

VERIFIKACIJA MODELA ODREĐIVANJA POVRŠINE OZRAČENOSTI DONJEG DELA APSORBERA DVOSTRUKO OZRAČENOG RAVNOG PRIJEMNIKA SUNČEVE ENERGIJE

VERIFICATION OF THE MODEL FOR DETERMINING THE IRRADIATED AREA OF THE LOWER ABSORBER SURFACE OF THE DOUBLE EXPOSURE FLAT-PLATE SOLAR COLLECTOR

N. NIKOLIĆ, N. LUKIĆ, D. TARANOVIĆ i J. SKERLIĆ,
Fakultet inženjerskih nauka Univerziteta u Kragujevcu, Kragujevac

U okviru ovog rada prikazana je eksperimentalna verifikacija matematičkog modela određivanja površine ozračenosti donjeg dela apsorbera dvostruko ozračenog ravnog prijemnika sunčeve energije (DPSE). DPSE je solarni prijemnik koji može apsorbovati solarno zračenje svojim gornjim kao i donjim delom apsorbera. Apsorpcija donjim delom apsorbera omogućena je upotrebom ravne reflektujuće površine (reflektora). Reflektor, postavljen ispod i paralelno sa prijemnikom, ima približno iste dimenzije kao i prijemnik. Eksperimentalna verifikacija sprovedena je za 20. avgust 2012. godine za svaki sat počev od 09.00 h pa do 17.00 h. Odstupanja površina ozračenosti izračunatih teorijskim modelom i eksperimentalno iznose: 3,78% (09.00 h), 2,55% (10.00 h), 3,82% (11.00 h), 0,16% (12.00 h), 0% (13.00 h), 3,77% (14.00 h), 3,21% (15.00 h), 2,02% (16.00 h) i 1,07% (17.00 h). Dobijena odstupanja su posledica nesavršenosti prijemno-reflektujuće konstrukcije, neidealne paralelnosti između reflektora i prijemnika kao i neidealne refleksije zračenja sa reflektora

In this paper, the experimental verification of the mathematical model for determining the irradiated area of the lower absorber surface of the double exposure flat-plate solar collector (DEFPC) is presented. The DEFPC is a solar collector which can absorb solar irradiation with the upper and the lower part of its absorber. Absorption from the lower side is enabled by the application of the flat-plate reflective surface (reflector). The reflector, placed below and in parallel with the collector, has approximately the same dimensions as the collector. The experimental verification is conducted for 20th August 2012 for every hour starting from 9 a.m. until 17 p.m.. Variations between the irradiated area calculated by the theoretical model and the same obtained by the experiment are as follows: 3.78% (09:00 h), 2.55% (10:00 h), 3.82% (11:00 h), 0.16% (12:00 h), 0% (13:00 h), 3.77% (14:00 h), 3.21% (15:00 h), 2.02% (16:00 h) and 1.07% (17:00 h). The obtained variations are the consequence of imperfection of the collector-reflector construction, nonideal parallelism between the reflector and the collector as well as nonideal reflection from the reflector

Ključne reči: dvostruko ozračen prijemnik sunčeve energije; reflektor; eksperiment

Key words: double exposure flat-plate solar collector; reflector; experiment

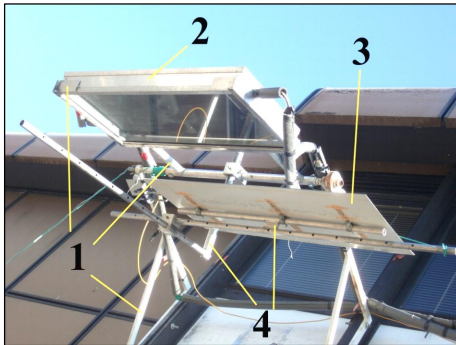
1. Uvod

Dvostruko ozračen, ravan prijemnik sunčeve energije (DPSE) predstavlja solarni prijemnik koji istovremeno i svojim gornjim i donjim delom apsorbera (DDA) može apsorbovati solarno zračenje. Prijem solarnog zračenja DDA ostvaruje se primenom ravne reflektujuće površine (reflektora) postavljene ispod prijemnika. S druge strane, apsorpcija zračenja gornjim delom apsorbera identična je onoj kod klasičnog ravnog prijemnika sunčeve energije (PSE). Da bi se omogućio prijem zračenja DDA, osim upotrebe reflektora neophodno je i da prethodno izolacija smeštena u donjem delu kutije prijemnika bude zamenjena zastakljenjem.

U okviru ovog rada izvršena je eksperimentalna verifikacija matematičkog modela određivanja površine ozračenosti donjeg dela apsorbera DPSE-a. Pomenuti matematički model [1] u odnosu na prethodne modele [2, 3, 4] omogućava određivanje površine ozračenosti donjeg dela apsorbera A_{ozr} pri proizvoljnim dimenzijama reflektora i prijemnika kao i njihovom proizvoljnom međusobnom položaju. Razlika je i ta što je u ovom slučaju reflektor postavljen paralelno ispod prijemnika i pokretan u sva tri međusobno normalna pravca, pravcu sever–jug, istok–zapad i pravcu normalnom na ravan reflektora.

2. Eksperimentalna instalacija prijemno-reflektujućeg sistema

Prijemno-reflektujući sistem (PRS) je instaliran i eksperimentalno testiran na vertikalnom jugozapadnom zidu otvorenog prostora Laboratorije za termodinamiku i termotehniku Fakulteta inženjerskih nauka u Kragujevcu. Pomenuti sistem se sastoji od noseće konstrukcije (sl. 1, pozicija 1), dvostruko ozračenog prijemnika sunčeve energije (DPSE-a) (sl. 1, pozicija 2), reflektora (sl. 1, pozicija 3) i konstrukcije za pomeranje reflektora (sl. 1, pozicija 4). U ovom radu detaljno je opisana svaka njegova komponenta.



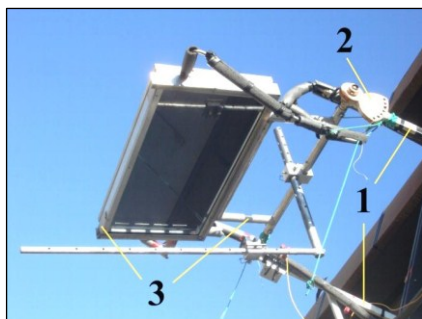
Slika 1. Prijemno-reflektujući sistem: 1 – noseća konstrukcija, 2 – DPSE, 3 – reflektor i 4 – konstrukcija za pomeranje reflektora

Čeličnim konzolnim nosačima ostvarena je veza između vertikalnog zida laboratorije i PRS. Aluminijski nosač prijemnika (sl. 2, levo i

2.1. Noseća konstrukcija prijemno-reflektujućeg sistema

Noseću konstrukciju PRS čine dva konzolna nosača (sl. 2, levo, pozicija 1), osovina sa podeonom glavom (sl. 2, levo, pozicija 2) i nosač prijemnika (sl. 2, levo, pozicija 3).

desno) osim toga što nosi težinu samog prijemnika, nosi i težinu konstrukcije za pomeranje reflektora kao i težinu reflektora. Prilikom njegove izrade vodilo se računa i o tome da profili njegovih stranica ne prekrivaju površinu zastakljenja odnosno površinu apsorbera.



Slika 2. Nosna konstrukcija PRS (levo): 1 – konzolni nosač, 2 – osovinu sa podeonom glavom i 3 – nosač prijemnika i nosač prijemnika (desno)

Veza između nosača prijemnika i konzolnih nosača ostvarena je preko osovine za koju je pričvršćen nosač prijemnika. Za osovinu je zavarena podeona glava na kojoj je izbušeno 7 otvora. Svaki otvor predstavlja tačno određen ugao nagiba prijemnika. Ugaono osno rastojanje između otvora iznosi 15° . Fiksiranje prijemnika pod određenim uglom omogućeno je posredstvom klina provučenog kroz otvor na podeonoj glavi i otvor na konzolnom nosaču.

2.2. Dvostruko ozračen prijemnik sunčeve energije

Analizirani prijemnik, prikazan na sl. 1, ima gabaritne dimenzije 945 x 483 x 105 mm. Kućište i apsorber prijemnika su od aluminijuma, dok su apsorberske cevi, razvodna i sabirna cev kao i priključne cevi od bakra. Položaj prijemnika u prostoru ispitivanja definisan je njegovim uglom nagiba od $G = 36^\circ$ i orijentacijom od $\alpha = 147^\circ$.

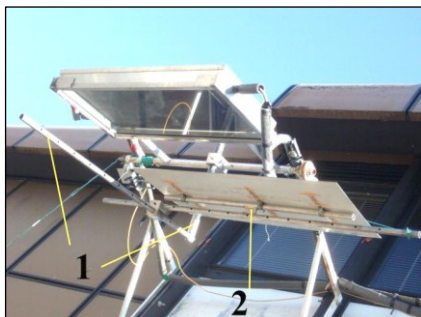
2.3. Reflektor

Prijem solarnog zračenja donjim delom apsorbera analiziranog prijemnika omogućen je upotrebom reflektora (sl. 3, desno). Odabrani reflektor je pleksiglas ogledalo dimenzija 1000 x 500 x 2 mm. Reflektor je uvek paralelno postavljen u odnosu na prijemnik. Zbog promene položaja Sunca na nebu tokom dana i godine neophodno je pomerati i reflektor da bi DDA bio delimično ili po mogućstvu potpuno ozračen. Reflektor se pomera manuelno uz pomoć kliznih elemenata opisanih u narednom tekstu.

2.4. Konstrukcija za pomeranje reflektora

Pomeranje reflektora se vrši u tri međusobno normalna pravca, pravcu normalnom na njegovu ravan, pravcu normalnom na njegovu dužinu (pravac sever–jug) kao i pravcu normalnom na njegovu širinu (pravac istok–zapad). Da bi se to izvelo izrađena je aluminijumska konstrukcija za njegovo pomeranje (sl. 3, levo). Ona se

sastoji od pravougaonog rama (sl. 3, levo, pozicija 1) i rama za reflektor (sl. 3, levo, pozicija 2).



Slika 3. Konstrukcija za pomeranje reflektora (levo): 1 – pravougaoni ram i 2 – ram za reflektor, i reflektor (desno)

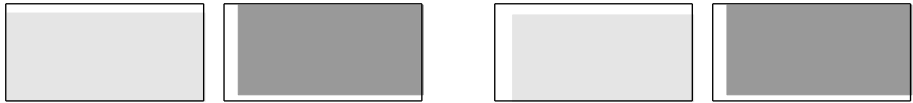
Vertikalnim delom pravougaonog rama menja se rastojanje između reflektora i prijemnika u pravcu normalnom na njihovu ravan. Pomeranjem reflektora po horizontalnom delu ovog rama menja se rastojanje između osa reflektora i prijemnika u pravcu normalnom na njihovu dužinu. Oso rastojanje otvora na vertikalnom delu iznosi 50 mm, dok je isto rastojanje na horizontalnom delu rama 100 mm. U cilju pomeranja reflektora i u pravcu normalnom na njegovu širinu izrađen je ram za koji je pričvršćen sam reflektor. Oso rastojanje između otvora na ovom ramu iznosi 100 mm. Fiksiranje reflektora u tačno određeni položaj omogućeno je posredstvom aluminijumskih kocki i klinova.

3. Eksperimentalna verifikacija matematičkog modela određivanja površine ozračenosti DDA DPSE-a

Matematički model određivanja površine ozračenosti donjeg dela apsorbera DPSE-a detaljno je opisan i prikazan u [1]. U poređenju sa prethodnim modelima [2, 3, 4] pomenuti model omogućava određivanje površine ozračenosti A_{ozr} pri proizvoljnim dimenzijama reflektora i prijemnika kao i njihovom proizvoljnom međusobnom položaju. U istom modelu reflektor, postavljen paralelno u odnosu na prijemnik, pomera se u svojoj ravni i u pravcu normalnom na njegovu ravan. Pretpostavka usvojena prilikom izrade modela odnosi se na to da je upadni ugao reflektovanog zraka jednak odbojnom uglu. Eksperimentalna verifikacija teorijskog modela izvršena je za proizvoljno odabran datum 20.08.2012. godine. Za svaki sat počev od 09.00 h pa do 17.00 h izračunata je teorijska i eksperimentalna površina ozračenosti A_{ozrt} i A_{ozre} . Neophodni podaci za njihovo izračunavanje su dimenzije prijemnika (945 x 483 x 105 mm), dimenzije reflektora (1000 x 500 x 2 mm) kao i podaci o položaju PRS ($G = 36^\circ$ i $\alpha = 147^\circ$).

Oblik i veličina površina ozračenosti A_{ozrt} i A_{ozre} , dobijenih upotrebom FORTRAN-a i AutoCad-a, prikazani su na sl. 4–13. Plavom bojom obeležena je A_{ozrt} dok je crvenom bojom obeležena A_{ozre} . Na sl. 5, 7, 9, 11 i 13 prikazane su fotografije površine A_{ozre} korišćene za verifikaciju modela.

Za 09.00 h i 10.00 h (20.08.2012).



Slika 4. Teorijska A_{ozrt} (svetlo) i eksperimentalna A_{ozre} (tamno) za 09.00 h (levo) i 10.00 h (desno)



Slika 5. Eksperimentalna A_{ozre} za 09:00 h (levo) i eksperimentalna A_{ozre} za 10:00 h (desno)

Za 11.00 h i 12.00 h (20.08.2012).



Slika 6. Teorijska A_{ozrt} (svetlo) i eksperimentalna A_{ozre} (tamno) za 11.00 h (levo) i 12.00 h (desno)



Slika 7. Eksperimentalna A_{ozre} za 11:00 h (levo) i eksperimentalna A_{ozre} za 12:00 h (desno)

Za 13.00 h i 14.00 h (20.08.2012).



Slika 8. Teorijska A_{ozrt} (svetlo) i eksperimentalna A_{ozre} (tamno) za 13.00 h (levo) i 14.00 h (desno)



Slika 9. Eksperimentalna A_{ozre} za 13.00 h (levo) i eksperimentalna A_{ozre} za 14.00 h (desno)
Za 15.00 h i 16.00 h (20.08.2012).



Slika 10. Teorijska A_{ozrt} (svetlo) i eksperimentalna A_{ozre} (tamno) za 15.00 h (levo) i 16.00 h (desno)



Slika 11. Eksperimentalna A_{ozre} za 15.00 h (levo) i eksperimentalna A_{ozre} za 16.00 h (desno)
Za 17.00 h (20.08.2012).



Slika 12. Teorijska A_{ozrt} (svetlo) i eksperimentalna A_{ozre} (tamno) za 17.00 h

Slika 13. Eksperimentalna A_{ozre} za 17.00 h

4. Rezultati i diskusija

Kao što je već pomenuto za izračunavanje površina ozračenosti A_{ozrt} i A_{ozre} neophodno je poznavati položaj PRS, dimenzije prijemnika i reflektora kao i datum i vreme ispitivanja. Podaci o pozicijama reflektora u eksperimentu, veličini površina ozračenosti A_{ozrt} i A_{ozre} kao i njihovom međusobnom odstupanju dati su u tabeli 1. Treba naglasiti da prilikom izračunavanja A_{ozre} i A_{ozrt} zanemaren je uticaj bočnih strana prijemnika na njihov oblik i veličinu. Takođe, u tabeli 1 date su i kombinacije slučajeva (podslučajeva) položaja reflektora u odnosu na prijemnik.

Tabela 1. Pozicije reflektora, kombinacije slučajeva (podslučajeva), vrednosti za A_{ozrt} i A_{ozre} i njihova odstupanja za svaki sat i datum 20.08.2012. godine

	Slučaj (podslučaj)	Pozicije reflektora (v_1, v_2, w_1, w_2, y)	A_{ozrt} (m^2)	A_{ozre} (m^2)	Greš. (%)
9 h	B5_{ewGa} / E11a_{nsGa}	$w_1 = 0,0275$ m, $v_2 = 0,02$ m, $y = 0,3463$ m	0,4201	0,4042	3,78
10 h	E11a_{ewGa} / E11a_{nsGa}	$v_1 = 0,0725$ m, $v_2 = 0,02$ m, $y = 0,5963$ m	0,4073	0,3969	2,55
11 h	E11a_{ewGa} / E11a_{nsGa}	$v_1 = 0,1725$ m, $v_2 = 0,12$ m, $y = 0,5963$ m	0,3716	0,3574	3,82
12 h	E11a_{ewGa} / E11a_{nsGa}	$v_1 = 0,3725$ m, $v_2 = 0,12$ m, $y = 0,5963$ m	0,1834	0,1837	0,16
13 h	E11a_{ewGa} / E11a_{nsGa}	$v_1 = 0,3725$ m, $v_2 = 0,12$ m, $y = 0,5963$ m	0,0	0,0	0
14 h	E11a_{ewGa} / E11a_{nsGa}	$v_1 = 0,2725$ m, $v_2 = 0,163$ m, $y = 0,5963$ m	0,2358	0,2269	3,77
15 h	E11a_{ewGa} / E11a_{nsGa}	$v_1 = 0,1725$ m, $v_2 = 0,163$ m, $y = 0,5963$ m	0,3519	0,3406	3,21
16 h	E11a_{ewGa} / E11a_{nsGa}	$v_1=0,0725$ m, $v_2=0,063$ m, $y = 0,5963$ m	0,3786	0,3864	2,02
17 h	B3_{ewGa} / E11a_{nsGa}	$w_1 = 0,1275$ m, $v_2 = 0,063$ m, $y=0,4463$ m	0,3698	0,3738	1,07

Dobijene vrednosti za površine A_{ozrt} i A_{ozre} su upoređene, nakon čega se pristupilo određivanju njihovog odstupanja (greške). Pomenuta odstupanja iznose: 3,78% (09.00 h), 2,55% (10.00 h), 3,82% (11.00 h), 0,16% (12.00 h), 0% (13.00 h), 3,77% (14.00 h), 3,21% (15.00 h), 2,02% (16.00 h) i 1,07% (17.00 h). Navedena odstupanja su posledica nesavršenosti konstrukcije PRS, neidealne paralelnosti između reflektora i prijemnika kao i neidealne refleksije zračenja sa reflektora. S obzirom da su ona minimalna može se zaključiti da je teorijski model određivanja površine ozračenosti donjeg dela apsorbera dvostruko ozračenog prijemnika sunčeve energije eksperimentalno verifikovan.

Literatura

- [1] **Nikolić, N., N. Lukić**, *Mathematical model for determining the irradiated area of the lower absorber surface of the double exposure flat-plate water solar collector*, Proceedings, 24th International Conference on Efficiency, Cost, Optimization, Simulation and Environmental Impact of Energy Systems (ECOS 2011), Novi Sad, Serbia, 2011, July 4–7, pp. 3401–3413, ISBN 978-86-6055-016-5.
- [2] **Souka, A. F.**, *Double exposure flat-plate collector*, Solar Energy 1965; 9 (3):117–8.
- [3] **Souka, A. F., H. H. Safwat**, *Determination of the optimum orientation for the double exposure flat-plate collector and its reflectors*, Solar Energy 1966;10:170–4.
- [4] **Larson, D. C.**, *Mirror enclosures for double-exposure solar collectors*, Solar Energy 23, 517–524 (1979).

kggh