, solar convertor, economic efficiency, saving energy*

