UNIVERSITY OF EAST SARAJEVO

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

6th INTERNATIONAL SCIENTIFIC CONFERENCE

COMETa 2022

„Conference on Mechanical Engineering Technologies and Applications“

PROCEEDINGS

17th-19th November

East Sarajevo, RS, B&H

COMETa 2022

6th INTERNATIONAL SCIENTIFIC CONFERENCE

17th - 19th December 2022
Jahorina, B&H, Republic of Srpska

University of East Sarajevo
Faculty of Mechanical Engineering
Conference on Mechanical Engineering Technologies and Applications

---

Z B O R N I K   R A D O V A

P R O C E E D I N G S

Istočno Sarajevo, BiH, RS
17 - 19. novembar 2022.

East Sarajevo, B&H, RS
17th – 19th November, 2022

ZBORNIK RADOVA SA 6. MEĐUNARODNE NAUČNE KONFERENCIJE
”Primijenjene tehnologije u mašinskom inženjerstvu”
COMETa2022, Istočno Sarajevo, 2022.

PROCEEDINGS OF THE 6th INTERNATIONAL SCIENTIFIC CONFERENCE
”Conference on Mechanical Engineering Technologies and Applications”
COMETa2022, East Sarajevo, 2022

Organizator:	Univerzitet u Istočnom Sarajevu Mašinski fakultet Istočno Sarajevo
Organization:	University of East Sarajevo Faculty of Mechanical Engineering East Sarajevo
Izdavač:	Univerzitet u Istočnom Sarajevu Mašinski fakultet Istočno Sarajevo
Publisher:	University of East Sarajevo Faculty of Mechanical Engineering East Sarajevo
Za izdavača: *For publisher:*	PhD Milija Kraišnik, associate professor
Urednici: *Editors:*	PhD Dušan Golubović, full professor PhD Miroslav Milutinović, associate professor PhD Saša Prodanović, associate professor
Tehnička obrada i dizajn: *Technical treatment and desing:*	PhD Aleksije Đurić, senior assistant MSc Jovana Blagojević, senior assistant MSc Milica Bošković, senior assistant Krsto Batinić, assistant
Izdanje: *Printing:*	Prvo 1st
Register: *Register:*	ISBN 978-99976-947-6-8 COBISS.RS-ID 137162497

REVIEWERS

PhD Dušan Golubović, FME UES (B&H)
PhD Dušan Gordić, FE Kragujevac (Serbia)
PhD Ljubiša Dubonjić, FMCE Kraljevo (Serbia)
PhD Mirko Blagojević, FE Kragujevac (Serbia)
PhD Miroslav Stanojević, FME Belgrade (Serbia)
PhD Adisa Vučina, FMEC Mostar (B&H)
PhD Aleksandar Jovović , FME Belgrade (Serbia)
PhD Aleksandar Košarac , FME UES (B&H)
PhD Aleksandar Živković, FTS Novi Sad (Serbia)
PhD Biljana Marković, FME UES (B&H)
PhD Bogdan Marić, FME UES (B&H)
PhD Branimir Krstić , University of Difence, Military Academy (Serbia)
PhD Damjan Klobčar , FME Ljubljana (Slovenia)
PhD Darko Bajić , FME Podgorica (MNE)
PhD Dejan Jeremić , FME UES (B&H)
PhD Dragan Milčić, FME Nis (Serbia)
PhD Dragan Pršić, FMCE Kraljevo (Serbia)
PhD Goran Orašanin, FME UES (B&H)
PhD Jasmina Pekez, TF “Mihajlo Pupin” Zrenjanin (Serbia)
PhD Jelena Jovanović, FME Podgorica (MNE)
PhD Lozica Ivanović, FE Kragujevac (Serbia)
PhD Milan Banić , FME Niš (Serbia)
PhD Milan Rackov, FTS Novi Sad (Serbia)
PhD Milan Tica, FME Banja Luka (B&H)
PhD Milan Zeljković, FTS Novi Sad (Serbia)
PhD Milija Kraišnik , FME UES (B&H)
PhD Milomir Šoja, FEE UES (B&H)
PhD Miloš Milovančević, FME Nis (Serbia)
PhD Miodrag Žigić, FTS Novi Sad (Serbia)
PhD Mirko Dobrnjac , FME Banja Luka (B&H)
PhD Miroslav Milutinović, FME UES (B&H)
PhD Mladen Josijević, FE Kragujevac (Serbia)
PhD Mladen Tomić, FTS Novi Sad (Serbia)
PhD Mladomir Milutinović, FTS Novi Sad (Serbia)
PhD Nebojša Radić, FME UES (B&H)
PhD Nenad Grahovac , FTS Novi Sad (Serbia)
PhD Nikola Tanasić, FME Belgrade (Serbia)
PhD Nikola Vučetić, FME UES (B&H)
PhD Ranka Gojković , FME UES (B&H)
PhD Ranko Antunović , FME UES (B&H)
PhD Saša Prodanović, FME UES (B&H)
PhD Saša Živanović, FME Belgrade (Serbia)
PhD Silva Lozančić , Faculty of Civil Engineering Osijek (Croatia)
PhD Slaviša Moljević, FME UES (B&H)
PhD Slobodan Lubura, FEE UES (B&H)
PhD Slobodan Tabaković, FTS Novi Sad (Serbia)
PhD Snežana Nestić, FE Kragujevac (Serbia)
PhD Spasoje Trifković, FME UES (B&H)
PhD Srđan Vasković, FME UES (B&H)
PhD Stojan Simić, FME UES (B&H)
PhD Uroš Karadžić , FME Podgorica (MNE)

INTERNATIONAL SCIENTIFIC COMMITTEE

PhD Miroslav Živković, FE Kragujevac (Serbia)
PhD Mladen Tomić, FTS Novi Sad (Serbia)
PhD Mladomir Milutinović, FTS Novi Sad (Serbia)
PhD Nebojša Lukić, FE Kragujevac (Serbia)
PhD Nebojša Radić, FME UES (B&H)
PhD Nenad Pavlović, FME Niš (Serbia)
PhD Nikola Vučetić, FME UES (B&H)
PhD Nina Anđelić, FME Belgrade (Serbia)
PhD Novak Nedić, FMCE Kraljevo (Serbia)
PhD Obrad Spaić, UES PFM, (B&H)
PhD Pavel Kovač, FTS Novi Sad (Serbia)
PhD Ranislav Bulatović, FME Podgorica (MNE)
PhD Radivoje Mitrović, FME Belgrade (Serbia)
PhD Radoslav Tomović, FME Podgorica (MNE)
PhD Radovan Radovanović, The Academy of criminalistic and police studies Belgrade (Serbia)
PhD Ranko Antunović, FME UES (B&H)
PhD Risto Ciconkov, FME Skopje (Macedonia)
PhD Saša Ranđelović, FME Niš (Serbia)
PhD Sergej Alexandrov, Institute for Problems in Mechanics (Russia)
PhD Siniša Kuzmanović, FTS Novi Sad (Serbia)
PhD Slaviša Moljević, FME UES (B&H)
PhD Slavko Arsovski, FE Kragujevac (Serbia)
PhD Snežana Nestić, FE Kragujevac (Serbia)
PhD Spasoje Trifković, FME UES (B&H)
PhD Srđan Vasković, FME UES (B&H)
PhD Sreten Perić, Military academy, University of Defence in Belgrade (Serbia)
PhD Stanislav Karapetrović, University of Alberta (Canada)
PhD Stevan Stankovski, FTS Novi Sad (Serbia)
PhD Stojan Simić, FME UES (B&H)
PhD Strain Posavljak, FME Banja Luka (B&H)
PhD Velimir Stefanović, FME Niš (Serbia)
PhD Vencislav Grabulov, Institut IMS, Srbija
PhD Vladimir Popović, FME Belgrade (Serbia)
PhD Vlado Medaković, FME UES (B&H)
PhD Vojislav Miltenović, FME Niš (Serbia)
PhD Zdravko Krivokapić, FME Podgorica (MNE)
PhD Zorana Tanasić, FME Banja Luka (B&H)

ORGANIZING COMMITTEE

PhD Milija Kraišnik, FME UES – president
PhD Miroslav Milutinović, FME UES
PhD Saša Prodanović, FME UES
PhD Nikola Vučetić, FME UES
PhD Davor Milić, FME UES
PhD Aleksije Đurić, FME UES
Krsto Batinić, FME UES - Technical Secretary
Milica Bošković, ma, FME UES - Technical Secretary
Stanišić Vera – Secretary

GENERAL SPONSOR

**Ministry of Scientific and Technological Development,
Higher Education and Information Society
Republic of Srpska**

SPONSORS

РУДНИК ОЛОВА И ЦИНКА САСЕ

Veritas
Automotive d.o.o.

TRB

MILKUS

PMP
INDUSTRIES
PMP JELŠINGRAD - FMG A.D. Gradiška

САРАЈЕВО-ГАС А.Д.

РУДНИК И
ТЕРМОЕЛЕКТРАНА
ГАЦКО

РУДНИК И ТЕРМОЕЛЕКТРАНА УГЉЕВИК

TERMOELEKTRO

GRIJANJEINVEST

Ella Textile
d.o.o. Gradiška, Nova Topola

KOLEKTOR

The conference has been supported by:

International Federation for the Promotion of Mechanism and Machine Science

Association for Design, Elements and Constructions

Union of Mechanical Engineers and Technicians of Republic of Srpska

Countries from which conference participants come

PREFACE

The economic power of a society can be expressed by different indicators. However, it is certain that the competitiveness of the economy is one of the most important. In this sense, it is necessary for industrial production to follow modern development trends, which are based on current scientific achievements. Only a holistic approach in the application of knowledge in various engineering fields, and especially in the field of mechanical engineering, is a guarantee of economic progress, which enables long-term stability and prosperity of each country. Precisely for these reasons, the Faculty of Mechanical Engineering of the University of East Sarajevo organized the 1st International Scientific Conference COMETa in 2012, and this year is its 6th edition.

The main goal of the conference is to strengthen cooperation with the academic community, scientific-research institutions and, above all, with business entities. Conference COMETa 2022 is an opportunity for all participants to offer guidelines and create a better environment for more intensive industrial development through the exchange of knowledge and experience. That is going to have impact to increasing the competitiveness of national economic entities on the foreign market. The participation of a significant number of domestic and foreign scientists and researchers strengthens our conviction that in the near future we will be able to overcome challenges that are present in the technical-technological development of an advanced society in the 21st century, mainly through the generation of new ideas and the introducing of modern approaches to solving complex tasks in the field of mechanical engineering. In this sense, all your proposals and suggestions are more than welcome and will be carefully considered by the Scientific and Organizing Committee in order to improve the organization of the next conferences. Acknowledging the importance of the wide field of mechanical engineering for the overall industrial development of society, the work of the conference will take place through 7 sections, including the Student section. The program is focused on the following thematic areas:

- Manufacturing technologies and advanced materials,
- Applied mechanics and mechatronics,
- Machine design, simulation and modeling,
- Product development and mechanical systems,
- Energy and thermotechnic,
- Renewable energy and environmental protection,
- Maintenance and technical diagnostics,
- Quality, management and organization.

At this year's conference COMETa 2022, 105 papers including 4 plenary lectures will be published in the Proceedings.

We are specially looking forward that conference registered a record number of participants from abroad. Namely, 300 authors come from 25 countries. This is certainly the result of strenuous activities that were aimed at raising the international reputation and visibility of the conference in the regional, but also in the wider academic and scientific research space, which will be one of the primary goals in the future.

On behalf of the Organizing Committee of the conference COMETa 2022, we express our great gratitude to all the authors of the papers, reviewers, universities, faculties, business entities, national and international institutions and organizations that supported the conference. Without their help the organization and work of the conference would certainly not be at the level that its status deserves.

East Sarajevo, November 14th, 2022.

President of the Scientific Committee

PhD Dušan Golubović,
Full Professor

President of the Organizing Committee

PhD Milija Kraišnik,
Associate Professor

C O N T E N T

PLENARY LECTURES

MANUFACTURING TECHNOLOGIES AND ADVANCED MATERIALS

APPLIED MECHANICS AND MECHATRONICS

MACHINE DESIGN, SIMULATION AND MODELING

PRODUCT DEVELOPMENT AND MECHANICAL SYSTEMS

ENERGY AND THERMOTECHNIC

RENEWABLE ENERGY AND ENVIRONMENTAL PROTECTION

MAINTENANCE AND TECHNICAL DIAGNOSTICS

STUDENT SESSION

COMETa 2022
6th INTERNATIONAL SCIENTIFIC CONFERENCE
17th - 19th November 2022
Jahorina, B&H, Republic of Srpska
University of East Sarajevo
Faculty of Mechanical Engineering
Conference on Mechanical Engineering Technologies and Applications

---

NUMERIČKA ANALIZA UKUPNOG DOLAZNOG SOLARNOG ZRAČENJA NA POVRŠINU RAVNOG SOLARNOG PRIJEMNIKA SA JEDNOOSNIM PRIVIDNIM PRAĆENJEM SUNCA – SLUČAJ SA NAGNUTOM S-J OSOM I PRAĆENJEM U PRAVCU I-Z

Aleksandar Nešović[1]

Rezime: U ovom radu koristi se softver Energy Plus da bi se numerički analizirala moguća implementacija mehanizma jednoosnog (oko nagnute S-J ose u pravcu I-Z) prividnog praćenja kretanja Sunca na konstrukciju ravnog (pločastog, zastakljenog) solarnog prijemnika, sve sa ciljem da se maksimizira prikupljanje ukupnog dolaznog solarnog zračenja. Na osnovu velikog broja simulacija, napravljen je petomesečni (od juna do oktobra) uzorak, a potom su definisana tri osnovna obrasca ponašanja navedene solarne konstrukcije: pri izrazito vedrom (prvi slučaj), vedrom (drugi slučaj) i oblačnom vremenu (treći slučaj). Rezultati pokazuju opravdanost primene ovakvog solarnog dizajna, jer u prvom (16. avgust) slučaju na pokretni solarni prijemnik dospeva i do 50% više solarnog zračenja nego na fiksni solarni prijemnik iste aktivne površine. U drugom (26. jul) slučaju, ta razlika je nesto manja, tj. 35% u korist pokretnog solarnog prijemnika, da bi u trećem (6. septembar) slučaju ona bila najmanja (ispod 10%), ali i dalje u korist pokretnog solarnog prijemnika.

Ključne riječi: Jednoosno prividno praćenje Sunca, Numerička simulacija, Pokretni solarni prijemnik, Ukupno dolazno solarno zračenje, Fiksni solarni prijemnik.

NUMERICAL ANALYSIS OF THE TOTAL INCIDENT SOLAR RADIATION ON THE FLAT-PLATE SOLAR COLLECTOR WITH SINGLE-AXIS TRACKING – CASE WITH INCLINED N-S AXIS AND E-W TRACKING

Abstract: In this paper, the Energy Plus software was used to numerically analyze the possible implementation of the single-axis (around the inclined N-S axis in the E-W direction) tracking mechanism on the flat-plate solar collector, all with the aim of maximizing the collection of the total incident solar radiation. Based on a large number of simulations, a five-month (from June to October) sample was created, and then three basic behavior patterns of the mentioned solar structure were defined: extremely

---

[1] Mast. inž. maš., Aleksandar Nešović, Fakultet inženjerskih nauka Univerziteta u Kragujevcu, Kragujevac, Srbija, aca.nesovic@kg.ac.rs (CA).

clear (first case), clear (second case) and cloudy weather (third case). The results were showed the application justification of this solar design, because in the first case (August 16), up to 50% more solar radiation reaches the single-axis tracking flat-plate solar collector than the fixed flat-plate solar collector of the same active surface. In the second (July 26) case, that difference is somewhat smaller, i.e. 35% in favor of the single-axis tracking flat-plate solar collector, so that in the third (September 6) case it would be the smallest (below 10%), but still in favor of the single-axis tracking flat-plate solar collector.

Keywords: Fixed flat-plate solar collector, Numerical simulation, Single-axis tracking, Total incident solar radiation, Tracking flat-plate solar collector.

1 UVOD

U stambenom sektoru najveću primenu imaju ravni (pločasti, zastakljeni) solarni prijemnici, koji su, prema tradicionalnoj klasifikaciji, nekoncentrišući i nepokretni.Konstrukcija ravnih solarnih prijemnika prilično je jednostavna: određeni broj lamela sa integrisanim protočnim kanalima spaja se u aktivnu površinu za prikupljane solarne energije, tj. apsorbersku ploču (ravnu površinu), koja se sa gornje strane prekriva zastakljenjem (jednoslojnim ili višeslojnim), a sa donje strane štiti slojem izolacije. Time se toplotni gubici ravnog solarnog prijemnika smanjuju, a termički stepen korisnosti povećava.

Praksa je ipak pokazala da navedena konstrukcija ne mora uvek da bude nekoncentrišuća i nepokretna. Iako su sistemi za prividno praćenje kretanja Sunca više karakteristični za PV panele i neke druge tipove solarnih prijemnika, do danas je objavljen određen broj radova u kojima se ravni solarni prijemnik rotira oko jedne ili obe ose (Tab. 1). U tabeli 2, hronološki su prikazani radovi u kojima se kod ravnih solarnih prijemnika primenjuju razne koncentrišuće, odnosno reflektujuće površine.

Tabela 1. *Istorijski razvoj primene nekonvencionalnih ravnih solarnih prijemnika Prvi deo (od 1970. do 2000.)*

Godina	70	77	78	79	80	81	86	90	91	92	95
Reflektor	[1]	[2]	-	[3]	[4] [5]	-	[6]	-	-	[7]	[8]
Koncentrator	-	-	-	-	-	[17]	-	[18]	-	-	-
Prividno praćenje Sunca	-	-	[21] [22]	-	-	-	-	-	[23]	[24]	-

Tabela 2. *Istorijski razvoj primene nekonvencionalnih ravnih solarnih prijemnika Drugi deo (od 2000. do 2021.)*

Godina	12	13	14	15	17	18	20	21
Reflektor	[9]	[10]	[11]	[12] [13]	[14]	[15]	[16]	-
Koncentrator	-	-	[19]	-	-	-	[20]	-
Prividno praćenje Sunca	-	[25]	[26] [27] [28]	[29]	-	[30] [31]	[32]	[33]

U ovom radu napravljen je još jedan mali iskorak, koji se ogleda u primeni savremenih softverskih alata (u ovom slučaju programa Energy Plus) u termičkim analizama pokretnih (mobilnih) solarnih sistema. Autor se nada da će ovo istraživanje biti od značaja budućim istraživačima, još više, ako se u obzir uzme da pomenuti softver u sebi poseduje alate za istraživanje samo fiksnih ravnih solarnih prijemnika, sto znači da su uslovi istaživanja pokretnih ravnih solarnih prijemnika veštački kreirani od strane korisnika.

2 ENERGY PLUS MODEL UKUPNOG DOLAZNOG SOLARNOG ZRAČENJA

U softveru Energy Plus postoji model za proračun ukupnog dolaznog solarnog zračenja na proizvoljno orijentisanu fiksnu ravnu površinu, u ovom slučaju solarnog prijemnika I_{TOT} [W]. Proračun ovog zračenja je veoma složen, ali se u opštem slučaju može predstaviti kao zbir direktnog I_{DIR} [W], difuznog I_{DIFF} [W] i reflektovanog I_{REF} [W] solarnog zračenja Jed. (1):

$$I_{TOT} = I_{BEAM} + I_{DIFF} + I_{REFL} \tag{1}$$

Difuzno solarno zračenje na površinu solarnog prijemnika dospeva iz tri pravca: nebeske kupole (engl. *Sky Dome*) $I_{DIFF-SD}$ [W] i horizonta (engl. *Horizon*) I_{DIFF-H} [W], kao i uske oblasti koja se formira oko direktnog solarnog zraka (engl. *Circumsolar*) I_{DIFF-C} [W] Jed. (2):

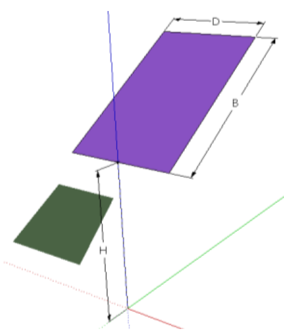
$$I_{DIFF} = I_{DIFF-SD} + I_{DIFF-H} + I_{DIFF-C} \tag{2}$$

Reflektovano solarno zračenje nastaje odbijanjem solarnog zračenja (direktnog i difuznog) od zemlje I_{REFL-G} [W] i okolnih površina I_{REFL-S} [W] Jed. (3):

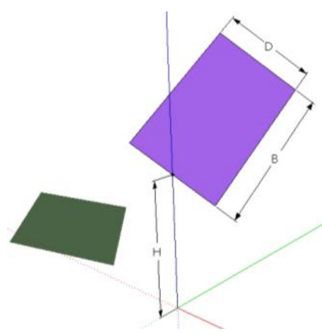
$$I_{REFL} = I_{REFL-G} + I_{REFL-S} \tag{3}$$

3 SCENARIO SIMULACIJA

Na narednoj slici prikazani su Energy Plus modeli fiksnog (Sl. 1a) i pokretnog ravnog solarnog prijemnika sa jedoosnim praćenjem kretanja Sunca u pravcu I-Z (Sl. 1b), oba sa istim S-J nagibom prema horizontali pod uglom od 34° (optimalni ugao za grad Kragujevac). Njihove geometrijske karakteristike prikazane su u Tab. 3.



Slika. 1a. *Fiksni ravni solarni prijemnik*



Slika. 1b. *Pokretni ravni solarni (jednoosno praćenje Sunca u pravcu I-Z)*

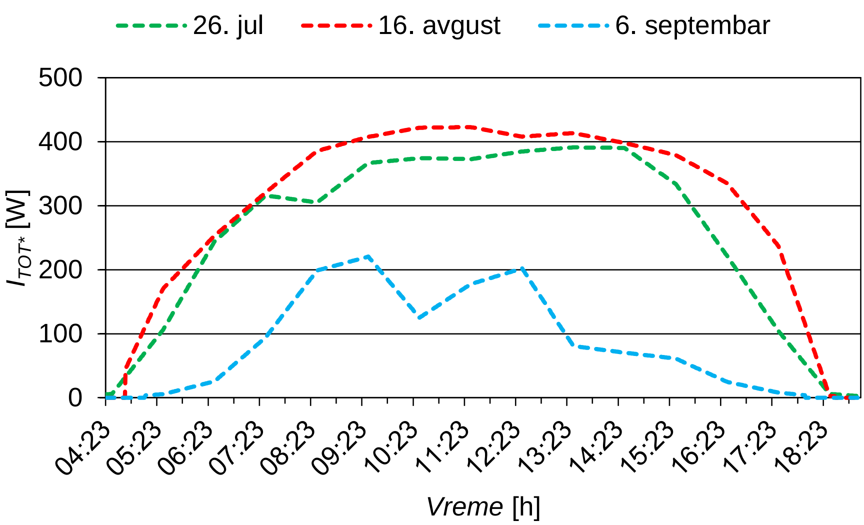
Tabela 3. *Geometrijske karakteristike analiziranih solarnih prijemnika*

Solarni prijemnik	Fiksni	Pokretni
B [mm]	800	
D [mm]	500	
H [mm]	700	
Broj simulacija	1	181
Lokacija	Kragujevac, Srbija	
Vremenske prilike	26. jul (vedar dan)	
	16. avgust (izrazito vedar dan)	
	6. septembar (oblačan dan)	

Kako u softveru Energy Plus ne postoje modeli za analizu pokretnih solarnih prijemnika, za potrebe ove studije, modeli su veštacki napravljeni. Naime, nizom simulacija, vršen je proračun ukupnog dolaznog solarnog zračenja tokom čitavog dana, za svaki ugao zakretanja ravne površine: od -90° (trenutak izlaska Sunca) do +90° (trenutak zalaska Sunca), pri čemu je korak zakretanja bio 1°. Da bi rezultati bili što precizniji, korišćen je vremenski fajl sa jednominutnim korakom. Nakon toga, maksimalna brojna vrednost ukupnog dolaznog solarnog zračenja (za dati ugao zakretanja u datom vremenskom trenutku) korišćena je za formiranje dnevne krive ukupnog dolaznog solarnog zračenja.

4 REZULTATI I DISKUSIJA

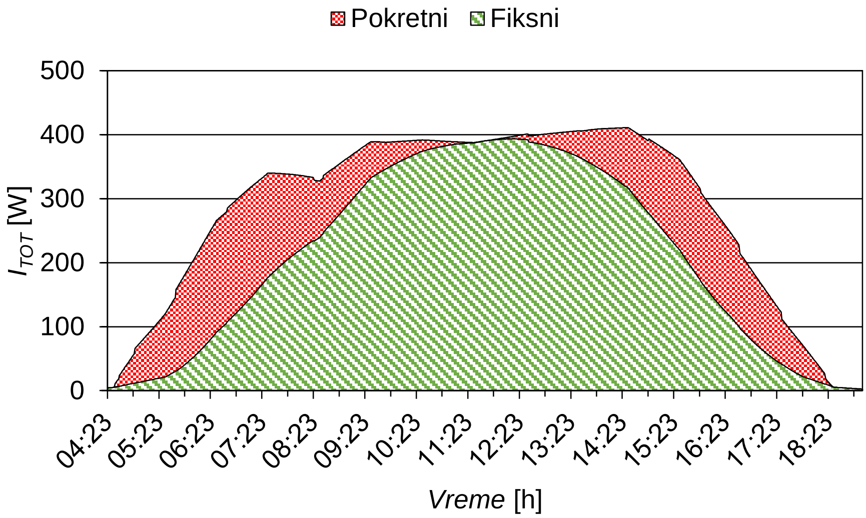
Intenzitet ukupnog dolaznog I_{TOT*} [W] solarnog zračenja na horizontalnu ravnu površinu za tri karakteristična slučaja (26. jul – vedar dan, 16. avgust – izrazito vedar dan i 6. septembar – oblačan dan) prikazan je na Sl. 2.



Slika. 2. *Ukupno dolazno solarno zračenje na horizontalnu ravnu površinu*

Za 26. jul (vedar dan, izlazak Sunca u 04:23 h, zalazak Sunca u 17:03 h) prosečan dnevni intenzitet I_{TOT*} = 267.05 W. Dijagram (Sl. 2) pokazuje blagi diskontinuitet (od 07:00h do 15:00 h), što se objašnjava prisustvom delimične oblačnosti. Vrednost I_{TOT*} najveća je u 13:30 h (391.2 W). Za 16. avgust (izrazito vedar dan, izlazak Sunca u 04:46 h, zalazak Sunca u 18:36 h) prosečna dnevna vrednost I_{TOT*} = 328.52 W, dok je maksimalna dnevna vrednost 385,2 W (10:30 h). Solarna kriva za 6. septembar (izlazak Sunca u 05:09 h, zalazak Sunca u 18:01 h) govori da se radi o oblačnom danu (prisustvo velikih solarnih fluktuacija). Tokom ovog dana (Sl. 2) prosečna dnevna vrednost ukupnog dolaznog solarnog zračenja na horizontalnu ravnu površinu je 100.34 W. Maksimalna vrednost solarnog zračenja zabeležena je u 09:30 h (220,4 W).

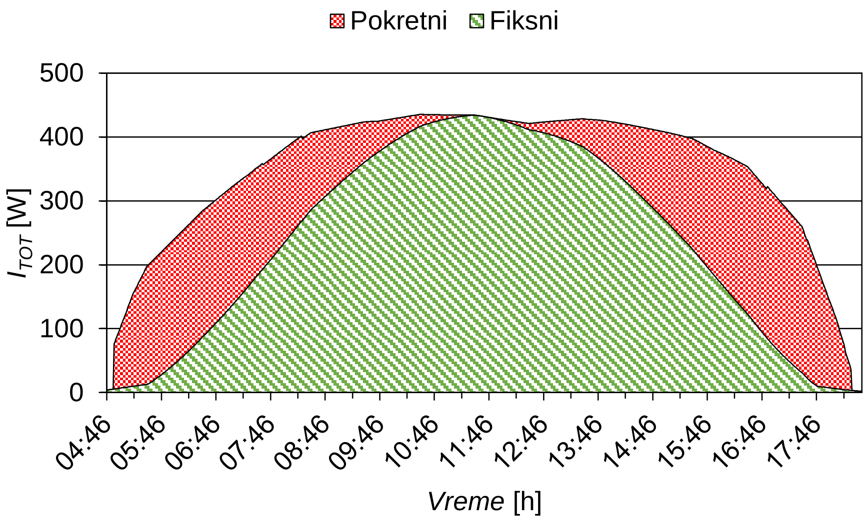
Na sledećim slikama (Sl. 3-5) prikazano je poređenje fiksnog i pokretnog ravnog solarnog prijemnika za pomenute (prema Sl. 2) dane.



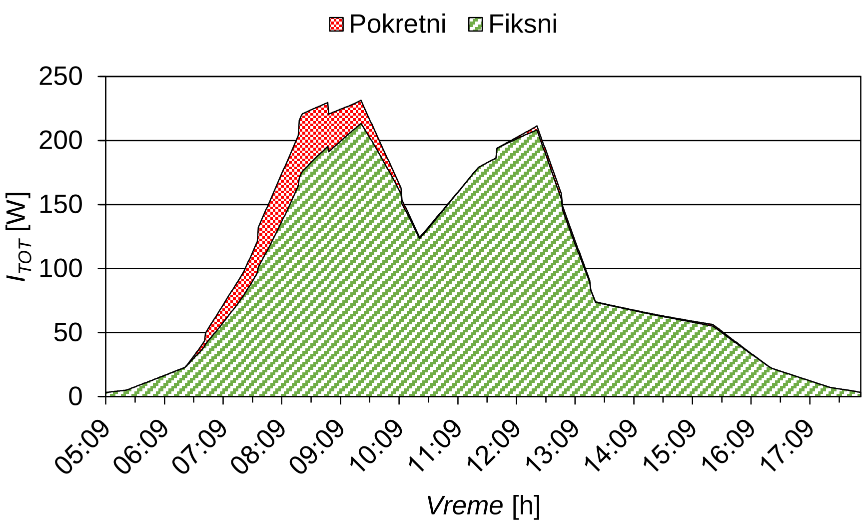
Slika. 3. *Ukupno dolazno solarno zračenje na površinu ravnog solarnog prijemnika (26. jul)*

Pokretni solarni prijemnik tokom vedrog dana (26, jul, Sl. 3) može postići do 35.92% bolje rezultate od fiksnog solarnog prijemnika, jer na njegovu površinu tada u proseku dospeva 284.41 W solarnog zračenja, dok na površinu fiksnog solarnog prijemnika dospeva 209.24 W. Kada su vremenske prilike još povoljnije (karakteristike izrazito vedrog vremena), pokretni solarni prijemnik u stanju je da prikupi i do 347.1 W, što je za 47.55% više od fiksnog solarnog prijemnika (Sl. 4). Tokom oblačnih dana, kada je udeo difuznog solarnog zračenja u ukupnom solarnom iznosu veći od udela direktnog solarnog zračenja, razlike između pokretnih i nepokretnih solarnih prijemnika se smanjuju, pa mogu pasti ispod 8% (slučaj prikazan na Sl. 5). U ovoj situaciji, ukupno prosečno dnevno dolazno solarno zračenje na površine fiksnog i pokretnog ravnog solarnog prijamnika redom su (6. septembar): 95.11 W i 101.88 W.

Bolji rezultati, koje ostvaruje pokretni ravni solarni prijemnik u odnosu na fiksni, leže u primeni jedoosnog sistema za prividno praćenje kretanja Sunca. Ovakvim mehanizmom obezbeđuje se minimalna vrednost solarnog upadnog ugla (ugao između vektora položaja Sunca, tj. direktnog solarnog zračenja i vektora normale na površinu ravnog solarnog prijemnika) u svakom trenutku, što je od posebne važnosti za transferzalnu (poprečnu) ravan, koja ima prednost korišćenja u ovakvim termičkim analizama (karakteristične za pokretne solarne sisteme) u odnosu na još jednu – uzdužnu ravan.



Slika. 4. *Ukupno dolazno solarno zračenje na površinu ravnog solarnog prijemnika (16. avgust)*



Slika. 5. *Ukupno dolazno solarno zračenje na površinu ravnog solarnog prijemnika (16. avgust)*

Primena ovakvog mehanizma tokom dana dolazi do punog izražaja pre i posle solarnog podneva, tj. pre i posle tzv. zenitnog položaja, kada se obezbeđuje "upravnost" direktnog solarnog zračenja (po intenzitetu slabijeg) na površinu solarnog prijemnika. U trenutku solarnog podneva, ravni u kojima leže pokretni i fiksni solarni prijemnik međusobno su paralelne, a njiihove aktivne površine za prikupljanje solarnog zračenja jednake, pa su im i termičke karakteristike identične. Drugim rečima, u trenutku solarnog podneva, solarna kriva pokretnog solarnog prijemnika preklapa se sa solarnom krivom fiksnog solarnog prijemnika (Sl. 3-5).

5 ZAKLJUČAK

U ovom radu izvršeno je poređenje termičkih karakteristika pokretnog (oko nagnute S-J ose u pravcu I-Z) i fiksnog ravnog solarnog prijemnika (istih aktivnih površina i sa istim nagibom prema horizontali) korišćenjem savremenog softverskog paketa Energy Plus. Rezultati su pokazali opravdanost primene ovakvih solarnih sistema, jer se time može prikupiti 7-50% više solarne energije, zavisno od vremenskih prilika. Uloga numeričkih alata u ovakvim situacijama (kada eksperimentalna i svaka druga istraživanja mogu biti dosta skupa) može biti od presudnog značaja, jer se time štede i vreme i novac, pa bi softveri (poput Energy Plus programa), trebalo da zauzmu posebno mesto svim početnim fazama istraživanja svih mogućih tipova HVAC sistema. Da bi to bilo moguće, potrebno je da se neprestano radi na usavršavanju softvera kako bi se ispratile sve potrebe njihovih korisnika.

ZAHVALNOST

Ovo je rezultat rada u okviru dva projekta: projekat TR 33015 Tehnološkog razvoja Republike Srbije, projekat III 42006 Integralna i interdisciplinarna istraživanja Republike Srbije. Prvi projekat je pod nazivom "Istraživanje i razvoj Srpske kuće nulte neto postrošnje energije". Drugi projekat je pod nazivom "Istraživanje i razvoj energijski i ekološki visoko efikasnih sistema poligeneracije zasnovanoj na obnovljivim energijskim izvorima". Želim da se zahvalim Ministarsvu prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije na njihovj finansijskoj podršci tokom ovog istraživanja.

LITERATURA:

[1] Safwat, H. H., Souka, A. F. (1970) Design of a new solar-heated house using double-exposure flat-plate collectors, *Solar Energy*, 13, pp. 105-119.

[2] Grassie, S. L., Sheridan, N. R. (1977) The use planar reflectors for increasing the energy yield of flat-plate collectors, *Solar Energy*, 19, pp. 663-668.

[3] Larson, D. C. (1979) Mirror enclosures for double-exposure solar collectors, *Solar Energy*, 23, pp. 517-524.

[4] O'gallagher, J. J., Rabl, A., Winston, R. (1980) Absorption enhancement in solar collectors by multiple reflections, *Solar Energy*, 24, pp. 323-326.

[5] Taha, I. S., Eldighidy, S. M. (1980) Effect of off-south orientation on optimum conditions for maximum solar energy absorbed by flat plate collector augmented by plane reflector, *Solar Energy*, 25, pp. 373-379.

[6] Arata, A. A., Geddes, R. W. (1986) Combined collector-reflector systems, *Energy*, 2, pp. 621-630.

[7] Chiam, H. F. (1992) Stationary reflector-augmented flat-plate collectors, *Solar Energy*, 29, pp. 65-69.

[8] Bollentin, J. W., Wilk, R. D. (1995) Modeling the solar irradiation on flat plate collections augmented with planar reflectors, *Solar Energy*, 55, pp. 343-354.

[9] Lertsatitthanakorn, C., Rungsiyopas, M., Therdyothin, A., Soponronnarit, S. (2012) Performance study of a double-pass thermoelectric solar air collector with flat-plate reflectors, *Journal of Electronic Materials*, 41, pp. 999-1003.

[10] Nikolić, N., Lukić, N. (2013) A mathematical model for determining the optimal reflector position of a double exposure flat-plate solar collector, *Renewable Energy*, 51, pp. 292-301.

[11] Pandolfini, J., Krothapallia, A. (2014) Thermodynamic modeling of the multiple parabolic reflector flat panel collector, *Energy Procedia*, 57, pp. 2762-2771.

[12] Baccoli, R., Mastino, C. C., Innamorati, R., Serra, L., Curreli, S., Ghiani, E., Ricciu, R., Marini, M. (2015) A mathematical model of a solar collector augmented by a flat plate above reflector: Optimum inclination of collector and reflector, *Energy Procedia*, 81, pp. 205-214.

[13] Nikolić, N., Lukić, N. (2015) Theoretical and experimental investigation of the thermal performance of a double exposure flat-plate solar collector, *Solar Energy*, 119, pp. 100-113.

[14] Bhowmik, H., Amin, R. (2017) Efficiency improvement of flat plate solar collector using reflector, *Energy Reports*, 3, pp 119-123.

[15] Baccoli, R., Frattolillo, A., Mastino, C., Curreli, B., Ghiani, E. (2018) A comprehensive optimization model for flat solar collector coupled with a flat booster bottom reflector based on an exact finite length simulation model, *Energy Conversion and Management*, 164, pp. 482-507.

[16] Abd, H. M., Alomar, O. R., Ali, F. A., Salih, M. M. M. (2020) Experimental study of compound parabolic concentrator with flat plate receiver, *Applied Thermal Engineering*, 166, pp. 114678.

[17] Chiam, H. F., Planar concentrators for flat-plate solar collectors, *Solar Energy*, 26, pp. 503-509.

[18] Tasdemiroglu, E., Arinc, F. (1990) Comparison of the available solar radiation on fiat-plate and concentrating solar collectors in Turkey, *Solar & Wind Technology*, 7, pp. 293-297.

[19] Pandolfini, J., Krothapalli, A. (2014) Thermodynamic modeling of the multiple parabolic reflector flat panel collector, *Energy Procedia*, 57, pp. 2762-2771.

[20] Qiu, G., Ma, Y., Song, W., Cai, W. (2021)Comparative study on solar flat-plate collectors coupled with three types of reflectors not requiring solar tracking for space heating, *Renewable Energy*, 169, pp. 104-116.

[21] Drago, P. (1978) A simulated comparison of the useful energy gain in a fixed and a fully tracking flat plate collector, *Solar Energy*, 20, pp. 419-423.

[22] Neville, R. C. (1978) Solar energy collector orientation and tracking mode, *Solar Energy*, 20, pp. 7-11.

[23] Gordon, J. M., Kreider, J. F., Reeves, P. (1991) Tracking and stacionary flat plate solar collectors: Yearly collectible energy correlations for photovoltaic applications, *Solar Energy*, 47, pp. 245-252.

[24] Reddy, T. A., Attalage, R. A. (1992) Annual collectible energy of a two-axis tracking flat-plate solar collector, *Solar Energy*, 48, pp. 151-155.

[25] García, A., Martin, R. H., Pérez-García, M. (2013) Experimental study of heat transfer enhancement in a flat-plate solar water collector with wire-coil inserts, *Applied Thermal Engineering*, 61, pp. 461-468.

[26] Föste, S., Giovannetti, F., Ehrmann, N., Rockendorf, G. (2014) Performance and reliability of a high efficiency flat plate collector – final results on prototypes, *Energy Procedia*, 48, pp. 48-57.

[27] Maia, C. B., Ferreira, A. G., Hanriot, S. M. (2014) Evaluation of a tracking flat-plate solar collector in Brazil, *Applied Thermal Engineering*, 73, pp. 953-962.
[28] Beikircher, T., Berger, V., Osgyan, P., Reuß, M., Streib, G. (2014) Low-e confined air chambers in solar flat-plate collectors as an economic new type of rear side insulation avoiding moisture problems, *Solar Energy*, 105, pp. 280-289.
[29] Yuan, G., Hong, L., Li, X., Xu, L., Tang, W., Wang, Z. (2015) Experimental investigation of a solar dryer system for drying carpet, *Energy Procedia*, 70, pp. 626-633.
[30] Hafez, A. Z., Yousef, A. M., Harag, N. M. (2018) Solar tracking systems: Technologies and trackers drive types – A review, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 91, pp. 754-782.
[31] Samimi-Akhijahani, H., Arabhosseini, A. (2018) Accelerating drying process of tomato slices in a PV-assisted solar dryer using a sun tracking system, *Renewable Energy*, 123, pp. 428-438.
[32] Das, M., Akpinar, E. K. (2020) Determination of thermal and drying performances of the solar air dryer with solar tracking system: Apple drying test, *Case Studies in Thermal Engineering*, 21, pp. 10731.
[33] Rodríguez-Munoz, J. M., Bove, I., Alonso-Suarez, R. (2021) Novel incident angle modifier model for quasi-dynamic testing of flat plate solar thermal collectors, *Solar Energy*, 224, pp. 112-124.