

POVEĆANJE ENERGETSKIH DOBITAKA SOLARNIH KOLEKTORA I FOTONAPONSKIH PANELA KORIŠĆENJEM REFLEKSIJE SOLARNOG ZRAČENJA

*Mila Pucar, Aleksandar Despić**

Ključne reči: *aktivni solarni sistemi, refleksija, solarni dobici, insolacija, fotonaponski paneli, solarni kolektori*

SAŽETAK:

U prethodnim istraživanjima, u eksperimentalnim staklenicima ugrađeni su reflektujući zidovi, radi povećanja insolacije tla i povećanja energetskih dobitaka. U daljem istraživanju, koje je opisano u ovom radu, isti princip primenjen je na fotonaponske panele i solarne kolektore. Ispitivano je nekoliko tipova reflektora i veće složenosti, efikasnosti i cene. Proračuni su pokazali da se dobici kreću od 20 do 250%, u zavisnosti od tipa modela (od najjednostavnijeg do najstroženijeg) i u zavisnosti od perioda godine. Kratak prikaz ovih istraživanja dat je u radu.

1. - UVOD

Solarnu energiju karakteriše mala snaga po jedinici površine koja prima sunčevo zračenje, pa samim tim i uređaja u kojima se ona pretvara u električnu ili toplotnu energiju. Stoga su u prošlosti činjeni naponi da se ona koncentriše korišćenjem reflektora, kojim se dodatna svetlost baca na uređaje. To je činjeno prevashodno radi poboljšanja efikasnosti velikih solarnih elektrana. Tipičan primer je elektrana podignuta na Pirinejima gde je refleksija zračenja koje se odbija od stotine ravnih ogledala usmerenih u jedan centar u kome se, na visokom stubu, u žiži nalazi parni kotao za pogon električnog generatora parom pod visokim pritiskom.

* Dr Mila Pucar, arh. Institut za arhitekturu i urbanizam Srbije, Bul. kralja Aleksandra 73/II, Beograd i Institut tehničkih nauka SANU, Knez Mihailova 35, 11000 Beograd.

Akademik Aleksandar Despić, Institut tehničkih nauka SANU, Knez Mihailova 35, 11000 Beograd.

Mala specifična snaga sunčevog zračenja čini ovaj vid konverzije relativno skupim i za zagrevanje vode u termalnim kolektorima, a naročito kada je u pitanju proizvodnja električne energije pomoću fotonaponskih panela. Iz toga razloga je sunčevo zračenje do sada korišćeno za dobijanje prevashodno toplotne energije, i to u krajevima sveta u kojima je intenzitet sunčevog zračenja visok, a broj sunčanih dana veliki.

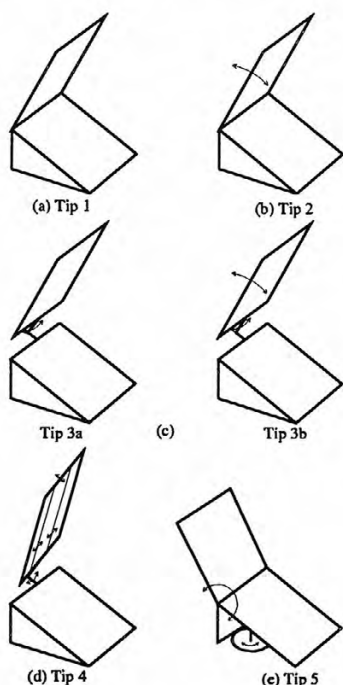
I u ovom slučaju bilo je pokušaja da se koristi refleksija o reflektore izvan uređaja radi pojačanja zračenja koje pada na površinu solarnog konvertora. Još početkom prošlog veka (1911) Schuman je koristio refleksiju da pojača sunčevo zračenje za konverziju u energiju potrebnu za pumpanje vode [1]. Međutim, ovaj princip nije privukao širu pažnju sve dok nije došlo do opšteg saznanja o vrednosti energije, potrebi njene uštede i korišćenja novih i obnovljivih izvora. U bližoj prošlosti veći broj istraživača posvetio se pokušaju da se povećaju snaga i energija termalnih solarnih kolektora dodavanjem, na jedan ili drugi način, reflektujućih panela, koji su se nalazili izvan kolektora. Tako je, na primer, Tabor [2], razvio Schumanovu ideju da prikači ogledala na severnu i južnu ivicu kolektora orijentisanog u pravcu istok-zapad, ili istočnu i zapadnu ivicu ili i na sve četiri ivice kolektora. On je pokazao da se mogu postići značajno povećanje prinosa energije i mnogo ravnomernija insolacija kolektora od jutra ka večeri. McDaniels et al. [3], Seitel [4], Grassie i Sheridan [5], Baker et al [6], i Larson [7] čine grupu istraživača koji su svi ispitivali različite mogućnosti korišćenja sistema kolektor-reflektor za dobijanje veće količine energije sa istim osnovnim uređajem. Souka [8] je konstruisao "kolektor sa dvostrukim izlaganjem", na taj način što je obe strane kolektora načinio od stakla, a sa zadnje strane postavio reflektor na posebnom nosaču. U saradnji sa Safwatom [9], [10], on je optimizovao orijentaciju i nagib kako kolektora tako i reflektora za postizanje maksimalnog dobitka energije.

Mada su svi ovi istraživači uzimali u obzir mnoge tehničke faktore koji utiču na rad ovakvih konvertora energije, kao što su npr. veličina i geometrija ogledala, apsorptivnost površine koja prima zračenje, koeficijent transmisije stakla itd., njihovi rezultati su ograničenog dometa iz dva razloga: a) oni su razmatrali samo korišćenje fiksnih reflektora, jer su smatrali da bi svako automatsko menjanje položaja reflektora radi praćenja sunca poskupljivalo uređaje u toj meri da bi bili neekonomični i b) oni nisu razvili matematički instrumentarijum do mere koja bi omogućila da se tačnije izračunaju dobici koji bi mogli da se postignu jednim ili drugim načinom korišćenja refleksije tokom celog dana, meseca ili godine.

U prethodnim radovima jednog od autora (M.P.) [11], [12] pokazano je da u staklenicima bilo koje vrste orijentisanim prema jugu, refleksija sunčevog zračenja koja može da se postigne ugrađivanjem ravnih reflektujućih panela sa mogućnošću podešavanja njihovog položaja, može da dovede do značajnog povećanja ukupne primljene energije tokom izvesnog vremenskog perioda. U daljem radu autora [13] razvijena je teorija koja je omogućila da se ovi prethodni rezultati prošire na izračunavanje mogućeg povećanja snage korišćenjem refleksije kod različitih tipova konvertora sa reflektorima koji mogu manje ili više da se podešavaju radi praćenja sunca. Ovo je zasnovano na uverenju da je u međuvremenu, od tih ranih radova do danas, napredak u elektronskoj manipulaciji različitih uređaja doveo do tolikog pojednostavljenja i pojeftinjenja automatskog upravljanja da može da bude ekonomski opravdano uvođenje reflektora sa automatskim podešavanjem položaja s obzirom na povećanje snage i energije koje oni omogućavaju. Ovo se naročito odnosi na fotonaponske panele s obzirom na njihovu cenu koštanja.

Solarni konvertori razlikuju se od ravnog, horizontalnog tla u staklenicima u tome što su već postavljeni pod određenim nagibom u odnosu na horizontalu, optimizovanim u odnosu na prosečnu insolaciju. Stoga je i teorija njihovog funkcionisanja morala da bude unekoliko modifikovana radi poređenja ovakvih konvertora sa reflektorima različitog tipa i konvertora bez reflektora. Ovom prilikom rasmatran je dodatak reflektora samo na jednu ivicu konvertora. Efekat dodatka većeg broja reflektora biće razmatran drugom prilikom.

2. - MOGUĆI TIPOVI KONVERTORA SA REFLEKTOROM



Slika 1. - Shematski prikaz različitih tipova kolektora/fotonaponskih panela sa reflektorima

Tipovi konvertora sa reflektorom razmatrani u ovom radu prikazani su na Sl.1.

Najprostiji tip (1a) sastoji se od konvertora i reflektora fiksiranog za njegovu gornju ivicu.

Kod drugog tipa (1b) reflektor može da menja svoj nagib u skladu sa povećanjem vertikalnog ugla sunca, kako bi reflektovani zrak u svakom trenutku padao na celu površinu konvertora.

Treći tip (1c), obrtanjem reflektora oko vertikalne ose, obezbeđuje praćenje sunca i u odnosu na promenljivi azimutski ugao.

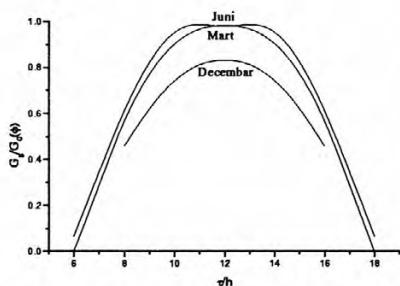
Kod četvrtog tipa (1d) omogućeno je širenje reflektora reflektujućim krilcima, kako bi se održala stalna širina reflektovanog zraka koja odgovara širini konvertora, prilikom obrtanja reflektora u skladu sa azimutskim uglom sunca.

Konačno, peti tip (1e) je tako konstruisan da se konvertor posebnim mehanizmom postavlja u svakom trenutku normalno na sunčevo zračenje.

Za svaki od ovih tipova razvijena je matematička teorija, zasnovana na zakonima geometrijske optike, koja je omogućila izračunavanje snage i energije sunčevog zračenja koje dolazi na površinu konvertora, kao i koeficijenta povećanja ovih veličina u poređenju sa klasičnim konvertorima. Podrazumeva se da samo iskorišćenje energije zavisi od tehničkih karakteristika konvertora.

3. - REZULTATI

Teorijski izvodi omogućili su da se izračuna maksimalna snaga i mogući dobitak energije na fotonaponskom panelu, bez reflektora i sa reflektorima raznih, napred opisanih tipova, postavljenom u Beogradu (na 44° severne širine), koji je nagnut pod uglom od 35° u odnosu na horizontalu. Dimenzije panela bile su 0.31 m sa 0.92 m.



Slika 2. - Relativna snaga zračenja sunca koje prima površina panela nagnutog pod uglom od 35° za tri karakteristična dana u godini.

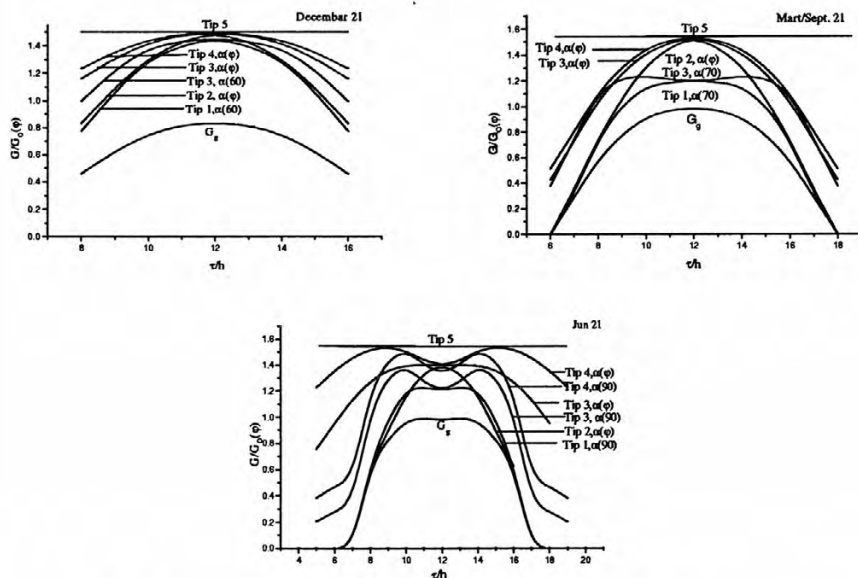
datuma, prikazani su na Sl.3.

Vidi se da snaga zračenja raste do maksimuma od jutra do podneva i da je uticaj reflektora različitih tipova najveći u jutarnjim i večernjim časovima. Najveće povećanje snage se dobija sa panelom tipa 5, kod koga je po prirodi stvari relativna snaga konstantna tokom celog dana.

Astronomski podaci o kretanju sunca u toku dana, tj. uglovi φ (za elevaciju) i θ (za azimut), za tri karakteristična dana u godini, i to 21. decembar (najkraći dan), 21. mart/septembar (ravnodnevica) i 21. juni (najduži dan), preuzeti su iz literature.

Na Sl. 2 prikazana je relativna snaga zračenja (u odnosu na snagu koja se dobija kada sunce pada upravno na kolektor), G_0 , koju prima panel. Zanimljivo je zapaziti da se maksimalna snaga ne dobija uvek kada je sunce u zenitu, jer toga dana ono prelazi upravan položaj u odnosu na kolektor.

Odgovarajući dijagrami zavisnosti relativne snage u funkciji vremena za panele sa različitim tipovima reflektora, za navedena tri



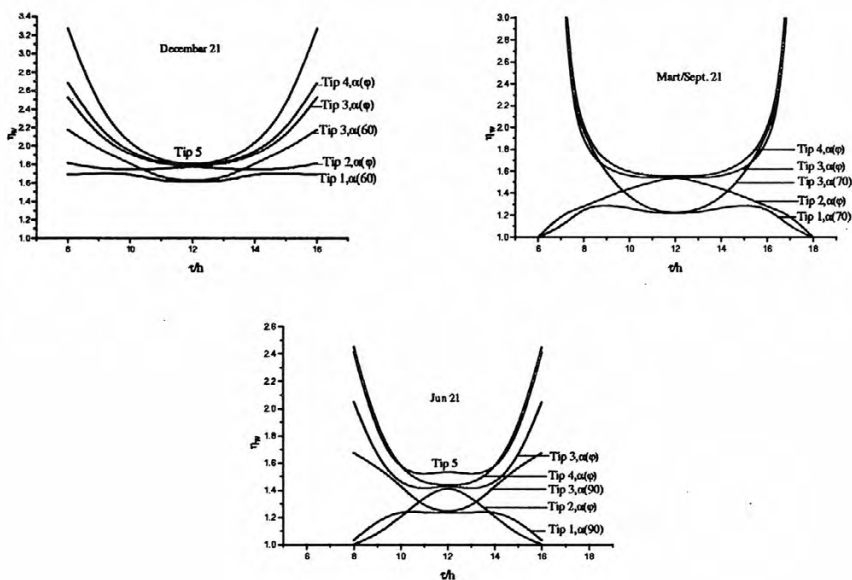
Slika 3. - Relativna snaga zračenja koju prima površina panela sa reflektorima različitog tipa prikazanim na Sl.1.: G_g snaga zračenja na panel bez reflektora; $\alpha(\varphi)$ - reflektor sa promenljivim uglom nagiba; $\alpha(i)$ reflektor nagnut pod uglom (i) u odnosu na horizontalnu ravan

To se još izrazitije ogleda na koeficijentu povećanja snage prikazanom na Sl. 4, gde se znatna povećanja postižu u tim časovima, ali tokom celog dana.

Integracijom krivih zavisnosti snage od vremena dobija se ukupna relativna količina energije koju panel prima u toku dana. To je prikazano u Tabeli 1. Vidi se da se povećanja prinosa energije dobijaju u skladu sa povećanom složenosti uređaja i da ona sa panelom koji automatski prati sunce iznose između 200 i 300 %.

Tabela 1. - Relativan ukupan dnevni prinos energije po m^2 površine panela u odnosu na snagu zračenja koje pada upravno na panel

Podaci	Q/G ₀ (□)			□ Wh		
	Decem.	Mart	Jun	Decem.	Mart	Jun
Gg	6.15	8.07	7.81	1	1	1
Tip 1	10.59	10.05	9.36	1.71	1.24	1.19
Tip 2	10.89	11.42	9.46	1.76	1.41	1.21
Tip 3a	11.53	13.01	12.87	1.87	1.61	1.65
Tip 3b	12.23	14.29	17.18	1.99	1.77	2.2
Tip 4	12.52	14.93	21.48	2.03	1.85	2.75
Tip 5	13.5	18	27	2.19	2.23	2.88



Slika 4. - Koeficijent povećanja snage zračenja koje se postiže na površini panela sa različitim tipovima reflektora (simboli isti kao na sl.3)

LITERATURA

- [1] Lior N.: "Thermal theory and modelling of solar collectors", *Ch.4 in Solar Collectors, Energy Storage and Materials, F.de Winter Ed.*, MIT Press 1991, pp.99-182.
- [2] Tabor H.: "Mirror boosters for solar collectors", *Solar Energy*, 1966; 10, pp.111-118.
- [3] McDaniels D.K., Lowndes D.H., Mathew H., Reynolds J., Gray R.: "Enhanced solar energy collection using reflectosolar thermal collector combinations", *Solar Energy*, 1975, 17: pp.277-283.
- [4] Seitel S.C.: "Collector performance enhancement with flat reflectors", *Solar Energy*, 1975, 17: pp.291-295.
- [5] Grassie S.L., Sheridan N.R.: "The use of planar reflectors for increasing the energy yield of flat-plate collectors", *Solar Energy*, 1977; 19: pp.663-668.
- [6] Baker S.H., McDaniels D.K., Kaehn H.D., Lowndes D.H.: "Time integrated calculation of the insolation collected by a reflector-collector system", *Solar Energy*, 1978; 20: pp.415-417.
- [7] Larson D.C.: "Concentration ratios for flat-plate solar collectors with adjustable flat mirrors", *AIAA J.Energy*, 1980; 4: pp.170-175.
- [8] Souka A.F.: "Double exposure flat-plate collector", *Solar Energy*, 1965; 9 (3): pp.117-118.
- [9] Souka A.F., Safwat H.H.: "Theoretical evaluation of the performance of a double exposure flat-plate collector using a single reflector", *Solar Energy*, 1969; 12: pp.347-352.
- [10] Souka A.F., Safwat H.H.: "Determination of the optimum orientation for the double exposure flat-plate collector and its reflectors", *Solar Energy*, 1966; 10: pp.170-174.
- [11] Pucar M.: "Parametri planiranja i projektovanja zastakljenog prostora kao elementa bioklimatske arhitekture", *doktorska disertacija, Arhitektonski fakultet, Univerzitet u Beogradu*, maj 1999.
- [12] Pucar M.: "Staklenik sa pokretnim reflektujućim zidom", Patent P-283/97, 1997.
- [13] Pucar M., Despic A.A.: "Ogledalski uređaj za povećanje energetske efikasnosti solarnih kolektora i fotonaponskih panela", Patent P-455/99, 1999.

THE ENHANCEMENT OF ENERGY GAIN OF SOLAR COLLECTORS AND PHOTOVOLTAIC PANELS BY THE REFLECTION OF SOLAR BEAMS

ABSTRACT:

The use of reflecting panels for increasing energy gain, as demonstrated by use in greenhouses, was applied to conventional solar (thermal) collectors and photovoltaic panels. Several types of reflectors were considered in order of increasing sophistication, cost and enhancement coefficients. Calculations showed that the increase in energy gain ranged from 20% to 250%, depending on the type of equipment and season. Part of this research is subject of this paper.