



UNIVERZITET U NIŠU  
PRIRODNO-MATEMATIČKI FAKULTET  
DEPARTMAN ZA FIZIKU



**Lana S. Pantić Randelović**

**PROUČAVANJE ENERGETSKE EFIKASNOSTI  
SOLARNIH MODULA U ZAVISNOSTI OD NJIHOVE  
GEOGRAFSKE ORIJENTACIJE, UGLA NAGIBA I  
NJIHOVE TEMPERATURE U REALNIM KLIMATSKIM  
USLOVIMA U NIŠU**

DOKTORSKA DISERTACIJA

Niš, 2017.





UNIVERZITET U NIŠU  
PRIRODNO-MATEMATIČKI FAKULTET  
DEPARTMAN ZA FIZIKU



**Lana S. Pantić Randelović**

**PROUČAVANJE ENERGETSKE EFIKASNOSTI  
SOLARNIH MODULA U ZAVISNOSTI OD NJIHOVE  
GEOGRAFSKE ORIJENTACIJE, UGLA NAGIBA I  
NJIHOVE TEMPERATURE U REALNIM KLIMATSKIM  
USLOVIMA U NIŠU**

DOKTORSKA DISERTACIJA

Текст ове докторске дисертације ставља се на увид јавности,  
у складу са чланом 30., став 8. Закона о високом образовању  
("Сл. гласник РС", бр. 76/2005, 100/2007 – аутентично тумачење, 97/2008, 44/2010,  
93/2012, 89/2013 и 99/2014)

**НАПОМЕНА О АУТОРСКИМ ПРАВИМА:**

Овај текст сматра се рукописом и само се саопштава јавности (члан 7. Закона о ауторским и сродним правима, "Сл. гласник РС", бр. 104/2009, 99/2011 и 119/2012).

**Ниједан део ове докторске дисертације не сме се користити ни у какве сврхе, осим за упознавање са њеним садржајем пре одбране дисертације.**

Niš, 2017.





UNIVERSITY OF NIŠ  
FACULTY OF SCIENCES AND MATHEMATICS  
DEPARTMENT OF PHYSICS



**Lana S. Pantić Randelović**

**THE STUDY OF ENERGY EFFICIENCY OF PV SOLAR  
MODULES DEPENDING ON THEIR GEOGRAPHICAL  
ORIENTATION, TILT ANGLE AND THEIR  
TEMPERATURE IN REAL CLIMATIC  
CONDITIONS IN NIS**

PhD Thesis

Niš, 2017.



## Подаци о докторској дисертацији

Ментор:	Академик, Томислав М. Павловић, редовни професор, Природно-математичког факултета, Универзитета у Нишу
Наслов:	Проучавање енергетске ефикасности соларних модула у зависности од њихове географске оријентације, угла нагиба и њихове температуре у реалним климатским условима у Нишу
Резиме:	У дисертацији су дати основни подаци о Сунцу и Сунчевом зрачењу, фотонапонској конверзији Сунчевог зрачења, соларним ћелијама, температури и излазним параметрима соларног модула и PVGIS-CMSAF програму. Поред овога дати су резултати теоријског и експерименталног израчунавања износа електричне енергије која се добија помоћу различито оријентисаних соларних модула у Нишу и њихове енергетске ефикасности. Посебна пажња посвећена је резултатима истовременог мерења климатских параметара, температуре соларних модула и електричних параметара различито оријентисаних соларних модула за 12 потпуно сунчаних дана у периоду од 2014 - 2016. године. На крају дисертације дати су примери практичне примене коришћења различито оријентисаних интегрисаних ПВ система за добијање електричне енергије на породичној кући и десетоспратној самбеној згради у Нишу и процена смањења емисије CO <sub>2</sub> коришћењем различито оријентисаних интегрисаних ПВ система на стамбеним објектима у Нишу.
Научна област:	Физика
Научна дисциплина:	Експериментална и примењена физика
Кључне речи:	Соларна енергетика, фотонапонска конверзија Сунчевог зрачења, енергетска ефикасност соларних модула, температура соларних модула
УДК:	620.9:621.383.51 – (026.5 (1-1) ( 1-198) + 536.5):551.583 (497.11)
CERIF класификација:	P 002
Тип лиценце Креативне заједнице:	<b>3. Ауторство – некомерцијално – без прераде CC BY-NC-ND</b>

## Data on Doctoral Dissertation

Doctoral Supervisor:	Academician, Tomislav M. Pavlović, Full professor, Faculty of Sciences and Mathematics, University of Niš
Title:	The study of energy efficiency of PV solar modules depending on their geographical orientation, tilt angle and their temperature in real climatic conditions in Nis
Abstract:	<p>The doctoral dissertation presents basic information on the Sun and the solar radiation, photovoltaic conversion of solar radiation, solar cells, temperature and output parameters of the solar modules and PVGIS-CMSAF program. In addition, dissertation presents the results of theoretical and experimental calculation of the amount of electrical energy generated by differently oriented solar modules in Nis and their energy efficiency. Special attention was paid to the results of simultaneous measurements of the climatic parameters, the solar modules temperature and the electrical parameters of differently oriented solar modules for 12 sunny days in the period from 2014 - 2016. At the end of the dissertation examples of practical applications of differently oriented integrated PV systems for electricity generation at a family home and ten-story residential building in Nis and estimation of CO<sub>2</sub> emission reduction by using differently oriented integrated PV systems on residential buildings in Nis are given.</p>
Scientific Field:	Physics
Scientific Discipline:	Experimental and Applied Physics
Key Words:	Solar energy, photovoltaic conversion of solar radiation, energy efficiency of solar modules, solar module temperature
UDC:	620.9:621.383.51 – (026.5 (1-1) ( 1-198) + 536.5):551.583 (497.11)
CERIF Classification:	P 002
Creative Commons License Type:	<b>3. CC BY-NC-ND</b>





**ПРИРОДНО - МАТЕМАТИЧКИ ФАКУЛТЕТ  
НИШ**

**КЉУЧНА ДОКУМЕНТАЦИЈСКА ИНФОРМАЦИЈА**

Редни број, <b>РБР:</b>	
Идентификациони број, <b>ИБР:</b>	
Тип документације, <b>ТД:</b>	<b>монографска</b>
Тип записа, <b>ТЗ:</b>	<b>текстуални / графички</b>
Врста рада, <b>ВР:</b>	<b>докторска дисертација</b>
Аутор, <b>АУ:</b>	<b>Лана С. Пантић Ранђеловић</b>
Ментор, <b>МН:</b>	<b>Томислав М. Павловић</b>
Наслов рада, <b>НР:</b>	<b>ПРОУЧАВАЊЕ ЕНЕРГЕТСКЕ ЕФИКАСНОСТИ СОЛАРНИХ МОДУЛА У ЗАВИСНОСТИ ОД ЊИХОВЕ ГЕОГРАФСKE ОРИЈЕНТАЦИЈЕ, УГЛА НАГИБА И ЊИХОВЕ ТЕМПЕРАТУРЕ У РЕАЛНИМ КЛИМАТСКИМ УСЛОВИМА У НИШУ</b>
Језик публикације, <b>ЈП:</b>	<b>српски</b>
Језик извода, <b>ЈИ:</b>	<b>енглески</b>
Земља публиковања, <b>ЗП:</b>	<b>Србија</b>
Уже географско подручје, <b>УГП:</b>	<b>Србија</b>
Година, <b>ГО:</b>	<b>2017.</b>
Издавач, <b>ИЗ:</b>	<b>ауторски репринт</b>
Место и адреса, <b>МА:</b>	<b>Ниш, Вишеградска 33.</b>
Физички опис рада, <b>ФО:</b> <small>(поглавља/страна/ цитата/табела/слика/графика/прилога)</small>	<b>182 стр., граф. прикази</b>
Научна област, <b>НО:</b>	<b>физика</b>
Научна дисциплина, <b>НД:</b>	<b>Експериментална и примењена физика</b>
Предметна одредница/Кључне речи, <b>ПО:</b>	<b>Соларна енергетика, фотонапонска конверзија Сунчевог зрачења, енергетска ефикасност соларних модула, температура соларних модула</b>
<b>УДК</b>	<b>620.9:621.383.51 – (026.5 (1-1) ( 1-198) + 536.5):551.583 (497.11)</b>
Чува се, <b>ЧУ:</b>	<b>библиотека</b>
Важна напомена, <b>ВН:</b>	<b>Мерења су извршена у Лабораторији за соларну енергетику ПМФ-а у Нишу</b>

Извод, ИЗ:

У дисертацији су дати основни подаци о Сунцу и Сунчевом зрачењу, фотонапонској конверзији Сунчевог зрачења, соларним ћелијама, температури и излазним параметрима соларног модула и PVGIS-CMSAF програму. Поред овога дати су резултати теоријског и експерименталног израчунавања износа електричне енергије која се добија помоћу различито оријентисаних соларних модула у Нишу и њихове енергетске ефикасности. Посебна пажња посвећена је резултатима истовременог мерења климатских параметара, температуре соларних модула и електричних параметара различито оријентисаних соларних модула за 12 потпуно сунчаних дана у периоду од 2014 - 2016. године. На крају дисертације дати су примери практичне примене коришћења различито оријентисаних интегрисаних ПВ система за добијање електричне енергије на породичној кући и десетоспратној самбеној згради у Нишу и процена смањења емисије CO<sub>2</sub> коришћењем различито оријентисаних интегрисаних ПВ система на стамбеним објектима у Нишу.

Датум прихватања теме, ДП:

**04.07.2016. године**

Датум одбране, ДО:

Чланови комисије, КО:

Председник:

Члан:

Члан:

Члан, ментор:

Образац Q4.09.13 - Издање 1



**ПРИРОДНО - МАТЕМАТИЧКИ ФАКУЛТЕТ  
НИШ**

**KEY WORDS DOCUMENTATION**

Accession number, <b>ANO</b> :	
Identification number, <b>INO</b> :	
Document type, <b>DT</b> :	<b>monograph</b>
Type of record, <b>TR</b> :	<b>textual / graphic</b>
Contents code, <b>CC</b> :	<b>doctoral dissertation</b>
Author, <b>AU</b> :	<b>Lana S. Pantić Randelović</b>
Mentor, <b>MN</b> :	<b>Tomislav M. Pavlović</b>
Title, <b>TI</b> :	<b>THE STUDY OF ENERGY EFFICIENCY OF PV SOLAR MODULES DEPENDING ON THEIR GEOGRAPHICAL ORIENTATION, TILT ANGLE AND THEIR TEMPERATURE IN REAL CLIMATIC CONDITIONS IN NIS</b>
Language of text, <b>LT</b> :	<b>Serbian</b>
Language of abstract, <b>LA</b> :	<b>English</b>
Country of publication, <b>CP</b> :	<b>Serbia</b>
Locality of publication, <b>LP</b> :	<b>Serbia</b>
Publication year, <b>PY</b> :	<b>2017</b>
Publisher, <b>PB</b> :	<b>author's reprint</b>
Publication place, <b>PP</b> :	<b>Niš, Višegradska 33.</b>
Physical description, <b>PD</b> : <small>(chapters/pages/ref./tables/pictures/graphs/appendixes)</small>	<b>182 p. ; graphic representations</b>
Scientific field, <b>SF</b> :	<b>Physics</b>
Scientific discipline, <b>SD</b> :	<b>Experimental and applied physics</b>
Subject/Key words, <b>S/KW</b> :	<b>Solar energy, photovoltaic conversion of solar radiation, energy efficiency of solar modules, solar module temperature</b>
<b>UC</b>	<b>620.9:621.383.51 – (026.5 (1-1) ( 1-198) + 536.5):551.583</b>
Holding data, <b>HD</b> :	<b>library</b>
Note, <b>N</b> :	<b>Measurements were performed at Solar Energy Laboratory at the Faculty of Sciences and Mathematics in Niš</b>

Abstract, <b>AB</b> :	The doctoral dissertation presents basic information on the Sun and the solar radiation, photovoltaic conversion of solar radiation, solar cells, temperature and output parameters of the solar modules and PVGIS-CMSAF program. In addition, dissertation presents the results of theoretical and experimental calculation of the amount of electrical energy generated by differentially oriented solar modules in Nis and their energy efficiency. Special attention was paid to the results of simultaneous measurements of the climatic parameters, the solar modules temperature and the electrical parameters of differently oriented solar modules for 12 sunny days in the period from 2014 - 2016. At the end of the dissertation examples of practical applications of differentially oriented integrated PV systems for electricity generation at a family home and ten-story residential building in Nis and estimation of CO <sub>2</sub> emission reduction by using differentially oriented integrated PV systems on residential buildings in Nis are given.								
Accepted by the Scientific Board on, <b>ASB</b> :	<b>04.07.2016.</b>								
Defended on, <b>DE</b> :									
Defended Board, <b>DB</b> :	<table border="1"> <tr> <td data-bbox="400 779 611 824">President:</td> <td data-bbox="611 779 1473 824"></td> </tr> <tr> <td data-bbox="400 824 611 869">Member:</td> <td data-bbox="611 824 1473 869"></td> </tr> <tr> <td data-bbox="400 869 611 913">Member:</td> <td data-bbox="611 869 1473 913"></td> </tr> <tr> <td data-bbox="400 913 611 963">Member, Mentor:</td> <td data-bbox="611 913 1473 963"></td> </tr> </table>	President:		Member:		Member:		Member, Mentor:	
President:									
Member:									
Member:									
Member, Mentor:									

Образац Q4.09.13 - Издање 1

*Najlepše se zahvaljujem mentoru, akademiku Tomislavu M. Pavloviću na predlogu teme i nesebičnoj i svesrdnoj pomoći prilikom izrade doktorske disertacije.*

*Posebno se zahvaljujem akademiku Dragoljubu Mirjaniću, akademiku Jovanu Šetrajčiću i prof. dr Miodragu Radoviću na nesebičnoj pomoći, korisnim predlozima i savetima prilikom izrade doktorske disertacije.*

*Toplo se zahvaljujem Slavici Jovanović, stručnom saradniku u Laboratoriji za solarnu energetiku PMF-a u Nišu, dr Dragani Todorović i Ivani Radonjić Mitić na podršci i svesrdnoj pomoći u toku izrade doktorske disertacije.*

*Zahvaljujem se profesorima i saradnicima na Departmanu za fiziku PMF-a u Nišu, na pažnji i pomoći koju su mi ukazivali u toku mojih studija i pri izradi doktorske disertacije.*

*Neizmernu zahvalnost dugujem svom suprugu Milošu i sinu Vanji Randeloviću na podršci, strpljenju, razumevanju i ljubavi.*

*Beskrajnu zahvalnost dugujem svojim roditeljima, Dragani i Svetislavu, kao i bratu Vučku, na neizmernoj podršci, razumevanju i ljubavi koju mi pružaju u životu i radu.*

# SADRŽAJ

<b>UVOD .....</b>	<b>1</b>
<b>PRVO POGLAVLJE</b>	
<b>FOTONAPONSKA KONVERZIJA SUNČEVOG ZRAČENJA .....</b>	<b>7</b>
1.1. Sunce .....	9
1.1.1. Ekstraterestrično Sunčevo zračenje.....	10
1.1.2. Terestrično Sunčevo zračenje .....	10
1.1.3. Apsorpcija Sunčevog zračenja u atmosferi .....	11
1.1.4. Rasejanje Sunčevog zračenja u atmosferi .....	11
1.1.5. Optička vazдушna masa .....	12
1.1.6. Prividno kretanje Sunca .....	13
1.1.7. Deklinacija Sunca .....	14
1.1.8. Lokalno i pravo Sunčevo vreme.....	15
1.1.9. Visina Sunca.....	16
1.1.10. Sunčev azimut .....	16
1.1.11. Izračunavanje intenziteta Sunčevog zračenja koje dospeva na površinu koja je orijentisana ka jugu i koja je postavljena pod određenim uglom u odnosu na horizontalnu površinu .....	18
1.2. Fotonaponska konverzija Sunčevog zračenja.....	19
1.2.1. Parametri solarne ćelije .....	21
1.2.2. Formiranje solarne ćelije od monokristalnog silicijuma .....	25
1.2.3. Solarni moduli od monokristalnog silicijuma .....	27
1.2.4. Temperatura solarnog modula.....	28
1.2.5. Struja kratkog spoja solarnog modula .....	28
1.2.6. Napon otvorenog kola solarnog modula .....	29
1.2.7. Snaga solarnog modula .....	29
1.2.8. Efikasnost solarnog modula .....	30
1.2.9. Optičke karakteristike solarnih modula .....	30
1.3. PVGIS program .....	32
Literatura .....	34

## DRUGO POGLAVLJE

### REZULTATI TEORIJSKE ANALIZE ENERGETSKE EFIKASNOSTI SOLARNIH MODULA U ZAVISNOSTI OD NJIHOVE GEOGRAFSKE ORIJENTACIJE I UGLA NAGIBA U NIŠU POMOĆU PVGIS-CMSAF PROGRAMA .....

39

2.1.	Rezultati izračunavanja intenziteta i energije Sunčevog zračenja koje dospeva na geografski različito orijentisane površine u Nišu .....	39
2.1.1.	Srednje dnevne vrednosti intenziteta globalnog Sunčevog zračenja koje dospeva na horizontalnu površinu .....	39
2.1.2.	Srednje dnevne vrednosti intenziteta globalnog Sunčevog zračenja koje dospeva na optimalno orijentisanu površinu .....	40
2.1.3.	Srednje dnevne vrednosti intenziteta globalnog Sunčevog zračenja koje dospeva na vertikalnu površinu orijentisanu ka jugu .....	40
2.1.4.	Srednje dnevne vrednosti intenziteta globalnog Sunčevog zračenja koje dospeva na vertikalnu površinu orijentisanu ka istoku .....	41
2.1.5.	Srednje dnevne vrednosti intenziteta globalnog Sunčevog zračenja koje dospeva na vertikalnu površinu orijentisanu ka zapadu .....	42
2.1.6.	Srednje dnevne vrednosti intenziteta globalnog Sunčevog zračenja koje u toku dana istovremeno dospeva na pet različito orijentisanih površina .....	43
2.1.7.	Srednja dnevne energija globalnog Sunčevog zračenja .....	46
2.2.	Rezultati izračunavanja intenziteta i energije Sunčevog zračenja koje u toku potpuno vedrog dana dospeva na geografski različito orijentisane površine u Nišu .....	49
2.2.1.	Intenzitet Sunčevog zračenja koje u toku potpuno vedrog dana dospeva na horizontalnu površinu .....	49
2.2.2.	Intenzitet Sunčevog zračenja koje u toku potpuno vedrog dana dospeva na optimalno orijentisanu površinu .....	50
2.2.3.	Intenzitet Sunčevog zračenja koje u toku potpuno vedrog dana dospeva na vertikalnu površinu orijentisanu ka jugu .....	51
2.2.4.	Intenzitet Sunčevog zračenja koje u toku potpuno vedrog dana dospeva na vertikalnu površinu orijentisanu ka istoku .....	52
2.2.5.	Intenzitet Sunčevog zračenja koje u toku potpuno vedrog dana dospeva na vertikalnu površinu orijentisanu ka zapadu .....	53

2.2.6.	Intenzitet Sunčevog zračenja koje u toku potpuno vedrog dana istovremeno dospeva na pet različito orijentisanih površina .....	54
2.2.7.	Energija Sunčevog zračenja za potpuno vedar dan .....	56
2.2.8.	Energija Sunčevog zračenja koja u toku potpuno vedrog dana dospeva na pet različito orijentisanih površina .....	59
2.3.	Rezultati teorijskog određivanja iznosa električne energije koja se dobija pomoću geografski različito orijentisanih solarnih modula u Nišu .....	63
2.3.1.	Horizontalni solarni modul .....	63
2.3.2.	Optimalno orijentisani solarni modul .....	63
2.3.3.	Vertikalni solarni modul orijentisan ka jugu .....	64
2.3.4.	Vertikalni solarni modul orijentisan ka istoku .....	65
2.3.5.	Vertikalni solarni modul orijentisan ka zapadu .....	65
2.3.6.	Ukupne mesečne vrednosti električne energije koja u toku godine može da se dobije pomoću različito orijentisanih solarnih modula snage 60 Wp .....	66
2.3.7.	Ukupne godišnje vrednosti električne energije koja može da se dobije pomoću različito orijentisanih solarnih modula snage 60 Wp .....	67
2.4.	Rezultati teorijskog određivanja energetske efikasnosti geografski različito orijentisanih solarnih modula u Nišu .....	68
	Literatura .....	69

## TREĆE POGLAVLJE

	<b>REZULTATI EKSPERIMENTALNOG ODREĐIVANJA ENERGETSKE EFIKASNOSTI SOLARNIH MODULA U ZAVISNOSTI OD NJIHOVE GEOGRAFSKE ORIJENTACIJE, UGLA NAGIBA I NJIHOVE TEMPERATURE U REALNIM KLIMATSKIM USLOVIMA U NIŠU .....</b>	<b>66</b>
--	--	-----------

3.	Ekperiment .....	73
3.1.	Solarni box .....	73
3.1.1.	Merna oprema .....	74
3.1.2.	Metodologija merenja .....	76
3.1.3.	Korišćenje PVGIS programa .....	77
3.2.	Rezultati merenja u 2013. godini .....	78
3.2.1.	Rezultati merenja klimatskih parametara .....	78
3.2.2.	Rezultati merenja intenziteta i energije Sunčevog zračenja .....	78
3.2.3.	Rezultati merenja temperature ambijenta .....	81



3.2.4.	Merenje brzine vetra .....	84
3.2.5.	Rezultati eksperimentalnog određivanja električne energije koja se dobija pomoću različito orijentisanih solarnih modula u Nišu .....	87
3.2.5.1.	Horizontalni solarni modul .....	87
3.2.5.2.	Optimalno orijentisan solarni modul .....	88
3.2.5.3.	Vertikalni solarni modul orijentisan ka jugu .....	89
3.2.5.4.	Vertikalni solarni modul orijentisan ka istoku .....	89
3.2.5.5.	Vertikalni solarni modul orijentisan ka zapadu .....	90
3.2.5.6.	Ukupne mesečne vrednosti električne energije dobijene u toku 2013. godine pomoću različito orijentisanih solarnih modula snage 60 Wp .....	91
3.2.5.7.	Ukupne godišnje vrednosti električne energije dobijene u toku 2013. godine pomoću različito orijentisanih solarnih modula snage 60 Wp .....	92
3.2.6.	Rezultati eksperimentalnog određivanja energetske efikasnosti geografski različito orijentisanih solarnih modula u Nišu .....	93
3.3.	Upoređivanje teorijski i eksperimentalno dobijenih rezultata .....	94
3.3.1.	Rezultati upoređivanja teorijski i eksperimentalno određenih vrednosti energije Sunčevog zračenja koja dospeva na horizontalnu, optimalno orijentisanu i vertikalnu površinu .....	94
3.3.1.1.	Horizontalna površina .....	94
3.3.1.2.	Optimalno orijentisana površina .....	95
3.3.1.3.	Vertikalna površina orijentisana ka jugu .....	96
3.3.2.	Rezultati upoređivanja teorijski i eksperimentalno određenih vrednosti električne energije koja se dobija pomoću različito orijentisanih solarnih modula u Nišu .....	97
3.3.2.1.	Horizontalni solarni modul .....	97
3.3.2.2.	Optimalno orijentisani solarni modul .....	98
3.3.2.3.	Vertikalni solarni modul orijentisan ka jugu .....	98
3.3.2.4.	Vertikalni solarni modul orijentisan ka istoku .....	99
3.3.2.5.	Vertikalni solarni modul orijentisan ka zapadu .....	100
3.3.2.6.	Upoređivanje ukupnih godišnjih vrednosti električne energije .....	101
3.3.3.	Rezultati upoređivanja teorijski i eksperimentalno određenih vrednosti energetske efikasnosti geografski različito orijentisanih solarnih modula u Nišu .....	101
3.3.3.1.	Horizontalni solarni modul .....	102
3.3.3.2.	Optimalno orijentisan solarni modul .....	102
3.3.3.3.	Vertikalni solarni modul orijentisan ka jugu .....	103
3.4.	Rezultati merenja za 12 potpuno sunčana dana u periodu 2014-2016 godine .....	104

3.4.1.	Rezultati merenja intenziteta Sunčevog zračenja, temperature ambijenta, brzine vetra i temperature geografski različito orijentisanih solarnih modula u Nišu .....	104
3.4.1.1.	Intenzitet Sunčevog zračenja koji dospeva na horizontalnu površinu .....	104
3.4.1.2.	Intenzitet Sunčevog zračenja koji dospeva na optimalno orijentisanu površinu .....	105
3.4.1.3.	Intenzitet Sunčevog zračenja koji dospeva na vertikalnu površinu orijentisanu ka jugu .....	106
3.4.1.4.	Temperatura ambijenta $T_a$ .....	106
3.4.1.5.	Brzina vetra $v$ .....	107
3.4.1.6.	Temperatura horizontalnog solarnog modula .....	108
3.4.1.7.	Temperatura optimalno orijentisanog solarnog modula.....	109
3.4.1.8.	Temperatura vertikalnog solarnog modula orijentisanog ka jugu.....	110
3.4.1.9.	Temperatura vertikalnog solarnog modula orijentisanog ka istoku .....	111
3.4.1.10.	Temperatura vertikalnog solarnog modula orijentisanog ka zapadu .....	112
3.4.2.	Rezultati merenja maksimalnog napona geografski različito orijentisanih solarnih modula u Nišu .....	113
3.4.2.1.	Horizontalni solarni modul .....	113
3.4.2.2.	Optimalno orijentisani solarni modul .....	114
3.4.2.3.	Vertikalni solarni modul orijentisan ka jugu .....	115
3.4.2.4.	Vertikalni solarni modul orijentisan ka istoku .....	116
3.4.2.5.	Vertikalni solarni modul orijentisan ka zapadu .....	117
3.4.3.	Rezultati merenja maksimalne struje geografski različito orijentisanih solarnih modula u Nišu .....	118
3.4.3.1.	Horizontalni solarni modul .....	118
3.4.3.2.	Optimalno orijentisani solarni modul .....	119
3.4.3.3.	Vertikalni solarni modul orijentisan ka jugu .....	120
3.4.3.4.	Vertikalni solarni modul orijentisan ka istoku .....	120
3.4.3.5.	Vertikalni solarni modul orijentisan ka zapadu .....	122
3.4.4.	Rezultati merenja maksimalne snage geografski različito orijentisanih solarnih modula u Nišu .....	122
3.4.4.1.	Horizontalni solarni modul .....	122
3.4.4.2.	Optimalno orijentisani solarni modul .....	123
3.4.4.3.	Vertikalni solarni modul orijentisan ka jugu .....	124
3.4.4.4.	Vertikalni solarni modul orijentisan ka istoku .....	125
3.4.4.5.	Vertikalni solarni modul orijentisan ka zapadu .....	126
3.4.4.6.	Uporedni prikaz promene maksimalne snage $P_{mpp}$ (W) pet solarnih modula u toku istog dana za sve mesece u godini .....	126
3.4.4.7.	Električna energija dobijena pomoću pet solarnih modula u toku sunčanog dana .....	129
3.4.5.	Rezultati merenja napona otvorenog kola geografski različito orijentisanih solarnih modula u Nišu .....	132
3.4.5.1.	Horizontalni solarni modul .....	132

3.4.5.2.	Optimalno orijentisani solarni modul .....	133
3.4.5.3.	Vertikalni solarni modul orijentisan ka jugu .....	134
3.4.5.4.	Vertikalni solarni modul orijentisan ka istoku .....	135
3.4.5.5.	Vertikalni solarni modul orijentisan ka zapadu .....	136
3.4.5.6.	Uporedni prikaz promene napona otvorenog kola $U_{ok}$ (V) pet solarnih modula u toku istog dana za sve mesece u godini .....	137
3.4.6.	Rezultati merenja struje kratkog spoja geografski različito orijentisanih solarnih modula u Nišu .....	139
3.4.6.1.	Horizontalni solarni modul .....	139
3.4.6.2.	Optimalno orijentisani solarni modul .....	140
3.4.6.3.	Vertikalni solarni modul orijentisan ka jugu .....	141
3.4.6.4.	Vertikalni solarni modul orijentisan ka istoku .....	142
3.4.6.5.	Vertikalni solarni modul orijentisan ka zapadu .....	143
3.4.7.	Rezultati merenja fil faktora geografski različito orijentisanih solarnih modula u Nišu .....	143
3.4.7.1.	Horizontalni solarni modul .....	143
3.4.7.2.	Optimalno orijentisani solarni modul .....	144
3.4.7.3.	Vertikalni solarni modul orijentisan ka jugu .....	146
3.4.7.4.	Vertikalni solarni modul orijentisan ka istoku .....	147
3.4.7.5.	Vertikalni solarni modul orijentisan ka zapadu .....	147
3.4.8.	Rezultati određivanja dnevne energetske efikasnosti geografski različito orijentisanih solarnih modula u Nišu .....	149
3.4.8.1.	Horizontalni solarni modul .....	149
3.4.8.2.	Optimalno orijentisani solarni modul .....	151
3.4.8.3.	Vertikalni solarni modul orijentisan ka jugu .....	152
3.4.8.4.	Uporedni prikaz promene trenutne efikasnosti tri solarna modula u toku sunčanog dana .....	153
3.5.	Primer primene integrisanog PV sistema za dobijanje električne energije na porodičnoj kući u Nišu .....	156
3.5.1.	Uticaj korišćenja IPV sistema snage 1,2 kWp na smanjenje emisije CO <sub>2</sub> .....	160
3.5.2.	Primer primene IPV sistema snage 24 kWp za dobijanje električne energije na desetospratnoj stambenoj zgradi u Nišu .....	162
3.5.3.	Uticaj korišćenja IPV sistema snage 24 kWp na smanjenje emisije CO <sub>2</sub> .....	163
	Literatura .....	165
	<b>ZAKLJUČAK .....</b>	<b>167</b>
	<b>PUBLIKOVANI RADOVI KANDIDATA .....</b>	<b>177</b>
	<b>BIOGRAFIJA LANE S. PANTIĆ RANĐELOVIĆ .....</b>	<b>181</b>



## UVOD

Stalni porast broja svetskog stanovništva i potražnje za električnom energijom, osiromašenje konvencionalnih energetske resursa i njihov nepoželjni uticaj na životnu sredinu usloveli su da se savremeno društvo okrene obnovljivim izvorima energije. Globalne klimatske promene koje poslednjih godina imaju značajne posledice na celokupno čovečanstvo, direktna su posledica nekontrolisane upotrebe fosilnih goriva i krčenja šuma. Širom sveta ulažu se veliki naponi, na svim nivoima, da se poveća iznos električne energije dobijene pomoću obnovljivih izvora energije.

Približno 75% električne energije koja se koristi u razvijenom svetu troši se u gradovima, od čega se oko 50% troši samo u zgradama. Upravo iz tog razloga u ovom sektoru su velike mogućnosti za uštedu energenata.

Proizvođači fotonaponskih (PV) modula i vodeće arhitekture u Evropi, Japanu i SAD istražuju kreativne i inovativne načine uključivanja solarne energije u svoj rad i njene primene u gradskoj sredini. U savremenoj arhitekturi solarne ćelije se sve više koriste kao krovni i fasadni elementi koji objektima daju lep izgled, proizvode električnu energiju i pozitivno utiču na očuvanje životne sredine i smanjenje emisije CO<sub>2</sub> gasova u atmosferu.

Mogućnost postavljanja solarnih modula na građevinske objekte i proizvodnja električne energije na mestu njene potrošnje čini PV module pogodnim za primenu u urbanim i drugim sredinama. Proizvodnjom električne energije u blizini potrošača izbegavaju se troškovi za izgradnju energetske infrastrukture i gubici pri prenosu i distribuciji električne energije [1-3]. Kod privatnih kuća solarne ćelije se obično nalaze na krovu. Krov zgrade jednog domaćinstva dovoljan je za postavljanje PV sistema koji može da obezbedi značajan deo električne energije u toku godine. Zgrade mogu da se pretvore u male proizvođače i distributere električne energije što je od opšte koristi sa ekonomskog i ekološkog aspekta. Kod višespratnih objekata koriste se netransparentne i semitransparentne solarne ćelije kao fasadni elementi. One objektu daju atraktivan izgled, proizvode električnu energiju i propuštanjem dela sunčevog zračenja u unutrašnjost objekta stvaraju prijatan ambijent u njima. Solarne ćelije se sve više koriste u školama i državnim objektima gde se mladi naraštaji i građanstvo edukuju o mogućnostima njihovog korišćenja za dobijanje električne energije, i nastojanjima da se maksimalno smanji emisija gasova staklene bašte. Savremeni arhitektonski objekti sa solarnim ćelijama su u određenoj meri energetske nezavisni i ekološki prihvatljivi [4-11].

Energetska efikasnost solarnih ćelija zavisi od materijala od kojih su napravljene, intenziteta sunčevog zračenja, klimatskih uslova sredine u kojoj se nalaze, njihove geografske orijentacije, ugla nagiba i njihove temperature. Klimatski uslovi u kojima se vrši ispitivanje energetske efikasnosti solarnih modula imaju značajan uticaj na dobijenu električnu energiju, karakteristike i efikasnost solarnih sistema. Za bolje razumevanje fizičkih karakteristika solarnih modula i njihovo unapređenje potrebno je imati rezultate dobijene na osnovu merenja u realnim klimatskim uslovima u dužem vremenskom intervalu.

Rezultati ispitivanja uticaja intenziteta sunčevog zračenja na izlaznu snagu fotonaponskog sistema dati su u radovima [12,13]. Temperatura solarnog modula ima značajan uticaj na ponašanje PV sistema jer menja izlaznu snagu i efikasnost sistema. U radovima [14,15] proučavan je uticaj sunčevog zračenja, temperature okoline, oblačnosti i

brzine vetra na temperaturu solarnih modula. Uticaj temperature solarnog modula na efikasnost solarnog modula razmatran je u radovima [16-22]. U radu [23] upoređen je uticaj temperature solarnog modula, temperature ambijenta i način sastavljanja fotonaponskog sistema na efikasnost 18 PV modula.

U radovima [24-30] je istaknuto da se karakteristike solarnih modula u realnim klimatskim uslovima u mnogome razlikuju od njihovih karakteristika u laboratorijskim uslovima. U radovima [31-35] zaključeno je da solarni moduli imaju različite karakteristike u zavisnosti od toga da li se nalaze u oblasti sa vlažnom tropskom, suvom pustinjском ili kontinentalnom klimom. U radovima [31,32] ispitivane su karakteristike solarnih modula sa solarnim ćelijama od monokristalnog, polikristalnog, amorfnog silicijuma i CIS solarnim ćelijama u tropskim klimatskim uslovima u Maleziji i u umereno-kontinentalnim klimatskim uslovima u Australiji. U radu [31] je zaključeno da solarni moduli od monokristalnog silicijuma nisu pogodni za tropske klimatske uslove u Maleziji. U Australiji [32] je uočena izrazita sezonska promena karakteristika solarnih modula od monokristalnog silicijuma, pri čemu je u radu istaknuto da su solarni moduli od monokristalnog silicijuma imali povećanu energetsку efikasnost u hladnijim zimskim mesecima u odnosu na tople letnje mesece. U radu [33] je data detaljna eksperimentalna studija energetske efikasnosti PV modula u Japanu od monokristalnog, polikristalnog i amorfnog silicijuma, modula sa tandem solarnim ćelijama od amorfnog silicijuma i germanijuma. U radu [34] je utvrđeno da su u centralnom Japanu solarni moduli od monokristalnog silicijuma imali manju energetsку efikasnost u letnjem periodu nego u zimskom periodu. Na osnovu eksperimentalnih istraživanja u Pakistanu [35], utvrđeno je da su u datim klimatskim uslovima solarni moduli sa solarnim ćelijama od monokristalnog silicijuma efikasniji od solarnih modula sa drugim vrstama solarnih ćelija. Solarni moduli od monokristalnog silicijuma imali su veće smanjenje energetske efikasnosti na višim temperaturama od ostalih tipova solarnih modula.

Strujno-naponska karakteristika (I-U kriva) solarnog modula je ključna karakteristika za određivanje kvaliteta i energetske efikasnosti solarnih modula u funkciji promenljivih klimatskih parametara. Poznavanje karakterističnih parametara solarnih modula (struje kratkog spoja, napona otvorenog kola, maksimalne struje, maksimalnog napona, fil faktora) i njihove energetske efikasnosti u realnim klimatskim uslovima za određenu lokaciju predstavlja osnovu za određivanje ekonomske isplativosti ulaganja, dizajniranje i instaliranje PV elektrana [36-41].

U vezi sa ovim postavlja se pitanje energetske efikasnosti solarnih modula na fasadama građevinskih objekata, u zavisnosti od geografske orijentacije modula, ugla njihovog nagiba i temperature u datim klimatskim uslovima. U literaturi ima malo podataka o eksperimentalnom ispitivanju energetske efikasnosti solarnih modula od monokristalnog silicijuma u zavisnosti od njihove geografske orijentacije, ugla nagiba i temperature solarnih modula u realnim klimatskim uslovima u Srbiji.

Naučna hipoteza doktorske disertacije sastoji se u pretpostavci da najveću energetsку efikasnost u toku godine imaju solarni moduli postavljeni pod optimalnim uglom za datu lokaciju, zatim horizontalno postavljeni solarni moduli, manju vertikalni solarni moduli orijentisani prema jugu, a znatno manju vertikalni solarni moduli orijentisani prema istoku i zapadu.

Cilj doktorske disertacije sastoji se u teorijskom i eksperimentalnom određivanju energetske efikasnosti solarnih modula u zavisnosti od njihove geografske orijentacije, ugla

nagiba i njihove temperature u realnim klimatskim uslovima u Nišu. Takođe, doktorska disertacija ukazuje na mogućnost primene solarnih modula od monokristalnog silicijuma kao fasadnih i krovnih elemenata na stambenim i komercijalnim objektima u Srbiji i podstiče primenu fotonaponskih sistema i novih tehnologija u savremenoj arhitekturi u Srbiji.

Doktorska disertacija se sastoji iz uvoda, tri poglavlja, zaključka, biografije kandidata i pregleda publikovanih radova.

U prvom poglavlju pod nazivom *Fotonaponska konverzija sunčevog zračenja* dati su osnovni podaci o Suncu, ekstraterestričnom i terestričnom Sunčevom zračenju, apsorpciji i rasejanju Sunčevog zračenja u atmosferi i optičkoj vazdušnoj masi. Zatim je pažnja posvećena prividnom kretanju Sunca, deklinaciji Sunca, lokalnom i pravom Sunčevom vremenu, visini Sunca, Sunčevom azimutu i izračunavanju intenziteta Sunčevog zračenja koje dospeva na površine orijentisane ka jugu i postavljene pod određenim uglom u odnosu na horizontalnu površinu. U daljem tekstu govori se o fotonaponskoj konverziji Sunčevog zračenja, parametrima solarne ćelije, formiranju solarne ćelije od monokristalnog silicijuma, solarnim modulima od monokristalnog silicijuma, temperaturi i izlaznim parametrima solarnog modula (struji kratkog spoja, naponu otvorenog kola, snazi solarnog modula i efikasnosti solarnog modula), kao i optičkim karakteristikama solarnih modula. Posebna pažnja posvećena je PVGIS-CMSAF programu za izračunavanje intenziteta i energije Sunčevog zračenja i električne energije koja se može dobiti pomoću solarnih modula. Na kraju je navedena literatura koja se odnosi na ovo poglavlje.

U drugom poglavlju pod nazivom *Rezultati teorijske analize energetske efikasnosti solarnih modula u zavisnosti od njihove geografske orijentacije, ugla nagiba u Nišu pomoću PVGIS-CMSAF programa* dati su rezultati: izračunavanja globalnog intenziteta i energije Sunčevog zračenja koji dospevaju na geografski različito orijentisane površine (horizontalnu, optimalno orijentisanu površinu, kao i vertikalne površine orijentisane ka jugu, istoku i zapadu) u Nišu; izračunavanja intenziteta i energije Sunčevog zračenja koji u toku potpuno vedrog dana dospevaju na geografski različito orijentisane površine u Nišu; izračunavanja iznosa električne energije koja se dobija pomoću geografski različito orijentisanih solarnih modula u Nišu i teorijskog izračunavanja energetske efikasnosti geografski različito orijentisanih solarnih modula u Nišu. Na kraju je data literatura koja se odnosi na ovo poglavlje.

U trećem poglavlju pod nazivom *Rezultati eksperimentalnog određivanja energetske efikasnosti solarnih modula u zavisnosti od njihove geografske orijentacije, ugla nagiba i njihove temperature u realnim klimatskim uslovima u Nišu* dat je opis eksperimentalnog sistema sa pet solarnih modula od monokristalnog silicijuma sa različitim geografskim orijentacijama i uglom nagiba, merne opreme za merenje klimatskih parametara, električnih parametara i temperature solarnih modula, opis i metodologija merenja. U daljem tekstu dati su rezultati merenja klimatskih parametara (intenziteta i energije Sunčevog zračenja, temperature ambijenta i brzine vetra) u toku 2013. godine. Zatim su dati rezultati eksperimentalnog određivanja iznosa električne energije koja se dobija pomoću različito orijentisanih solarnih modula u Nišu i njihove energetske efikasnosti. Potom su dati rezultati upoređivanja teorijski izračunatih i eksperimentalno određenih vrednosti energije Sunčevog zračenja, električne energije i energetske efikasnosti geografski različito orijentisanih solarnih modula u Nišu. Posebna pažnja posvećena je rezultatima istovremenog merenja klimatskih parametara, temperature solarnih modula i električnih parametara različito orijentisanih

solarnih modula (maksimalnog napona, maksimalne struje, maksimalne snage, napona otvorenog kola, struje kratkog spoja, fil faktora i energetske efikasnosti) za 12 potpuno Sunčanih dana u periodu od 2014. do 2016. godine. Na kraju ovog poglavlja dati su primeri praktične primene korišćenja različito orijentisanih integrisanih PV sistema za dobijanje električne energije na porodičnoj kući i desetospratnoj sambenoj zgradi u Nišu. Pored ovoga data je i procena smanjenja emisije CO<sub>2</sub> sagorevanjem nafte, prirodnog gasa i uglja korišćenjem različito orijentisanih integrisanih PV sistema na stambenim objektima u Nišu.

U delu **Zaključak** dati su zaključci do kojih se došlo u ovoj doktorskoj disertaciji.

U delu **Publikovani radovi** dat je spisak radova koje je objavila Lana Pantić Randelović sa tematikom iz oblasti doktorske disertacije.

Na kraju doktorske disertacije data je biografija Lane Pantić Randelović.

## Literatura

- [1] Kosorić V., *Active solar systems – application in the covers of the energy efficient buildings*, Građevinska knjiga, Belgrade, 2007
- [2] Pavlović, T., et al., Analyses of PV systems of 1kW electricity generation in Bosnia and Herzegovina, *Contemporary Materials (Renewable energy sources)*, II-2 (2011), pp.123-138
- [3] \*\*\*, <http://www.wbdg.org/resources/bipv.php>
- [4] Park, K.E., et al., Analysis of thermal and electrical performance of semi-transparent photovoltaic (PV) module, *Energy*, 35 (2010), pp. 2681–2687
- [5] Celik, A.N., Long-term energy output estimation for photovoltaic energy systems using synthetic solar irradiation data, *Energy*, 28 (2003), 5, pp. 479–493
- [6] Erdil, E., et al., An experimental study on energy generation with photovoltaic (PV)-solar thermal hybrid system, *Energy*, 33 (2008), pp. 1241-1245
- [7] Carr, A.J., Pryor, T.L., A comparison of the performance of different PV module types in temperate climates, *Solar Energy*, 76 (2004), pp. 285–294
- [8] Mattei, M. G., et al., Calculation of the polycrystalline PV module temperature using a simple method of energy balance, *Renewable Energy*, 31 (2006), pp. 553–567
- [9] Siraki, A.G., Pillay, P., Study of optimum tilt angles for solar panels in different latitudes for urban applications, *Solar Energy*, 86 (2012), pp. 1920-1928
- [10] Wada, H., et al., Generation characteristics of 100kW PV system with various tilt angle and direction arrays, *Solar Energy Materials & Solar Cells*, 95 (2011), pp. 382-385
- [11] Sadineni, S.B., et al., Impact of roof integrated PV orientation on the residential electricity peak demand, *Applied Energy* 92 (2012), pp. 204-210
- [12] Diaf S., Notton G., Belhamel M., Haddadi M., Louche A., Design and techno-economical optimization for hybrid PV/wind system under various meteorological conditions, *Applied Energy*, 85 (2008), pp.968-87



- [13] Alonso García M.C., Balenzategui J.L., Technical note: Estimation of photovoltaic module yearly temperature and performance based on Nominal Operation Cell Temperature calculations, *Renewable Energy*, 29 (2004), pp.1997–2010
- [14] Kaldellis J.K., Kavadias K., Zafirakis D., Experimental validation of the optimum photovoltaic panels' tilt angle for remote consumers, *Renewable Energy*, 46 (2012), pp.179-191
- [15] John K.K., Marina K., Kosmas A.K., Temperature and wind speed impact on the efficiency of PV installations. Experience obtained from outdoor measurements in Greece, *Renewable Energy*, 66 (2014), pp. 612-624
- [16] King D.L., Kratochvil J.A., Boyson W.E., Temperature coefficients for PV modules and arrays: measurements methods, difficulties, and results, *Proceedings of the 26th IEEE Photovoltaics Specialists Conference*, (1997) Anaheim CA, USA
- [17] Nishioka K., Hatayama T., Uraoka Y., Fuyuki T., Hagihara R., Watanabe M., Field-tests analysis of PV-system-output characteristics focusing on module temperature, *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 76 (2003), pp. 665-671
- [18] King D.L., Boyson W.E., Kratochvil J.A., Photovoltaics array performance model, (2004), Sandia Report SAND 2004-3535.
- [19] Skoplaki E., Boudouvis A.G., Palyvos J.A., A simple correlation for the operating temperature of photovoltaics modules of arbitrary mounting, *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 92 (2008), pp.1393-1402
- [20] Skoplaki E., Palyvos J.A., On the temperature dependence of photovoltaic module electrical performance: A review of efficiency/power correlations, *Solar Energy*, 83 (2009), pp.614–624
- [21] Skoplaki E., Palyvos J.A., Operating temperature of photovoltaic modules: A survey of pertinent correlations, *Renewable Energy*, 34 (2009), pp.23–29
- [22] Mehmet E.M., Furkan D., A review of the factors affecting operation and efficiency of photovoltaic based electricity generation systems, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15 (2011), pp.2176- 2184
- [23] Nordmann T., Clavadetsher L., Understanding temperature effects on PV system performance, in: 3rd world Conference on photovoltaic energy conversion, Osaka, 2003
- [24] Vikrant S., Chandel S.S., A review: Performance and degradation analysis for long term reliability of solar photovoltaic systems, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 27 (2013), pp.753–767
- [25] Almonacid F., Rus C., Hontoria L., Fuentes M., Nofuentes G., Characterisation of Si-crystalline PV modules by artificial neural networks, *Renewable Energy*, 34 (2009), pp.941–949
- [26] Bücher K. Do we need site-dependent and climate-dependent module rating? *Proceedings of 23rd IEEE photovoltaic specialists conference*, Louisville, KY, (1993), pp. 1056–1062
- [27] Anderson D., Bishop J., Dunlop E., Energy rating of photovoltaic modules. In: 16th European photovoltaic solar energy conference, Glasgow, (2000), pp. 2087–2091
- [28] Osterwald C.R., Translation of device performance measurement to reference conditions, *Solar cells* 18 (1986), pp.269–279
- [29] \*\*\*, World Energy Outlook, International Energy Agency, 2011, <http://www.iea.org>.

- [30] \*\*\*, Trends in photovoltaic applications, Report IEA-PVPST1-21, 2012, <http://www.iea-pvps.org>.
- [31] Amin, N., Lung C.W., Sopian K., A practical field study of various solar cells on their performance in Malaysia, *Renewable Energy*, 34 (2009), pp.1939–1946
- [32] Carr A.J., Pryor T.L., A comparison of the performance of different PV module types in temperate climates, *Solar Energy*, 76 (2004), pp.285–294
- [33] Furushima K., Nawata Y., Sadatomi M., Prediction of photovoltaic (PV) power output considering weather effects, power-point presentation (2006), Japan, Department of Mechanical and Electrical Engineering, Yatsushiro National College of Technology
- [34] Aika K., Shota Y., Hideyuki T., Takashi M., Ten years outdoor operation of silicon based photovoltaic modules at central latitude of Japan, *Renewable Energy*, 65 (2014), pp.78-82
- [35] Bashir M.A., Ali H.M., Ali M., Siddiqui A.M., An experimental investigation of performance of photovoltaic modules in Pakistan, *Thermal Science*, (2013), doi:10.2298/TSCI130613134B, in press
- [36] Marwan M. M., Technical note: Transient analysis of a PV power generator charging a capacitor for measurement of the I–V characteristics, *Renewable Energy*, 31 (2006), pp.2198–2206
- [37] Buresch M. Photovoltaic energy systems design and installation. New York: Mc Graw-Hill, 1998.
- [38] Mahmoud M., Ismail N., Analytical and graphical methods for determination of solar cell parameters and investigations of shadowing effect, *International Journal of Solar Energy*, 9 (1990), pp.179–92
- [39] Chigueru T., Ricardo E. Beltrão A., Siting PV plant focusing on the effect of local climate variables on electric energy production - Case study for Araripina and Recife, *Renewable Energy*, 48 (2012), pp.309-317
- [40] **Tomislav M.P., Dragana D.M., Dragoljub M., Lana S.P., Ivana S.R., Danica P., Assessments and perspectives of PV solar power engineering in the Republic of Srpska (Bosnia and Herzegovina). *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 18 (2013) pp.119–133.**
- [41] **Tomislav P., Zoran P., Lana P., Ljiljana K., Determining optimum tilt angles and orientations of photovoltaic panels in Nis, Serbia, *Contemporary Materials I-2* (2010), pp. 151-156**

## **PRVO POGLAVLJE**

### **FOTONAPONSKA KONVERZIJA SUNČEVOG ZRAČENJA**



## 1.1. Sunce

Sunce je jedna od preko 400 milijardi zvezda u galaksiji Mlečni put. Sunce je žuto-narandžasta zvezda, glavnog niza, spektra tipa G2. Ono sadrži 99,86% ukupne mase Sunčevog sistema. Starost Sunca se procenjuje na oko 5 milijardi godina. Sunce se nalazi u sredini svog životnog veka.

Sunce predstavlja sferu u stanju plazme poluprečnika oko 696.000 km. Prosečna gustina Sunca je skoro četiri puta manja od gustine Zemlje. Sunce rotira oko svoje ose koja sa normalnom na ravan ekliptike zaklapa ugao od  $7,2^\circ$ . Različiti delovi Sunca rotiraju različitim brzinama, pri čemu brzina rotacije Sunca opada od ekvatora ka polovima. Na površini Sunca gravitaciono polje je 27,9 puta jače od gravitacionog polja na površini Zemlje. Rastojanje Zemlje od Sunca menja se u toku godine, a srednje rastojanje Zemlje od Sunca iznosi  $R = (149\,597\,870, 5 \pm 1,6)$  km.

Unutrašnjost Sunca sastoji se od jezgra, radijacione zone, konvektivne zone i fotosfere, a njegova atmosfera od hromosfere i korone.

Jezgro Sunca ima temperaturu reda  $10^7$  K i pritisak reda  $10^{15}$  Pa. U njemu se energija stvara u procesima fuzije vodonika u helijum. Energija stvorena u jezgru Sunca u vidu gama kvanata, neutrina i energetskih čestica prenosi se kroz radijacioni sloj.

Radijacioni sloj zauzima oblast 0,25-0,85 poluprečnika Sunca. U ovom sloju prenos energije vrši se difuzionim putem. Iznad radijacione zone nalazi se konvektivna zona koja se prostire u oblasti 0,85-1,00  $R_s$ . U njoj se nalaze atomi i negativni joni vodonika koji su dobri apsorberi Sunčevog zračenja. Usled toga, u radijacionoj zoni javlja se negativni gradijent temperature i konvektivna nestabilnost.

Fotosfera je sjajna površina Sunca, debljine 200 km. Fotosfera predstavlja najgušći sloj Sunca koji je mnogo ređi od Zemljine atmosfere. Temperatura fotosfere je oko  $5527^\circ\text{C}$ . Energija se kroz fotosferu uglavnom prenosi zračenjem, ali je prisutna i konvekcija tako da fotosfera ima izgled „zrnaste kaše koja ključa“. Iz fotosfere Sunčevo zračenje dospeva na Zemlju u vidu optičkog kontinuuma sa diskretnim spektralnim linijama vodonika, helijuma i drugih elemenata.

Hromosfera i korona predstavljaju Sunčevu atmosferu koja se prostire daleko kroz međuplanetarni prostor. Hromosfera je debljine od 3000 km do 7000 km i ima temperaturu oko  $10000^\circ\text{C}$ . Hromosfera ima intenzivnu narandžasto-crvenu boju, a može se videti samo za vreme pomračenja Sunca. U njoj se javljaju protuberance koje predstavljaju erupcije gasovite materije koju hromosfera izbacuje u koronu.

Korona se prostire 1-3  $R_s$  i dalje u međuplanetarni prostor. Temperatura korone je reda  $10^6$  K. U vreme najveće Sunčeve aktivnosti korona je kružnog oblika, a u vreme najmanje aktivnosti mestimično ima pramenove. Zahvaljujući visokoj temperaturi pojedine čestice sa Sunca imaju dovoljnu energiju da savladaju Sunčevu gravitaciju i odu u okolni prostor. Strujanje čestica iz korone naziva se Sunčev vetar koji je sastavljen od slobodnih elektrona i protona [1- 5].

### 1.1.1. Ekstraterestrično Sunčevo zračenje

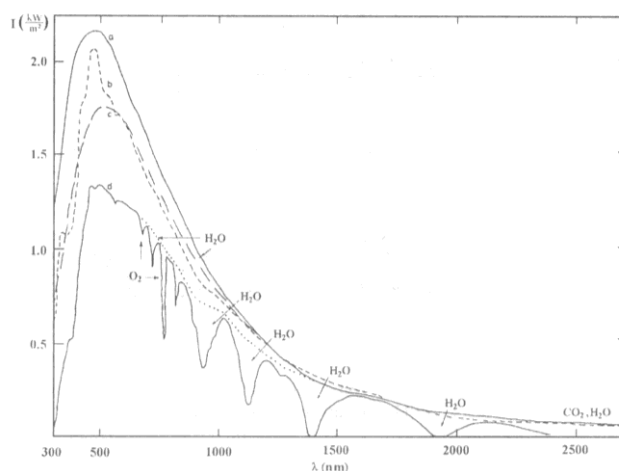
Pod ekstraterestričnim Sunčevim zračenjem podrazumeva se Sunčevo zračenje na ulazu u Zemljinu atmosferu i označava se sa AM0. Vrednost ekstraterestričnog Sunčevog zračenja se menja sa promenom Sunčeve aktivnosti ( $\pm 1,5\%$ ) i sa promenom rastojanja Zemlje od Sunca ( $\pm 3,3\%$ ). U toku godine intenzitet ekstraterestričnog Sunčevog zračenja se menja u granicama od 1307-1393 W/m<sup>2</sup>.

Pod solarnom konstantom podrazumeva se energija ekstraterestričnog Sunčevog zračenja koja u jedinici vremena normalno pada na kvadratni metar površine, kada se Zemlja nalazi na srednjoj udaljenosti od Sunca, u njegovoj mirnoj fazi aktivnosti. Solarna konstanta je određena merenjem pomoću satelita koji se nalaze izvan Zemljine atmosfere. Svetska meteorološka organizacija je standardizovala vrednost solarne konstante na 1367 W/m<sup>2</sup>.

Pre ulaska u Zemljinu atmosferu, spektar Sunčevog zračenja obuhvata talasne dužine od 120 nm do 10  $\mu\text{m}$  [1-9].

### 1.1.2. Terestrično Sunčevo zračenje

Pod terestričnim Sunčevim zračenjem podrazumeva se Sunčevo zračenje koje posle prolaska kroz Zemljinu atmosferu dospeva na Zemlju. Na Zemlju dospeva oko 97% Sunčevog zračenja u oblasti talasnih dužina 0,29 - 2,5  $\mu\text{m}$ , a oko 3% sa talasnim dužinama većim od 2,5  $\mu\text{m}$ . Od zračenja koje dospeva na Zemlju oko 3% se nalazi u ultraljubičastoj, oko 42% u vidljivoj i oko 55% u infracrvenoj oblasti spektra elektromagnetnog zračenja. Spektralna distribucija intenziteta zračenja crnog tela na temperaturi od 5727°C, ekstraterestričnog Sunčevog zračenja AM0, zračenja crnog tela na temperaturi od 5357°C i Sunčevog zračenja na Zemlji AM1 data je na slici 1.1.



**Slika 1.1.** Spektralna distribucija intenziteta a) zračenja crnog tela na temperaturi od 5727°C, b) ekstraterestričnog Sunčevog zračenja AM0, c) zračenja crnog tela na temperaturi od 5357°C i d) Sunčevog zračenja na Zemlji AM1

Terestrično Sunčevo zračenje zavisi od brojnih faktora, od kojih su najvažniji atmosferski uticaji (apsorpcija i rasejanje), lokalne promene u atmosferi (vodena para, oblaci i smog), geografski položaj, vreme i datum. Prilikom prolaska kroz Zemljinu atmosferu

Sunčevo zračenje menja smer, intenzitet i spektralni sastav. Zbog velikog broja različitih gasova i čestica od kojih se sastoji, atmosfera apsorbuje i propušta različite talasne dužine elektromagnetnog spektra Sunčevog zračenja. Deo ukupne energije Sunčevog zračenja se apsorbuje, a ostatak energije se reflektuje, prelama ili rasejava [1-9].

### **1.1.3. Apsorpcija Sunčevog zračenja u atmosferi**

Prilikom apsorpcije Sunčevog zračenja u atmosferi deo Sunčeve energije se transformiše u neki drugi oblik energije, čime je izgubljen za procese fotonaponske konverzije na površini Zemlje. Pri apsorpciji Sunčevog zračenja molekuli u atmosferi apsorbuju energiju određenih talasnih dužina. Apsorpcija Sunčevog zračenja se uglavnom vrši na ozonu ( $O_3$ ), vodenoj pari ( $H_2O$ ) i ugljen-dioksidu ( $CO_2$ ). Ozon u potpunosti apsorbuje ultraljubičasto zračenje talasnih dužina manjih od 300 nm. Ugljen-dioksid apsorbuje infracrveno zračenje većih talasnih dužina (1,4-15  $\mu m$ ), a vodena para apsorbuje znatan deo infracrvenog zračenja malih talasnih dužina.

Azot ( $N_2$ ) apsorbuje zračenje sa talasnom dužinom manjom od 0,2  $\mu m$ , u delu spektra gde je intenzitet Sunčevog zračenja zanemarljiv. Kiseonik ( $O_2$ ) značajnije apsorbuje zračenje u dva područja, jedno između 0,76-9,80  $\mu m$  gde apsorbuje 8,9 % zračenja tog intervala i drugo područje sa maksimumom apsorpcije na 0,69  $\mu m$  talasne dužine.

Atmosferski gasovi apsorbuju, samo u strogo ograničenom području spektra, fotone određene talasne dužine pri čemu se takva apsorpcija naziva selektivna apsorpcija.

### **1.1.4. Rasejanje Sunčevog zračenja u atmosferi**

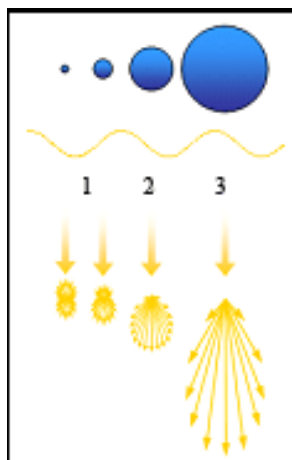
Rasejanje Sunčevog zračenja u atmosferi se dešava na sitnim česticama (aerosolima) prirodnog i veštačkog porekla. U procesu rasejanja Sunčevog zračenja u atmosferi deo upadnog Sunčevog zračenja difuzno se rasejava u različitim pravcima. Pri rasejanju ne dolazi do transformacije energije Sunčevog zračenja, već samo do promene u spektralnoj raspodeli energije Sunčevog zračenja. Slabljenje zračenja usled rasejanja je spektralno selektivno i zavisi od talasne dužine upadnog Sunčevog zračenja. Slabljenje zračenja usled rasejanja zavisi od radijusa čestica aerosola ( $r$ ) i njihove koncentracije  $n(r)$ . Veličina čestica aerosola i vrsta rasejanja upadnog Sunčevog zračenja dati su na slici 1.2.

Rasejanje Sunčevog zračenja u atmosferi može biti Rejljevo, Mieovo i neselektivno rasejanje.

#### *Rejljevo rasejanje Sunčevog zračenja*

Pod Rejljevim rasejanjem Sunčevog zračenja podrazumeva se rasejanje Sunčevog zračenja na česticama aerosola, pri čemu je talasna dužina upadnog Sunčevog zračenja mnogo veća od dimenzije čestica aerosola ( $r < 0.1 \mu m$ ). Rejljevo rasejanje se javlja u višim slojevima atmosfere, najčešće na sitnim česticama prašine ili molekulima vodonika i kiseonika. Intenzivno rasejanje na kraćim talasnim dužinama je uzrok plave boje neba i

crvene boje zalazećeg Sunca. Uticaj Rejljevog rasejanja je zanemarljivo mali na talasnim dužinama većim od 1  $\mu\text{m}$ .



**Slika 1.2.** Veličina čestica aerosola i vrsta rasejanja upadnog Sunčevog zračenja (1-Rejljevo, 2-Mieovo, 3-neselektivno rasejanje)

#### *Mieovo rasejanje Sunčevog zračenja*

Pod Mieovim rasejanjem Sunčevog zračenja podrazumeva se rasejanje Sunčevog zračenja na česticama aerosola čije su dimenzije reda veličine talasne dužine upadnog Sunčevog zračenja. Kod ovog tipa rasejanja podjednako se rasejavaju sve talasne dužine bele svetlosti. Upravo zbog ove vrste rasejanja oblaci imaju belu boju. Mieovo rasejanje Sunčevog zračenja dešava se na česticama polena, prašine, dima, kao i na molekulima vodene pare u donjim slojevima atmosfere.

#### *Neselektivno rasejanje Sunčevog zračenja*

Pod neselektivnim rasejanjem Sunčevog zračenja podrazumeva se rasejanje upadnog Sunčevog zračenja na česticama aerosola čije su dimenzije mnogo veće od talasne dužine Sunčevog zračenja. Neselektivno rasejanje Sunčevog zračenja nastaje na kapljicama vode i velikim česticama prašine. Kod neselektivnog rasejanja Sunčevog zračenja dolazi do:

- refleksije sa površine čestice (ogledalska ili difuzna),
- prolaska zračenja kroz česticu sa ili bez unutrašnje refleksije,
- difrakcije na ivicama čestica, itd [1-13].

### **1.1.5. Optička vazдушna masa**

Prilikom prolaska kroz atmosferu Zemlje izgubi se 25-50% energije Sunčevog zračenja. Ovo smanjenje energije Sunčevog zračenja može se opisati sledećom relacijom:

$$I = I_0 \cdot e^{-km} \quad (1.1)$$

gde je  $I$  – energija Sunčevog zračenja koja u jedinici vremena pada normalno na kvadratni metar površine Zemlje,  $I_0$  – energija ekstraterestričnog Sunčevog zračenja koja u jedinici

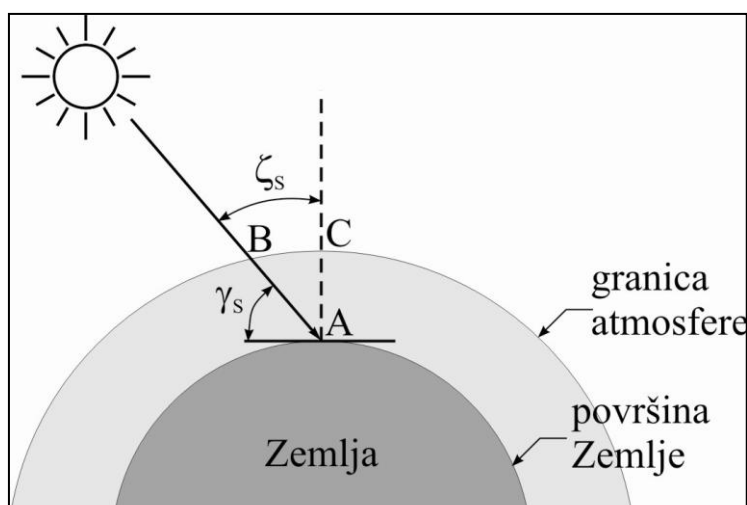


vremena pada normalno na kvadratni metar površine,  $k$  – koeficijent atenuacije Sunčevog zračenja u zemljinoj atmosferi i  $m$  – optička vazдушna masa.

Optička vazдушna masa ( $m$ ) predstavlja odnos dužine puta Sunčevih zraka kroz atmosferu i dužine puta Sunčevih zraka kroz atmosferu kada je Sunce u zenitu:

$$m = \frac{\overline{BA}}{\overline{CA}} = \frac{1}{\cos \zeta_s} = \frac{1}{\sin \gamma_s} \quad (1.2)$$

gde je  $\overline{CA}$  visina vertikalnog stuba vazduha od površine Zemlje do ivice atmosfere (najkraći put Sunčevih zraka kroz atmosferu),  $\overline{BA}$  visina odgovarajućeg stuba vazduha kroz koji prolaze Sunčevi zraci,  $\gamma_s$  ugao između upadnih Sunčevih zraka i horizontalne ravni (visina sunca), a  $\zeta_s$  zenitni ugao Sunca (slika 1.3.).



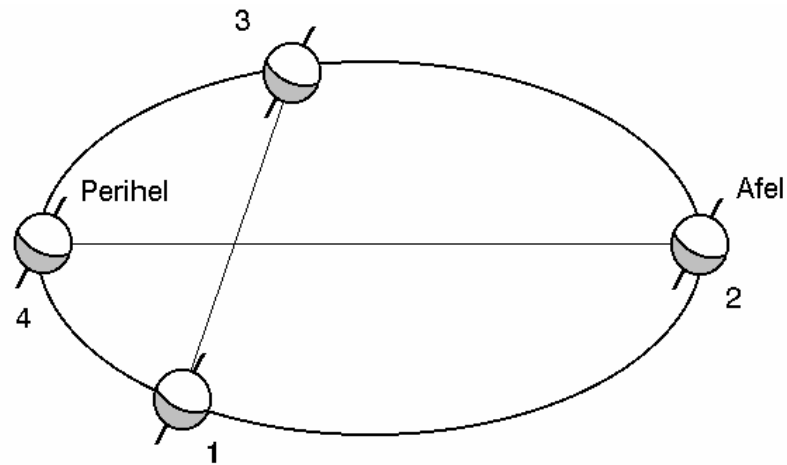
**Slika 1.3.** Uz objašnjenje optičke vazdušne mase i spektralne distribucije energije Sunčevog zračenja u zavisnosti od upadnog ugla Sunčevog zračenja

Vrednost optičke vazdušne mase zavisi od visine Sunca  $\gamma_s$  i atmosferskog pritiska na mestu posmatranja  $p$ , koji zavisi od nadmorske visine mesta. Za Sunčevo zračenje izvan Zemljine atmosfere uzima se da je optička vazдушna masa jednaka nuli ( $m=0$ ), a spektralna distribucija energije tog zračenja se označava sa AM0. Kada je na nadmorskoj visini nula, Sunčevo zračenje pada vertikalno na Zemlju ( $\gamma_s = 90^\circ$ ,  $\zeta_s = 0^\circ$ ), optička vazдушna masa se obeležava sa  $m=1$ , a spektralna distribucija energije Sunčevog zračenja sa AM1. U slučaju kada je ugao  $\gamma_s = 30^\circ$  tj.  $\zeta_s = 60^\circ$ , optička vazдушna masa se obeležava sa  $m=2$ , a spektralna distribucija energije Sunčevog zračenja označava se sa AM2 [1-13].

### 1.1.6. Prividno kretanje Sunca

Karakteristike Sunčevog zračenja određene su lokalnim atmosferskim uslovima, geografskim položajem mesta i trenutkom u kome se posmatra Sunčevo zračenje. Zbog promene međusobnog položaja Sunca i Zemlje, Sunčevo zračenje periodično se menja tokom dana, meseca i godine. Zato je potrebno definisati osnovne pojmove vezane za Sunčevu geometriju. Kretanje Sunca po nebeskom svodu se odvija po putanji poznatoj kao ekliptika, čiji ekscentricitet iznosi 0,01673. Ravan ekliptike sa ravni ekvatora zaklapa ugao od

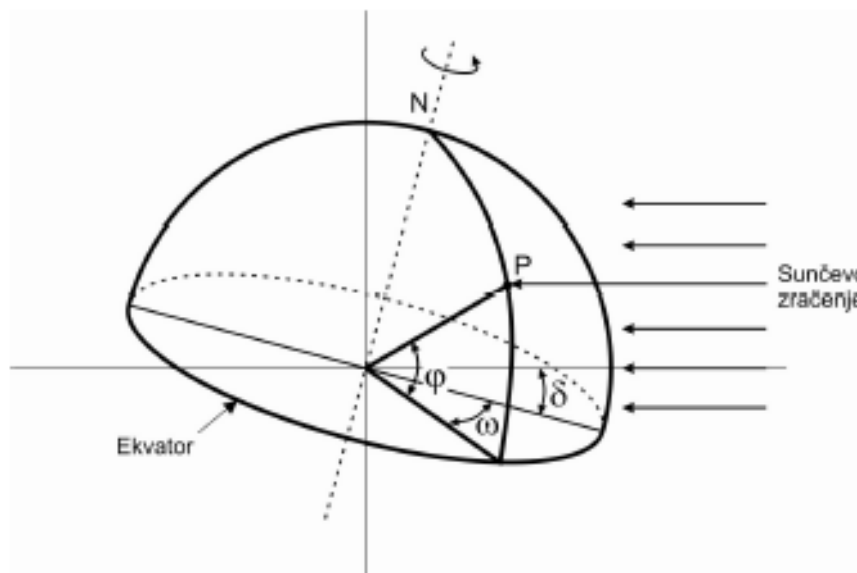
23°26'24". Zemlja je najbliža Suncu 6. januara (u perihelu), a najudaljenija od njega 6. jula (u afelu).



Slika 1.4. Kretanje Zemlje oko Sunca

### 1.1.7. Deklinacija Sunca

Deklinacija Sunca ( $\delta$ ) je ugao između linije koja spaja centar Zemlje i centar Sunca, i ravni u kojoj leži ekvator.



Slika 1.5. Deklinacija Sunca

Deklinacija Sunca zavisi od dana u godini i menja se od  $-23,45^\circ$  za 21. decembar do  $23,45^\circ$  za 21. jun. U vreme prolećne i jesenje ravnodnevnice deklinacija je jednaka nuli. Deklinacija Sunca se može izračunati pomoću sledećeg izraza:

$$\delta = 23,45^\circ \cdot \sin\left(\frac{284+N_d}{365} \cdot 360\right) \quad (1.3)$$

gde je  $N_d$  redni broj dana u godini počevši od 1. januara. Iako se deklinacija menja kontinuirano, promena vrednosti unutar jednog dana dovoljno je mala da se može zanemariti, pa se obično izračunavaju dnevne vrednosti deklinacije.

### 1.1.8. Lokalno i pravo Sunčevo vreme

U konvencionalnom načinu računanja vremena, Zemlja je podeljena na vremenske zone. Vreme izlaska i zalaska Sunca i dužina trajanja dana zavise od geografske širine i dužine posmatranog mesta. Geografska dužina određuje tačno vreme izlaska i zalaska Sunca, dok je trajanje dana određeno samo datumom i geografskom širinom. Pomeranjem prema istoku u istoj vremenskoj zoni, izlazak i zalazak Sunca javljaju se ranije, a vremenska razlika iznosi 4 minuta za svaki stepen promene dužine prema istoku. Civilno vreme se naziva lokalno vreme i označava se sa  $t_{lok}$ .

U proračunima i merenjima Sunčevog zračenja koristi se pravo Sunčevo vreme  $t_s$ . Podne je po Sunčevom vremenu određeno onim trenutkom kad putanja Sunca na nebu seče posmatračev meridijan. U tom trenutku Sunce je na najvišoj tački svoje putanje na nebu (u zenitu), a izlazak i zalazak Sunca su simetrično postavljeni na vremenskoj osi u odnosu na trenutak Sunčevog podneva. Lokalno vreme razlikuje se od Sunčevog vremena zbog nepravilnosti Zemljine putanje, njene rotacije, vremenskih zona, kao i zbog letnjeg i zimskog računanja vremena. Referentni meridijan  $\lambda_{ref}$  je meridijan lokalnog vremena koje se definiše za svaku vremensku zonu.

Jednačina vremena je formula koja ispravlja razliku između Sunčevog i pravog vremena. Za određivanje jednačine vremena potreban je redni broj dana u godini  $j$  i dnevni ugao  $\Gamma$ . Veza između rednog broja dana u godini  $j$  i dnevnog ugla  $\Gamma$  data je sledećim izrazom:

$$\Gamma = j \cdot \frac{360^\circ}{365,25} \quad (1.4)$$

Jednačina vremena se izražava u časovima i izračunava se na sledeći način:

$$E = \Delta t_v = -0,128 \cdot \sin(\Gamma - 0,04887) - 0,165 \cdot \sin(2\Gamma + 0,34383) \quad (1.5)$$

Veza između lokalnog i Sunčevog vremena data je sledećim izrazom:

$$t_s = t_{lok} + \Delta t_v + \frac{(\lambda - \lambda_{ref})}{15} - c, [h] \quad (1.6)$$

gde je  $\lambda$  - geografska dužina posmatrane lokacije,  $\lambda_{ref}$  - geografska dužina referentnog meridijana (geografske dužine na istoku imaju pozitivan, a na zapadu negativan predznak), a  $c$  - korekcija za letnje vreme i iznosi 1 h za područja u kojima se koristi letnje računanje vremena.

Za određivanje položaja Sunca na nebu koristi se satni ugao Sunca  $\omega$ , koji opisuje vremenski trenutak u danu, a računa se od Sunčevog podneva. Za Sunčevo podne satni ugao Sunca iznosi  $\omega=0^\circ$ , a u ostalim trenucima računa se tako što se vremenski interval od Sunčevog podneva u satima pomnoži sa  $15^\circ$ . Prepodnevni satni ugao ima negativan, a

poslepodnevni pozitivni predznak. Redni broj dana može imati vrednosti od 1 do 365, odnosno 366 za prestupne godine.

Satni ugao Sunca  $\omega$  definiše se na sledeći način:

$$\omega = \pi \cdot \left( \frac{t_s}{12} - 1 \right) \quad (1.7)$$

Na osnovu poznatih vrednosti za geografsku širinu  $\varphi$ , satni ugao Sunca  $\omega$  i deklinaciju  $\delta$  za određeni dan, može se izračunati položaj Sunca u odnosu na posmatrača, tj. visina Sunca  $\gamma_S$  i Sunčev azimut  $\alpha_S$ .

### 1.1.9. Visina Sunca

Visina Sunca  $\gamma_S$  je ugao između linije koja povezuje posmatrača i središta Sunčevog diska i horizontalne ravni ( $0 < \gamma_S < 90^\circ$ ), i može se odrediti u funkciji geografske širine mesta  $\varphi$ , deklinacije Sunca  $\delta$  i satnog ugla  $\omega$ , na sledeći način:

$$\gamma_S = \arcsin(\sin \varphi \cdot \sin \delta + \cos \varphi \cdot \cos \delta \cdot \cos \omega) [^\circ] \quad (1.8)$$

Ugao komplementaran visini Sunca naziva se zenitni ugao Sunca:

$$\zeta_s = 90^\circ - \gamma_S \quad (1.9)$$

### 1.1.10. Sunčev azimut

Sunčev azimut  $\alpha_S$  je ugao između projekcije sunčevih zraka na horizontalnu ravan i pravaca sever-jug u horizontalnoj ravni. Sunčev azimut se meri od juga na severnoj, odnosno od severa na južnoj polulopti ( $0 < \alpha_S < 360^\circ$ ). Azimut ima pozitivan predznak posle podne u Sunčevom vremenu, dok pre Sunčevog podneva ima negativne vrednosti.

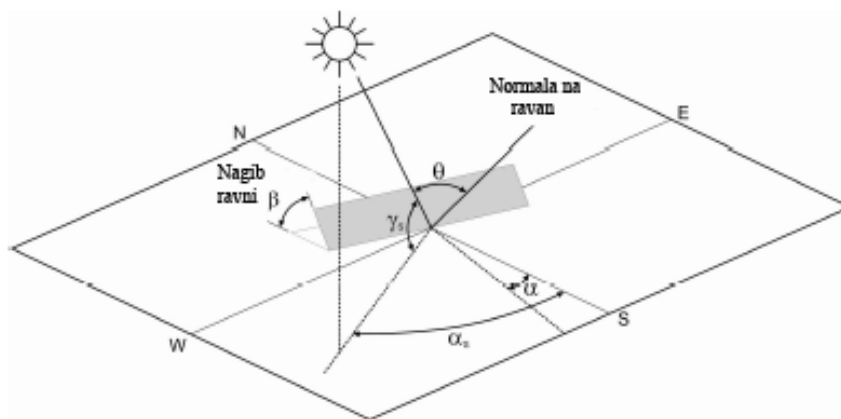
Sunčev azimut može se odrediti u funkciji istih parametara primenom sledećih formula:

$$\cos \alpha_S = k = \frac{\sin \varphi \cdot \sin \gamma_S - \sin \delta}{\cos \varphi \cdot \cos \gamma_S}, \quad \sin \alpha_S = \frac{\cos \delta \cdot \sin \omega}{\cos \gamma_S} \quad (1.10)$$

Da bi se odredila vrednost Sunčevog zračenja tokom celog dana, potrebno je znati dužinu trajanja Sunčevog dana (obdanice) i Satni ugao (odnosno vreme) izlaska i zalaska Sunca. Apsolutna vrednost satnog ugla izlaska i zalaska Sunca određuje se izjednačavanjem izraza za ugao visine Sunca sa nulom, i iznosi:

$$\omega_S = \arccos(-\tan \varphi \cdot \tan \delta) \quad (1.11)$$

Visina Sunca, zenitni ugao Sunca i Sunčev azimut prikazani su na slici 1.6.

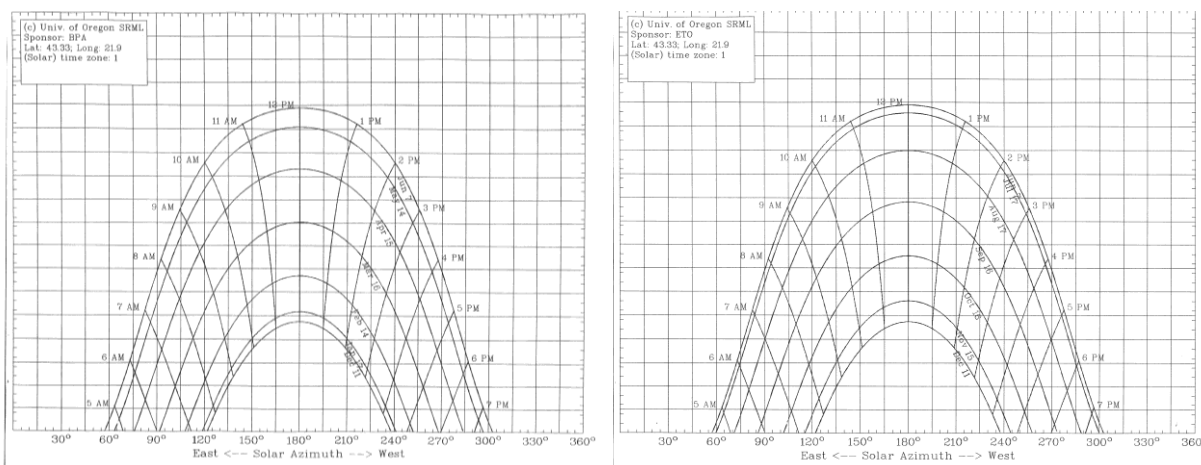


**Slika 1.6.** Visina Sunca, zenitni ugao Sunca, Sunčev azimut i ugao upada

Trenutak izlaska Sunca je prema tome  $t_{izl} = 12(1 - \omega_s/\pi)$ , dok je trenutak njegovog zalaska  $t_{zal} = 12(1 + \omega_s/\pi)$ . Trajanje Sunčevog dana u časovima, od izlaska do zalaska Sunca, bitan je parametar pri projektovanju solarnih sistema i određuje se prema izrazu  $2\omega_s/15^\circ$ .

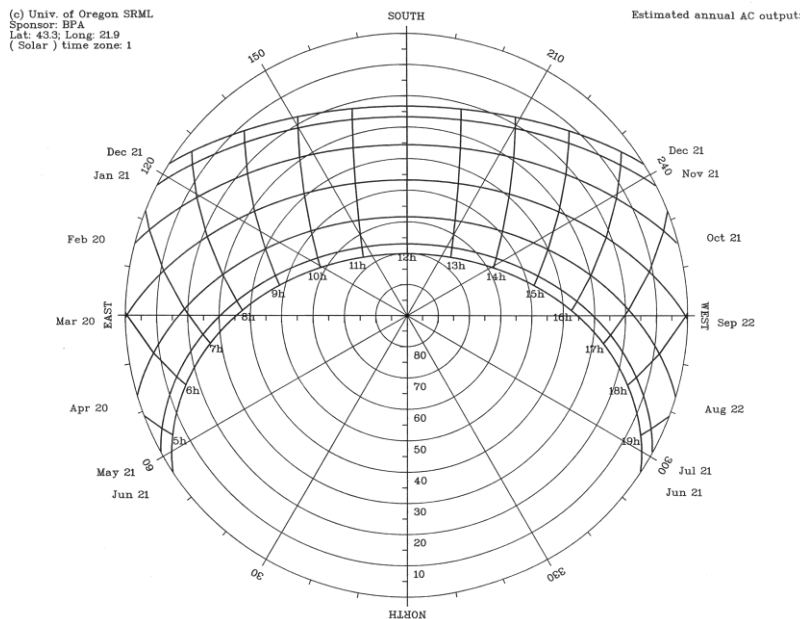
Tačan položaj Sunca na nebu u bilo kom trenutku tokom dana, odnosno godine, može se opisati kombinacijom dva podatka: visinom Sunca (uglom elevacije) i azimutom Sunca. Vrlo jednostavan način prikazivanja kretanja i pozicije Sunca na nebu su dijagrami putanje Sunca. Najčešće korišćeni dijagrami prikazuju se u pravougaonom koordinatnom sistemu ili kao kružni dijagrami.

U pravougaonom koordinatnom sistemu kretanje Sunca se prikazuje na način na koji to kretanje vidi posmatrač koji se nalazi na lokaciji koordinatnog početka, i koji je okrenut tačno prema jugu. Položaj Sunca može se odrediti presekom azimuta koji je prikazan na horizontalnoj osi, i visine Sunca prikazane na vertikalnoj osi. Na ovakvom dijagramu se mogu ucrtati konture okolnih objekata i prepreka, tako da se može se predvideti kako će ti objekti formirati senku u nekom trenutku.



**Slika 1.7.** Ortografska projekcija Sunčevog dijagrama za koordinate  $\varphi=43,3$  N i  $\lambda=21,9$  E, za period januar-jun (levo) i jul-decembar (desno) [16]

Kružni dijagram kretanja Sunca predstavlja projekciju kretanja Sunca na horizontalnu površinu, koja oslikava horizontalnu projekciju neba, sa posmatračem u centru te površine. U kružnom dijagramu kretanja Sunca jednostavnije je utvrditi način prividnog kretanja Sunca. Njegovim posmatranjem može se doći do jednostavnih, ali važnih zaključaka o vremenu izlaska i zalaska Sunca, dužini obdanice, ravnodnevice, položaju najviše tačke u kojoj se nalazi Sunce, a koja se za koordinate razmatrane u ovom slučaju nalazi južno od posmatrača, itd. Radijalne linije određuju azimutni ugao, dok koncentrični krugovi predstavljaju ugao elevacije. Vreme izlaska i zalaska Sunca definisano je presekom krivih putanje Sunca i perifernog kruga [1-9,13-16,21,34].



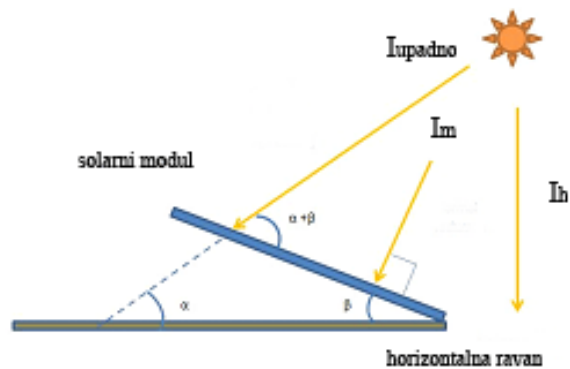
**Slika 1.8.** Kružni dijagram kretanja Sunca u toku godine za koordinate  $\varphi=43,3$  N i  $\lambda=21,9$  E [16]

### 1.1.11. Izračunavanje intenziteta Sunčevog zračenja koje dospeva na površinu orijentisanu ka jugu i koja je postavljena pod određenim uglom u odnosu na horizontalnu površinu

Kada su poznate vrednosti intenziteta Sunčevog zračenja koji dospeva na horizontalnu površinu ( $I_h$ ), onda se vrednosti intenziteta Sunčevog zračenja koje dospeva na površinu orijentisanu ka jugu i postavljenu pod određenim uglom u odnosu na horizontalnu ravan ( $I_m$ ) mogu izračunati pomoću sledećeg izraza:

$$I_m = \frac{I_h \cdot \sin(\alpha + \beta)}{\sin \alpha} \quad (1.12)$$

gde je  $\alpha$  elevacioni ugao Sunca (visina sunca), a  $\beta$  je ugao pod kojim je solarni modul nagnut u odnosu na horizontalnu površinu.



**Slika 1.9.** Sunčevo zračenje koje dospeva na površinu orijentisanu ka jugu i koja je postavljena pod određenim uglom u odnosu na horizontalnu ravan.

Elevacioni ugao  $\alpha$  se izračunava pomoću relacije:

$$\alpha = 90 - \varphi + \delta \quad (1.13)$$

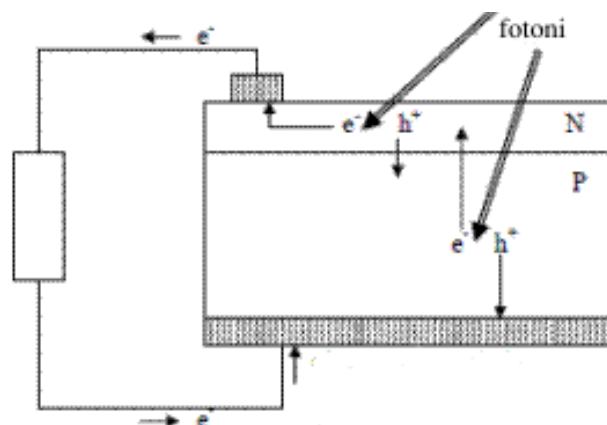
pri čemu je  $\varphi$  geografska širina, a  $\delta$  je deklinacioni ugao Sunca dat relacijom:

$$\delta = 23.45^\circ \cdot \sin \left[ \frac{360}{365} (284 + d) \right] \quad (1.14)$$

gde je  $d$  redni broj dana u godini [17,34].

## 1.2. Fotonaponska konverzija Sunčevog zračenja

Pod fotonaponskom konverzijom Sunčevog zračenja podrazumeva se pretvaranje energije Sunčevog zračenja u električnu energiju. Fotonaponska konverzija Sunčevog zračenja zasniva se na unutrašnjem fotoelektričnom efektu u  $p-n$  spoju i odvija se na solarnim ćelijama, koje se izrađuju od poluprovodničkih materijala.



**Slika 1.10.** Stvaranje para electron-šupljina pri fotoelektričnom efektu i proticanje elektrona i šupljina kroz  $p-n$  spoj

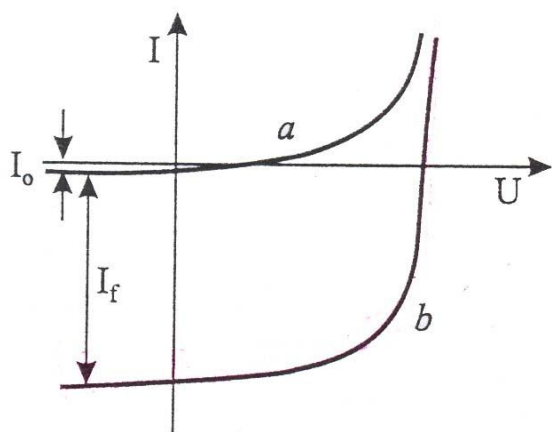
Solarna ćelija predstavlja  $p-n$  spoj, fizički jedinstven komad poluprovodnika, u kojoj se usled apsorpcije Sunčevog zračenja formiraju parovi elektron-šupljina. Ukoliko su parovi formirani daleko od  $p-n$  spoja, brzo se rekombinuju i ne doprinose pretvaranju Sunčeve energije u električnu. Međutim, prilikom apsorpcije Sunčevog zračenja unutar ili u blizini  $p-n$  spoja (prelazna oblast), unutrašnje električno polje razdvaja elektrone i šupljine, tako da se elektroni kreću prema  $n$  strani, a šupljine prema  $p$  strani. To dovodi do smanjenja kontaktne razlike potencijala  $p-n$  spoja i do stvaranja napona na krajevima solarne ćelije. Ako se osvetljena solarna ćelija poveže u električno kolo sa potrošačem, kroz potrošač će proteći električna struja.

Fotostruja je direktno proporcionalna intenzitetu Sunčevog zračenja i data je jednačinom diode:

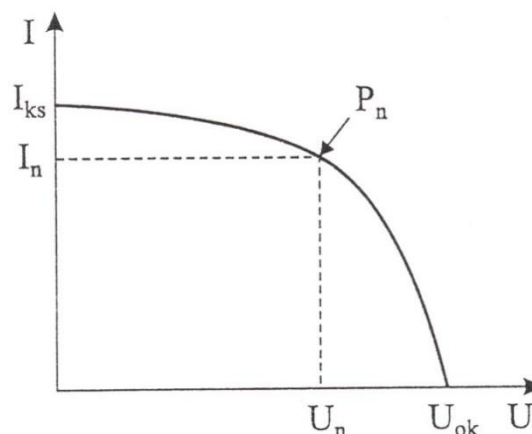
$$I = I_0[\exp(qU/nkT) - 1] - I_f \quad (1.15)$$

gde je  $I_0$  – struja zasićenja,  $I_f$  – fotostruja,  $U$  – napon,  $q$  – naelektrisanje elektrona,  $k$  – Bolcmanova konstanta,  $T$  – apsolutna temperatura, a  $n$  – faktor idealnosti diode ( $p-n$  spoja) koji zavisi od rekombinacionih procesa u solarnoj ćeliji i ima vrednost između 1 i 2. Za standardnu solarnu ćeliju od silicijuma uzima se da  $n$  ima vrednost 1 [1-7,18-21,34].

Strujno-naponska karakteristika neosvetljenog i osvetljenog  $p-n$  spoja data je na slici 1.11.



**Slika 1.11.** Strujno-naponska karakteristika: (a) neosvetljenog i (b) osvetljenog  $p-n$  spoja



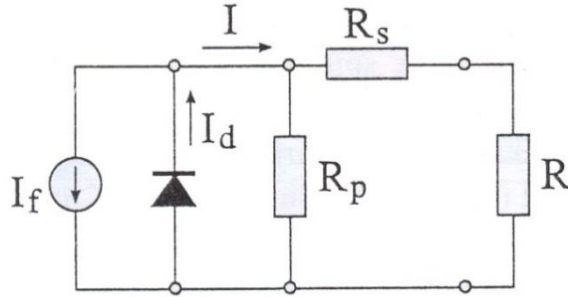
**Slika 1.12.** Strujno-naponska karakteristika  $p-n$  spoja prikazana u prvom kvadrantu

Uticaj Sunčevog zračenja na strujno-naponsku karakteristiku  $p-n$  spoja obično se prikazuje u prvom kvadrantu (slika 3) i dat je sledećom relacijom:

$$I = I_f - I_0[\exp(qU/nkT) - 1] \quad (1.16)$$

Osvetljena solarna ćelija u električnom kolu ponaša se kao izvor jednosmerne struje. Ekvivalentna šema osvetljene solarne ćelije data je na slici 1.13.





**Slika 1.13.** Ekvivalentna šema solarne ćelije

Pri merenju strujno-naponske karakteristike solarne ćelije, ćelija se spoji u seriju sa promenljivim izvorom napona i radnim otporom. Solarna ćelija se izloži dejstvu Sunčevog zračenja ili simulatora Sunčevog zračenja, zatim se napon menja sve dok struja ne bude jednaka nuli [1-7,18-21,34].

### 1.2.1. Parametri solarne ćelije

U karakteristike solarne ćelije spadaju napon otvorenog kola ( $U_{ok}$ ), struja kratkog spoja ( $I_{ks}$ ), maksimalna snaga ( $P_{mpp}$ ), fil faktor ( $FF$ ) i efikasnost ( $\eta$ ).

*Struja kratkog spoja ( $I_{ks}$ )*

Struja kratkog spoja  $I_{ks}$  predstavlja maksimalnu struju solarne ćelije pri nultom naponu. U idealizaciji kada je  $U = 0$ , dobija se da je struja kratkog spoja jednaka fotostruji  $I_{ks} = I_f$ . Ukoliko je solarne ćelije kratko spojena, kroz kolo će proticati struja kratkog spoja  $I_{ks}$ , koja je srazmerna intenzitetu upadnog Sunčevog zračenja.

*Napon otvorenog kola ( $U_{ok}$ )*

Napon otvorenog kola  $U_{ok}$  je maksimalni napon na krajevima solarne ćelije u otvorenom električnom kolu ( $I = 0$ ) pri čemu relacija (1.16) dobija sledeći oblik:

$$U_{ok} = \frac{nkT}{q} \ln \left( \frac{I_f}{I_0} + 1 \right) \quad (1.17)$$

Za slučaj kada serijski otpor nije zanemarljiv prethodni izraz postaje:

$$U_{ok} = \frac{nkT}{q} \ln \left( \frac{I_f}{I_0} + 1 \right) - R_s I \quad (1.18)$$

Napon otvorenog kola je funkcija temperature, fotostruje ( $I_f$ ) i struje zasićenja diode ( $I_0$ ). Napon otvorenog kola povećava se sa porastom fotostruje, a smanjuje sa porastom temperature solarne ćelije. Struja zasićenja diode ( $I_0$ ) je povezana sa širinom zabranjene zone ( $E_g$ ) materijala od koga je napravljena solarne ćelije. Za struju zasićenja može se koristiti sledeći aproksimativni izraz:

$$I_0 = 1.5 \cdot 10^9 \exp\left(-\frac{E_g}{kT}\right) \cdot A \quad [A] \quad (1.19)$$

gde je  $A$  površina solarne ćelije u  $m^2$ .

Napon otvorenog kola  $U_{ok}$  menja se logaritamski sa intenzitetom Sunčevog zračenja. Pri smanjenju intenziteta Sunčevog zračenja za dva puta, struja kratkog spoja će se smanjiti dva puta, a napon otvorenog kola za oko 5%.

Može se reći da je napon otvorenog kola konstantan sa promenom intenziteta, osim u slučaju kada je vrednost intenziteta Sunčevog zračenja manja od  $100 \text{ W/m}^2$ , kada dolazi do znatnog smanjenja napona otvorenog kola.

*Maksimalna snaga ( $P_{mpp}$ )*

Snaga solarne ćelije dobija se kao proizvod napona i struje:

$$P = U \cdot I = U \cdot (I_f - I_0 [\exp(qU/nkT) - 1]) \quad (1.20)$$

U kolenu strujno-naponske karakteristike solarne ćelije nalazi se tačka koja predstavlja tačku maksimalne snage  $P_{mpp}$  (slika 1.12), u kojoj solarna ćelija ima maksimalnu snagu pri datim uslovima:

$$P_{mpp} = U_{mpp} \cdot I_{mpp} \quad (1.21)$$

gde su  $I_{mpp}$  i  $U_{mpp}$  struja i napon koji odgovaraju maksimalnoj snazi solarne ćelije.

*Fil faktor ( $FF$ )*

Fil faktor  $FF$  je mera kvaliteta  $p-n$  spoja i serijskog otpora solarne ćelije i definiše se pomoću sledećeg izraza:

$$FF = \frac{I_{mpp} \cdot U_{mpp}}{U_{ok} \cdot I_{ks}} \quad (1.22)$$

Proizvod struje i napona u bilo kojoj tački strujno-naponske karakteristike solarne ćelije uvek je manji od proizvoda  $U_{ok} \cdot I_{ks}$ . Za optimalnu radnu tačku, fil faktor je manji od jedinice. Fil faktor pokazuje koliko se realna solarna ćelija približava idealnoj solarnoj ćeliji, odnosno koliko je uticaj serijskog otpora ćelije. Vrednosti fil faktora se obično nalaze između 0,7 i 0,9.

U slučaju da dve  $I-U$  krive imaju iste vrednosti struje kratkog spoja  $I_{ks}$  i napona otvorenog kola  $U_{ok}$ , solarni modul sa većom vrednošću fil faktora imaće veću snagu. Treba naglasiti da bilo koje oštećenje koje utiče na smanjenje fil faktora istovremeno dovodi do smanjenja izlazne snage solarnog modula.

### *Efikasnost solarne ćelije*

Efikasnost solarne ćelije se definiše kao odnos maksimalne snage  $P_{mpp}$  i intenziteta Sunčevog zračenja  $I_s$  koje dospeva na solarnu ćeliju površine  $S$ .

$$\eta = \frac{P_{mpp}}{I_s \cdot S} \quad (1.23)$$

Efikasnost solarne ćelije se može izračunati pomoću sledećeg izraza:

$$\eta = \frac{I_{mpp} \cdot U_{mpp}}{I_s \cdot S} = \frac{FF \cdot I_{ks} \cdot U_{ok}}{I_s \cdot S} \quad (1.24)$$

### *Uticao otpora*

Svaka solarna ćelija ima određeni serijski i paralelni otpor koji se često ne može zanemariti. Serijski otpor ćelije  $R_s$  predstavlja unutrašnji otpor koji nastaje od redno vezanih otpornosti  $p-n$  spoja i kontaktnih elektroda. Serijski otpor ćelije  $R_s$  zavisi od materijala i načina izrade solarne ćelije i poželjno je da bude što manji. Vrednost serijskog otpora nije stalan. Sa promenom temperature i intenziteta Sunčevog zračenja dolazi do promene serijskog otpora solarne ćelije.

Paralelni otpor solarne ćelije  $R_p$  potiče od mikrodefekata i nečistoća unutar solarne ćelije. Za idealnu solarnu ćeliju  $R_p$  ima beskonačnu vrednost. Kod realne solarne ćelije struje gubitaka proporcionalne su naponu na solarnoj ćeliji. U ekvivalentnoj šemi solarne ćelije struje gubitaka se prikazuju paralelnim otporom (slika 1.13).

Karakteristični otpor solarne ćelije  $R_k$  definiše se kao odnos napona otvorenog kola i struje kratkog spoja:

$$R_k = \frac{U_{ok}}{I_{ks}} \quad (1.25)$$

Paralelni i serijski otpor utiču na strujno-naponsku karakteristiku solarne ćelije i na njenu snagu. Ovaj uticaj je zanemarljiv ako je serijski otpor mnogo manji od karakterističnog otpora ćelije  $R_s \ll R_k$ , odnosno ako je paralelni otpor mnogo puta veći od karakterističnog otpora  $R_p \gg R_k$ . U modelu realne solarne ćelije potrebno je uzeti u obzir i serijski i paralelni otpor. Tada jednačina realne ćelije glasi:

$$I = I_f - I_0 \left( \exp \left( \frac{q(U + IR_s)}{nkT} \right) - 1 \right) - \frac{U}{R_p} \quad (1.26)$$

### *Uticao temperature na parametre solarne ćelije*

Karakteristike solarne ćelije menjaju se sa promenom temperature i intenziteta Sunčevog zračenja. Uticaj temperature solarne ćelije na struju zasićenja dat je sledećom relacijom:

$$I_0 = A \cdot T^3 \cdot \exp\left(-\frac{E_g}{kT}\right) \quad (1.27)$$

gde je  $A$  konstanta koja zavisi od vrste materijala od kojeg je napravljena solarna ćelija.

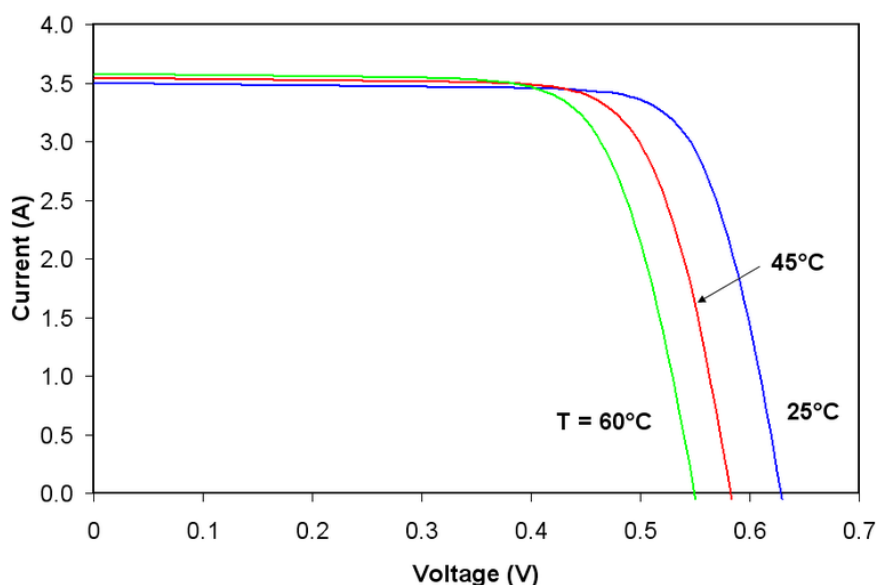
Porast temperature solarne ćelije istovremeno dovodi do smanjenja širine zabranjene zone ( $E_g$ ) i porasta struje zasićenja diode ( $I_0$ ). Manja vrednost širine zabranjene zone znači da struja kratkog spoja  $I_{ks}$  ima veću vrednost pošto veći broj fotona ima dovoljnu energiju da stvori par elektron-šupljina. Za struju kratkog spoja solarne ćelije od monokristalnog silicijuma važi relacija:

$$dI_{ks}/dT \approx +I_{ks} \cdot 6 \cdot 10^{-4} \text{ [A/K]} \quad (1.28)$$

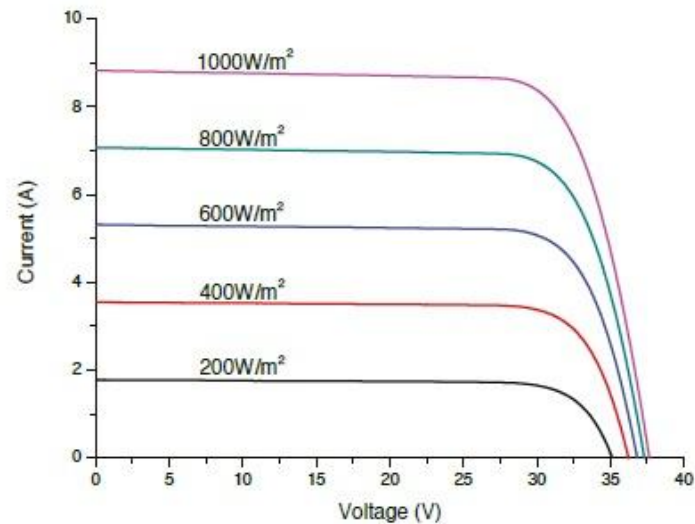
Napon otvorenog kola solarne ćelije ( $U_{ok}$ ) ima manju vrednost pri manjoj vrednosti širine zabranjene zone ( $E_g$ ), a sa porastom struje zasićenja diode ( $I_0$ ) smanjuje se vrednost napona otvorenog kola. Imajući prethodno u vidu, za solarnu ćeliju od monokristalnog silicijuma napon otvorenog aproksimira se relacijom:

$$dU_{ok}/dT \approx -U_{ok} \cdot 3 \cdot 10^{-3} \text{ [V/K]} \quad (1.29)$$

Negativni uticaj porasta temperature je najizraženiji kod napona otvorenog kola. U praksi je porast temperature solarne ćelije uvek povezan sa povećanjem intenziteta upadnog Sunčevog zračenja. Intenzitet upadnog zračenja zavisi od niza parametara kao što su upadni ugao Sunčevog zračenja, doba dana i godine, atmosferski uticaji, itd. Uticaj temperature solarne ćelije od monokristalnog silicijuma na njenu strujno-naponsku karakteristiku dat je na slici 1.14., a uticaj intenziteta Sunčevog zračenja na strujno-naponsku karakteristiku solarne ćelije od monokristalnog silicijuma dat je na slici 1.15.



**Slika 1.14.** Uticaj temperature solarne ćelije od monokristalnog silicijuma na njenu strujno-naponsku karakteristiku



**Slika 1.15.** Uticaj intenziteta Sunčevog zračenja na strujno-naponsku karakteristiku solarne ćelije od monokristalnog silicijuma

Na slici 1.14. se vidi da se sa povećanjem temperature solarne ćelije napon otvorenog kola smanjuje, a struja kratkog spoja se vrlo malo povećava.

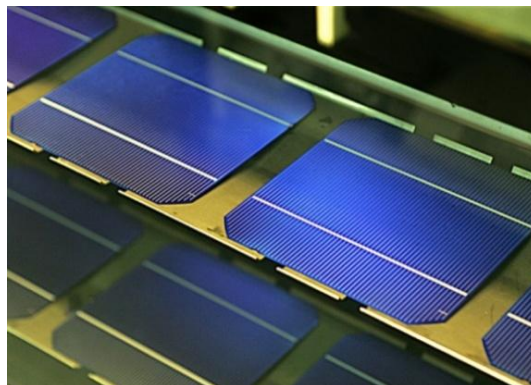
Porast temperature solarne ćelije utiče na smanjenje  $FF$  faktora. Za  $FF$  faktor solarne ćelije od monokristalnog silicijuma važi relacija:

$$d(FF)/dT \approx -FF \cdot 1,5 \cdot 10^{-3} [K^{-1}] \quad (1.30)$$

[1-7,21-25,27,34]

## 1.2.2. Formiranje solarne ćelije od monokristalnog silicijuma

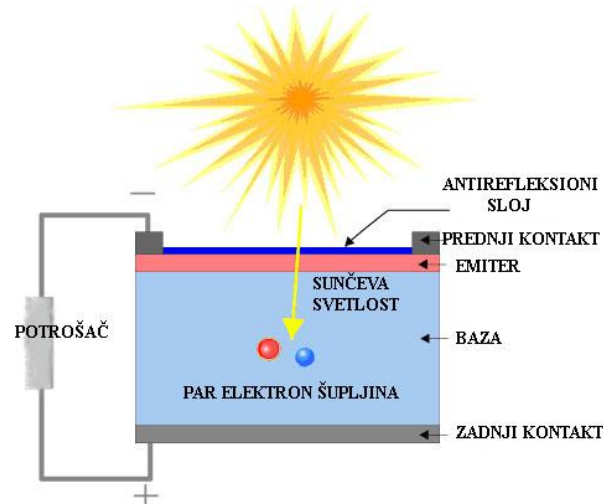
Postupak formiranja solarne ćelije od monokristalnog silicijuma počinje sečenjem ingota na pločice debljine 200–300  $\mu\text{m}$ . Zatim se pločice poliraju i čiste razblaženim rastvorom hlorovodonične i azotne kiseline. Dobijene pločice su već formirane kao poluprovodnik  $p$ -tipa jer je u procesu formiranja monokristala rastopu silicijuma dodat bor. Zatim se pločica dopira fosforom čime se formira  $n$ -tip poluprovodnika u tankom površinskom sloju. Ovaj sloj se uklanja hemijskim putem sa zadnje i bočnih strana pločice.



**Slika 1.16.** Solarna ćelija od monokristalnog silicijuma

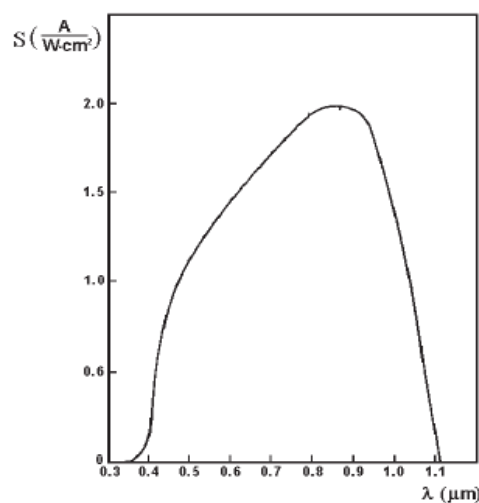
Pošto je zadnja strana pločice udaljena od  $p-n$  spoja, a time i uticaja unutrašnjeg električnog polja, javlja se problem prikupljanja naelektrisanja. Zato se vrši dodatno dopiranje zadnje strane primesama  $p$ -tipa čime se stvara ćelija  $n^+pp^+$  tipa, poznata pod nazivom BSF (Back Side Field) ili ćelija sa poljem uz zadnju stranu.

Metalni kontakti formiraju se vakuumskim napanjanjem odgovarajućih metala na pločicu od monokristalnog silicijuma. Za ovu svrhu se obično koristi Ti/Pd/Ag prevlaka dobijena nanošenjem Ti sloja koji dobro prijanja na silicijum, zatim se nanosi Pd sloj, a iznad njega sloj srebra. Radi poboljšanja električnog kontakta između plouprovodnika i metalnog sloja, pločica se kratko vreme zagreva na temperaturi 500-600°C.



Slika 1.17. Šematski prikaz solarne ćelije od monokristalnog silicijuma

Solarna ćelija od monokristalnog silicijuma reflektuje 30-60% od upadnog Sunčevog zračenja, zato što je indeks prelamanja Sunčevog zračenja monokristalnog silicijuma 3-6. U cilju smanjenja refleksije sa solarne ćelije od monokristalnog silicijuma na nju se nanosi sloj od materijala sa indeksom prelamanja 1,5-2 ( $\text{SiO}$ ,  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{TiO}$ ,  $\text{TiO}_2$  itd.), čime se dobijaju solarne ćelije različitih boja.



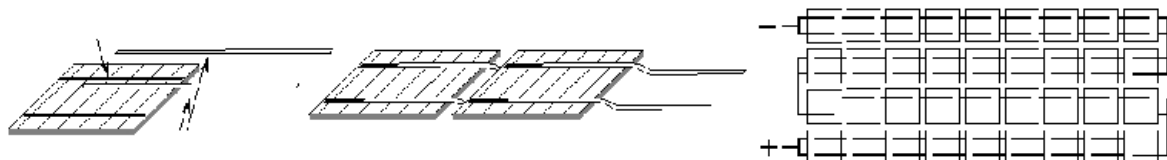
Slika 1.18. Spektralna osetljivost solarne ćelije od monokristalnog silicijuma

Solarna ćelija od monokristalnog silicijuma osetljiva je na Sunčevo zračenje u oblasti talasnih dužina od 0,4 do 1,1  $\mu\text{m}$ , a maksimum osetljivosti se nalazi u intervalu talasnih

dužina 0,8 – 0,9  $\mu\text{m}$ . Komercijalne solarne ćelije od monokristalnog silicijuma imaju efikasnost oko 15%, a laboratorijske oko 24% [1-7,21].

### 1.2.3. Solarni moduli od monokristalnog silicijuma

Kod solarnih modula solarne ćelije se povezuju serijski da bi se dobila odgovarajuća struja i napon. Kontakti sa prednje strane solarne ćelije povezuju se tankim metalnim trakama čime je omogućeno serijsko povezivanje solarnih ćelija.



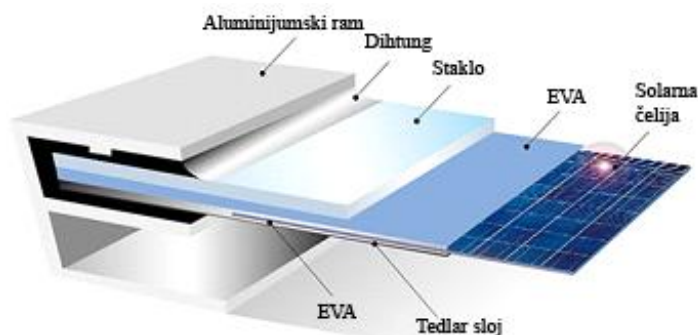
Slika 1.19. a) Veza solarne ćelije sa tankim metalnim trakama, b) dve serijski povezane solarne ćelije, c) izgled 36 serijski povezanih solarnih ćelija

Solarni moduli se obično sastoje od više serijski povezanih ćelija, koje pri radnim uslovima za maksimalnu snagu daju napon od 15 V, pri čemu je napon dovoljan za punjenje akumulatora od 12 V. Napon solarnog modula predstavlja proizvod napona pojedinačne solarne ćelije i odgovarajućeg broja serijski povezanih ćelija, dok struja solarnog modula predstavlja proizvod struje koju proizvodi pojedinačna solarna ćelija i odgovarajućeg broja paralelno povezanih ćelija. Bez obzira na način povezivanja solarnih ćelija, snaga solarnog modula je proizvod snage pojedinačne solarne ćelije i odgovarajućeg broja solarnih ćelija u datom solarnom modulu. Za komercijalne potrebe najčešće se proizvode solarni moduli čija je snaga između 50-200 Wp.

Ukoliko je kod redne veze neka od ćelija neispravna, dolazi do smetnji u radu celog sistema. Neispravna ćelija se ponaša kao potrošač, zagreva se i predstavlja vruću tačku veze. U praksi se ovaj problem rešava dodavanjem bajpas diode paralelno svakoj ćeliji, tako da se u slučaju neispravnosti neke od ćelija kvar ne odražava na celi sistem.

#### *Struktura solarnih modula*

Solarni modul se sastoji od solarnih ćelija, sloja termoplastike (EVA), zaštitnog stakla, dihtunga i aluminijumskog rama (slika 1.20.).



Slika 1.20. Poprečni presek solarnog modula

Preko solarnih ćelija nanosi se zaštitni sloj etilen-vinil-acetata (EVA) termoplastike od 0,5 mm.

U cilju zaštite solarnih ćelija od atmosferilija i postizanja mehaničke čvrstine koristi se kaljeno staklo debljine 2-3 mm, koje je transparentno za Sunčevo zračenje. Neophodno je da staklo sadrži mali procenat gvožđa jer se u suprotnom smanjuje transmisija Sunčevog zračenja. Kod savremenih solarnih modula koristi se staklo sa cerijumom koji apsorbuje UV zračenje.

Sa zadnje strane modula nalazi se kompozitni plastični sloj koji predstavlja barijeru za vlagu i koroziju. Zbog kompaktnosti i lakše montaže modul se postavlja u aluminijumski ram. Pozitivni i negativni kontakti se nalaze u razvodnoj kutiji, koja se nalazi na zadnjem delu solarnog modula [1-7,21,35].

#### 1.2.4. Temperatura solarnog modula

Temperatura solarne ćelije određena je termodinamičkom ravnotežom između intenziteta Sunčevog zračenja koje dospeva na površinu solarne ćelije i temperature okoline. Sunčevo zračenje dospeva na površinu solarne ćelije, deo njegove energije se pretvara u električnu energiju, a ostatak se odaje sredini u vidu toplote. Kod solarnih modula višak toplote se odaje konvekcijom i zračenjem. Temperatura solarnih modula zavisi od njihove orijentacije prema Suncu, brzine vetra, vlažnosti vazduha itd.

Nominalna radna temperatura solarnog modula (Nominal Operating Cell Temperature (NOCT)) je temperatura solarnog modula pri standardnim radnim uslovima (standard operating conditions - SOC) pri temperaturi ambijenta od 20°C, intenzitetu Sunčevog zračenja od 800 W/m<sup>2</sup> i brzini vetra od 1 m/s. Vrednost nominalne temperature je oko 45°C i nalazi se u tabeli sa ostalim karakterističnim parametrima solarnog modula koju daje proizvođač. Na osnovu vrednosti NOCT mogu se izračunati vrednosti temperature solarnih ćelija pri realnim uslovima rada solarnih modula. [11]

Za različite vrednosti temperatura ambijenta i intenziteta Sunčevog zračenja, temperatura solarnog modula  $T_m$  (°C) se može odrediti pomoću sledećeg izraza:

$$T_m(T_a, G) = T_a + \frac{G \cdot (T_{NOCT} - 20^\circ\text{C})}{G_{NOCT}} \quad (1.31)$$

gde je  $T_a$  – temperatura ambijenta (°C),  $G$  – intenzitet Sunčevog zračenja koje dospeva na površinu solarnog modula (W/m<sup>2</sup>),  $G_{NOCT}$  – intenzitet Sunčevog zračenja od 800 W/m<sup>2</sup>,  $T_{NOCT}$  – nominalna radna temperatura solarnog modula (°C).

#### 1.2.5. Struja kratkog spoja solarnog modula

Struja kratkog spoja solarnog modula linearno zavisi od intenziteta Sunčevog zračenja. Sa porastom temperature solarnog modula struja kratkog spoja ima manji porast. Zavisnost struje kratkog spoja od temperature solarnog modula i intenziteta Sunčevog zračenja koje dospeva na njegovu površinu data je sledećom relacijom:



$$I_{ks}(T_m, G) = I_{ks(STC)} \cdot \frac{G \cdot [1 + \alpha \cdot (T_m - 20^\circ\text{C})]}{G_{STC}} \quad (1.32)$$

gde je  $I_{ks(STC)}$  – struja kratkog spoja solarnog modula određena pri STC uslovima,  $G$  – intenzitet Sunčevog zračenja koje dospeva na površinu solarnog modula ( $\text{W/m}^2$ ),  $G_{STC}$  – intenzitet Sunčevog zračenja od  $1000 \text{ W/m}^2$ ,  $T_m$  ( $^\circ\text{C}$ ) – temperatura solarnog modula,  $\alpha$  – temperaturni koeficijent za struju kratkog spoja solarnog modula.

Za solarne ćelije od monokristalnog silicijuma koeficijent  $\alpha$  ima vrednosti između  $0,0002$ - $0,0008/^\circ\text{C}$ .

### 1.2.6. Napon otvorenog kola solarnog modula

Zavisnost napona otvorenog kola solarnog modula od temperature solarnog modula data je sledećom relacijom:

$$U_{ok}(T_m) = U_{ok(STC)} - \beta \cdot (T_m - 25^\circ\text{C}) \quad (1.33)$$

gde je  $U_{ok(STC)}$  – napon otvorenog kola solarnog modula određen pri STC uslovima,  $T_m$  ( $^\circ\text{C}$ ) – temperatura solarnog modula,  $\beta$  – temperaturni koeficijent za napon otvorenog kola solarnog modula.

Na osnovu vrednosti temperaturnog koeficijenta za napon otvorenog kola  $\beta$  može se predvideti promena napona otvorenog kola sa promenom temperature solarnog modula. Za solarne module od monokristalnog silicijuma koeficijent  $\beta$  ima vrednosti između  $-0,003/^\circ\text{C}$  i  $-0,0055/^\circ\text{C}$ .

### 1.2.7. Snaga solarnog modula

Zavisnost maksimalne snage solarnog modula od temperature solarnog modula i intenziteta Sunčevog zračenja koje dospeva na njegovu površinu data je sledećom relacijom:

$$P_{mpp}(T_m, G) = P_{mpp(STC)} \cdot \frac{G}{G_{STC}} [1 + \gamma \cdot (T_m - 25^\circ\text{C})] \quad (1.34)$$

gde je  $P_{mpp(STC)}$  – maksimalna snaga solarnog modula određena pri STC uslovima,  $G$  – intenzitet Sunčevog zračenja koje dospeva na površinu solarnog modula ( $\text{W/m}^2$ ),  $G_{STC}$  – intenzitet Sunčevog zračenja od  $1000 \text{ W/m}^2$ ,  $T_m$  ( $^\circ\text{C}$ ) – temperatura solarnog modula,  $\gamma$  – temperaturni koeficijent za maksimalnu snagu solarnog modula.

Parametar  $\gamma$  je relativno smanjenje snage solarnog modula sa porastom temperature solarne ćelije. Za solarne module od monokristalnog silicijuma temperaturni koeficijent  $\gamma$  obično ima vrednost oko  $0,005/^\circ\text{C}$ .

Nelinearna zavisnost maksimalne snage solarnog modula od temperature solarnog modula i intenziteta Sunčevog zračenja koje dospeva na njegovu površinu data je sledećom relacijom:

$$P_{mpp}(T_m, G) = P_{mpp(STC)} \cdot \frac{G}{G_{STC}} [1 + \alpha \cdot (T_m - 25^\circ\text{C})] \cdot [1 + \beta \cdot (T_m - 25^\circ\text{C})] \cdot \left[1 + \delta(T) \cdot \ln\left(\frac{G}{G_{STC}}\right)\right] \quad (1.35)$$

gde je  $P_{mpp(STC)}$  – maksimalna snaga solarnog modula određena pri STC uslovima,  $G$  – intenzitet Sunčevog zračenja koje dospeva na površinu solarnog modula ( $W/m^2$ ),  $G_{STC}$  – intenzitet Sunčevog zračenja od  $1000 W/m^2$ ,  $T_m$  ( $^{\circ}C$ ) – temperatura solarnog modula,  $\alpha$  – temperaturni koeficijent za struju kratkog spoja solarnog modula,  $\beta$  – temperaturni koeficijent za napon otvorenog kola solarnog modula,  $\delta$  ( $T$ ) – temperaturni koeficijent za napon otvorenog kola za intenzitet Sunčevog zračenja.

### 1.2.8. Efikasnost solarnog modula

Linearna zavisnost efikasnosti solarnog modula od temperature solarnog modula data je sledećom relacijom:

$$\eta(T_{modula}) = \eta_{(STC)} \cdot [1 - \beta \cdot (T_m - 25^{\circ}C)] \quad (1.36)$$

gde je  $\eta_{(STC)}$  (%) – efikasnost solarnog modula određena pri STC uslovima,  $T_m$  ( $^{\circ}C$ ) – temperatura solarnog modula,  $\beta$  – temperaturni koeficijent za napon otvorenog kola solarnog modula.

Nelinearna zavisnost efikasnosti solarnog modula od temperature solarnog modula i intenziteta Sunčevog zračenja koje dospeva na njegovu površinu data je sledećom relacijom:

$$\eta(T_{cell}, G) = \eta_{(STC)} \cdot [1 - \beta \cdot (T_m - 25^{\circ}C) + \delta \cdot \log_{10} G] \quad (1.37)$$

gde je  $\eta_{(STC)}$  (%) – efikasnost solarnog modula određena pri STC uslovima,  $T_m$  ( $^{\circ}C$ ) – temperatura solarnog modula,  $\beta$  – temperaturni koeficijent za napon otvorenog kola solarnog modula,  $\delta$  – korekcionni faktor za intenzitet Sunčevog zračenja.

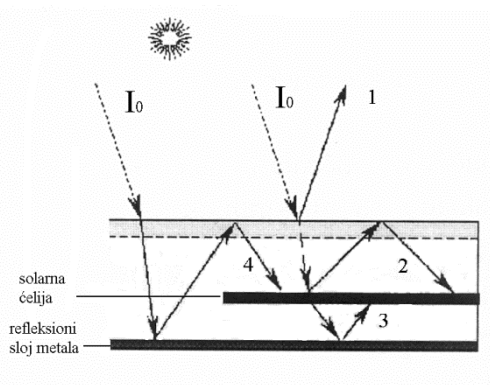
Temperaturni koeficijenti  $\beta$  i  $\gamma$  zavise najviše od svojstava poluprovodničkih materijala od kojih su napravljene solarne ćelije.

### 1.2.9. Optičke karakteristike solarnih modula

Neki od optičkih efekata do kojih dolazi na spoljnoj zaštiti i unutar solarnog modula su:

1. Na graničnoj površini vazduh-staklo reflektuje se 4% upadnog Sunčevog zračenja. Antirefleksioni slojevi i odgovarajuće teksture solarnih ćelija mogu smanjiti gubitke usled refleksije.
2. Indeks prelamanja staklo – EVA folija je približno jednak indeksu prelamanja vazduh-staklo i iznosi 1,5. Na taj način spoljna zaštita se ponaša kao antirefleksioni sloj veće debljine. Kod solarnih ćelija sa dobrom teksturom nije potrebno nanošenje antirefleksionih slojeva jer je spoljna zaštita dovoljna.
3. Staklo i EVA folija apsorbuju zračenje iz kratkotalasnog dela spektra Sunčevog zračenja.

4. Sunčevo zračenje koje se reflektuje sa metalnih kontakata i površine solarne ćelije može da se vrati delimično u solarnu ćeliju usled totalne refleksije na graničnoj površini staklo-vazduh. Ovaj efekat se može pojačati alkalnim nagrizanjem površine solarne ćelije pri čemu se formiraju piramide nagnute pod određenim uglom u odnosu na normalu.
5. Kod solarnih ćelija koje nemaju refleksioni sloj metala na zadnjoj strani, transmitovano Sunčevo zračenje se može zadržati u ćeliji postavljanjem reflektora na zadnju stranu modula odmah iza solarnih ćelija.
6. Sloj bele plastike postavljen na zadnjoj strani solarnog modula difuzno reflektuje Sunčevo zračenje i vraća ga nazad ka unutrašnjosti solarne ćelije.



**Slika 1.21.** Optički efekti na zaštitnim slojevima: 1) refleksija na prednjem staklu, 2) zahvat zračenja reflektovanog sa solarne ćelije, 3) zahvat zračenja koje je prošlo kroz solarnu ćeliju, 4) skupljanje periferne svetlosti.

#### *Standardni uslovi testiranja solarnih modula*

Standardni uslovi testiranja (Standard Test Conditions - STC) predstavljaju uslove pri kojima se solarni moduli testiraju u laboratoriji. Testiranje modula vrši se pri sledećim uslovima: intenzitetu Sunčevog zračenja od  $1000 \text{ W/m}^2$ , optičkoj vazdušnoj masi od AM 1,5, temperaturi solarnog modula od  $25^\circ\text{C}$  i brzini vetra od  $1 \text{ m/s}$ . U prospektima proizvođača solarnih modula nalaze se sledeći podaci: vrednost maksimalne snage  $P_{mpp}$  (Wp), napon otvorenog kola  $U_{ok}$  (V), struja kratkog spoja  $I_{ks}$  (A), napon pri maksimalnoj snazi  $U_{mpp}$  (V), struja pri maksimalnoj snazi  $I_{mpp}$  (A) i vrednost nominalne radne temperature solarnog modula  $T_{NOCT}$  ( $^\circ\text{C}$ ).

Realni uslovi rada solarnih modula razlikuju se od uslova pri kojima se testiraju. Klimatski uslovi u kojima rade solarni moduli se menjaju u toku dana i godine dovodeći do gubitaka usled ugaone i spektralne raspodele i malih vrednosti intenziteta Sunčevog zračenja, temperature solarnih ćelija itd.

1. *Ugaona raspodela* Sunčevog zračenja:  
Zbog promene položaja Sunca u toku dana i prisustva difuzne komponente Sunčevo zračenje ne dospeva pod pravim uglom na površinu solarnog modula, kao što je slučaj

pri testiranju modula u laboratoriji. Male vrednosti Sunčevog zračenja dospevaju na površinu solarnog modula, pri velikom upadnom uglu Sunčevog zračenja ili kada je Sunčevo zračenje većim delom difuzno. Refleksija i transmisija Sunčevog zračenja na materijalu od koga su napravljene solarne ćelije zavisi od upadnog ugla Sunčevog zračenja. Kada je ugao pod kojim Sunčevo zračenje dospeva na površinu modula veći od  $50^{\circ}$ , dolazi do značajnog povećanja refleksije sa solarnih ćelija. Treba naglasiti da se ugaona zavisnost refleksije Sunčevog zračenja često izostavlja pri simulacijama i proračunima efikasnosti solarnih sistema. Međutim, u praktičnoj primeni, kod horizontalno i vertikalno postavljenih solarnih modula kao fasadnih elemenata, ovaj efekat se ne može zanemariti.

2. *Spektralna raspodela Sunčevog zračenja:*

Pri istom intenzitetu različiti delovi spektra Sunčevog zračenja daju različite fotostruje u skladu sa spektralnim odgovorom solarne ćelije. Spektralna raspodela Sunčevog zračenja menja se sa promenom položaja Sunca, vremenskim uslovima i aerozagađenjem, tako da retko dostigne vrednost optičke vazdušne mase AM 1,5.

3. *Intenzitet Sunčevog zračenja:*

Pri konstantnoj temperaturi solarne ćelije efikasnost solarnog modula se smanjuje sa smanjenjem intenziteta Sunčevog zračenja, zbog logaritamske zavisnosti napona otvorenog kola od fotostruje. Pri malim vrednostima intenziteta Sunčevog zračenja pad efikasnosti solarnog modula je veći i manje predvidiv.

4. *Temperatura solarne ćelije:*

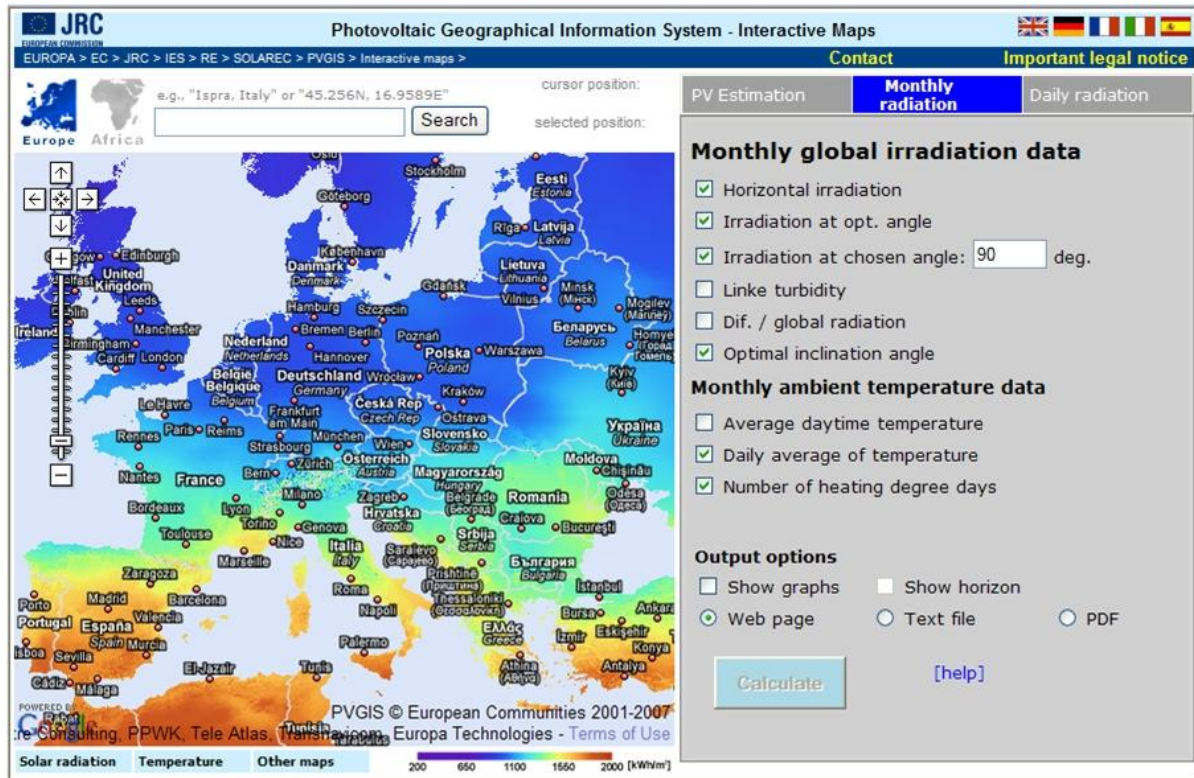
Temperatura ambijenta i intenzitet Sunčevog zračenja se u realnim klimatskim uslovima menjaju u toku dana i godine, i utiču na promenu temperature solarnog modula. Pod dejstvom Sunčevog zračenja dolazi do zagrevanja solarnih ćelija, odnosno solarnog modula. Povišena temperatura solarnih ćelija dovodi do smanjenja efikasnosti solarnih modula. [1,2,4-7,21-52]

### **1.3. PVGIS program**

PVGIS program (Photovoltaic Geographical Information System) predstavlja besplatan internet program pomoću koga se mogu dobiti informacije o solarnim energetske resursima u Evropi, Africi i jugozapadnoj Aziji i procena o proizvodnji električne energije pomoću fotonaponskih sistema. PVGIS program je nastao kao deo *Solar Electricity Action* (SOLAREC) akcije, koja doprinosi implementaciji obnovljivih izvora energije u Evropskoj Uniji kao održivog i dugoročnog izvora energije.

Iz velikog broja meteoroloških stanica širom Evrope uzeti su podaci direktno ili indirektno merenog Sunčevog zračenja. Na osnovu prikupljenih podataka o Sunčevom zračenju za dobijanje prostorne baze podataka korišćene su različite interpolacione tehnike. Za planinska područja dodatne informacije dobijene su iz satelitskih snimaka, čime je

poboljšana kvaliteta informacija o Sunčevom zračenju. Prostorno neprekidne vrednosti Sunčevog zračenja mogu se dobiti direktno iz geostacionarnih satelita. Obrada satelitskih podataka daje manje pouzdane vrednosti Sunčevog zračenja u poređenju sa podacima Sunčevog zračenja dobijenim mernjem na površini Zemlje, ali prednost je u dostupnosti podataka za ogromne prostore za koje ne postoje mereni podaci o Sunčevom zračenju.



Slika 1.22. PVGIS internet stranica [53]

Pomoću PVGIS programa mogu da se dobiti podaci o srednjoj dnevnoj, mesečnoj i godišnjoj vrednosti energije globalnog Sunčevog zračenja koje dospeva na horizontalnu površinu ili površine nagnute pod određenim uglom u odnosu na horizontalnu površinu. Takođe, mogu se dobiti vrednosti energije direktnog Sunčevog zračenja, odnos difuznog i globalnog Sunčevog zračenja, podaci o zamućenosti atmosfere, promeni optimalnog ugla nagiba solarnog modula u toku godine, dnevni, mesečni i godišnji iznos električne energije koja može da se dobije pomoću geografski različito orijentisanih solarnih modula od monokristalnog silicijuma.

PVGIS-3 verzija programa bazira se na meteorološkim merenjima intenziteta Sunčevog zračenja na Zemlji, na osnovu kojih je izvršena interpolacija podataka između mernih mesta da bi se dobile vrednosti Sunčevog zračenja za bilo koju tačku u prostoru. U skorije vreme uvedena je novija verzija PVGIS-CMSAF programa koji koristi nove baze podataka o Sunčevom zračenju za period 1998-2010. godine preuzete od *The Satellite Application Facility on Climate Monitoring – CMSAF* [53]. U doktorskoj disertaciji korišćena je novija verzija PVGIS-CMSAF programa za izračunavanje intenziteta i energije Sunčevog zračenja i električne energije koja se može dobiti pomoću različito orijentisanih solarnih modula u Nišu [50,54-58].

## Literatura

- [1] T. Pavlović, B. Čabrić, *Fizika i tehnika solarne energetike*, Građevinska knjiga, Beograd, prvo izdanje 1999; drugo izmenjeno i dopunjeno izdanje 2007, 342 str., ISBN 86-395-0505-5.
- [2] T. Pavlović, D. Milosavljević, D. Mirjanić, *Obnovljivi izvori energije*, Akademija nauka i umjetnosti Republike Srpske, Monografije- Knjiga XVII, Odjeljenje prirodno-matematičkih i tehničkih nauka- Knjiga 18, Banja Luka, 2013, 364 str, ISBN 978-99938-21-41-0.
- [3] D. Gajić, *Fizika Sunca*, Prosveta, Niš, 2005.
- [4] *Practical Handbook of Photovoltaics: Fundamentals and Applications*, Editors: T. Markvart, L. Castaner, Elsevier Science Ltd., 2003, ISBN 1856173909.
- [5] T. Markvart, L. Castaner, *Solar Cells*, Elsevier, 2005, pp.556. ISBN: 9781856174572
- [6] *Handbook of Photovoltaic Science and Engineering*, Editors: Antonio Luque, Steven Hegedus, John Wiley & Sons Ltd, 2002, ISBN 0-471-49196-9.
- [7] M. A. Green, S. R. Wenham, M. E. Watt, *Applied Photovoltaics (2nd Edition)*, Editors: Richard Corkish and Stuart R. Wenham, Earthscan Ltd., 2006, pp.335, ISBN-13: 978-1-84407-401-3
- [8] Zekai Sen, *Solar Energy Fundamentals and Modeling Techniques - Atmosphere, Environment, Climate Change and Renewable Energy*, Springer, 2008, ISBN 978-1-84800-133-6.
- [9] D. R. May, *Solar Radiation Practical Modeling for Renewable Energy Applications*, CRC Press, Taylor & Francis Group, 2013
- [10] Dj. Koruga, D. Vasiljević, J. Šakota, *Prostiranje zračenja kroz atmosferu, Osnove optike, optičkih pomagala i uređaja*, Handout 7 – 2012/2013
- [11] R. P. Wayne, *Chemistry of atmospheres*, Clarendon Press Oxford, 1985
- [12] C. Emiliani, *Planet Earth*, Cambridge University Press, 1992
- [13] T. Betti, *Testiranje fotonaponskih modula u realnim uvjetima*, magistarski rad, Sveučilište u Splitu, Fakultet Elektrotehnike, strojarstva i brodogradnje, Split, 2005
- [14] U. Pešović, I. Milanković, D. Jagodić, S. Randić, *Model intenziteta globalnog Sunčevog zračenja na horizontalnu površinu*, Infoteh-Jahorina Vol. 11, March 2012.
- [15] D. Mančić, Z. Petrušić, M. Radmanović, *Algoritam proračuna solarne geometrije kod rotirajućih sistema za optimalno praćenje pozicije Sunca*, Infoteh-Jahorina Vol. 6, Ref. A-9, pp. 40-44, Mart 2007.
- [16] <http://solardat.uoregon.edu/cgi-bin/SunChart.cgi>
- [17] <http://www.pveducation.org/pvcdrom/properties-sunlight/solar-radiation-tilted-surface>
- [18] [https://en.wikipedia.org/wiki/Diode#Shockley\\_diode\\_equation](https://en.wikipedia.org/wiki/Diode#Shockley_diode_equation)
- [19] <https://www.physicsforums.com/threads/the-ideality-factor-of-silicon-and-germanium.662587/>
- [20] <http://pveducation.org/pvcdrom/ideality-factor>
- [21] L. Broman, *Solar Engineering - A Condensed Course*, March 2006, Högskolan Dalarna

- [22] W. Zhou, H. Yang, Z. Fang, A novel model for photovoltaic array performance prediction, *Applied Energy*, 84 (2007), pp. 1187-1198
- [23] Guide To Interpreting I-V Curve Measurements of PV Arrays, Application Note PVA-600-1, Solmetric Corporation, 2010
- [24] Carr A.J., Pryor T.L., A comparison of the performance of different PV module types in temperate climates, *Solar Energy*, 76 (2004), pp.285–294.
- [25] C. Honsberg, S. Bowden, *Photovoltaics: Devices, Systems and Applications* PVCDROM 1.0, University of New South Wales, 1999.
- [26] K. Scharmer, J. Greif, *The European Solar Radiation Atlas, Vol. 1: Fundamentals and maps*, Les Presses de l'École des Mines 2000.
- [27] M. A. Green, *Solar Cells*, Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, 1982.
- [28] K. Scharmer, J. Greif: *The European Solar Radiation Atlas, Vol. 2: Database and exploitation software*, Les Presses de l'École des Mines 2000.
- [29] M. Pidwirny, *The Physical Environment: An Introduction to Physical Geography*, 2005.
- [30] Soteris A. Kalogirou, *Solar Energy Engineering - Processes and Systems* (Second Edition), Elsevier Academic Press, 2014, ISBN: 978-0-12-397270-5.
- [31] Makrides G, Zinsser B, Georghiou GE, Schubert M, Werner JH. Temperature behavior of different photovoltaic systems installed in Cyprus and Germany. *Solar Energy Materials and Solar Cells* 2009; 93:1095-1099.
- [32] Alonso Garcia MC, Balenzategui JL, Estimation of photovoltaic module yearly temperature and performance based on Nominal Operating Cell Temperature calculations. *Technical note, Renewable Energy* 2004; 29:1997-2010.
- [33] Markvart T. *Solar Electricity*. 2nd ed. Chichester: Wiley; 2000.
- [34] J. A. Duffie, W. A. Beckman, *Solar Engineering and Thermal Processes*, 2nd ed., John Wiley and Sons, New York, USA 1991.
- [35] King DL. Photovoltaic module and array performance characterization methods for all system operating conditions. In: *Proceedings of the NREL/SNL photovoltaic program review meeting*, Lakewood, CO, November 18–22; 1997: 1–22.
- [36] Skoplaki E, Palyvos JA. Operating temperature of photovoltaic modules: a survey of pertinent correlations. *Renewable Energy* 2009; 34:23-29.
- [37] Osterwald CR. Translation of device performance measurements to reference conditions. *Solar Cells* 1986;18: 269–279.
- [38] Fuentes M, Nofuentes G, Aguilera J, Talavera DL, Castro M. Application and validation of algebraic methods to predict the behaviour of crystalline silicon PV modules in Mediterranean climates. *Solar Energy* 2007; 81:1396–1408.
- [39] Marion B. A method for modelling the current–voltage curve of a PV module for outdoor conditions. *Progress in Photovoltaics: Research and Applications* 2002;10: 205–214.
- [40] Kroposki B, Marion W, King DL, Boyson WE, Kratochvil JA. Comparison of module performance characterization methods. In: *Proceedings of 28th IEEE Photovoltaic Specialists Conference*, September 16–22, 2000, Anchorage, AK, 1407–1411.
- [41] Almonacid F, Rus C, Perez-Higueras P, Hontoria L. Calculation of the energy provided by a PV generator. Comparative study: Conventional methods vs. artificial neural networks, *Energy* 2011;36: 375-384.

- [42] Marion B, Kroposki B, Emery K, del Cueto J, Myers D, Osterwald C, Validation of a Photovoltaic Module Energy Ratings Procedure at NREL, NREL/TP-520-26909 Technical Report, 1999, Golden, CO : National Renewable Energy Laboratory
- [43] Skoplaki E, Palyvos JA. On the temperature dependence of photovoltaic module electrical performance: a review of efficiency/power correlations. *Solar Energy* 2009; 83:614-624.
- [44] Kaldellis JK, Kapsali M, Kavadias KA. Temperature and wind speed impact on the efficiency of PV installations. Experience obtained from outdoor measurements in Greece. *Renewable Energy* 2014; 66: 612-624.
- [45] Singh GK. Solar power generation by PV (photovoltaic) technology: a review. *Energy* 2013; 53:1-13.
- [46] Evans DL, Florschuetz LW. Cost studies on terrestrial photovoltaic power systems with sunlight concentration. *Solar Energy* 1977; 19: 255–262.
- [47] Evans DL. Simplified method for predicting photovoltaic array output. *Solar Energy* 1981; 27: 555–560.
- [48] Notton G, Cristofari C, Mattei M, Poggi P. Modelling of a double-glass photovoltaic module using finite differences. *Applied Thermal Engineering* 2005; 25: 2854–2877.
- [49] Notton G, Lazaov V, Stoyanov L. Optimal sizing of a grid-connected PV system for various PV module technologies and inclinations, inverter efficiency characteristics and locations, *Renewable Energy*, 2010; 35: 541-554.
- [50] **Lana P, Tomislav P, Dragana M, Dragoljub M, Ivana R, Miodrag R. Electrical energy generation with differently oriented PV modules as façade elements, *Thermal Science*, 2015, doi:10.2298/TSCI150123157P**
- [51] **Lana P, Tomislav P, Dragana M. A practical field study of performances of solar modules at various positions in Serbia. *Thermal Science*, 2015, 19, Issue suppl. 2:511-523, doi:10.2298/TSCI140313081P**
- [52] **Lana S. Pantic, Tomislav M. Pavlovic, Dragana D. Milosavljevic, Ivana S. Radonjic, Miodrag K. Radovic, Galina Sazhko, The assessment of different models to predict solar module temperature, output power and efficiency for Nis, Serbia, *Energy* 109 (2016) pp. 38-48**
- [53] <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/solrad/index.htm>
- [54] [http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/about\\_pvgis/about\\_pvgis.htm](http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/about_pvgis/about_pvgis.htm)
- [55] <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/>
- [56] <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps4/pvest.php>
- [57] <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps4/MRcalc.php>
- [58] [http://www.cmsaf.eu/EN/Home/home\\_node.html](http://www.cmsaf.eu/EN/Home/home_node.html)



## **DRUGO POGLAVLJE**

**REZULTATI TEORIJSKE ANALIZE  
ENERGETSKE EFIKASNOSTI SOLARNIH  
MODULA U ZAVISNOSTI OD NJIHOVE  
GEOGRAFSKE ORIJENTACIJE I UGLA  
NAGIBA U NIŠU POMOĆU PVGIS-CMSAF  
PROGRAMA**

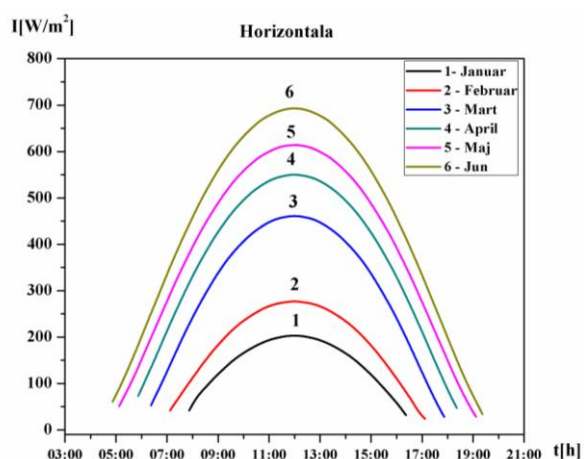


## 2.1. Rezultati izračunavanja intenziteta i energije globalnog Sunčevog zračenja koje dospeva na geografski različito orijentisane površine u Nišu, pomoću PVGIS-CMSAF programa

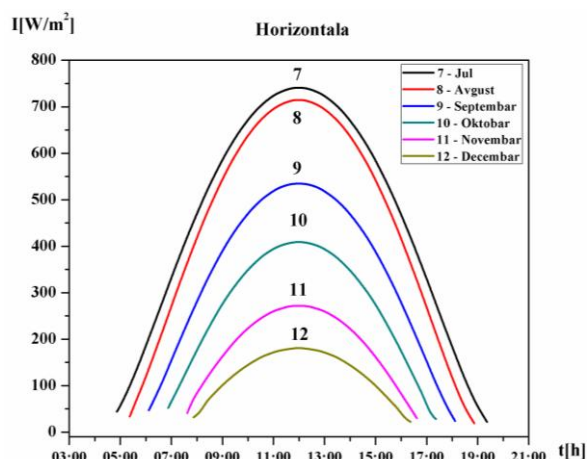
U daljem su dati rezultati izračunavanja promene srednje dnevne vrednosti intenziteta i energije globalnog Sunčevog zračenja koje dospeva na horizontalnu površinu, optimalno orijentisanu površinu (na površinu orijentisanu ka jugu pod uglom od  $32^\circ$ ) i na vertikalne površine orijentisane ka jugu, istoku i zapadu, pomoću PVGIS-CMSAF programa za Niš.

### 2.1.1. Srednje dnevne vrednosti intenziteta globalnog Sunčevog zračenja koje dospeva na horizontalnu površinu

Dnevna promena srednje dnevne vrednosti intenziteta globalnog Sunčevog zračenja koje dospeva na horizontalnu površinu u periodu od januara do juna data je na slici 2.1.



**Slika 2.1.** Dnevna promena srednje dnevne vrednosti intenziteta globalnog Sunčevog zračenja koje dospeva na horizontalnu površinu u periodu od januara do juna



**Slika 2.2.** Dnevna promena srednje dnevne vrednosti intenziteta globalnog Sunčevog zračenja koje dospeva na horizontalnu površinu u periodu od jula do decembra

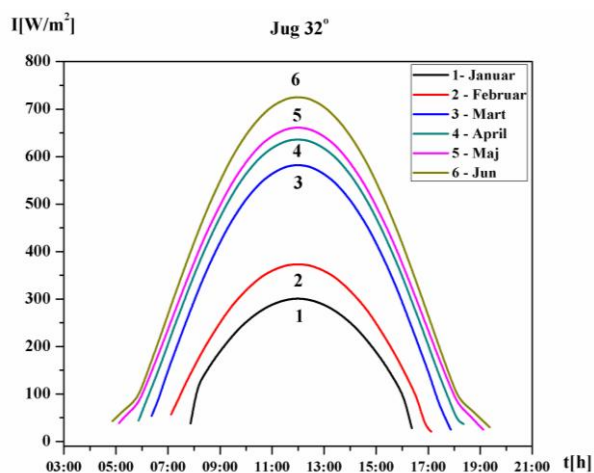
U periodu od januara do juna maksimalna vrednost srednjeg dnevnog intenziteta globalnog Sunčevog zračenja koje dospeva na horizontalnu površinu raste od  $203 \text{ W/m}^2$  za mesec januar do  $693 \text{ W/m}^2$  za mesec jun.

Dnevna promena srednje dnevne vrednosti intenziteta globalnog Sunčevog zračenja koje dospeva na horizontalnu površinu u periodu od jula do decembra data je na slici 2.2.

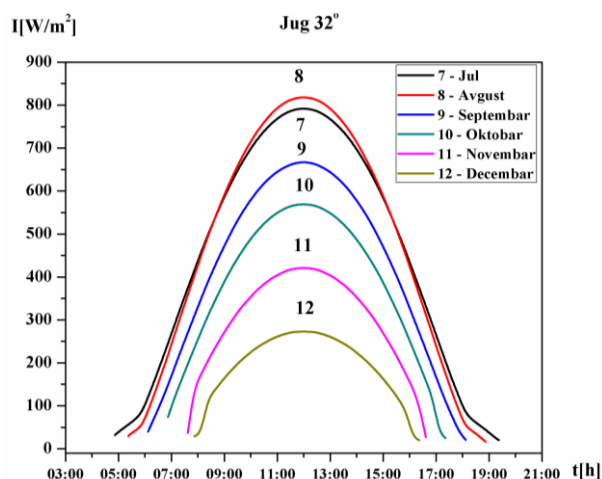
Na slici 2.2 se vidi se da u drugoj polovini godine maksimalna vrednost srednjeg dnevnog intenziteta globalnog Sunčevog zračenja koje dospeva na horizontalnu površinu opada od  $741 \text{ W/m}^2$  za mesec jul, do  $181 \text{ W/m}^2$  za mesec decembar.

### 2.1.2. Srednje dnevne vrednosti intenziteta globalnog Sunčevog zračenja koje dospeva na optimalno orijentisanu površinu

Dnevna promena srednje dnevne vrednosti intenziteta globalnog Sunčevog zračenja koje dospeva na optimalno orijentisanu površinu u periodu od januara do juna data je na slici 2.3.



Slika 2.3. Dnevna promena srednje dnevne vrednosti intenziteta globalnog Sunčevog zračenja koje dospeva na optimalno orijentisanu površinu u periodu od januara do juna



Slika 2.4. Dnevna promena srednje dnevne vrednosti intenziteta globalnog Sunčevog zračenja koje dospeva na optimalno orijentisanu površinu u periodu od jula do decembra

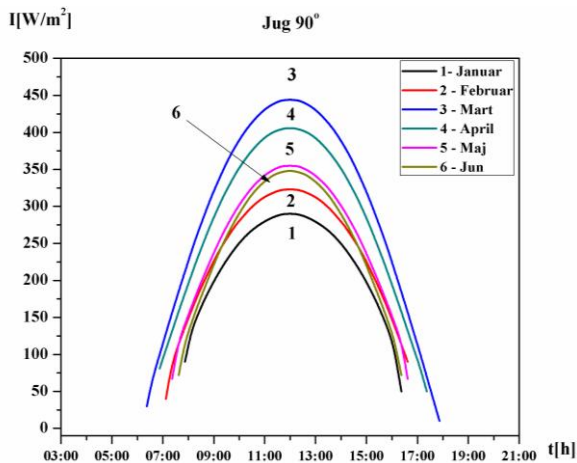
U periodu od januara do juna maksimalna vrednost srednjeg dnevnog intenziteta globalnog Sunčevog zračenja koje dospeva na optimalno orijentisanu površinu raste od  $301 \text{ W/m}^2$  za mesec januar, do  $725 \text{ W/m}^2$  za mesec jun. Na slici 2.3 vidi se da su vrednosti srednjeg dnevnog intenziteta Sunčevog zračenja koje dospeva na datu površinu u aprilu i maju bliske.

Dnevna promena srednje dnevne vrednosti intenziteta globalnog Sunčevog zračenja koje dospeva na optimalno orijentisanu površinu u periodu od jula do decembra data je na slici 2.4.

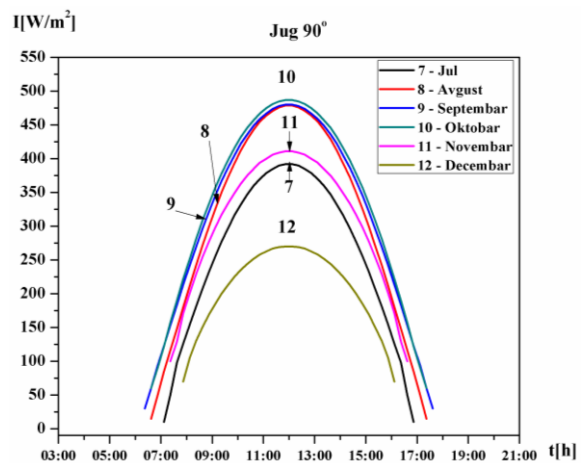
Na slici 2.4 vidi se da u avgustu na optimalno orijentisanu površinu dospeva najveća vrednost srednjeg dnevnog intenziteta globalnog Sunčevog zračenja od  $818 \text{ W/m}^2$ . Takođe, u julu i avgustu se vrednosti srednjeg dnevnog intenziteta globalnog Sunčevog zračenja koje dospeva na datu površinu vrlo malo razlikuju. U decembru najveća vrednost srednjeg dnevnog intenziteta globalnog Sunčevog zračenja iznosi  $273 \text{ W/m}^2$ .

### 2.1.3. Srednje dnevne vrednosti intenziteta globalnog Sunčevog zračenja koje dospeva na vertikalnu površinu orijentisanu ka jugu

Dnevna promena srednje dnevne vrednosti intenziteta globalnog Sunčevog zračenja koje dospeva na vertikalnu površinu orijentisanu ka jugu u periodu od januara do juna data je na slici 2.5.



**Slika 2.5.** Dnevna promena srednje dnevne vrednosti intenziteta globalnog Sunčevog zračenja koje dospeva na vertikalnu površinu orijentisanu ka jugu u periodu od januara do juna



**Slika 2.6.** Dnevna promena srednje dnevne vrednosti intenziteta globalnog Sunčevog zračenja koje dospeva na vertikalnu površinu orijentisanu ka jugu u periodu od jula do decembra

U januaru maksimalna vrednost srednjeg dnevnog intenziteta globalnog Sunčevog zračenja koje dospeva na vertikalnu površinu orijentisanu ka jugu iznosi  $290 \text{ W/m}^2$ , a maksimalna vrednost srednjeg dnevnog intenziteta globalnog Sunčevog zračenja koje dospeva na vertikalnu površinu orijentisanu ka jugu je u martu, i iznosi  $444 \text{ W/m}^2$ . U maju i junu su vrednosti srednjeg dnevnog intenziteta Sunčevog zračenja koje dospeva na datu površinu bliske ( $<350 \text{ W/m}^2$ ).

Dnevna promena srednje dnevne vrednosti intenziteta globalnog Sunčevog zračenja koje dospeva na vertikalnu površinu orijentisanu ka jugu u periodu od jula do decembra data je na slici 2.6.

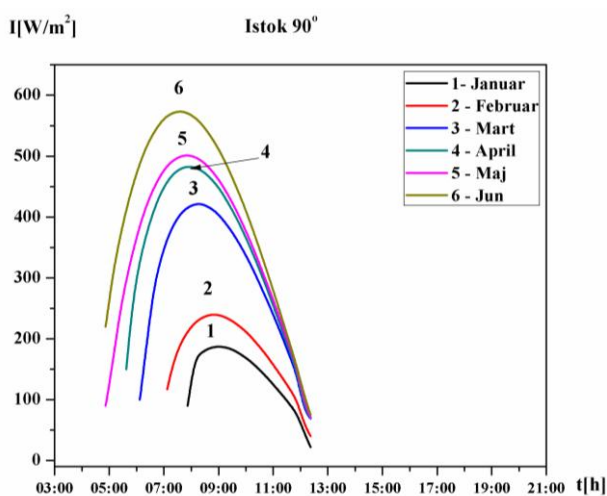
U periodu od jula do decembra, maksimalna vrednost srednjeg dnevnog intenziteta globalnog Sunčevog zračenja koje dospeva na vertikalnu površinu orijentisanu ka jugu je u oktobru i iznosi  $487 \text{ W/m}^2$ . Na slici 2.6 vidi se da se vrednosti srednjeg dnevnog intenziteta globalnog Sunčevog zračenja koje dospeva na datu površinu u avgustu, septembru i oktobru vrlo malo razlikuju. U decembru maksimalna vrednost srednjeg dnevnog intenziteta globalnog Sunčevog zračenja iznosi  $280 \text{ W/m}^2$ .

#### **2.1.4. Srednje dnevne vrednosti intenziteta globalnog Sunčevog zračenja koje dospeva na vertikalnu površinu orijentisanu ka istoku**

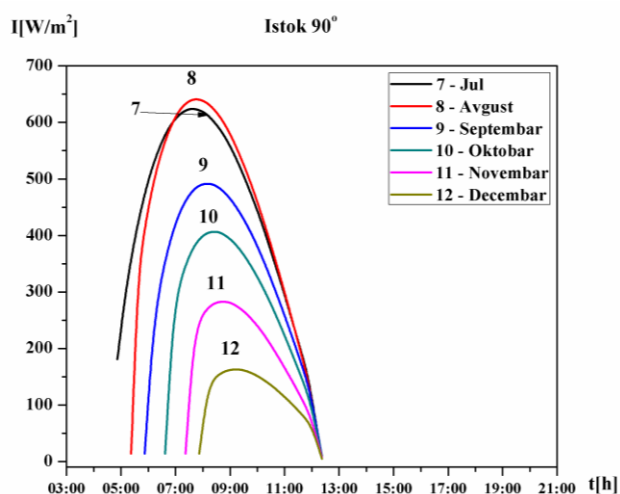
Dnevna promena srednje dnevne vrednosti intenziteta globalnog Sunčevog zračenja koje dospeva na vertikalnu površinu orijentisanu ka istoku u periodu od januara do juna data je na slici 2.7.

U periodu od januara do juna maksimalna vrednost srednjeg dnevnog intenziteta globalnog Sunčevog zračenja koje dospeva na vertikalnu površinu orijentisanu ka istoku raste od  $187 \text{ W/m}^2$  za mesec januar, do  $574 \text{ W/m}^2$  za mesec jun. Na slici 2.7 vidi se da u toku dana

maksimalne vrednosti srednjeg dnevnog intenziteta globalnog Sunčevog zračenja dospevaju na datu površinu između 7<sup>00</sup> i 9<sup>00</sup> časova ujutru u zavisnosti od meseca u godini.



**Slika 2.7.** Dnevna promena srednje dnevne vrednosti intenziteta globalnog Sunčevog zračenja koje dospeva na vertikalnu površinu orijentisanu ka istoku u periodu od januara do juna



**Slika 2.8.** Dnevna promena srednje dnevne vrednosti intenziteta globalnog Sunčevog zračenja koje dospeva na vertikalnu površinu orijentisanu ka istoku u periodu od jula do decembra

Dnevna promena srednje dnevne vrednosti intenziteta globalnog Sunčevog zračenja koje dospeva na vertikalnu površinu orijentisanu ka istoku u periodu od jula do decembra data je na slici 2.8.

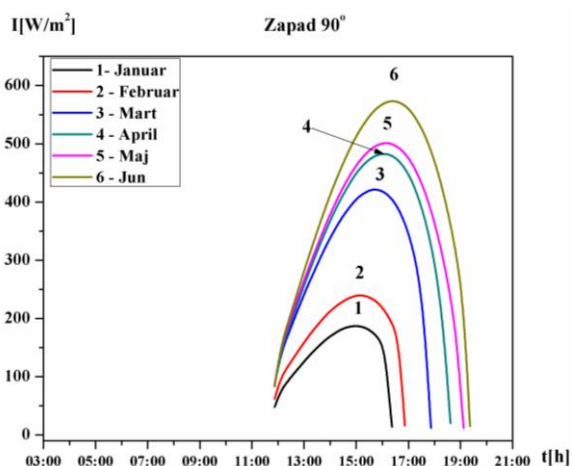
U drugoj polovini godine srednji dnevni intenzitet globalnog Sunčevog zračenja koje dospeva na vertikalnu površinu orijentisanu ka istoku opada od maksimalne vrednosti od 641 W/m<sup>2</sup> za mesec avgust, do vrednosti od 163 W/m<sup>2</sup> za decembar. Na slici 2.8 vidi se da su vrednosti srednjeg dnevnog intenziteta globalnog Sunčevog zračenja koje dospeva na datu površinu u julu i avgustu bliske.

### 2.1.5. Srednje dnevne vrednosti intenziteta globalnog Sunčevog zračenja koje dospeva na vertikalnu površinu orijentisanu ka zapadu

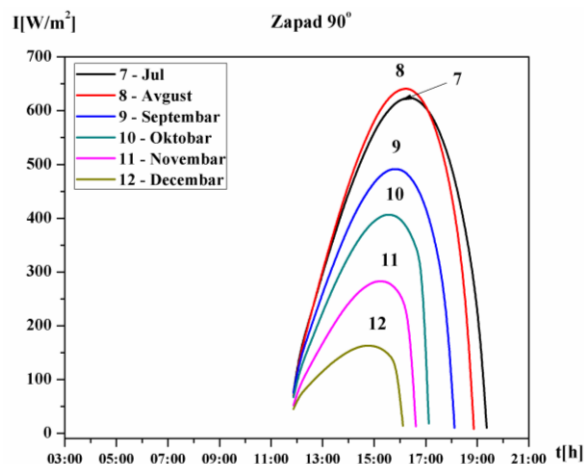
Dnevna promena srednje dnevne vrednosti intenziteta globalnog Sunčevog zračenja koje dospeva na vertikalnu površinu orijentisanu ka zapadu u periodu od januara do juna data je na slici 2.9.

U periodu od januara do juna, maksimalna vrednost srednjeg dnevnog intenziteta globalnog Sunčevog zračenja koje dospeva na vertikalnu površinu orijentisanu ka zapadu raste od 187 W/m<sup>2</sup> za mesec januar, do vrednosti od 574 W/m<sup>2</sup> za mesec jun.

Dnevna promena srednje dnevne vrednosti intenziteta globalnog Sunčevog zračenja koje dospeva na vertikalnu površinu orijentisanu ka zapadu u periodu od jula do decembra data je na slici 2.10.



**Slika 2.9.** Dnevna promena srednje dnevne vrednosti intenziteta globalnog Sunčevog zračenja koje dospeva na vertikalnu površinu orijentisanu ka zapadu u periodu od januara do juna



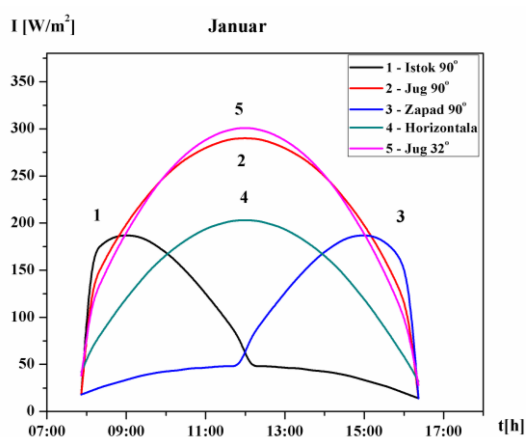
**Slika 2.10.** Dnevna promena srednje dnevne vrednosti intenziteta globalnog Sunčevog zračenja koje dospeva na vertikalnu površinu orijentisanu ka zapadu u periodu od jula do decembra

Na slici 2.10 vidi se da maksimalna vrednost srednjeg dnevnog intenziteta globalnog Sunčevog zračenja koje dospeva na vertikalnu površinu orijentisanu ka zapadu u avgustu iznosi  $641 \text{ W/m}^2$ , a u decembru iznosi  $163 \text{ W/m}^2$ .

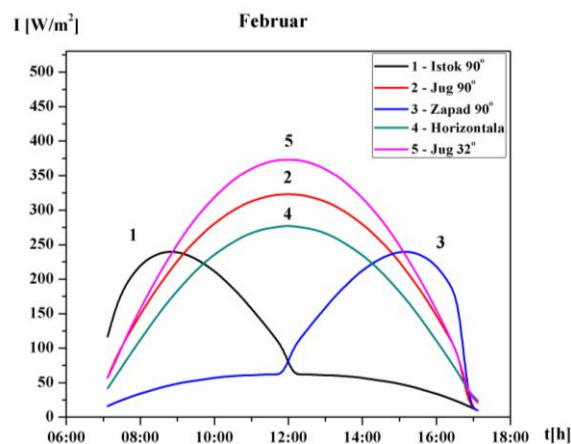
U toku dana vrednosti srednjeg dnevnog intenziteta globalnog Sunčevog zračenja koje dospeva na vertikalnu površinu orijentisanu ka zapadu dostižu maksimum između  $15^{00}$  i  $16^{00}$  časova popodne, u zavisnosti od meseca u godini.

### 2.1.6. Srednje dnevne vrednosti intenziteta globalnog Sunčevog zračenja koje u toku dana istovremeno dospeva na pet različito orijentisanih površina

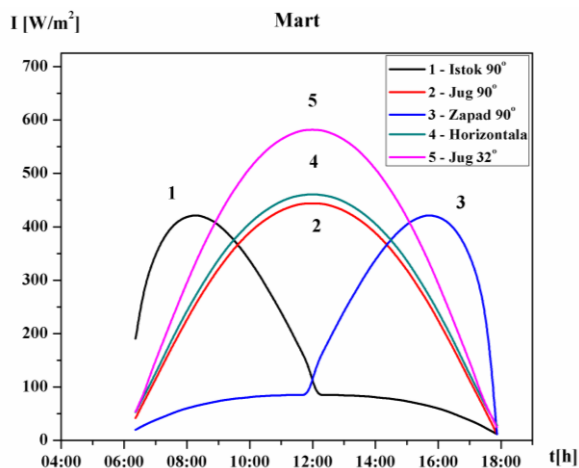
Dnevna promena srednje dnevne vrednosti intenziteta globalnog Sunčevog zračenja koje istovremeno dospeva na pet različito orijentisanih površina, u periodu od januara do juna, data je na slikama 2.11-2.16.



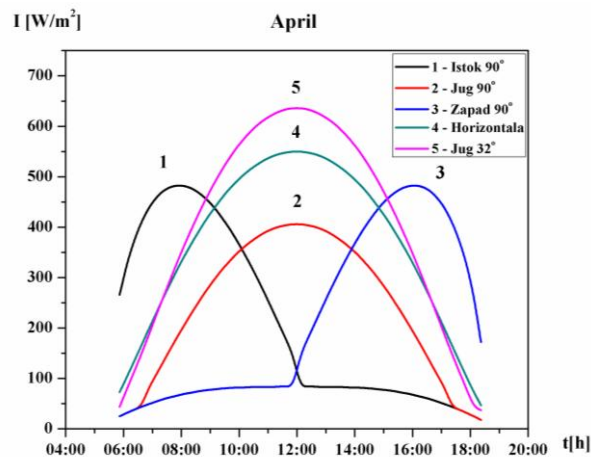
**Slika 2.11.** Dnevna promena srednje dnevne vrednosti intenziteta globalnog Sunčevog zračenja za mesec januar, za različito orijentisane površine



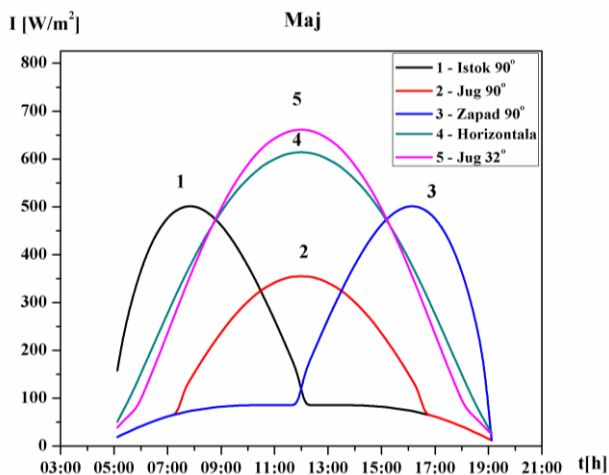
**Slika 2.12.** Dnevna promena srednje dnevne vrednosti intenziteta globalnog Sunčevog zračenja, za mesec februar, za različito orijentisane površine



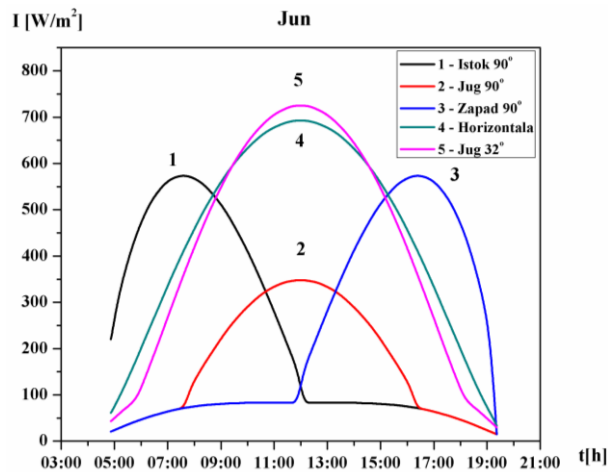
**Slika 2.13.** Dnevna promena srednje dnevne vrednosti intenziteta globalnog Sunčevog zračenja za mesec mart, za različito orijentisane površine



**Slika 2.14.** Dnevna promena srednje dnevne vrednosti intenziteta globalnog Sunčevog zračenja za mesec april, za različito orijentisane površine



**Slika 2.15.** Dnevna promena srednje dnevne vrednosti intenziteta globalnog Sunčevog zračenja za mesec maj, za različito orijentisane površine



**Slika 2.16.** Dnevna promena srednje dnevne vrednosti intenziteta globalnog Sunčevog zračenja za mesec jun, za različito orijentisane površine

Na slici 2.11 se vidi da su u januaru najveće vrednosti srednjeg dnevnog intenziteta globalnog Sunčevog zračenja na optimalno orijentisanoj površini ( $301 \text{ W/m}^2$ ), kao i na vertikalnoj površini orijentisanoj ka jugu ( $290 \text{ W/m}^2$ ).

U februaru su maksimalne vrednosti srednjeg dnevnog intenziteta globalnog Sunčevog zračenja dospevaju na optimalno orijentisanu površinu i vertikalnu površinu orijentisanu ka jugu i iznose  $373 \text{ W/m}^2$  i  $323 \text{ W/m}^2$ , respektivno.

U martu maksimalna vrednost srednjeg dnevnog intenziteta globalnog Sunčevog zračenja dospeva na optimalno orijentisanu površinu  $582 \text{ W/m}^2$ . Vrednosti srednjeg dnevnog intenziteta globalnog Sunčevog zračenja koje u martu dospeva na horizontalnu površinu i na vertikalnu površinu orijentisanu ka jugu iznose  $461 \text{ W/m}^2$  i  $444 \text{ W/m}^2$ , respektivno.

U aprilu maksimalna vrednost srednjeg dnevnog intenziteta prosečnog globalnog Sunčevog zračenja dospeva na optimalno orijentisanu površinu i iznosi  $636 \text{ W/m}^2$ .

U maju maksimalne vrednosti srednjeg dnevnog intenziteta globalnog Sunčevog zračenja su  $661 \text{ W/m}^2$  za optimalno orijentisanu površinu i  $614 \text{ W/m}^2$  za horizontalnu površinu.



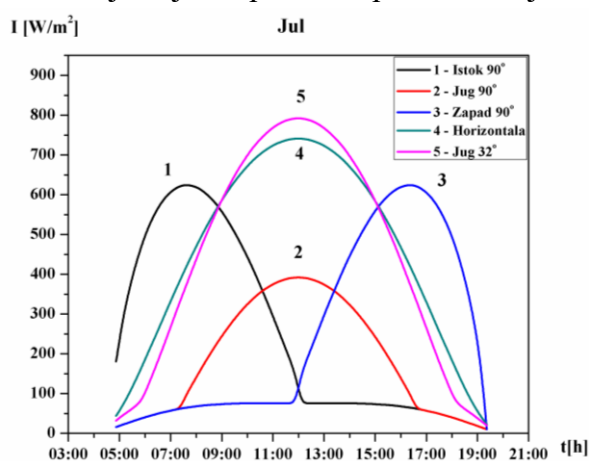
Na slici 2.16 se može videti da su u junu maksimalne vrednosti srednjeg dnevnog intenziteta globalnog Sunčevog zračenja koje dospeva na optimalno orijentisanu i horizontalnu površinu bliske i iznose  $725 \text{ W/m}^2$  i  $693 \text{ W/m}^2$ .

Dnevna promena srednje dnevne vrednosti intenziteta globalnog Sunčevog zračenja koje istovremeno dospeva na pet različito orijentisanih površina, u periodu od jula do decembra, data je na slikama 2.17-2.22.

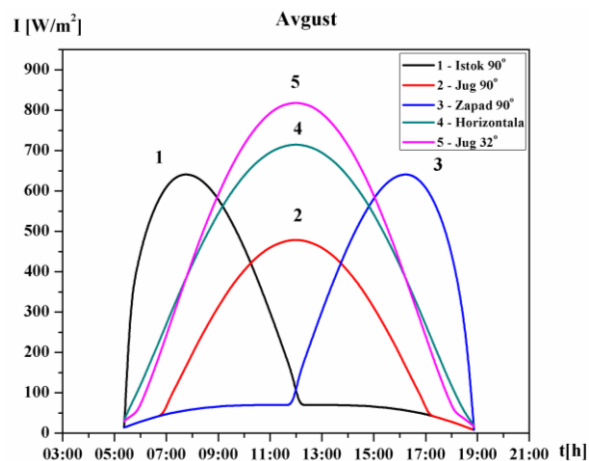
U julu na optimalno orijentisanu površinu dospeva maksimalna vrednost srednjeg dnevnog intenziteta globalnog Sunčevog zračenja od  $792 \text{ W/m}^2$ . Istovremeno, maksimalna vrednost srednjeg dnevnog intenziteta globalnog Sunčevog zračenja koje dospeva na vertikalnu površinu orijentisanu ka jugu iznosi  $392 \text{ W/m}^2$ .

U avgustu maksimalna vrednost srednjeg dnevnog intenziteta globalnog Sunčevog zračenja koje dospeva na optimalno orijentisanu površinu iznosi  $792 \text{ W/m}^2$ , dok na horizontalnu površinu dospeva intenzitet od  $715 \text{ W/m}^2$ .

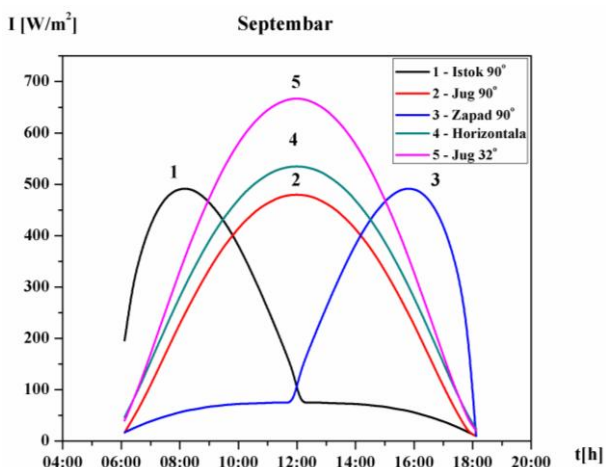
U septembru maksimalna vrednost srednjeg dnevnog intenziteta globalnog Sunčevog zračenja koje dospeva na optimalno orijentisanu površinu iznosi  $667 \text{ W/m}^2$ .



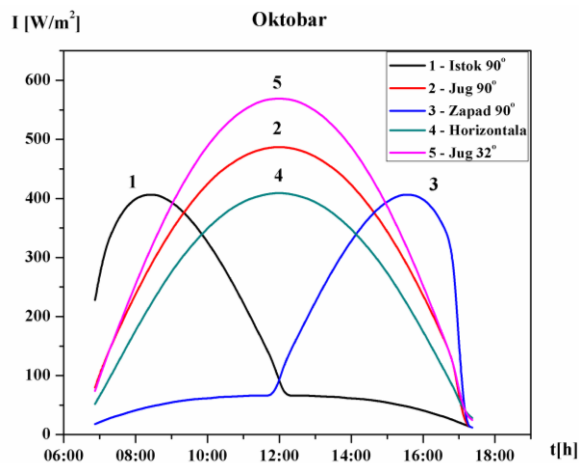
**Slika 2.17.** Dnevna promena srednje dnevne vrednosti intenziteta globalnog Sunčevog zračenja za mesec jula, za različito orijentisane površine



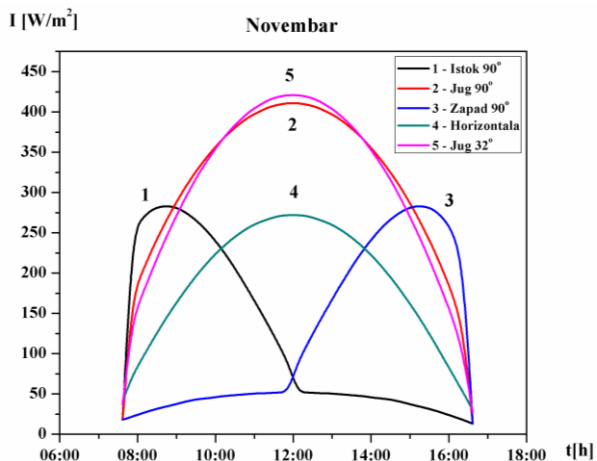
**Slika 2.18.** Dnevna promena srednje dnevne vrednosti intenziteta globalnog Sunčevog zračenja za mesec avgust, za različito orijentisane površine



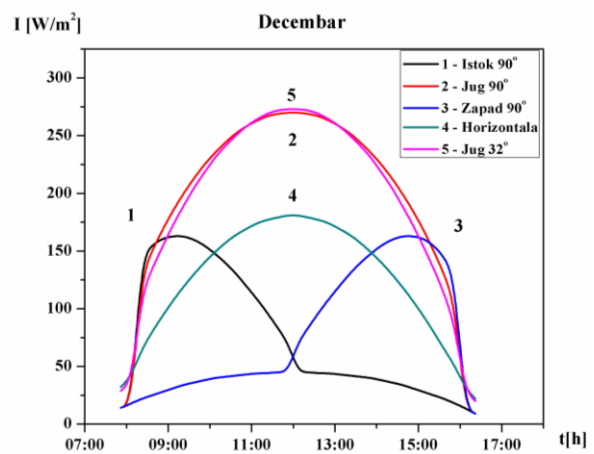
**Slika 2.19.** Dnevna promena srednje dnevne vrednosti intenziteta globalnog Sunčevog zračenja za mesec septembar, za različito orijentisane površine



**Slika 2.20.** Dnevna promena srednje dnevne vrednosti intenziteta globalnog Sunčevog zračenja za mesec oktobar, za različito orijentisane površine



**Slika 2.21.** Dnevna promena srednje dnevne vrednosti intenziteta globalnog Sunčevog zračenja za mesec novembar, za različito orijentisane površine



**Slika 2.22.** Dnevna promena srednje dnevne vrednosti intenziteta globalnog Sunčevog zračenja za mesec decembar, za različito orijentisane površine

U oktobru maksimalna vrednost srednjeg dnevnog intenziteta globalnog Sunčevog zračenja koje dospeva na optimalno orijentisanu površinu iznosi  $569 \text{ W/m}^2$ , a za vertikalnu površinu orijentisanu ka jugu maksimalna vrednost srednjeg dnevnog intenziteta globalnog Sunčevog zračenja iznosi  $487 \text{ W/m}^2$ .

U novembru maksimalna vrednost srednjeg dnevnog intenziteta globalnog Sunčevog zračenja koje dospeva na optimalno orijentisanu površinu iznosi  $421 \text{ W/m}^2$ , istovremeno maksimalna vrednost srednjeg dnevnog intenziteta globalnog Sunčevog zračenja koje dospeva na horizontalnu površinu iznosi  $272 \text{ W/m}^2$ .

U decembru vrednosti srednjeg dnevnog intenziteta globalnog Sunčevog zračenja koje dospeva na optimalno orijentisanu i vertikalnu površinu orijentisanu ka jugu su bliske i iznose  $273 \text{ W/m}^2$  i  $270 \text{ W/m}^2$ , respektivno.

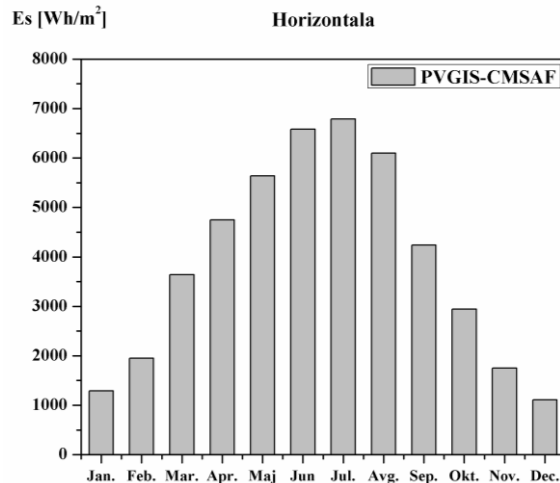
### 2.1.7. Srednja dnevne energija globalnog Sunčevog zračenja

Na osnovu srednjih dnevnih vrednosti intenziteta globalnog Sunčevog zračenja, izračunate su srednje dnevne vrednosti energije globalnog Sunčevog zračenja koja dospeva na pet različito orijentisanih površina (vertikalne površine orijentisane ka istoku, jugu i zapadu, horizontalnu površinu i optimalno orijentisanu površinu) za svaki mesec u godini.

#### *Horizontalna površina*

Srednja dnevna energija globalnog Sunčevog zračenja koja dospeva na horizontalnu površinu u toku godine data je na slici 2.23.

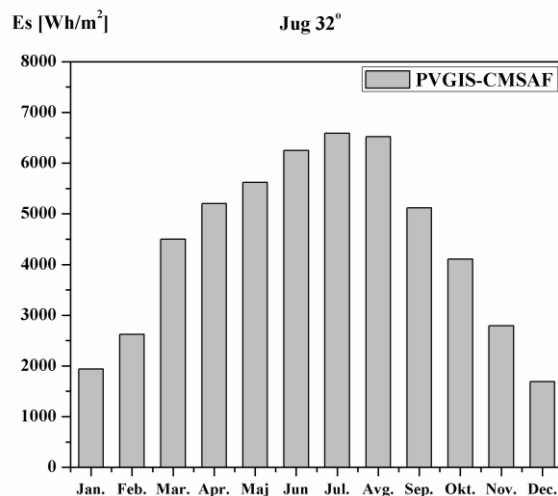
Od januara do jula raste srednja dnevna vrednost energije Sunčevog zračenja koja dospeva na horizontalnu površinu, zatim vrednost energije opada sve do decembra. Maksimalna srednja dnevna vrednost energije Sunčevog zračenja koje dospeva na horizontalnu površinu je u julu i iznosi  $6790 \text{ Wh/m}^2$ . To je ujedno i najveća srednja dnevna vrednost energije Sunčevog zračenja koja dospeva na neku od pet izabranih površina.



**Slika 2.23.** Srednja dnevna energija globalnog Sunčevog zračenja koja dospeva na horizontalnu površinu u toku godine

### *Optimalno orijentisana površina*

Srednja dnevna energija globalnog Sunčevog zračenja koja dospeva na optimalno orijentisanu površinu u toku godine data je na slici 2.24.

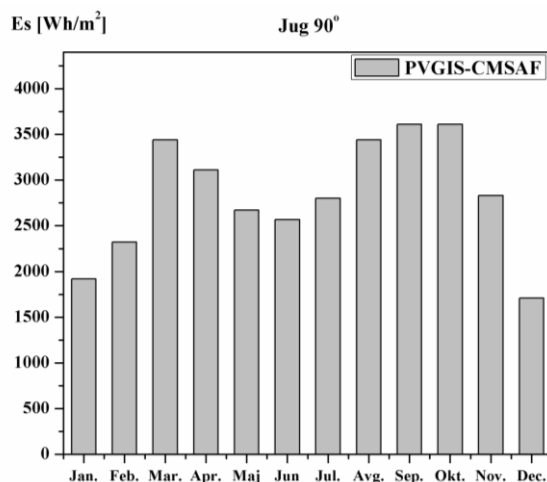


**Slika 2.24.** Srednja dnevna energija globalnog Sunčevog zračenja koja dospeva na optimalno orijentisanu površinu u toku godine

Na optimalno orijentisanu površinu najviše srednje dnevne energije Sunčevog zračenja dospe u julu u iznosu od  $6590 \text{ Wh/m}^2$ . Od aprila do kraja septembra srednje dnevne vrednosti energije Sunčevog zračenja koja dospeva na optimalno orijentisanu površinu su veće od  $5000 \text{ Wh/m}^2$ .

### *Vertikalna površina orijentisana ka jugu*

Srednja dnevna energija globalnog Sunčevog zračenja koja dospeva na vertikalnu površinu orijentisanu ka jugu u toku godine data je na slici 2.25.

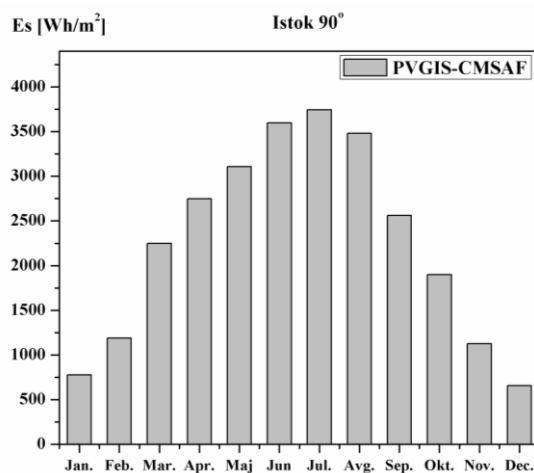


**Slika 2.25.** Srednja dnevna energija globalnog Sunčevog zračenja koja dospeva na vertikalnu površinu orijentisanu ka jugu u toku godine

Na slici 2.25 se mogu uočiti dva maksimuma srednje dnevne vrednosti energije globalnog Sunčevog zračenja koja dospeva na vertikalnu površinu orijentisanu ka jugu, jedan u martu ( $3440 \text{ Wh/m}^2$ ), a drugi u septembru i oktobru ( $3610 \text{ Wh/m}^2$ ). Najmanje vrednosti srednje dnevne energije Sunčevog zračenja dospevaju na datu površinu u januaru i decembru.

*Vertikalna površina orijentisana ka istoku*

Srednja dnevna energija globalnog Sunčevog zračenja koja dospeva na vertikalnu površinu orijentisanu ka istoku u toku godine data je na slici 2.26.

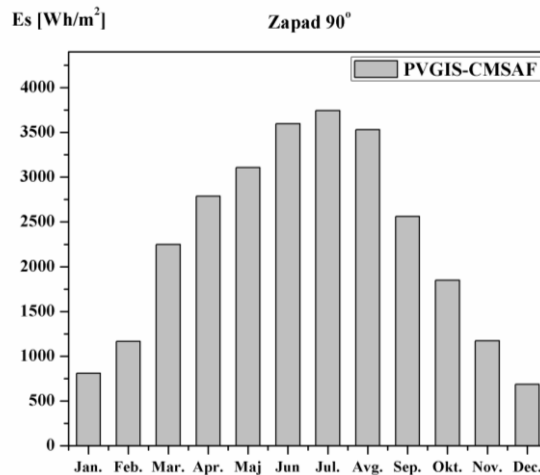


**Slika 2.26.** Srednja dnevna energija globalnog Sunčevog zračenja koja dospeva na vertikalnu površinu orijentisanu ka istoku u toku godine

Na vertikalnu površinu orijentisanu ka istoku najviše srednje dnevne vrednosti energije globalnog Sunčevog zračenja dospe u julu  $3744,5 \text{ Wh/m}^2$ , a najmanje u decembru  $658,3 \text{ Wh/m}^2$ .

### *Vertikalna površina orijentisana ka zapadu*

Srednja dnevna vrednost energije globalnog Sunčevog zračenja koja dospeva na vertikalnu površinu orijentisanu ka zapadu u toku godine data je na slici 2.27.



**Slika 2.27.** Srednja dnevna vrednost energije globalnog Sunčevog zračenja koja dospeva na vertikalnu površinu orijentisanu ka zapadu u toku godine

Srednje dnevne vrednosti energije globalnog Sunčevog zračenja koja dospeva na vertikalne površine orijentisane ka istoku i zapadu su približno iste i menjaju se na isti način u toku godine. U januaru, aprilu, avgustu, novembru i decembru srednje dnevne vrednosti energije Sunčevog zračenja koja dospeva na vertikalnu površinu orijentisanu ka zapadu su nešto veće u odnosu na vrednosti srednje dnevne energije koja dospeva na vertikalnu površinu orijentisanu ka istoku. U februaru i oktobru više energije globalnog Sunčevog zračenja dospeva na vertikalnu površinu orijentisanu ka istoku nego na vertikalnu površinu orijentisanu ka zapadu [1-6].

## **2.2. Rezultati izračunavanja intenziteta i energije Sunčevog zračenja u toku potpuno vedrog dana pomoću PVGIS-CMSAF programa**

U daljem su dati rezultati izračunavanja promena intenziteta i energije Sunčevog zračenja koje u toku potpuno vedrog dana dospeva na horizontalnu površinu, optimalno orijentisanu površinu (na površinu orijentisanu ka jugu pod uglom od 32°) i na vertikalne površine orijentisane ka jugu, istoku i zapadu, pomoću PVGIS-CMSAF programa za Niš.

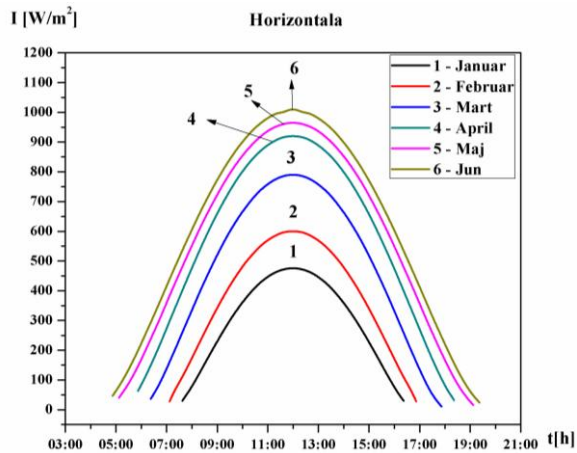
### **2.2.1. Intenzitet Sunčevog zračenja koje u toku potpuno vedrog dana dospeva na horizontalnu površinu**

Dnevna promena intenziteta Sunčevog zračenja koje u toku potpuno vedrog dana dospeva na horizontalnu površinu u periodu od januara do juna data je na slici 2.28.

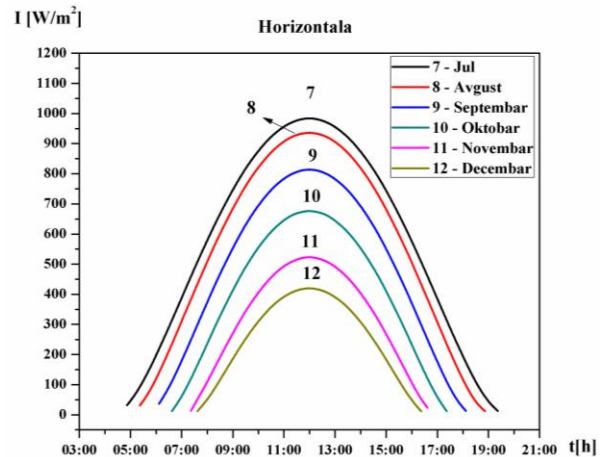
U toku potpuno vedrog dana maksimalne vrednosti intenziteta Sunčevog zračenja koje dospevaju na horizontalnu površinu odgovaraju sunčevom podnevu. Na slici 2.28 vidi

se da maksimalna vrednost intenziteta Sunčevog zračenja koje dospeva na horizontalnu površinu raste od  $476 \text{ W/m}^2$  za mesec januar do  $1010 \text{ W/m}^2$  za mesec jun.

Dnevna promena intenziteta Sunčevog zračenja koje u toku potpuno vedrog dana dospeva na horizontalnu površinu u periodu od jula do decembra data je na slici 2.29.



**Slika 2.28.** Dnevna promena intenziteta Sunčevog zračenja koje u toku potpuno vedrog dana dospeva na horizontalnu površinu u periodu od januara do juna



**Slika 2.29.** Dnevna promena intenziteta Sunčevog zračenja koje u toku potpuno vedrog dana dospeva na horizontalnu površinu u periodu od jula do decembra

Maksimalna vrednost intenziteta Sunčevog zračenja koje u toku potpuno vedrog dana dospeva na horizontalnu površinu opada od  $984 \text{ W/m}^2$  za mesec jul do  $420 \text{ W/m}^2$  za mesec decembar.

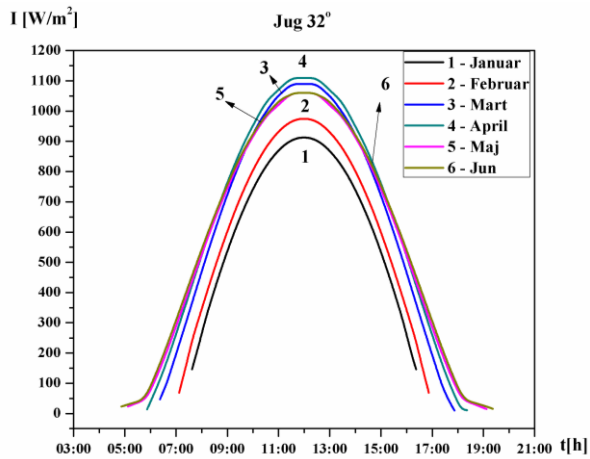
U letnjim mesecima su najveće vrednosti intenziteta Sunčevog zračenja koje u toku potpuno vedrog dana dospeva na horizontalnu površinu, a u zimskim mesecima su najmanje vrednosti intenziteta Sunčevog zračenja.

### 2.2.2. Intenzitet Sunčevog zračenja koje u toku potpuno vedrog dana dospeva na optimalno orijentisanu površinu

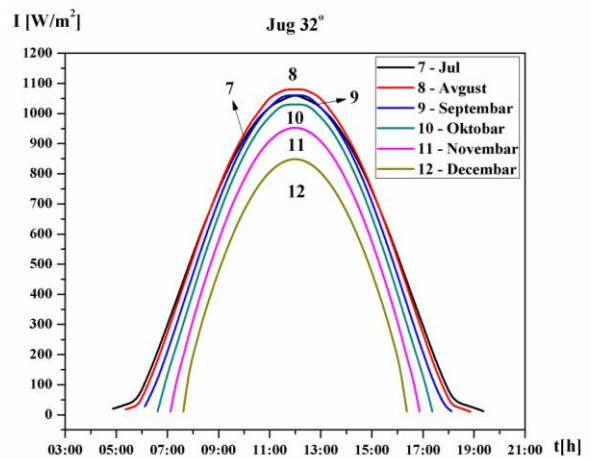
Dnevna promena intenziteta Sunčevog zračenja koje u toku vedrog dana dospeva na optimalno orijentisanu površinu u periodu od januara do juna data je na slici 2.30.

U toku potpuno vedrog dana maksimalne vrednosti intenziteta Sunčevog zračenja koje dospeva na optimalno orijentisanu površinu odgovaraju sunčevom podnevu. Maksimalna vrednost intenziteta Sunčevog zračenja koje u toku potpuno vedrog dana dospeva na optimalno orijentisanu površinu raste od  $913 \text{ W/m}^2$  za mesec januar do  $1110 \text{ W/m}^2$  za mesec april, a zatim opada do  $1060 \text{ W/m}^2$  za mesec jun.

Dnevna promena intenziteta Sunčevog zračenja koje u toku potpuno vedrog dana dospeva na optimalno orijentisanu površinu u periodu od jula do decembra data je na slici 2.31.



**Slika 2.30.** Dnevna promena intenziteta Sunčevog zračenja koje u toku potpuno vedrog dana dospeva na optimalno orijentisanu površinu u periodu od januara do juna



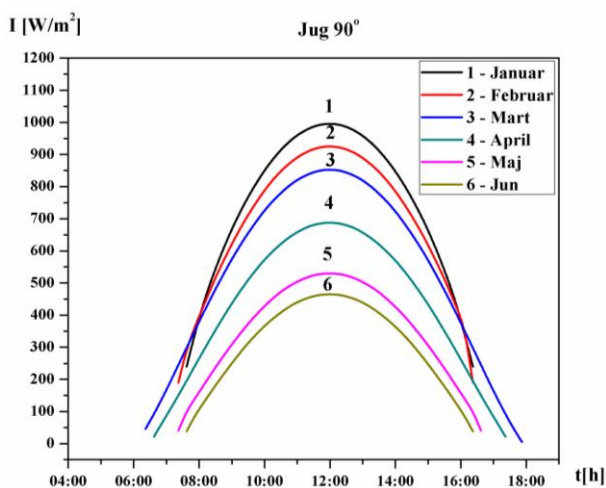
**Slika 2.31.** Dnevna promena intenziteta Sunčevog zračenja koje u toku potpuno vedrog dana dospeva na optimalno orijentisanu površinu u periodu od jula do decembra

Maksimalna vrednost intenziteta Sunčevog zračenja koje u toku potpuno vedrog dana dospeva na optimalno orijentisanu površinu opada od  $1080 \text{ W/m}^2$  za mesec avgust do  $849 \text{ W/m}^2$  za mesec decembar.

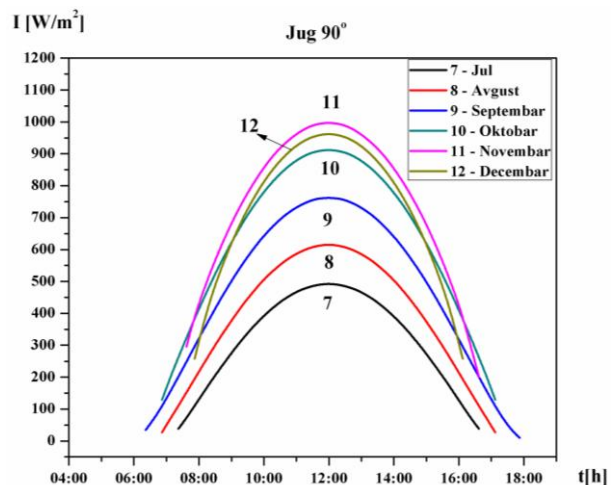
U periodu od marta do oktobra vrednosti intenziteta sučevog zračenja koje u toku potpuno vedrog dana dospeva na optimalno orijentisanu površinu su iznad  $1000 \text{ W/m}^2$ .

### 2.2.3. Intenzitet Sunčevog zračenja koje u toku potpuno vedrog dana dospeva na vertikalnu površinu orijentisanu ka jugu

Dnevna promena intenziteta Sunčevog zračenja koje u toku potpuno vedrog dana dospeva na vertikalnu površinu orijentisanu ka jugu u periodu od januara do juna data je na slici 2.32.



**Slika 2.32.** Dnevna promena intenziteta Sunčevog zračenja koje u toku potpuno vedrog dana dospeva na vertikalnu površinu orijentisanu ka jugu u periodu od januara do juna



**Slika 2.33.** Dnevna promena intenziteta Sunčevog zračenja koje u toku potpuno vedrog dana dospeva na vertikalnu površinu orijentisanu ka jugu u periodu od jula do decembra

U toku potpuno vedrog dana maksimalne vrednosti intenziteta Sunčevog zračenja koje dospeva na vertikalnu površinu orijentisanu ka jugu odgovaraju sunčevom podnevu. Maksimalna vrednost intenziteta Sunčevog zračenja koje u toku potpuno vedrog dana dospeva na vertikalnu površinu orijentisanu ka jugu opada od  $996 \text{ W/m}^2$  za mesec januar do  $465 \text{ W/m}^2$  za mesec jun.

Dnevna promena intenziteta Sunčevog zračenja koje u toku potpuno vedrog dana dospeva na vertikalnu površinu orijentisanu ka jugu u periodu od jula do decembra data je na slici 2.33.

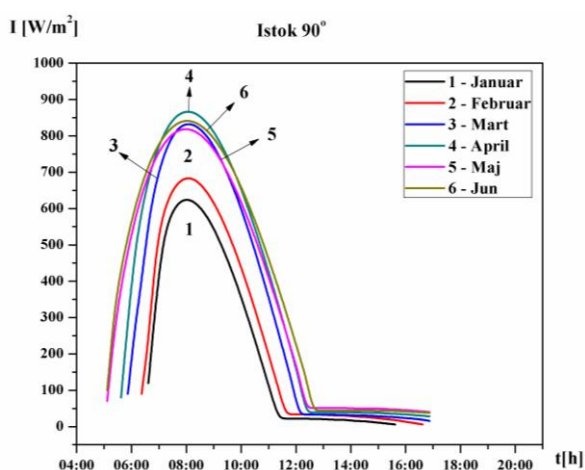
Maksimalna vrednost intenziteta Sunčevog zračenja koje u toku potpuno vedrog dana dospeva na vertikalnu površinu orijentisanu ka jugu raste od  $492 \text{ W/m}^2$  za mesec jul do  $997 \text{ W/m}^2$  za mesec novembar.

Maksimalne vrednosti intenziteta Sunčevog zračenja koje u toku potpuno vedrog dana dospeva na vertikalnu površinu orijentisanu ka jugu su u januaru i novembru.

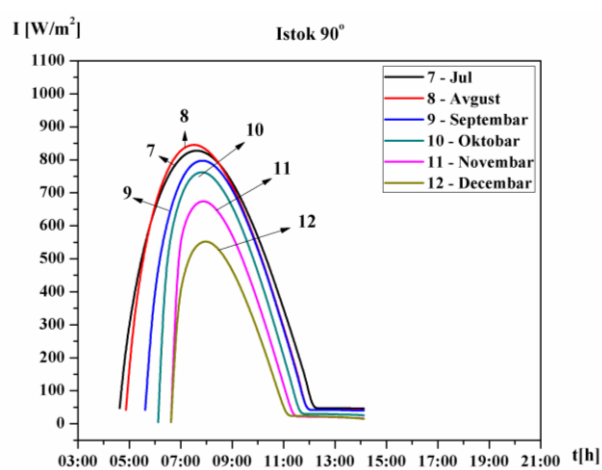
#### 2.2.4. Intenzitet Sunčevog zračenja koje u toku potpuno vedrog dana dospeva na vertikalnu površinu orijentisanu ka istoku

Dnevna promena intenziteta Sunčevog zračenja koje u toku potpuno vedrog dana dospeva na vertikalnu površinu orijentisanu ka istoku u periodu od januara do juna data je na slici 2.34.

U toku potpuno vedrog dana maksimalne vrednosti intenziteta Sunčevog zračenja koje dospeva na vertikalnu površinu orijentisanu ka istoku su između  $7^{00}$  i  $9^{00}$  časova ujutru u zavisnosti od meseca u godini. Maksimalna vrednost intenziteta Sunčevog zračenja koje u toku potpuno vedrog dana dospeva na vertikalnu površinu orijentisanu ka istoku raste od  $625 \text{ W/m}^2$  za mesec januar do  $868 \text{ W/m}^2$  za mesec april, a zatim opada do vrednosti od  $819 \text{ W/m}^2$  za mesec maj. U periodu od marta do juna vrednosti intenziteta Sunčevog zračenja su iznad  $800 \text{ W/m}^2$ .



**Slika 2.34.** Dnevna promena intenziteta Sunčevog zračenja koje u toku potpuno vedrog dana dospeva na vertikalnu površinu orijentisanu ka istoku u periodu od januara do juna



**Slika 2.35.** Dnevna promena intenziteta Sunčevog zračenja koje u toku potpuno vedrog dana dospeva na vertikalnu površinu orijentisanu ka istoku u periodu od jula do decembra



Dnevna promena intenziteta Sunčevog zračenja koje u toku potpuno vedrog dana dospeva na vertikalnu površinu orijentisanu ka istoku u periodu od jula do decembra data je na slici 2.35.

Intenzitet Sunčevog zračenja koje u toku potpuno vedrog dana dospeva na vertikalnu površinu orijentisanu ka istoku opada od maksimalne vrednosti od  $846 \text{ W/m}^2$  u avgustu do  $538 \text{ W/m}^2$  u decembru.

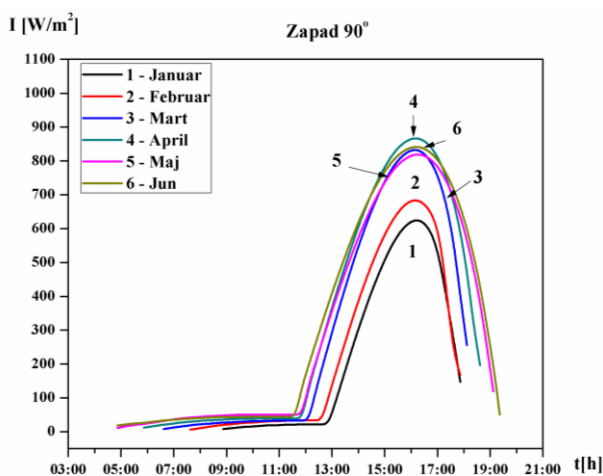
Najveće vrednosti intenziteta Sunčevog zračenja koje u toku potpuno vedrog dana dospeva na vertikalnu površinu orijentisanu ka istoku su u letnjim mesecima, a najmanje u zimskim mesecima.

### 2.2.5. Intenzitet Sunčevog zračenja koje u toku potpuno vedrog dana dospeva na vertikalnu površinu orijentisanu ka zapadu

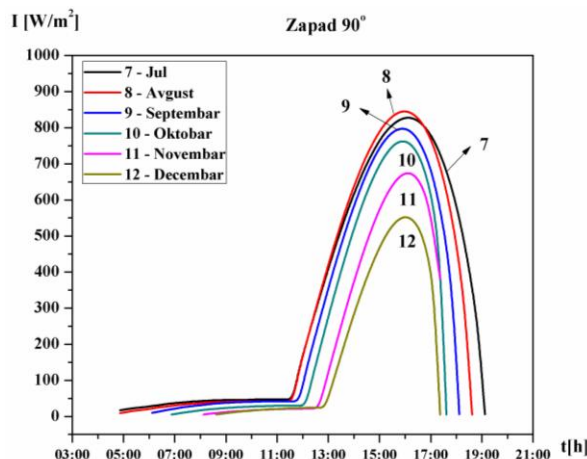
Dnevna promena intenziteta Sunčevog zračenja koje u toku potpuno vedrog dana dospeva na vertikalnu površinu orijentisanu ka zapadu u periodu od januara do juna data je na slici 2.36.

U toku potpuno vedrog dana vrednosti intenziteta Sunčevog zračenja koje dospeva na vertikalnu površinu orijentisanu ka zapadu dostižu maksimum između  $15^{00}$  i  $16^{00}$  časova po podne, u zavisnosti od meseca u godini. Maksimalna vrednost intenziteta Sunčevog zračenja koje u toku potpuno vedrog dana dospeva na vertikalnu površinu orijentisanu ka zapadu raste od  $625 \text{ W/m}^2$  za mesec januar do  $868 \text{ W/m}^2$  za mesec april. U periodu od marta do juna vrednosti intenziteta Sunčevog zračenja su iznad  $800 \text{ W/m}^2$ .

Dnevna promena intenziteta Sunčevog zračenja koje u toku potpuno vedrog dana dospeva na vertikalnu površinu orijentisanu ka zapadu u periodu od jula do decembra data je na slici 2.37.



**Slika 2.36.** Dnevna promena intenziteta Sunčevog zračenja koje u toku potpuno vedrog dana dospeva na vertikalnu površinu orijentisanu ka zapadu u periodu od januara do juna



**Slika 2.37.** Dnevna promena intenziteta Sunčevog zračenja koje u toku potpuno vedrog dana dospeva na vertikalnu površinu orijentisanu ka zapadu u periodu od jula do decembra

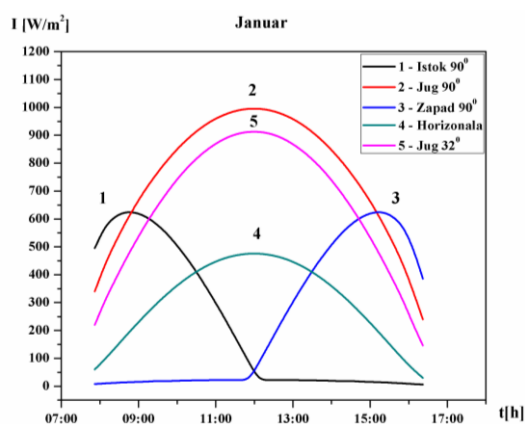
Intenzitet Sunčevog zračenja koje u toku potpuno vedrog dana dospeva na vertikalnu površinu orijentisanu ka zapadu opada od maksimalne vrednosti od  $846 \text{ W/m}^2$  u avgustu, do  $538 \text{ W/m}^2$  u decembru.

Najveće vrednosti intenziteta Sunčevog zračenja koje u toku potpuno vedrog dana dospeva na vertikalnu površinu orijentisanu ka zapadu su u letnjim mesecima, a najmanje u zimskim mesecima.

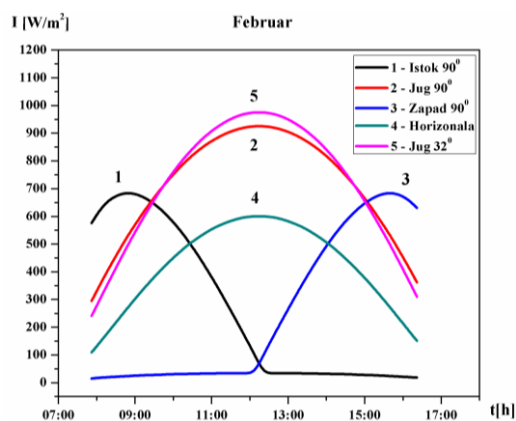
Vrednosti intenziteta Sunčevog zračenja koje u toku godine dospeva na vertikalne površine orijentisane ka istoku i zapadu su iste.

## 2.2.6. Intenzitet Sunčevog zračenja koje u toku potpuno vedrog dana istovremeno dospeva na pet različito orijentisanih površina

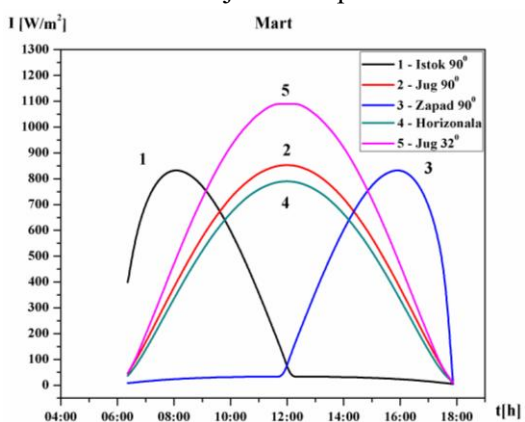
Dnevna promena intenziteta Sunčevog zračenja koje u toku potpuno vedrog dana istovremeno dospeva na pet različito orijentisanih površina u periodu od januara do juna data je na slikama 2.38-2.43.



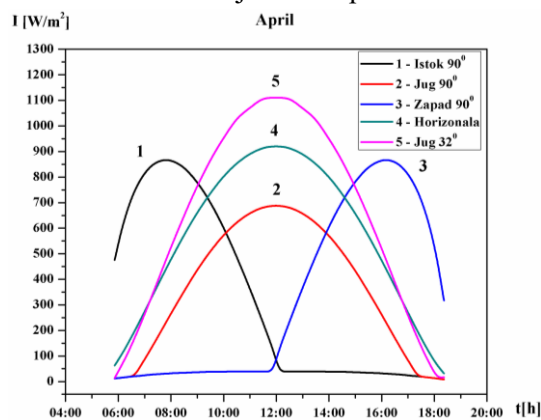
Slika 2.38. Dnevna promena intenziteta Sunčevog zračenja za potpuno vedar dan u januaru, za različito orijentisane površine



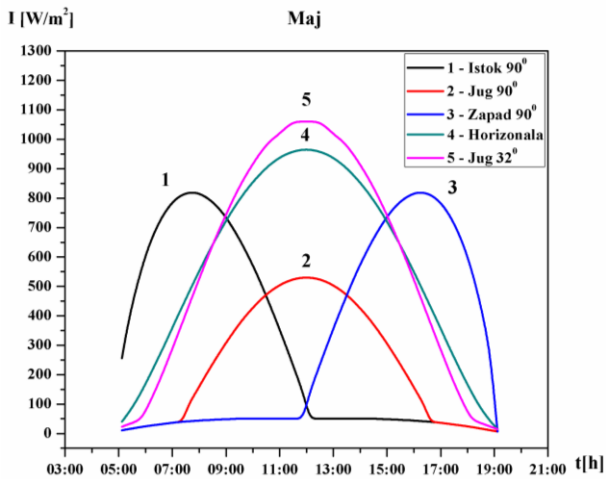
Slika 2.39. Dnevna promena intenziteta Sunčevog zračenja za potpuno vedar dan u februaru, za različito orijentisane površine



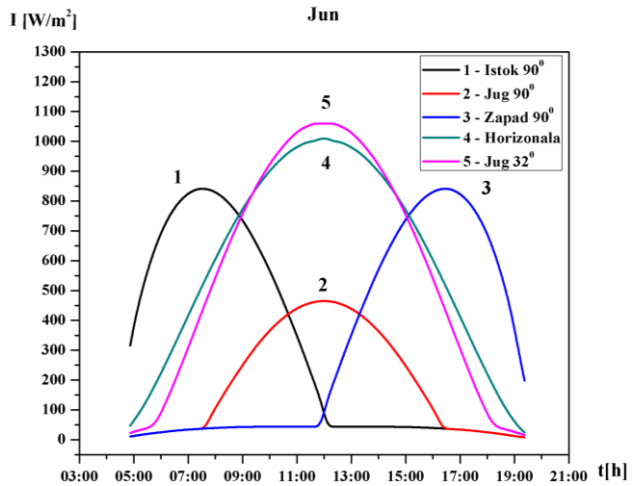
Slika 2.40. Dnevna promena intenziteta Sunčevog zračenja za potpuno vedar dan u martu, za različito orijentisane površine



Slika 2.41. Dnevna promena intenziteta Sunčevog zračenja za potpuno vedar dan u aprilu, za različito orijentisane površine



**Slika 2.42.** Dnevna promena intenziteta Sunčevog zračenja za potpuno vedar dan u maju, za različito orijentisane površine



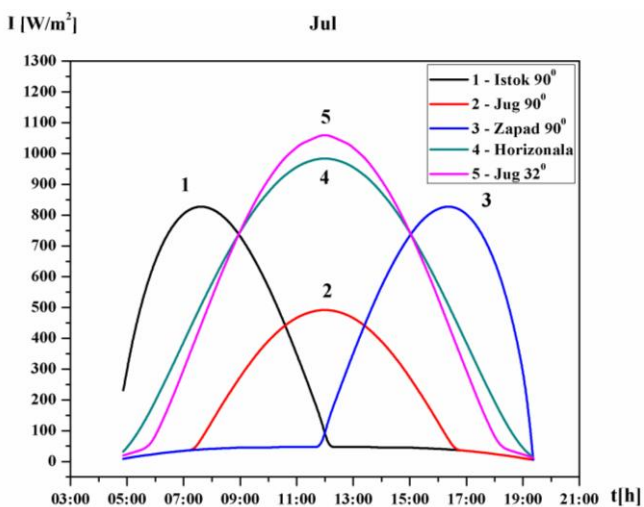
**Slika 2.43.** Dnevna promena intenziteta Sunčevog zračenja za potpuno vedar dan u junu, za različito orijentisane površine

U januaru najveća vrednost intenziteta Sunčevog zračenja dospeva na vertikalnu površinu orijentisanu ka jugu, a zatim na optimalno orijentisanu površinu.

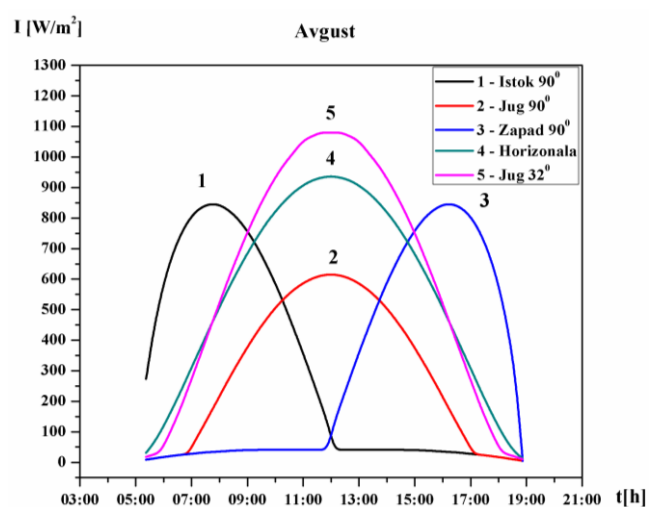
U periodu od februara do juna maksimalna vrednost intenziteta Sunčevog zračenja dospeva na optimalno orijentisanu površinu.

U januaru, februaru i martu najmanje vrednosti intenziteta Sunčevog zračenja dospevaju na horizontalnu površinu, a u periodu od aprila do juna najmanje vrednosti intenziteta dospevaju na vertikalnu površinu orijentisanu ka jugu.

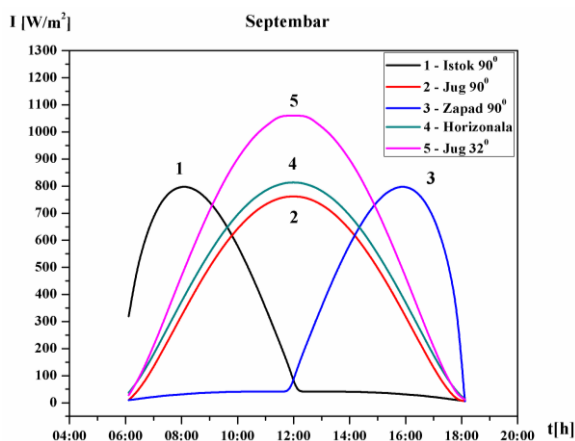
Dnevna promena intenziteta Sunčevog zračenja koje u toku potpuno vedrog dana istovremeno dospeva na pet različito orijentisanih površina u periodu od jula do decembra data je na slikama 2.44-2.49.



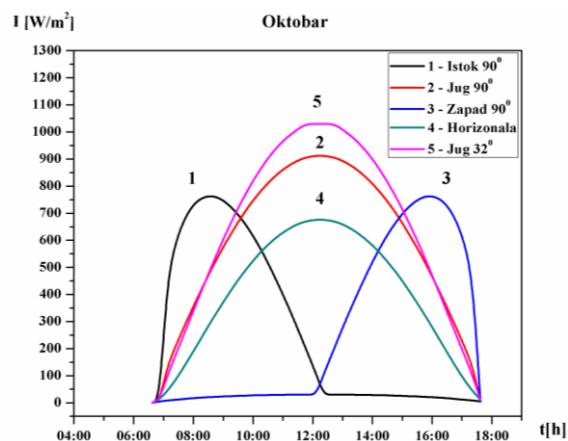
**Slika 2.44.** Dnevna promena intenziteta Sunčevog zračenja za potpuno vedar dan u julu, za različito orijentisane površine



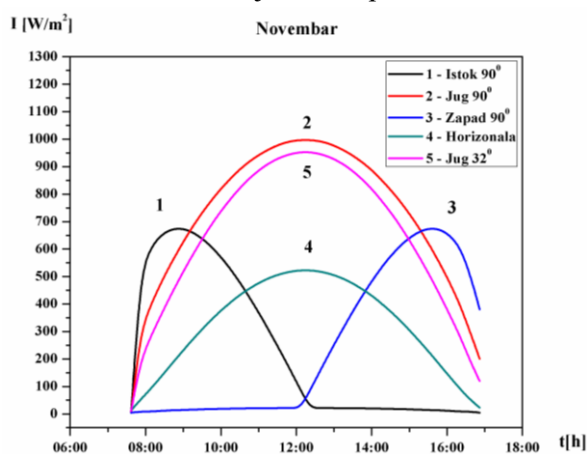
**Slika 2.45.** Dnevna promena intenziteta Sunčevog zračenja za potpuno vedar dan u avgustu, za različito orijentisane površine



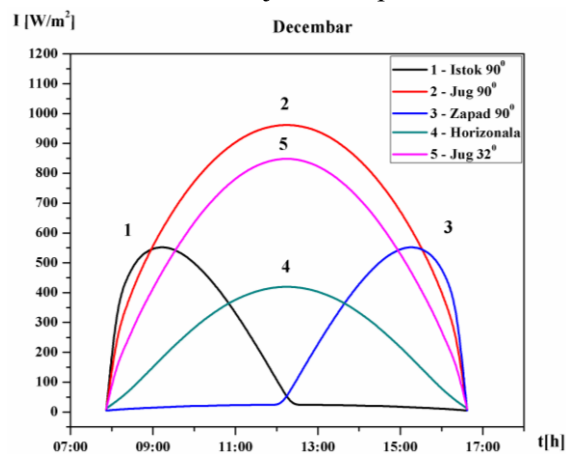
**Slika 2.46.** Dnevna promena intenziteta Sunčevog zračenja za potpuno vedar dan u septembru, za različito orijentisane površine



**Slika 2.47.** Dnevna promena intenziteta Sunčevog zračenja za potpuno vedar dan u oktobru, za različito orijentisane površine



**Slika 2.48.** Dnevna promena intenziteta Sunčevog zračenja za potpuno vedar dan u novembru, za različito orijentisane površine



**Slika 2.49.** Dnevna promena intenziteta Sunčevog zračenja za potpuno vedar dan u decembru, za različito orijentisane površine

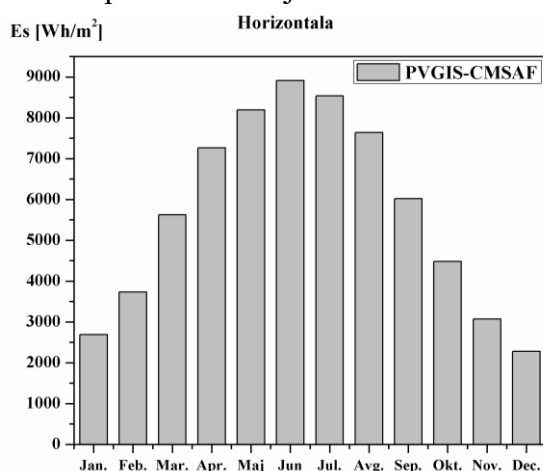
U periodu od jula do oktobra najveće vrednosti intenziteta Sunčevog zračenja dospevaju na optimalno orijentisanu površinu, a u novembru i decembru najveće vrednosti intenziteta Sunčevog zračenja dospevaju na vertikalnu površinu orijentisanu ka jugu. U julu, avgustu i septembru najmanje vrednosti intenziteta Sunčevog zračenja dospevaju na vertikalnu površinu orijentisanu ka jugu, a u periodu od oktobra do decembra najmanje vrednosti intenziteta dospevaju na horizontalnu površinu [1-6].

### 2.2.7. Energija Sunčevog zračenja za potpuno vedar dan

Na osnovu dnevne promene intenziteta Sunčevog zračenja za potpuno vedar dan izračunate su vrednosti energije Sunčevog zračenja koje u toku potpuno vedrog dana dospevaju na pet različito orijentisanih površina (vertikalne površine orijentisane ka istoku, jugu i zapadu, horizontalnu površinu i optimalno orijentisanu površinu), za svaki mesec u godini.

### Horizontalna površina

Energija Sunčevog zračenja koje u toku potpuno vedrog dana u svakom mesecu u godini dospeva na horizontalnu površinu data je na slici 2.50.

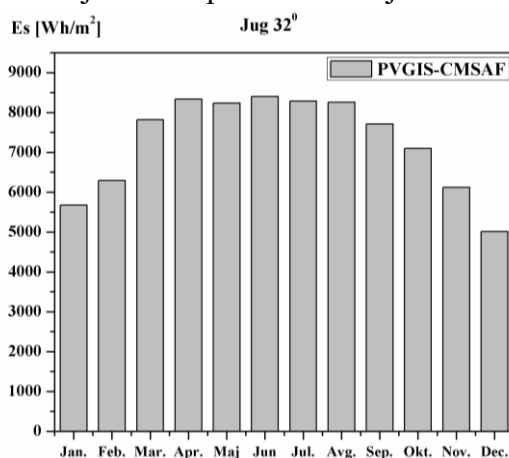


**Slika 2.50.** Energija Sunčevog zračenja koje u toku potpuno vedrog dana u svakom mesecu u godini dospeva na horizontalnu površinu

Od januara do juna raste vrednost energije Sunčevog zračenja koje, u toku potpuno vedrog dana, dospeva na horizontalu površinu, a zatim vrednost energije opada sve do decembra. Maksimalna vrednost energije Sunčevog zračenja koje u toku potpuno vedrog dana dospeva na horizontalnu površinu u junu iznosi  $8907 \text{ Wh/m}^2$ . Ovo je ujedno i najveća vrednost energije Sunčevog zračenja koje dospeva na neku od pet izabranih površina. U periodu od aprila do jula vrednosti energije Sunčevog zračenja koje dospeva na horizontalu površinu su veće od  $8907 \text{ Wh/m}^2$ .

### Optimalno orijentisana površina

Energija Sunčevog zračenja koje u toku potpuno vedrog dana u svakom mesecu u godini dospeva na optimalno orijentisanu površinu data je na slici 2.51.

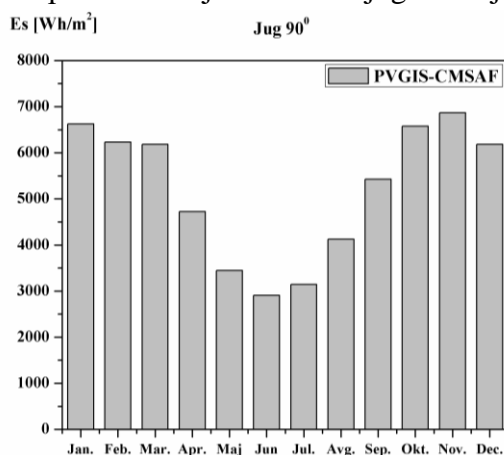


**Slika 2.51.** Energija Sunčevog zračenja koje u toku potpuno vedrog dana u svakom mesecu u godini dospeva na optimalno orijentisanu površinu

Na optimalno orijentisanu površinu najviše energije Sunčevog zračenja, u toku potpuno vedrog dana, dospeva u junu u iznosu od 8401 Wh/m<sup>2</sup>, a najmanje u decembru u iznosu od 5012 Wh/m<sup>2</sup>. Od aprila do kraja avgusta vrednosti energije Sunčevog zračenja koje, u toku potpuno vedrog dana, dospeva na optimalno orijentisanu površinu su veće od 8000 Wh/m<sup>2</sup>.

#### *Vertikalna površina orijentisana ka jugu*

Energija Sunčevog zračenja koje u toku potpuno vedrog dana u svakom mesecu u godini dospeva na vertikalnu površinu orijentisanu ka jugu data je na slici 2.52.

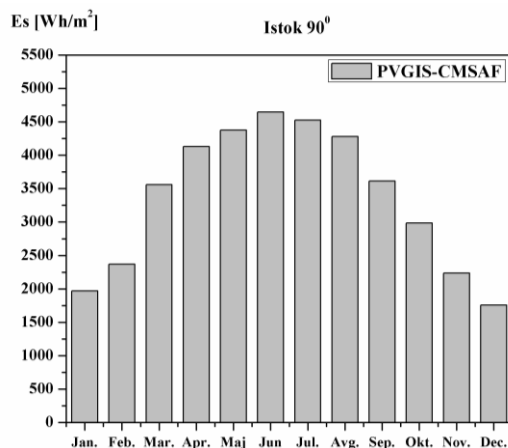


**Slika 2.52.** Energija Sunčevog zračenja koje u toku potpuno vedrog dana u svakom mesecu u godini dospeva na vertikalnu površinu orijentisanu ka jugu

Na slici 2.52 se mogu uočiti dva maksimuma energije Sunčevog zračenja koje, u toku potpuno vedrog dana, dospeva na vertikalnu površinu orijentisanu ka jugu, jedan u januaru (6624 Wh/m<sup>2</sup>), a drugi u novembru (6866 Wh/m<sup>2</sup>). Najmanje energije Sunčevog zračenja u toku potpuno vedrog dana, dospeva na datu površinu u junu (2907 Wh/m<sup>2</sup>).

#### *Vertikalna površina orijentisana ka istoku*

Energija Sunčevog zračenja koje u toku potpuno vedrog dana dospeva na vertikalnu površinu orijentisanu ka istoku, za svaki mesecu u godini, data je na slici 2.53.

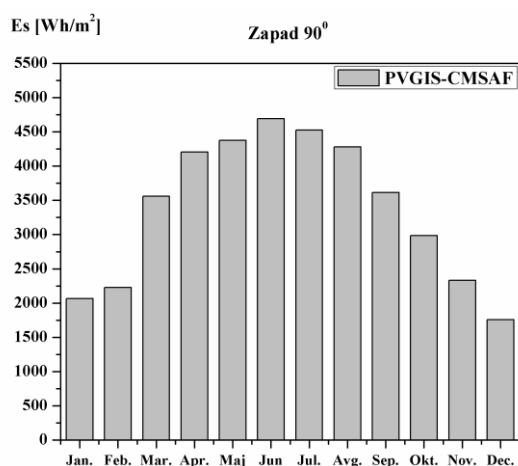


**Slika 2.53.** Energija Sunčevog zračenja koje u toku potpuno vedrog dana u svakom mesecu u godini dospeva na vertikalnu površinu orijentisanu ka istoku

Na vertikalnu površinu orijentisanu ka istoku najviše energije Sunčevog zračenja, u toku potpuno vedrog dana, dospeva u junu  $4646 \text{ Wh/m}^2$ , a najmanje u decembru  $1756,5 \text{ Wh/m}^2$ .

#### *Vertikalna površina orijentisana ka zapadu*

Energija Sunčevog zračenja koje u toku potpuno vedrog dana u svakom mesecu u godini dospeva na vertikalnu površinu orijentisanu ka zapadu data je na slici 2.54.



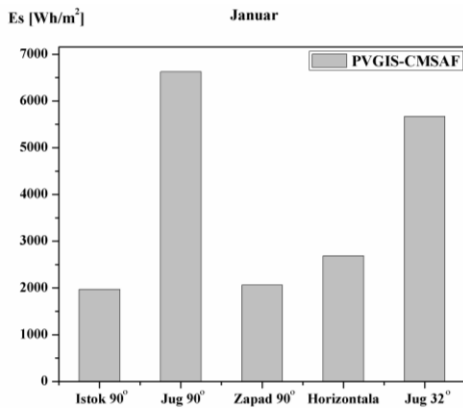
**Slika 2.54.** Energija Sunčevog zračenja koje u toku potpuno vedrog dana u svakom mesecu u godini dospeva na vertikalnu površinu orijentisanu ka zapadu

Na vertikalnu površinu orijentisanu ka zapadu najviše energije Sunčevog zračenja u toku potpuno vedrog dana dospeva u junu  $4693,8 \text{ Wh/m}^2$ , a najmanje u decembru  $1756,5 \text{ Wh/m}^2$ .

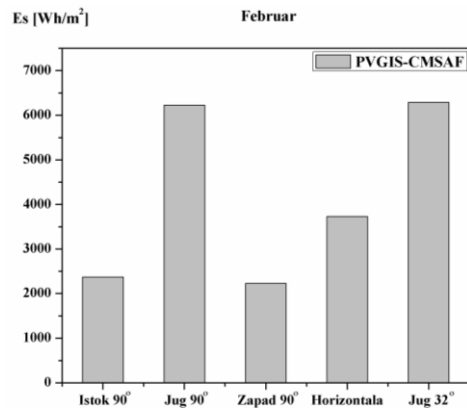
Vrednosti energije Sunčevog zračenja koje u toku potpuno vedrog dana dospeva na vertikalne površine orijentisane ka istoku i zapadu su približno iste i menjaju se na isti način u toku godine. U januaru, aprilu, junu i novembru vrednosti energije Sunčevog zračenja koje u toku potpuno vedrog dana dospeva na vertikalnu površinu orijentisanu ka zapadu neznatno su veće u odnosu na vrednosti energije Sunčevog zračenja koje dospeva na vertikalnu površinu orijentisanu ka istoku. U februaru malo više energije Sunčevog zračenja u toku potpuno vedrog dana dospeva na vertikalnu površinu orijentisanu ka istoku nego na vertikalnu površinu orijentisanu ka zapadu.

### **2.2.8. Energija Sunčevog zračenja koje u toku potpuno vedrog dana dospeva na pet različito orijentisanih površina**

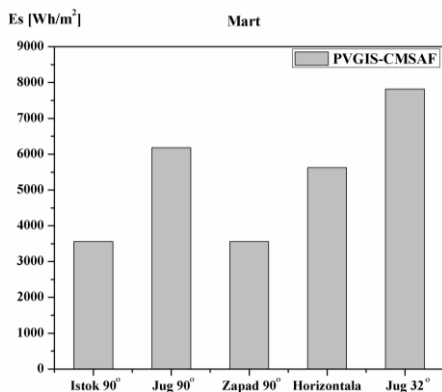
Energija Sunčevog zračenja koje u toku potpuno vedrog dana dospeva na pet različito orijentisanih površina u periodu od januara do juna data je na slikama 2.55-2.60.



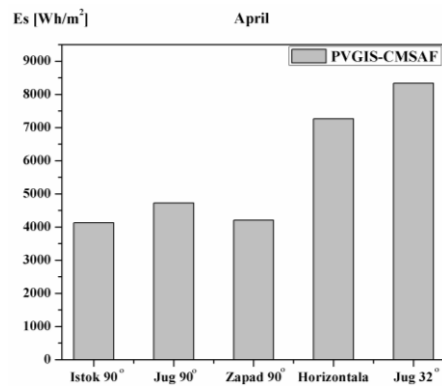
**Slika 2.55.** Energija Sunčevog zračenja koje u toku potpuno vedrog dana u januaru dospeva na pet različito orijentisanih površina



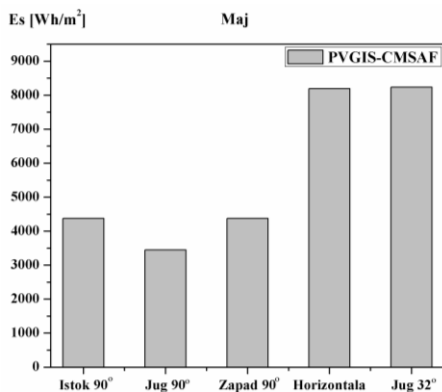
**Slika 2.56.** Energija Sunčevog zračenja koje u toku potpuno vedrog dana u februaru dospeva na pet različito orijentisanih površina



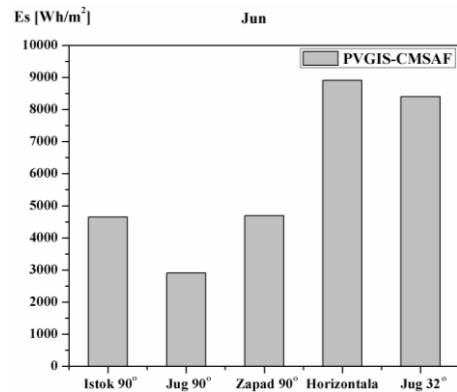
**Slika 2.57.** Energija Sunčevog zračenja koje u toku potpuno vedrog dana u martu dospeva na pet različito orijentisanih površina



**Slika 2.58.** Energija Sunčevog zračenja koje u toku potpuno vedrog dana u aprilu dospeva na pet različito orijentisanih površina



**Slika 2.59.** Energija Sunčevog zračenja koje u toku potpuno vedrog dana u maju dospeva na pet različito orijentisanih površina



**Slika 2.60.** Energija Sunčevog zračenja koje u toku potpuno vedrog dana u junu dospeva na pet različito orijentisanih površina

U toku potpuno vedrog dana u januaru, energija Sunčevog zračenja koje dospeva na vertikalne površine orijentisane prema istoku, jugu i zapadu izosi  $1969,3 \text{ Wh/m}^2$ ,  $6624 \text{ Wh/m}^2$  i  $2064,3 \text{ Wh/m}^2$ , respektivno. Na horizontalnu površinu dospeva  $2688 \text{ Wh/m}^2$ , a na optimalno orijentisanu površinu  $5671,5 \text{ Wh/m}^2$  energije Sunčevog zračenja.

U toku potpuno vedrog dana u februaru, energija Sunčevog zračenja koje dospeva na vertikalne površine orijentisane prema istoku, jugu i zapadu izosi  $2368,3 \text{ Wh/m}^2$ ,  $6229,5$



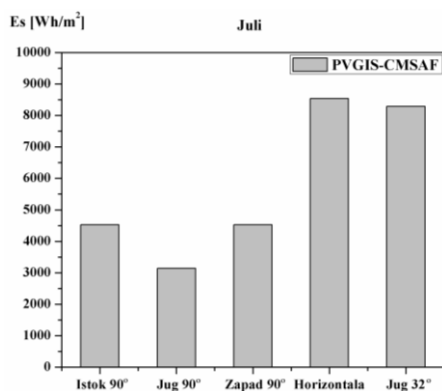
Wh/m<sup>2</sup> i 2228 Wh/m<sup>2</sup>, respektivno. Na horizontalnu površinu dospeva 3728,5 Wh/m<sup>2</sup>, a na optimalno orijentisanu površinu 6290,5 Wh/m<sup>2</sup> energije Sunčevog zračenja.

U toku potpuno vedrog dana u martu, energija Sunčevog zračenja koje dospeva na vertikalne površine orijentisane prema istoku, jugu i zapadu iznosi 3560,3 Wh/m<sup>2</sup>, 6182,8 Wh/m<sup>2</sup> i 3560,3 Wh/m<sup>2</sup>, respektivno. Na horizontalnu površinu dospeva 5625,8 Wh/m<sup>2</sup>, a na optimalno orijentisanu površinu 7817 Wh/m<sup>2</sup> energije Sunčevog zračenja.

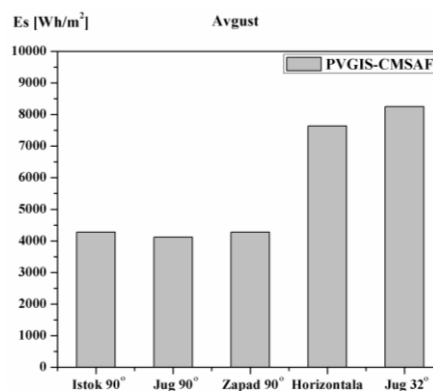
U maju, u toku potpuno vedrog dana, najviše energije Sunčevog zračenja dospeva na optimalno orijentisanu površinu 8234,8 Wh/m<sup>2</sup> i horizontalnu površinu 8192,5 Wh/m<sup>2</sup>. Istovremeno, na vertikalnu površinu orijentisanu prema jugu dospeva 3448,8 Wh/m<sup>2</sup>, a na vertikale površine orijentisane prema istoku i zapadu dospeva ista vrednost energije Sunčevog zračenja (4374,3 Wh/m<sup>2</sup>).

U toku potpuno vedrog dana u junu, najviše energije Sunčevog zračenja dospeva na horizontalnu površinu (8907,5 Wh/m<sup>2</sup>), a zatim na optimalno orijentisanu površinu (8401 Wh/m<sup>2</sup>). Na vertikalne površine orijentisane prema istoku, jugu i zapadu dospeva 4646,3 Wh/m<sup>2</sup>, 2907 Wh/m<sup>2</sup> i 4693,8 Wh/m<sup>2</sup> energije Sunčevog zračenja, respektivno.

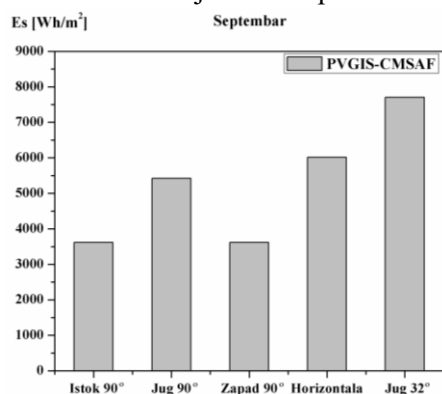
Energija Sunčevog zračenja koje u toku potpuno vedrog dana dospeva na pet različito orijentisanih površina u periodu od jula do decembra data je na slikama 2.61-2.66.



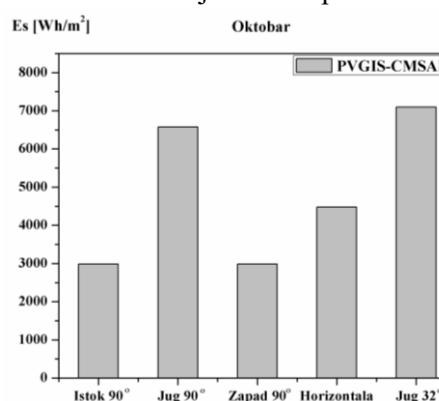
**Slika 2.61.** Energija Sunčevog zračenja koje u toku potpuno vedrog dana u julu dospeva na pet različito orijentisanih površina



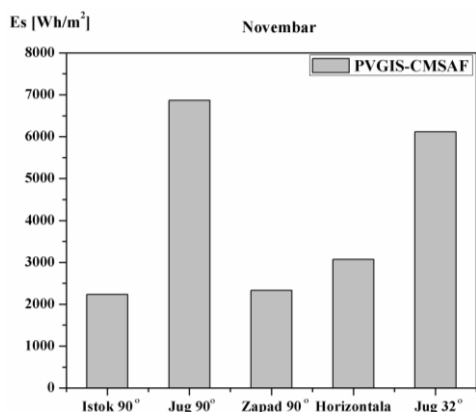
**Slika 2.62.** Energija Sunčevog zračenja koje u toku potpuno vedrog dana u avgustu dospeva na pet različito orijentisanih površina



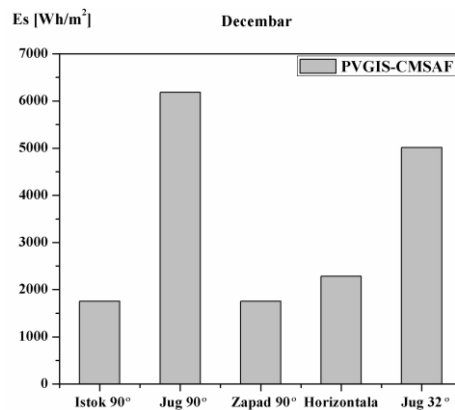
**Slika 2.63.** Energija Sunčevog zračenja koje u toku potpuno vedrog dana u septembru dospeva na pet različito orijentisanih površina



**Slika 2.64.** Energija Sunčevog zračenja koje u toku potpuno vedrog dana u oktobru dospeva na pet različito orijentisanih površina



**Slika 2.65.** Energija Sunčevog zračenja koje u toku potpuno vedrog dana u novembru dospeva na pet različito orijentisanih površina



**Slika 2.66.** Energija Sunčevog zračenja koje u toku potpuno vedrog dana u decembru dospeva na pet različito orijentisanih površina

U toku potpuno vedrog dana u julu, najviše energije Sunčevog zračenja dospeva na horizontalnu površinu  $8540,3 \text{ Wh/m}^2$ , a zatim na optimalno orijentisanu površinu  $8287 \text{ Wh/m}^2$ . Na vertikalne površine orijentisane prema istoku, jugu i zapadu dospeva  $4526,5 \text{ Wh/m}^2$ ,  $3143 \text{ Wh/m}^2$  i  $4526,5 \text{ Wh/m}^2$  energije Sunčevog zračenja, respektivno.

U toku potpuno vedrog dana u avgustu, najviše energije Sunčevog zračenja dospeva na optimalno orijentisanu površinu  $8253,5 \text{ Wh/m}^2$ , a zatim na horizontalnu površinu  $7634,5 \text{ Wh/m}^2$ . Na vertikalne površine orijentisane prema istoku, jugu i zapadu dospeva  $4279,8 \text{ Wh/m}^2$ ,  $4123,3 \text{ Wh/m}^2$  i  $4279,8 \text{ Wh/m}^2$  energije Sunčevog zračenja, respektivno.

U septembru, u toku potpuno vedrog dana, najviše energije Sunčevog zračenja dospeva na optimalno orijentisanu površinu  $7707,5 \text{ Wh/m}^2$ , zatim na horizontalnu površinu ( $6016,3 \text{ Wh/m}^2$ ) i vertikalnu površinu orijentisanu prema jugu ( $5425,5 \text{ Wh/m}^2$ ). Energija Sunčevog zračenja koje u toku potpuno vedrog dana dospeva na vertikalne površine orijentisane prema istoku i zapadu iznosi  $4374,3 \text{ Wh/m}^2$ .

U toku potpuno vedrog dana u oktobru, energija Sunčevog zračenja koje dospeva na vertikalne površine orijentisane prema istoku, jugu i zapadu iznosi  $2985,3 \text{ Wh/m}^2$ ,  $6573 \text{ Wh/m}^2$  i  $2985,3 \text{ Wh/m}^2$ , respektivno. Na horizontalnu površinu dospeva  $4481 \text{ Wh/m}^2$ , a na optimalno orijentisanu površinu  $7100 \text{ Wh/m}^2$  energije Sunčevog zračenja.

U toku potpuno vedrog dana u novembru, energija Sunčevog zračenja koje dospeva na vertikalne površine orijentisane prema istoku, jugu i zapadu iznosi  $2237,5 \text{ Wh/m}^2$ ,  $6866,5 \text{ Wh/m}^2$  i  $2331,5 \text{ Wh/m}^2$ , respektivno. Na horizontalnu površinu dospeva  $3072 \text{ Wh/m}^2$ , a na optimalno orijentisanu površinu  $6117,8 \text{ Wh/m}^2$  energije Sunčevog zračenja.

U decembru, u toku potpuno vedrog dana, najviše energije Sunčevog zračenja dospeva na vertikalnu površinu orijentisanu prema jugu ( $6185 \text{ Wh/m}^2$ ), zatim na optimalno orijentisanu površinu ( $5012 \text{ Wh/m}^2$ ) i horizontalnu površinu ( $2284,5 \text{ Wh/m}^2$ ). Energija Sunčevog zračenja koje u toku potpuno vedrog dana dospeva na vertikalne površine orijentisane prema istoku i zapadu iznosi  $1756,5 \text{ Wh/m}^2$ .

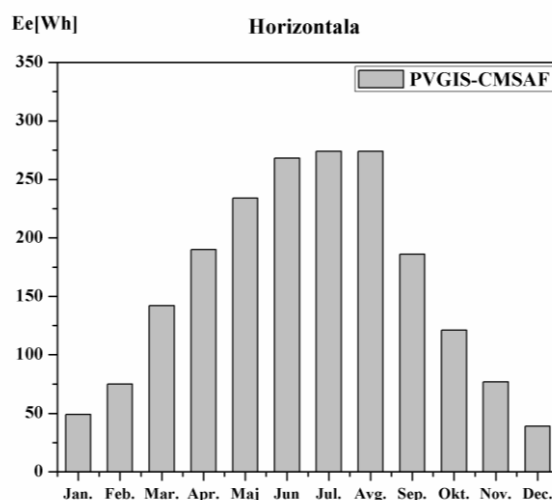
Od svih meseci u godini u junu najviše energije Sunčevog zračenja dospeva na horizontalnu površinu, optimalno orijentisanu površinu, kao i na vertikalne površine orijentisane prema istoku i zapadu. Na vertikalnu površinu orijentisanu prema jugu najviše energije Sunčevog zračenja u toku potpuno vedrog dana dospeva u novembru [1-6].

### 2.3. Rezultati teorijskog određivanja iznosa električne energije koja se dobija pomoću različito orijentisanih solarnih modula u Nišu, izračunatih pomoću PVGIS-CMSAF programa

U daljem su dati rezultati izračunavanja srednje dnevne, ukupne mesečne i ukupne godišnje vrednosti električne energije koja može da se dobije pomoću različito orijentisanih solarnih modula od monokristalnog silicijuma snage 60 Wp, pomoću PVGIS-CMSAF programa za Niš.

#### 2.3.1. Horizontalni solarni modul

Srednje dnevne vrednosti električne energije koja u toku godine može da se dobije pomoću horizontalnog solarnog modula snage 60 Wp date su na slici 2.67.

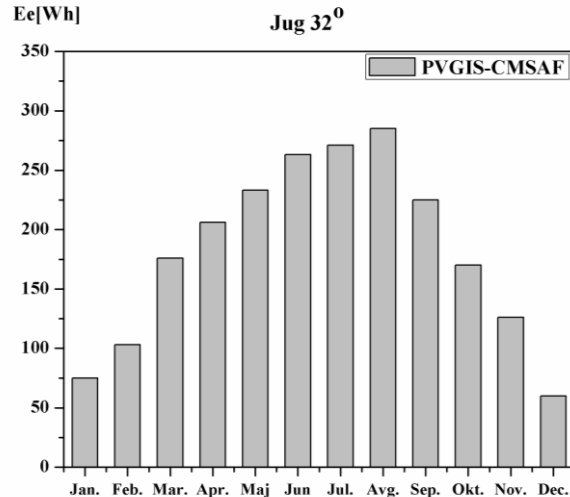


Slika 2.67. Srednje dnevne vrednosti električne energije koja u toku godine može da se dobije pomoću horizontalnog solarnog modula snage 60 Wp

Vrednosti električne energije, koja može da se dobije pomoću horizontalnog solarnog modula, rastu od januara do najvećih vrednosti u junu, julu i avgustu, nakon čega opadaju do najmanje vrednosti energije u decembru. Pomoću horizontalnog solarnog modula najviše električne energije u toku dana može da se dobije u julu i avgustu, po 274 Wh, a najmanje u decembru 39 Wh. Ovakva promena vrednosti električne energije, koja može da se dobije pomoću horizontalnog solarnog modula, je u skladu sa promenom vrednosti energije Sunčevog zračenja koja dospeva na površinu datog solarnog modula. Manje odstupanje se može uočiti u avgustu kada se pomoću datog modula može dobiti isto električne energije kao i u julu, iako u avgustu na datu površinu dospeva manje energije Sunčevog zračenja nego u julu.

#### 2.3.2. Optimalno orijentisani solarni modul

Srednje dnevne vrednosti električne energije koja u toku godine može da se dobije pomoću optimalno orijentisanog solarnog modula snage 60 Wp date su na slici 2.68.

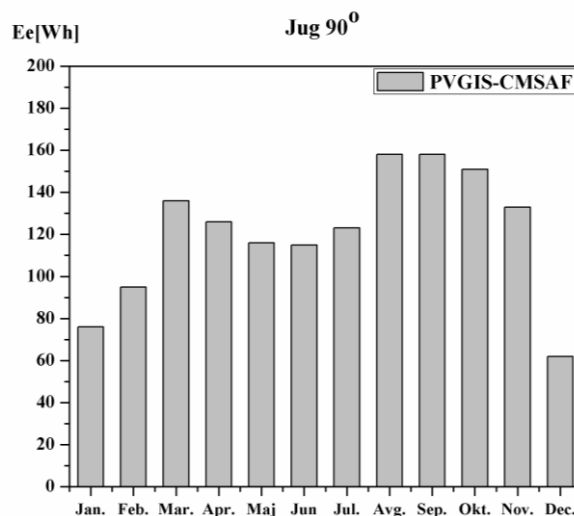


**Slika 2.68.** Srednje dnevne vrednosti električne energije koja u toku godine može da se dobije pomoću optimalno orijentisanog solarnog modula snage 60 Wp

Pomoću optimalno orijentisanog solarnog modula najviše električne energije u toku dana može da se dobije u avgustu 285 Wh, a najmanje u decembru 60 Wh. U periodu od aprila do kraja septembra vrednosti električne energije koja može da se dobije u toku dana pomoću optimalno orijentisanog solarnog modula su preko 200 Wh. Ovakva promena vrednosti električne energije je u skladu sa promenom vrednosti energije Sunčevog zračenja koja dospeva na površinu datog solarnog modula. Na slici 2.68 se može uočiti da je vrednost električne energije za avgust veća nego za jul, iako u avgustu na datu površinu dospeva manje energije Sunčevog zračenja nego u julu.

### 2.3.3. Vertikalni solarni modul orijentisan ka jugu

Srednje dnevne vrednosti električne energije koja u toku godine može da se dobije pomoću vertikalnog solarnog modula orijentisanog ka jugu snage 60 Wp date su na slici 2.69.

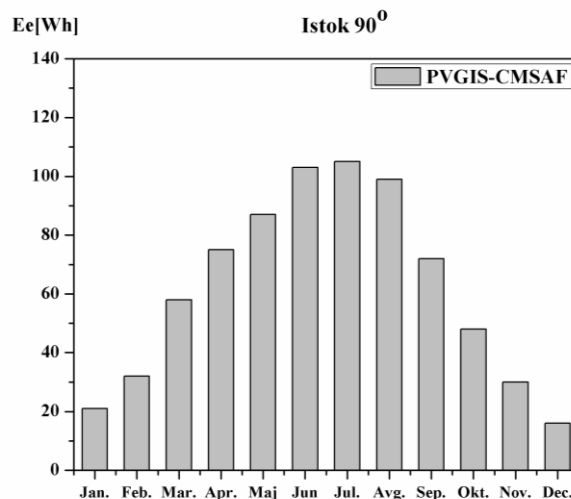


**Slika 2.69.** Srednje dnevne vrednosti električne energije koja u toku godine može da se dobije pomoću vertikalnog solarnog modula orijentisanog ka jugu snage 60 Wp

Na slici 2.69 vidi se da vrednosti električne energije, koja može da se dobije pomoću vertikalnog solarnog modula orijentisanog ka jugu, imaju dva maksimuma, jedan u martu (136 Wh), a drugi u avgustu i septembru (po 158 Wh). Najmanje električne energije pomoću datog solarnog modula može da se dobije u toku dana u decembru (62 Wh). Maksimalne vrednosti električne energije, koja može da se dobije pomoću vertikalnog solarnog modula orijentisanog ka jugu, su u skladu sa maksimalnim vrednostima energije Sunčevog zračenja koja dospeva na površinu orijentisanu isto kao i dati solarni modul. Vrednosti električne energije za avgust i septembar su iste, ali je vrednost energije Sunčevog zračenja koje dospeva na površinu datog solarnog modula veća u septembru nego u avgustu.

### 2.3.4. Vertikalni solarni modul orijentisan ka istoku

Srednje dnevne vrednosti električne energije koja u toku godine može da se dobije pomoću vertikalnog solarnog modula orijentisanog ka istoku snage 60 Wp date su na slici 2.70.

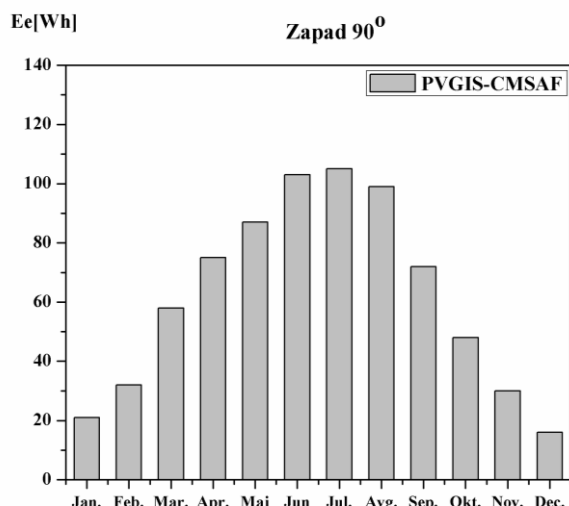


**Slika 2.70.** Srednje dnevne vrednosti električne energije koja u toku godine može da se dobije pomoću vertikalnog solarnog modula orijentisanog ka istoku snage 60 Wp

Vrednosti električne energije, koja može da se dobije pomoću vertikalnog solarnog modula orijentisanog ka istoku, rastu u periodu od januara do jula, nakon čega vrednosti energije opadaju do najmanje vrednosti u decembru. Na slici 2.70 se vidi da se pomoću vertikalnog solarnog modula orijentisanog ka istoku najviše električne energije može da dobije u toku dana u junu (103 Wh) i julu (105 Wh), a najmanje u decembru (16 Wh). Ovakva promena vrednosti električne energije je u skladu sa promenom vrednosti energije Sunčevog zračenja koja dospeva na površinu datog solarnog modula.

### 2.3.5. Vertikalni solarni modul orijentisan ka zapadu

Srednje dnevne vrednosti električne energije koja u toku godine može da se dobije pomoću vertikalnog solarnog modula orijentisanog ka zapadu snage 60 Wp date su na slici 2.71.



**Slika 2.71.** Srednje dnevne vrednosti električne energije koja u toku godine može da se dobije pomoću vertikalnog solarnog modula orijentisanog ka zapadu snage 60 Wp

Pomoću vertikalnog solarnog modula orijentisanog ka zapadu najviše električne energije u toku dana može da se dobije u junu (103 Wh) i julu (105 Wh), a najmanje u decembru (16 Wh). Srednje dnevne vrednosti električne enegije izračunate pomoću PVGIS-CMSAF programa za vertikalne solarne module orijentisane prema istoku i zapadu su iste za sve mesece u godini. Ovakva promena vrednosti električne energije je u skladu sa promenom vrednosti energije Sunčevog zračenja koja dospeva na površinu datog solarnog modula.

### 2.3.6. Ukupne mesečne vrednosti električne energije koja u toku godine može da se dobije pomoću različito orijentisanih solarnih modula snage 60 Wp

U tabeli 2.1 date su ukupne mesečne vrednosti električne energije izračunate pomoću PVGIS-CMSAF programa koja može da se dobije pomoću različito orijentisanih solarnih modula od monokristalnog silicijuma snage 60 Wp.

**Tabela 2.1.** Ukupne mesečne vrednosti električne energije koja može da se dobije pomoću različito orijentisanih solarnih modula snage 60 Wp (PVGIS-CMSAF)

Mesec	Ukupne mesečne vrednosti električne energije [Wh]				
	Orijentacija solarnog modula				
	Horizontala	Jug 32°	Jug 90°	Istok 90°	Zapad 90°
Januar	1519	2325	2356	651	651
Februar	2100	2884	2660	896	896
Mart	4402	5456	4216	1798	1798
April	5700	6180	3780	2250	2250
Maj	7254	7223	3596	2697	2697
Jun	8040	7890	3450	3090	3090
Jul	8494	8401	3813	3255	3255

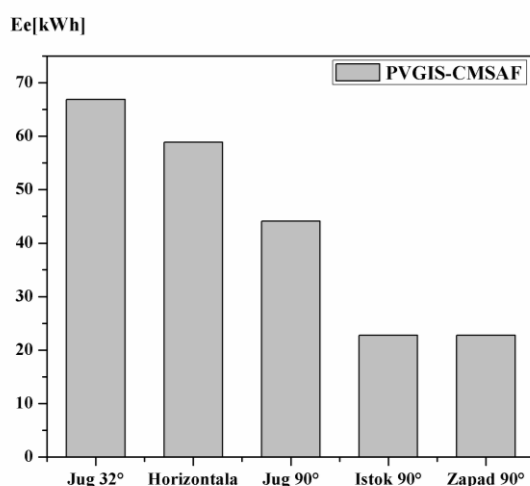
Avgust	8494	8835	4898	3069	3069
Septembar	5580	6750	4740	2160	2160
Oktobar	3751	5270	4681	1488	1488
Novembar	2310	3780	3990	900	900
Decembar	1209	1860	1922	496	496

Na osnovu podataka u tabeli 2.1 vidi se da se pomoću horizontalnog solarnog modula, optimalno orijentisanog i vertikalnog solarnog modula orijentisanog ka jugu najviše električne energije može da dobije u avgustu, a najmanje u decembru. Pomoću vertikalnih solarnih modula orijentisanih ka istoku i zapadu najviše električne energije može da se dobije u julu, a najmanje u decembru.

Pomoću optimalno orijentisanog solarnog modula može da se dobije najviše električne energije u toku jednog meseca, i to u avgustu (8835 Wh). Ova vrednost odstupa od najveće vrednosti energije Sunčevog zračenja koja dospeva na neku površinu. Na horizontalnu površinu u julu dospeva najviše energije Sunčevog zračenja u poređenju sa energijom Sunčevog zračenja koja dospeva na površine ostalih solarnih modula.

### 2.3.7. Ukupne godišnje vrednosti električne energije koja može da se dobije pomoću različito orijentisanih solarnih modula snage 60 Wp

Ukupna električna energija koja godišnje može da se dobije pomoću različito orijentisanih solarnih modula, snage 60 Wp, data je na slici 2.72.



**Slika 2.72.** Ukupna električna energija koja godišnje može da se dobije pomoću različito orijentisanih solarnih modula snage 60 Wp

Godišnje najviše električne energije može da se dobije pomoću optimalno orijentisanog solarnog modula 66,8 kWh, zatim pomoću horizontalnog solarnog modula 58,8 kWh i vertikalnog orijentisanog ka jugu 44,1 kWh. Pomoću vertikalnih solarnih modula orijentisanih ka istoku i zapadu može da se dobije 22,7 kWh godišnje.

Godišnje najviše električne energije može da se dobije pomoću optimalno orijentisanog solarnog modula 66.8 kWh. U poređenju sa njim horizontalni modul generiše 12 % manje, a vertikalni moduli orijentisani ka istoku, jugu i zapadu 66 %, 31.4% i 66 % manje električne energije, respektivno [1-7].

## 2.4. Rezultati teorijskog određivanja energetske efikasnosti geografski različito orijentisanih monokristalnih solarnih modula snage 60 Wp u Nišu pomoću PVGIS-CMSAF programa

Srednje dnevne vrednosti energetske efikasnosti različito orijentisanih solarnih modula izračunate su na osnovu srednjih dnevnih vrednosti električne energije koja može da se dobije pomoću pet različito orijentisanih monokristalnih solarnih modula i srednjih dnevnih vrednosti energije Sunčevog zračenja koja dospeva na površine datih solarnih modula (energije su izračunate pomoću PVGIS-CMSAF programa). Srednja dnevna efikasnost različito orijentisanih solarnih modula izračunata pomoću PVGIS-CMSAF programa data je u tabeli 2.2.

**Tabela 2.2.** Srednja dnevna efikasnost različito orijentisanih solarnih modula snage 60 Wp izračunata pomoću PVGIS-CMSAF programa

Srednja dnevna efikasnost različito orijentisanih solarnih modula					
	$\eta$ horiz. (%)	$\eta$ jug 32° (%)	$\eta$ jug 90° (%)	$\eta$ istok 90° (%)	$\eta$ zapad 90° (%)
Januar	7,4	7,5	7,7	5,2	5,0
Februar	7,5	7,6	8,0	5,2	5,3
Mart	7,6	7,6	7,7	5,0	5,0
April	7,8	7,7	7,9	5,3	5,2
Maj	8,1	8,1	8,5	5,4	5,4
Jun	7,9	8,2	8,7	5,6	5,6
Jul	7,9	8,0	8,5	5,5	5,5
Avgust	8,7	8,5	8,9	5,5	5,5
Septembar	8,5	8,5	8,5	5,5	5,5
Oktobar	8,0	8,0	8,1	4,9	5,1
Novembar	8,6	8,8	9,1	5,2	5,0
Decembar	6,8	6,9	7,1	4,7	4,5
Prosečna vrednost	<b>7,9</b>	<b>8,0</b>	<b>8,2</b>	<b>5,3</b>	<b>5,2</b>

Srednja dnevna efikasnost horizontalnog solarnog modula raste u periodu od januara do maja, dok u junu i julu efikasnost iznosi 7,9%. U avgustu je uočen porast srednje dnevne efikasnosti horizontalnog solarnog modula, kada je i najveća efikasnost ovog solarnog modula u toku godine (8,7%). U drugoj polovini godine vrednosti srednje dnevne efikasnosti horizontalnog solarnog modula veće su nego u prvoj polovini godine. Najmanja srednja dnevna efikasnost horizontalnog solarnog modula je u decembru (6,8%).



Srednja dnevna efikasnost optimalno orijentisanog solarnog modula raste u periodu od januara do novembra. Izuzetak su jul i oktobar kada srednja dnevna efikasnost iznosi 8%. Najveća srednja dnevna efikasnost optimalno orijentisanog solarnog modula je u novembru (8,8%), a najmanja je u decembru (6,9%).

Srednja dnevna efikasnost vertikalnog solarnog modula orijentisanog ka jugu raste u periodu od januara do avgusta, pri čemu se u martu i aprilu može uočiti manji pad srednje dnevne efikasnosti datog solarnog modula (prvi minimum). Od avgusta srednja dnevna efikasnost opada do oktobra kada se može uočiti drugi minimum srednje dnevne efikasnosti datog solarnog modula. Najveća srednja dnevna efikasnost vertikalnog solarnog modula orijentisanog ka jugu je u novembru (9,1%), a najmanja je u decembru (7,1%).

Srednje dnevne efikasnosti vertikalnih solarnih modula orijentisanih ka istoku i zapadu menjaju se na isti način u toku godine. Međutim, njihove srednje dnevne efikasnosti se neznatno razlikuju u sledećim mesecima: januaru, februaru, aprilu, oktobru, novembru i decembru. U preostalim mesecima njihove srednje dnevne efikasnosti su iste. Izračunate srednje dnevne vrednosti električne energije pomoću PVGIS-CMSAF programa koje se mogu dobiti pomoću ova dva solarna modula su iste, tako da do pomenute razlike u srednjoj dnevnoj efikasnosti solarnih modula dolazi zbog različitih srednjih dnevni vrednosti energije Sunčevog zračenja koja dospeva na površinu datih solarnih modula. Najveća srednja dnevna efikasnost vertikalnih solarnih modula orijentisanih ka istoku i zapadu je u junu i iznosi 5,6%, a najmanja u decembru i iznosi 4,7% i 4,5%, respektivno.

Kada se razmatraju vrednosti srednje dnevne efikasnosti različito orijentisanih solarnih modula u toku godine, može se zaključiti da najveću srednju dnevnu efikasnost ima vertikalni solarni modul orijentisan ka jugu 8,2%, a najmanju srednju dnevnu efikasnost ima vertikalni solarni modul orijentisan ka zapadu 5,2%. Vertikalni solarni moduli orijentisani ka istoku i zapadu imaju najmanje srednje dnevne efikasnosti u poređenju sa srednjim dnevnim efikasnostima ostalih solarnih modula [1-7].

## Literatura

- [1] <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/solrad/index.htm>
- [2] [http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/about\\_pvgis/about\\_pvgis.htm](http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/about_pvgis/about_pvgis.htm)
- [3] <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/>
- [4] <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps4/pvest.php>
- [5] <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps4/MRcalc.php>
- [6] [http://www.cmsaf.eu/EN/Home/home\\_node.html](http://www.cmsaf.eu/EN/Home/home_node.html)
- [7] Lana P, Tomislav P, Dragana M, Dragoljub M, Ivana R, Miodrag R. Electrical energy generation with differently oriented PV modules as façade elements, *Thermal Science*, 2015, doi:10.2298/TSCI150123157P

## **TREĆE POGLAVLJE**

**REZULTATI EKSPERIMENTALNOG  
ODREĐIVANJA ENERGETSKE EFIKASNOSTI  
SOLARNIH MODULA U ZAVISNOSTI OD  
NJIHOVE GEOGRAFSKE ORIJENTACIJE,  
UGLA NAGIBA I NJIHOVE TEMPERATURE U  
REALNIM KLIMATSKIM USLOVIMA U NIŠU**



### 3. Eksperiment

#### 3.1. Solarni box

Eksperiment je urađen u Laboratoriji za solarnu energetiku na Prirodno-matematičkom fakultetu u Nišu. Za određivanje energetske efikasnosti solarnih modula u zavisnosti od geografske orijentacije, ugla nagiba i njihove temperature napravljen je solarni sistem prikazan na slici 3.1.



Slika 3.1. Solarni sistem sa pet različito orijentisanih fotonaponskih solarnih modula.

Tabela 3.1. Tehničke karakteristike solarnog modula ISF-60/12

Spoljne dimenzije	776 x 662 x 39.5 mm
Tip solarne ćelije	Monokristalni silicijum
Snaga solarnog modula – $P_{mpp}$	60Wp
Efikasnost - $\eta$	11,2%
Struja maksimalne snage – $I_{mpp}$	3,47 A
Napon maksimalne snage – $V_{mpp}$	17,3V
Struja kratkog spoja - $I_{sc}$	3,73
Napon otvorenog kola - $V_{oc}$	21,6
NOCT (800W/m <sup>2</sup> , 20°C, AM 1,5, 1m/s)	47°C
Fil Faktor - $FF$	74,5%
Temperaturni koeficijent za $V_{oc}$ - $\beta$	- 0,387%/K
Temperaturni koeficijent za $I_{sc}$ - $\alpha$	+ 0,0294%/K
Temperaturni koeficijent za $P_{mpp}$ - $\gamma$	- 0,48%/K

Solarni sistem sastoji se od metalnog postolja na kome su postavljena pet fotonaponska solarna modula od monokristalnog silicijuma, pojedinačne snage 60 W i površine 0,514 m<sup>2</sup> (Isofoton, Španija). Tri solarna modula postavljena su vertikalno i orijentisana prema istoku, jugu i zapadu, respektivno. Četvrti solarni modul je postavljen

horizontalno, a peti pod optimalnim uglom od 32° (godišnji optimalni ugao za fiksni solarni modul za Niš) i orijentisan je ka jugu. Eksperimentalni sistem postavljen je na južnom krovu fakulteta tako da tokom cele godine okolni objekti ne stvaraju senku. Sistem je izdignut od podloge čime je obezbeđena prirodna cirkulacija vazduha i ventilacija sistema.

### 3.1.1. Merna oprema

#### *Meteorološka stanica*

Za praćenje meteoroloških parametara korišćena je automatska meteorološka stanica DAVIS Vantage Pro (SAD) prikazana na slici 3.2. Akvizicija meteoroloških parametara vršena je pomoću računara na svakih deset minuta. Od meteoroloških parametara neprekidno su mereni i registrovani temperatura vazduha, intenzitet Sunčevog zračenja, energija Sunčevog zračenja, UV indeks, pritisak, vlažnost vazduha, brzina i pravac vetra. Meteorološka stanica nalazi se u neposrednoj blizini solarnog sistema.



**Slika 3.2.** Automatska meteorološka stanica DAVIS Vantage Pro

**Tabela 3.2.** Tehničke karakteristike Davis Vantage Pro meteorološke stanice

Merena veličina	Rezolucija	Merni opseg	Nominalna preciznost
Intenzitet Sunčevog zračenja	1W/m <sup>2</sup>	0 do 1800W/m <sup>2</sup>	5% mernog ospega
Temperatura ambijenta	0,1°C	-40° do 65°C	±0,5°C do 43°C
Brzina vetra	0,1 m/s	1 do 67 m/s	1 m/s ili ±5%

#### *PV KLA i MINI-KLA uređaji*

Za snimanje strujno-naponskih karakteristika fotonaponskih solarnih modula korišćeni su PVKLA i MINI-KLA uređaji (Ingenieurburo Mencke&Tegtmeyer, Nemačka) prikazani na slici 3.3. Navedeni uređaji korišćeni su za merenje napona otvorenog kola ( $U_{oc}$ ), struje kratkog spoja ( $I_{sc}$ ), nominalne snage ( $P_{mpp}$ ), nominalne struje ( $I_{mpp}$ ), nominalnog napona ( $U_{mpp}$ ) i fil faktora ( $FF$ ) solarnih modula.



**Slika 3.3.** PVKLA i MINI-KLA uređaji, Ingenieurburo Mencke&Tegtmeier, Nemačka

### *Snimanje strujno naponskih karakteristika*

U Laboratoriji za solarnu energetiku postavljena je merna tabla koja je odgovarajućim provodnicima povezana sa svakim solarnim modulom pojedinačno. Na tabli se nalaze po dva izvoda za svaki solarni modul (slika 3.4).



**Slika 3.4.** Merna tabla sa odgovarajućim električnim izvodima.

Snimanje strujno-naponskih karakteristika solarnih modula pomoću PVKLA uređaja vršeno je na svakih 10 minuta u toku dana. Snimanja su automatizovana pomoću Sbox-a i SolarControl interfejsa, specijalno napravljenih za ovu namenu. Svaki par izvoda povezan je preko Sbox-a sa PVKLA uređajem i kompjuterom.

Kompjuterski kontrolisan uređaj SolarUsbSW (MetteringSolutions, BiH) omogućava konekciju i sinhronizaciju mernih ciklusa. Takođe, kompjuterski softver SolarControlM (MetteringSolutions, BiH) kontroliše SolarUsbSW uređaj i vrši automatski monitoring, kontrolu i pamćenje podataka, kao i slanje obaveštenja u slučaju nepredviđenog prekida merenja.

Snimanje strujno-naponskih karakteristika solarnih modula pomoću MINI-KLA uređaja vršeno je na svakih pola sata u toku dana. Priključivanjem MINI-KLA uređaja na odgovarajući par izvoda snimane su trenutne karakteristike modula. Promenom parova izvoda skoro istovremeno su snimane karakteristike svih pet modula. Za eksperimentalna merenja pomoću MINI-KLA uređaja merni opseg napona bio je od 0-30 V, a merni opseg struje od 0-4 A. Preciznost MINI-KLA uređaja je  $\pm 0,4\%$  mernog opsega. Kada je intenzitet Sunčevog zračenja koje dospeva na površinu orijentisanu kao i solarni modul manji od  $120 \text{ W/m}^2$  (odnosno  $60 \text{ W}$  na površini solarnog modula) napon na modulima je nedovoljan da bi se izvršilo snimanje strujno-naponskih karakteristika pomoću MINI-KLA uređaja.

### *Uređaj za merenje temperature*

Za kontinualno merenje temperature različito orijentisanih solarnih modula korišćene su Pt 100 temperaturne sonde i NIGOS VT-08 uređaj. Temperaturne sonde postavljene su sa zadnje strane modula i to na sredini svakog solarnog modula (slika 3.5).



**Slika 3.5.** Pt 100 temperaturne sonde postavljene na sredini zadnje strane solarnog modula

NIGOS VT-08 uređaj je osmokanalni merač temperature, struje i napona i namenjen je za merenje i prikaz trenutnih vrednosti merenih veličina. Ovaj uređaj podatke o izmerenim veličinama prosleđuje računaru putem RS232 komunikacije. Temperatura solarnih modula snima se u intervalu od 1 minuta sa nominalnom preciznošću od  $1\%$ .

### **3.1.2. Metodologija merenja**

U 2013. godini vršeno je kontinualno merenje strujno-naponskih karakteristika (I/U karakteristika) pet različito orijentisanih solarnih modula pomoću MINI-KLA uređaja. Na osnovu izmerene snage i odgovarajućeg vremenskog intervala, izračunate su ukupne dnevne i

srednje dnevne vrednosti električne energije dobijene pomoću različito orijentisanih solarnih modula u realnim klimatskim uslovima u Nišu u 2013. godini.

Pomoću automatske meteorološke stanice DAVIS Vantage Pro meren je intenzitet Sunčevog zračenja koje dospeva na horizontalnu površinu. U okviru eksperimenta nisu merene vrednosti intenziteta Sunčevog zračenja koje dospeva na ostale različito orijentisane površine. Za izračunavanje energije globalnog Sunčevog zračenja koje je u toku dana dospelo na površinu orijentisanu ka jugu i postavljenu pod uglom od  $32^\circ$  u odnosu na horizontalnu ravan, kao i vertikalnu površinu orijentisanu ka jugu, korišćeni su izrazi za izračunavanje intenziteta Sunčevog zračenja koje dospeva na površine orijentisane ka jugu i postavljene pod nekim uglom u odnosu na horizontalnu površinu (izrazi 12, 13 i 14). Vrednosti intenziteta Sunčevog zračenja koje dospeva na vertikalne površine orijentisane ka istoku i zapadu nisu izračunavane.

Na osnovu eksperimentalnih vrednosti električne energije i energije globalnog Sunčevog zračenja koje dospeva na površinu horizontalnog, optimalno orijentisanog i vertikalnog solarnog modula orijentisanog ka jugu, izračunate su srednje dnevne i godišnje efikasnosti solarnih modula.

### **3.1.3. Korišćenje PVGIS programa**

PVGIS-CMSAF program korišćen je za izračunavanje vrednosti intenziteta i energije globalnog Sunčevog zračenja i Sunčevog zračenja koje u toku potpuno vedrog dana dospeva na površine orijentisane na isti način kao i solarni moduli korišćeni u eksperimentu. Pomoću ovog programa određene su srednje dnevne energije globalnog Sunčevog zračenja koje dospeva na pet različito orijentisanih površina.

PVGIS program korišćen je za teorijsko određivanje električne energije koja se može dobiti pomoću horizontalnog solarnog modula, vertikalnog solarnog modula orijentisanog ka istoku, jugu i zapadu, kao i optimalno orijentisanog solarnog modula. Pomoću ovog programa izračunate su srednje dnevne i ukupne vrednosti električne energije koja se može dobiti pomoću pet različito orijentisanih monokristalnih solarnih modula, snage od po 60 Wp, u Nišu.

Na osnovu srednjih dnevnih vrednosti električne energije koja se može dobiti pomoću različito orijentisanih solarnih modula i srednjih dnevnih vrednosti energije globalnog Sunčevog zračenja koje dospeva na površine datih solarnih modula, izračunate su teorijske vrednosti srednje dnevne efikasnosti različito orijentisanih solarnih modula.

Nakon toga, izvršeno je upoređivanje eksperimentalno i teorijski određenih srednjih dnevnih i ukupnih godišnjih vrednosti električne energije koja se dobija pomoću različito orijentisanih solarnih modula, kao i upoređivanje srednjih dnevnih vrednosti efikasnosti datih solarnih modula.

U septembru 2014. godine počelo je merenje temperature solarnih modula i merenja su trajala do juna 2016. godine. U tom periodu vršeno je neprekidno merenje meteoroloških parametara, dok su električni parametri solarnih modula mereni samo u toku sunčanih dana.



Za svaki mesec u godini izabran je jedan sunčan dan, oko središnjeg dana datog meseca, kako bi se dobili rezultati koji predstavljaju dan sa prosečnim ekstraterestričnim sunčevim zračenjem za dati mesec (Tabela 3.3).

**Tabela 3.3.** Preporučeni središnji dan u mesecu i vrednosti *n*-tog dana u godini po mesecima [1]

	Središnji dan u mesecu	Redni broj dana u godini
Mesec	Datum	<i>n</i>
Januar	17	17
Februar	16	47
Mart	16	75
April	15	105
Maj	15	135
Jun	11	162
Jul	17	198
Avgust	16	228
Septembar	15	258
Oktobar	15	288
Novembar	14	318
Decembar	10	344

Iz perioda septembar 2014 - jun 2016. izabrano je dvanaest sunčanih dana, za svaki mesec u godini, za koje su mereni meteorološki parametri, temperature solarnih modula i strujno-naponske karakteristike solarnih modula. Da bi se jasno uočila promena merenih parametara u toku godine, prikaz rezultata podeljen je na dva dela, prvi od januara do juna, koji se odnosi na prvu polovinu godine i drugi, od jula do decembra, koji se odnosi na drugi deo godine.

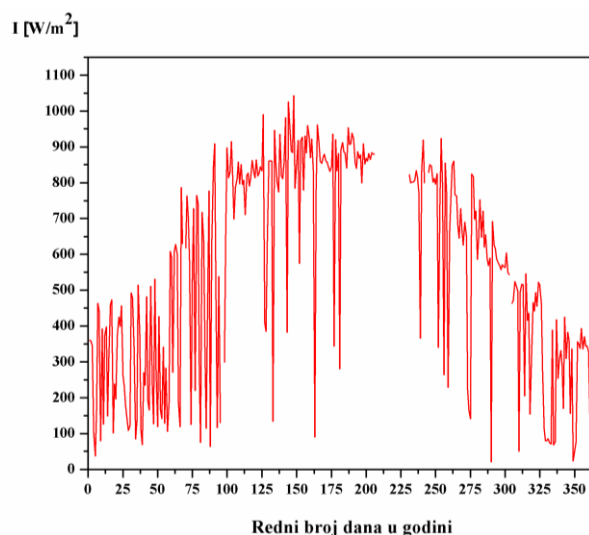
## **3.2. REZULTATI MERENJA U 2013. GODINI**

### **3.2.1. Rezultati merenja klimatskih parametara**

Intenzitet i energija Sunčevog zračenja, temperatura ambijenta i brzina vetra mereni su DAVIS Vantage Pro meteorološkom stanicom. U toku 2013. godine u periodu od 23. jula do 18. avgusta meteorološka stanica je bila u kvaru tako da za ovaj vremenski period nema zabeleženih podataka.

### **3.2.2. Rezultati merenja intenziteta i energije Sunčevog zračenja**

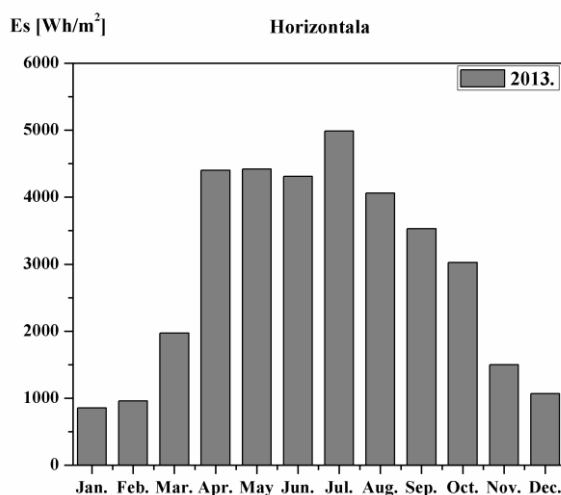
Promena maksimalnog dnevnog intenziteta Sunčevog zračenja u toku 2013. godine data je na slici 3.6.



**Slika 3.6.** Promena maksimalnog dnevnog intenziteta Sunčevog zračenja u toku 2013. godine

Maksimalna dnevna vrednost intenziteta Sunčevog zračenja raste od  $400 \text{ W/m}^2$  u januaru do maksimalne izmerene vrednosti od  $1043 \text{ W/m}^2$  u maju. Od juna do septembra maksimalna vrednost intenziteta Sunčevog zračenja bila je preko  $900 \text{ W/m}^2$ . Od septembra maksimalna vrednost intenziteta Sunčevog zračenja postepeno opada sve do vrednosti od  $350 \text{ W/m}^2$ , izmerene krajem decembra.

Srednja dnevna energija Sunčevog zračenja koja je dospela na horizontalnu površinu u 2013. godini data je na slici 3.7.

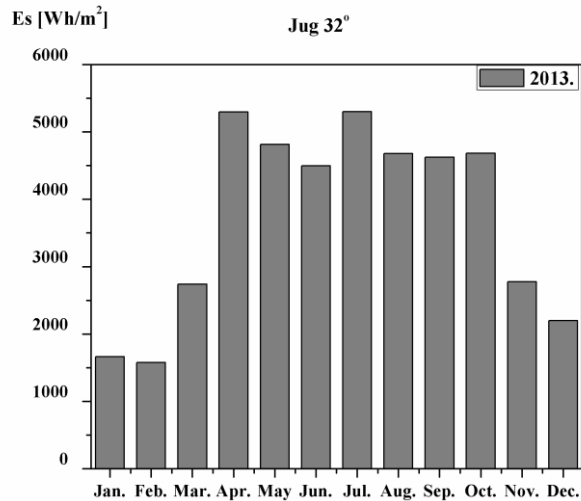


**Slika 3.7.** Srednja dnevna energija Sunčevog zračenja koja je dospela na horizontalnu površinu u 2013. godini

Na slici 3.7 se vidi da srednje dnevne vrednosti energije Sunčevog zračenja, koja dospeva na horizontalnu površinu rastu u periodu od januara do juna, a u periodu od avgusta do decembra se smanjuju. Najmanja vrednost srednje dnevne energije Sunčevog zračenja koja dospeva na horizontalnu površinu je u decembru ( $781,7 \text{ Wh/m}^2$ ), a najveća je u julu ( $4984,2 \text{ Wh/m}^2$ ). U periodu od aprila do septembra srednje dnevne vrednosti energije Sunčevog zračenja koja dospeva na horizontalnu površinu su iznad  $4000 \text{ Wh/m}^2$ . U 2013.

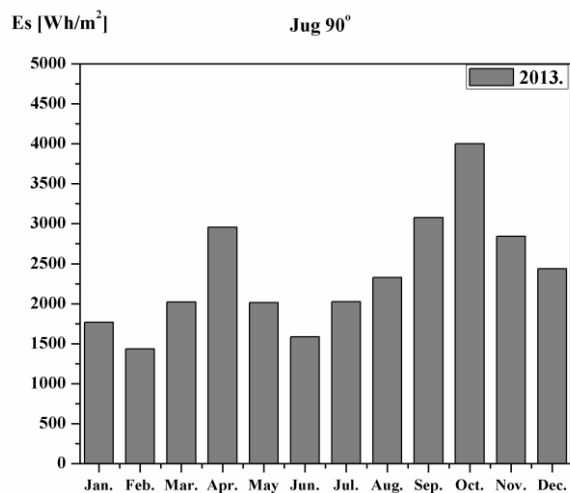
godini maksimalna dnevna energija Sunčevog zračenja na horizontalnu površinu dospela je 3. jula i to u iznosu od  $7135,79 \text{ Wh/m}^2$ .

Srednja dnevna energija Sunčevog zračenja koja je dospela na optimalno orijentisanu površinu u 2013. godini data je na slici 3.8.



**Slika 3.8.** Srednja dnevna energija Sunčevog zračenja koja je dospela na optimalno orijentisanu površinu u 2013. godini

Najveće srednje dnevne vrednosti energije Sunčevog zračenja na optimalno orijentisanu površinu dospele su u aprilu ( $5296,3 \text{ Wh/m}^2$ ) i junu ( $5300,2 \text{ Wh/m}^2$ ), a najmanje u januaru ( $1659,8 \text{ Wh/m}^2$ ) i februaru ( $1574,6 \text{ Wh/m}^2$ ).

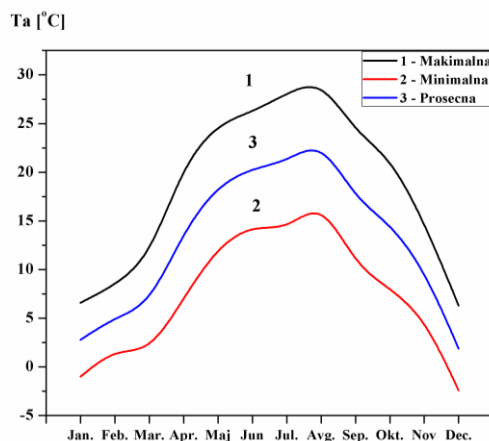


**Slika 3.9.** Srednja dnevna energija Sunčevog zračenja koja je dospela na vertikalnu površinu orijentisanu ka jugu u 2013. godini

Na slici 3.9 mogu se uočiti dva maksimuma srednjih dnevnih vrednosti energije Sunčevog zračenja, koja je dospela na vertikalnu površinu orijentisanu ka jugu, i to jedan u aprilu ( $2954,4 \text{ Wh/m}^2$ ), a drugi u oktobru ( $3998,5 \text{ Wh/m}^2$ ). Najmanje srednje dnevne vrednosti energije Sunčevog zračenja koje je u toku godine dospelo na vertikalnu površinu orijentisanu ka jugu su u februaru ( $1436,1 \text{ Wh/m}^2$ ) i junu ( $1587,5 \text{ Wh/m}^2$ ).

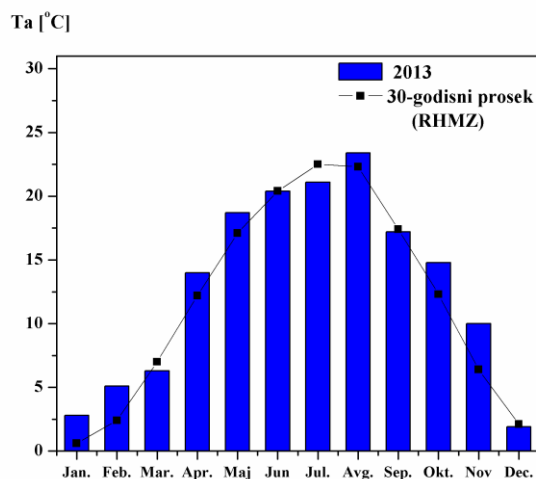
### 3.2.3. Rezultati merenja temperature ambijenta

Maksimalna, minimalna i prosečna mesečna temperatura okoline u 2013. godini date su na slici 3.10.



Slika 3.10. Maksimalna, minimalna i prosečna mesečna temperatura okoline u 2013. godini

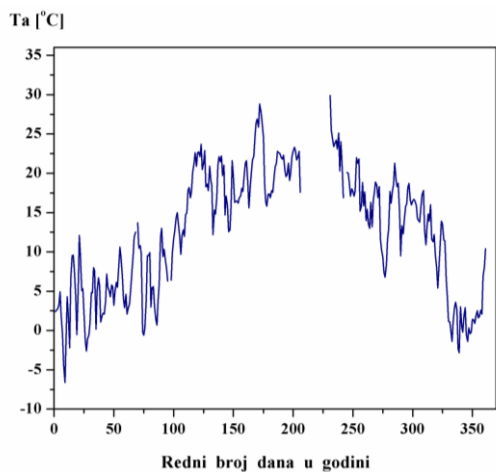
Prosečne mesečne temperature okoline u 2013. godini upoređene su sa 30-godišnjim prosekom mesečnih temperatura okoline za Niš za period 1980 – 2010. godina (Republički hidrometeorološki zavod Srbije), i prikazane su na slici 3.11.



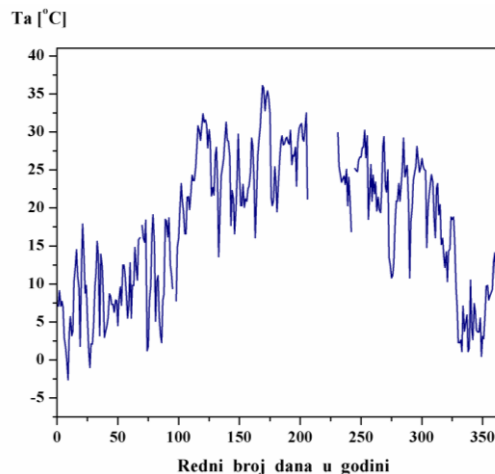
Slika 3.11. Prosečne mesečne temperature okoline u 2013. godini i 30-godišnji prosek mesečnih temperatura okoline u periodu od 1980 – 2010. godine za Niš iz Republičkog hidrometeorološkog zavoda [2]

Prosečne mesečne temperature okoline u januaru, februaru, oktobru i novembru 2013. godine su manje od mesečnih vrednosti za 30-godišnji prosek za Niš. Prosečne mesečne temperature okoline u martu i julu veće su od mesečnih vrednosti za 30-godišnji prosek za Niš. Kako su u ovom slučaju vrednosti temperatura za jednu godinu upoređene sa višegodišnjim prosekom očekuje se da postoje određena odsupanja [2,3].

Promena prosečne i maksimalne dnevne temperature okoline u 2013. godini data je na slikama 3.12 i 3.13.

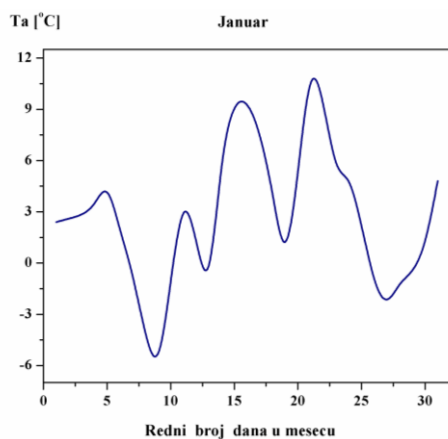


**Slika 3.12.** Promena prosečne dnevne temperature okoline u 2013. godini

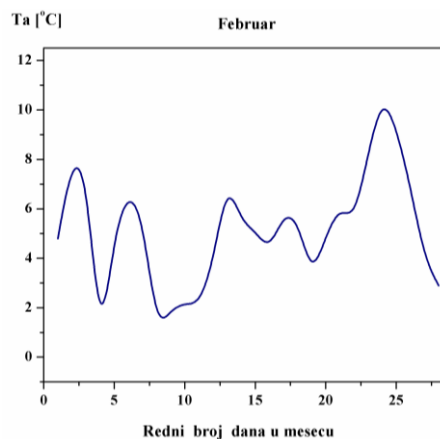


**Slika 3.13.** Promena maksimalne dnevne temperature okoline u 2013. godini

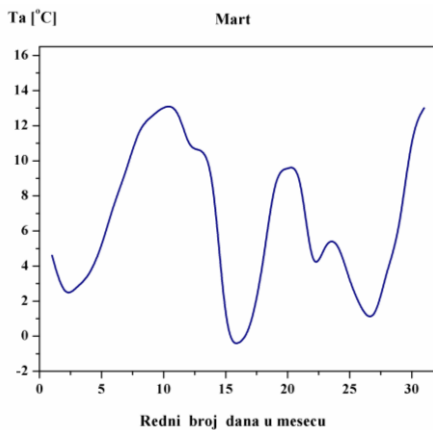
Promena prosečne dnevne temperature okoline po mesecima u periodu od januara do juna 2013. godine data je na slikama 3.14-3.19.



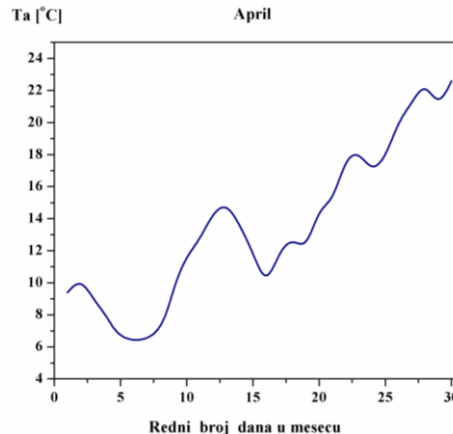
**Slika 3.14.** Promena prosečne dnevne temperature okoline u januaru 2013. godine



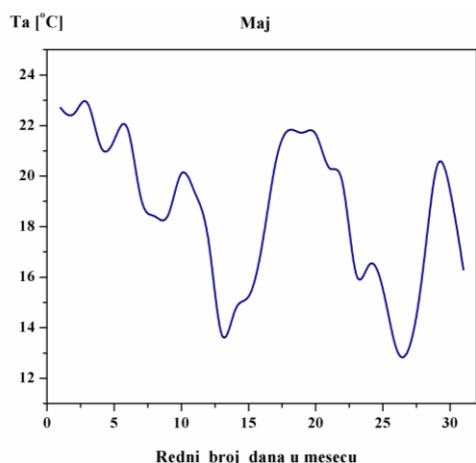
**Slika 3.15.** Promena prosečne dnevne temperature okoline u februaru 2013. godine



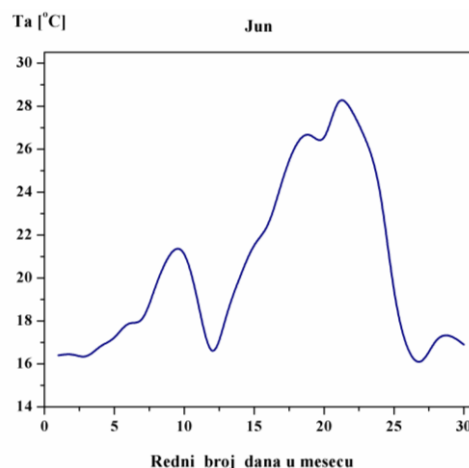
**Slika 3.16.** Promena prosečne dnevne temperature okoline u martu 2013. godine



**Slika 3.17.** Promena prosečne dnevne temperature okoline u aprilu 2013. godine

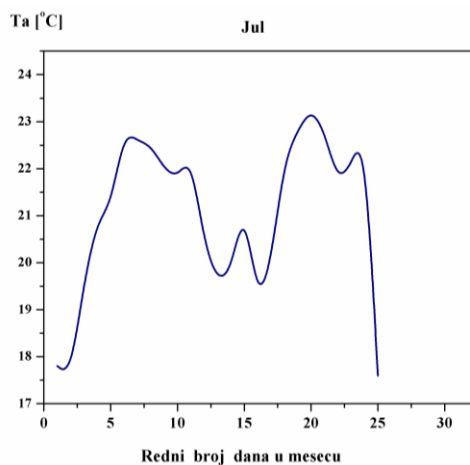


**Slika 3.18.** Promena prosečne dnevne temperature okoline u maju 2013. godine

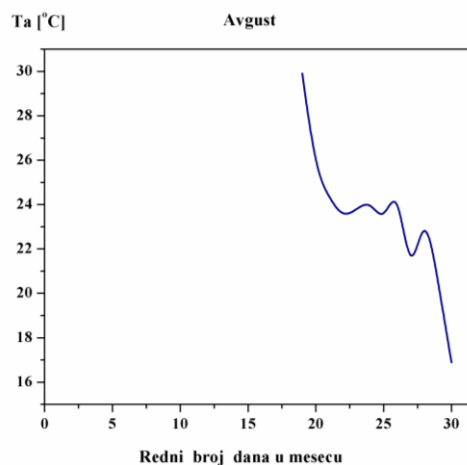


**Slika 3.19.** Promena prosečne dnevne temperature okoline u junu 2013. godine

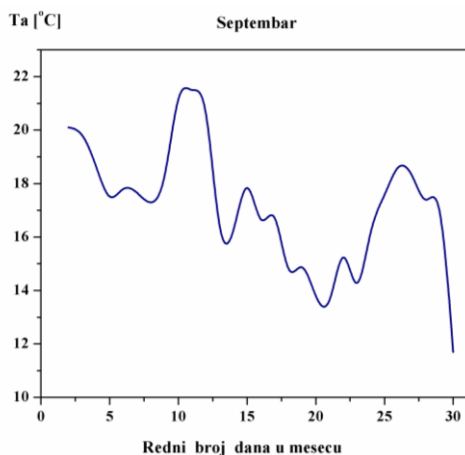
Promena prosečne dnevne temperature okoline po mesecima u periodu od jula do decembra 2013. godine data je na slikama 3.20-3.25.



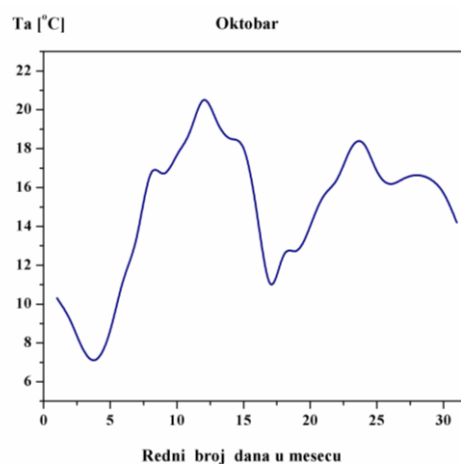
**Slika 3.20.** Promena prosečne dnevne temperature okoline u julu 2013. godine



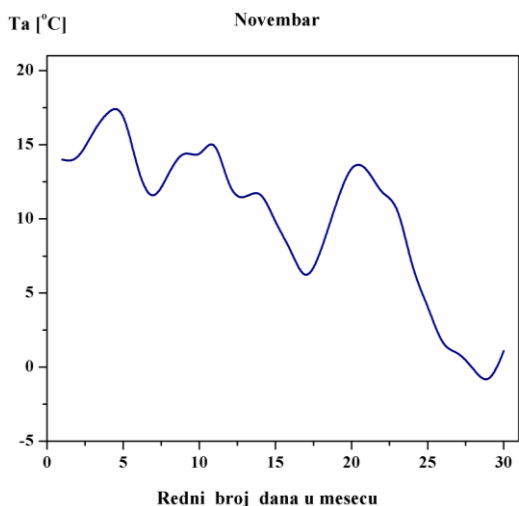
**Slika 3.21.** Promena prosečne dnevne temperature okoline u avgustu 2013. godine



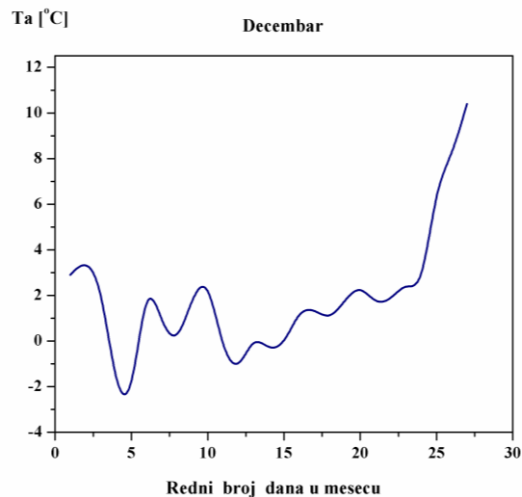
**Slika 3.22.** Promena prosečne dnevne temperature okoline u septembru 2013. godine



**Slika 3.23.** Promena prosečne dnevne temperature okoline u oktobru 2013. godine



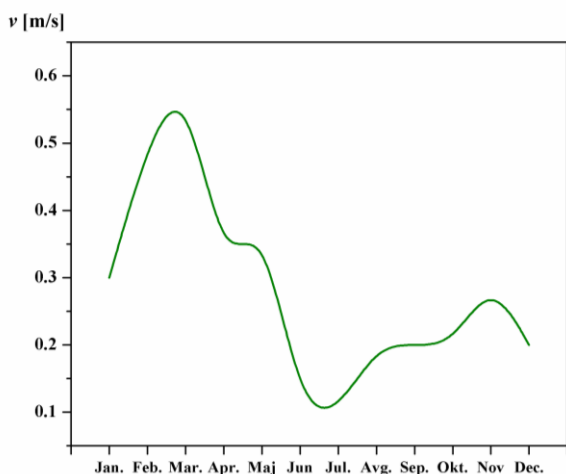
**Slika 3.24.** Promena prosečne dnevne temperature okoline u novembru 2013. godine



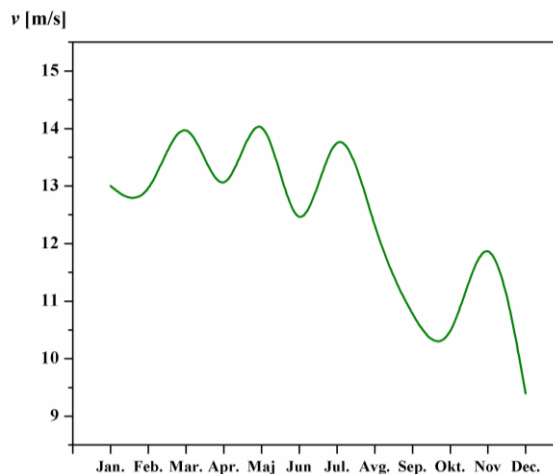
**Slika 3.25.** Promena prosečne dnevne temperature okoline u decembru 2013. godine

### 3.2.4. Merenje brzine vetra

Prosečne i maksimalne brzine vetra po mesecima u 2013. godini date su na slikama 3.26 i 3.27.



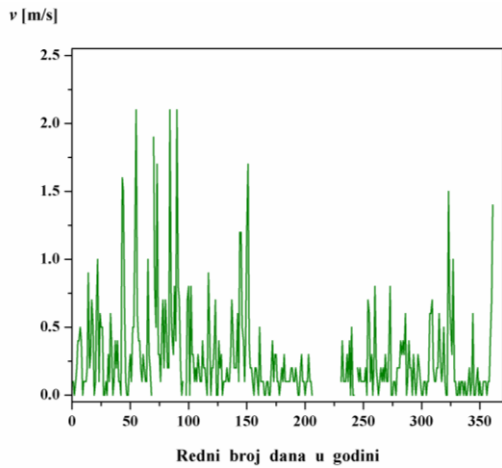
**Slika 3.26.** Prosečna brzina vetra po mesecima u 2013. godini



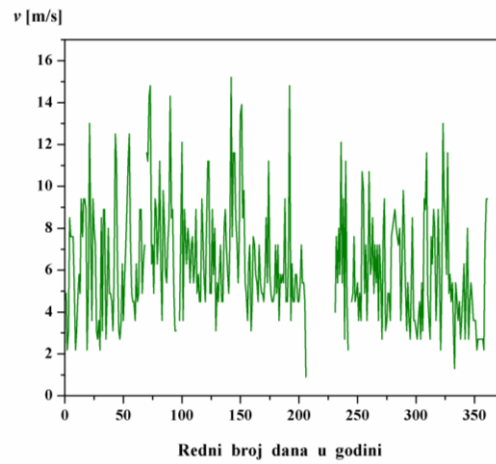
**Slika 3.27.** Maksimalna brzina vetra po mesecima u 2013. godini

Najveća prosečna brzina vetra izmerena je marta (0,6 m/s), a najmanja (0,1m/s) je izmerena u junu i julu. Vrednosti maksimalnih brzina vetra kreću se u opsegu od 10 – 14 m/s.

Promene prosečne i maksimalne dnevne brzine vetra u 2013. godini date su na slikama 3.28 i 3.29.



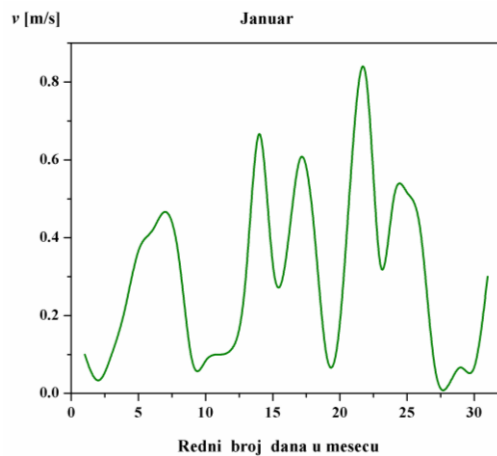
**Slika 3.28.** Promena prosečne dnevne brzine vetra u 2013. godini



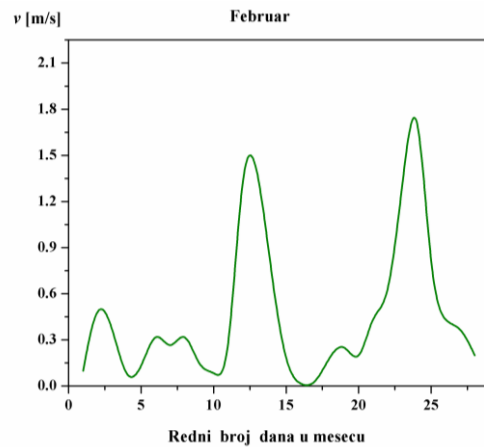
**Slika 3.29.** Promena maksimalne dnevne brzine vetra u 2013. godini

Najveći broj vetrovitih dana registrovan je u prvoj polovini godine.

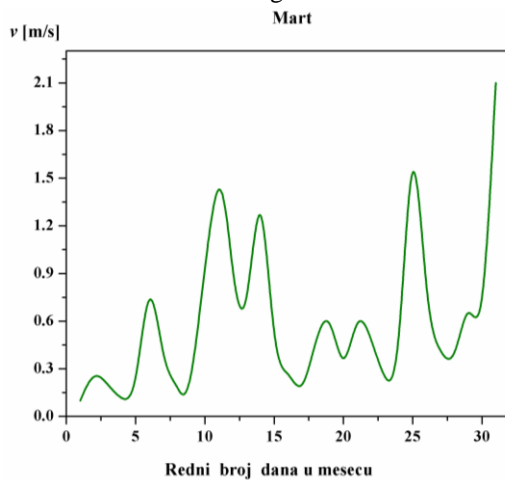
Prosečna dnevna brzina vetra u periodu od januara do juna 2013. godine data je na slikama 3.30-3.35.



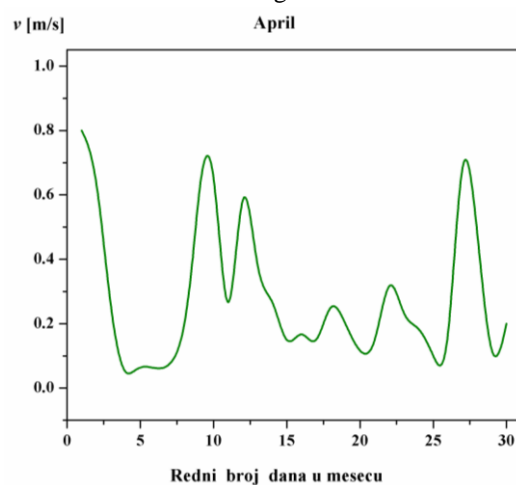
**Slika 3.30.** Prosečna dnevna brzina vetra u januaru 2013. godine.



**Slika 3.31.** Prosečna dnevna brzina vetra u februaru 2013. godine.

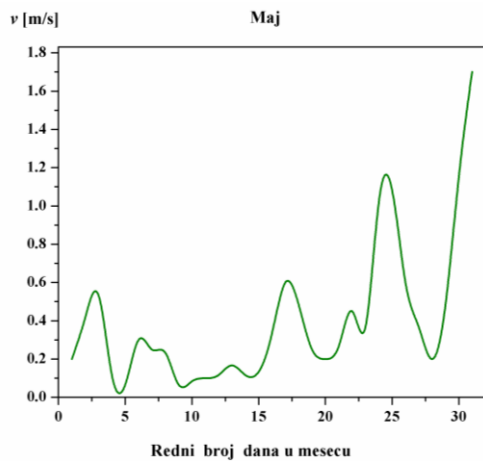


**Slika 3.32.** Prosečna dnevna brzina vetra u martu 2013. godine.

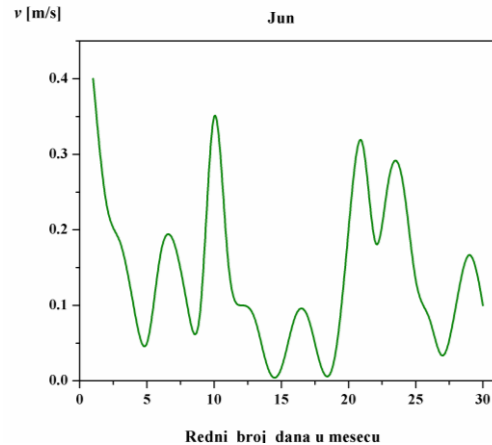


**Slika 3.33.** Prosečna dnevna brzina vetra u aprilu 2013. godine.



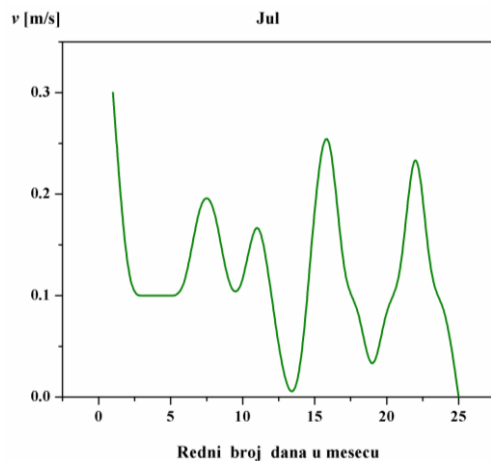


**Slika 3.34.** Prosečna dnevna brzina vetra u maju 2013. godine.

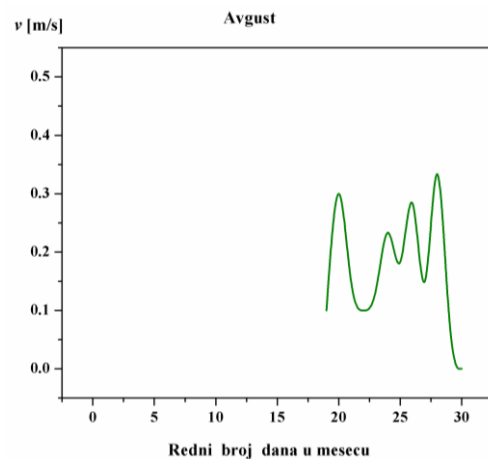


**Slika 3.35.** Prosečna dnevna brzina vetra u junu 2013. godine.

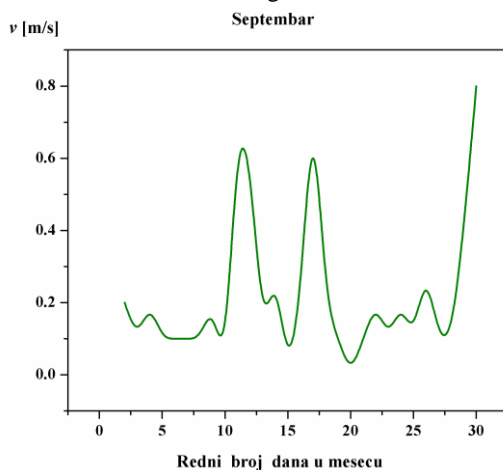
Prosečna dnevna brzina vetra u period od jula do decembra 2013. godine data je na slikama 3.36-3.41.



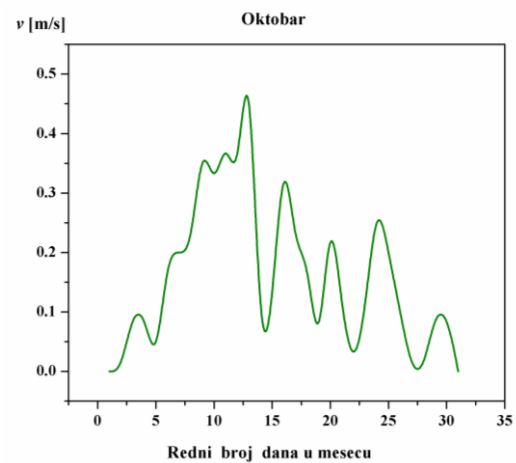
**Slika 3.36.** Prosečna dnevna brzina vetra u julu 2013. godine.



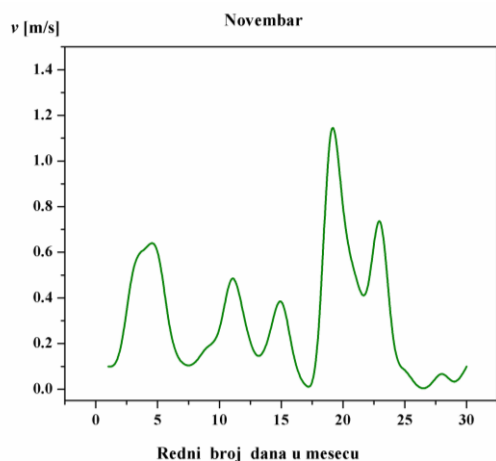
**Slika 3.37.** Prosečna dnevna brzina vetra u avgustu 2013. godine.



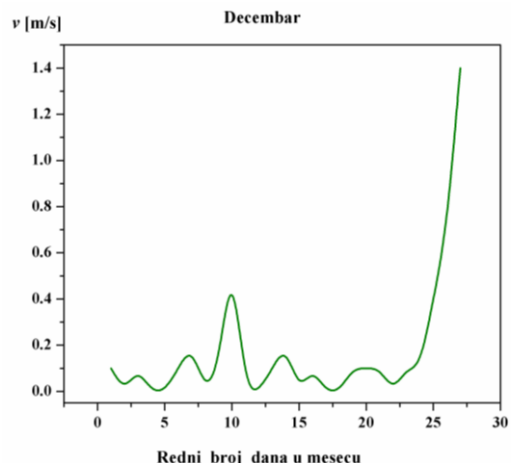
**Slika 3.38.** Prosečna dnevna brzina vetra u septembru 2013. godine.



**Slika 3.39.** Prosečna dnevna brzina vetra u oktobru 2013. godine.



Slika 3.40. Prosečna dnevna brzina vetra u novembru 2013. godine.



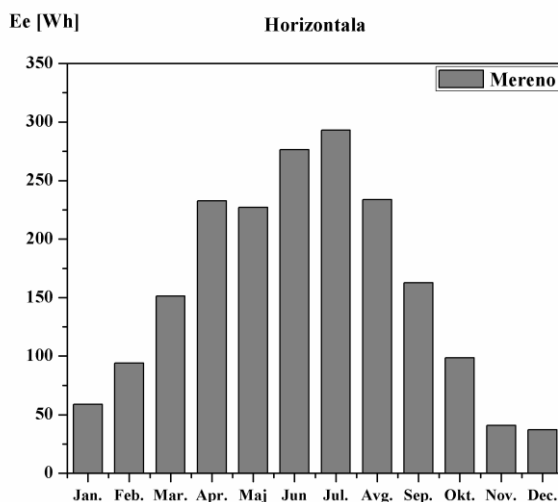
Slika 3.41. Prosečna dnevna brzina vetra u decembru 2013. godine.

### 3.2.5. Rezultati eksperimentalnog određivanja električne energije koja se dobija pomoću geografski različito orijentisanih solarnih modula snage 60 Wp u Nišu

U daljem su dati rezultati eksperimentalnog određivanja srednje dnevne, ukupne mesečne i ukupne godišnje vrednosti električne energije dobijene pomoću različito orijentisanih solarnih modula od monokristalnog silicijuma snage 60 Wp, u 2013. godini za Niš.

#### 3.2.5.1. Horizontalni solarni modul

Srednje dnevne vrednosti električne energije dobijene u toku 2013. godine pomoću horizontalnog solarnog modula snage 60 Wp date su na slici 3.42.

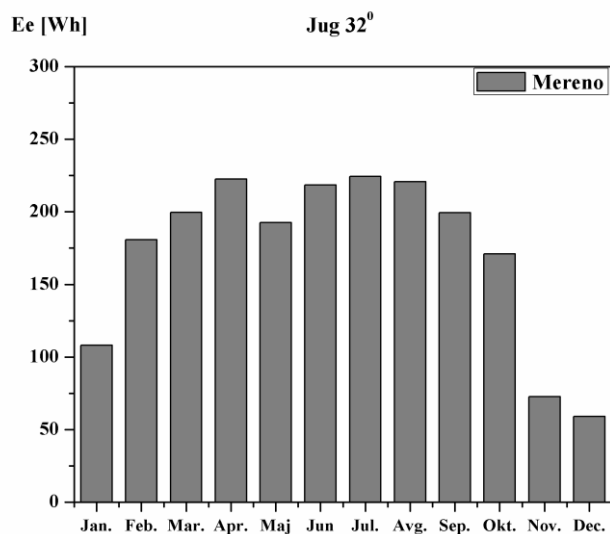


Slika 3.42. Srednje dnevne vrednosti električne energije dobijene u toku 2013. godine pomoću horizontalnog solarnog modula

Vrednosti električne energije dobijene pomoću horizontalnog solarnog modula u 2013. godini rastu od januara do jula. U periodu od avgusta do decembra vrednosti električne energije dobijene pomoću horizontalnog solarnog modula opadaju. Pomoću horizontalnog solarnog modula najviše električne energije u 2013. godini dobijeno je u toku dana u julu (293 Wh), a najmanje u toku dana u decembru (37 Wh). Ovakva promena vrednosti dobijene električne energije pomoću horizontalnog solarnog modula je u skladu sa promenom vrednosti energije Sunčevog zračenja koje je dospelo na površinu horizontalnog solarnog modula. Manje odstupanje se može uočiti u maju kada se pomoću horizontalnog modula dobija nešto manje električne energije nego u aprilu, iako su vrednosti energije Sunčevog zračenja koja je dospela na površinu horizontalnog solarnog modula u aprilu i maju bile približno iste.

### 3.2.5.2. Optimalno orijentisan solarni modul

Srednje dnevne vrednosti električne energije dobijene u toku 2013. godine pomoću optimalno orijentisanog solarnog modula snage 60 Wp date su na slici 3.43.

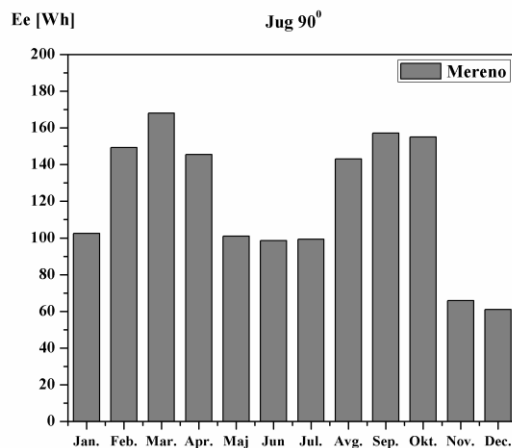


**Slika 3.43.** Srednje dnevne vrednosti električne energije dobijene u toku 2013. godine pomoću optimalno orijentisanog solarnog modula

Pomoću optimalno orijentisanog solarnog modula u 2013. godini najviše električne energije u toku dana dobijeno je u julu (224 Wh), a najmanje u decembru (59 Wh). U periodu od aprila do kraja septembra vrednosti električne energije dobijene pomoću optimalno orijentisanog solarnog modula su malo iznad 200 Wh. Ovakva promena vrednosti dobijene električne energije pomoću optimalno orijentisanog solarnog modula je u skladu sa promenom vrednosti energije Sunčevog zračenja koje je dospelo na površinu optimalno orijentisanog solarnog modula. Na slici 3.43 se može videti da je vrednost električne energije dobijene u maju manja nego u aprilu, zbog nešto manjih vrednosti energije Sunčevog zračenja koje je u maju dospelo na površinu optimalno orijentisanog solarnog modula.

### 3.2.5.3. Vertikalni solarni modul orijentisan ka jugu

Srednje dnevne vrednosti električne energije dobijene u toku 2013. godine pomoću vertikalnog solarnog modula orijentisanog ka jugu, snage 60 Wp date su na slici 3.44.

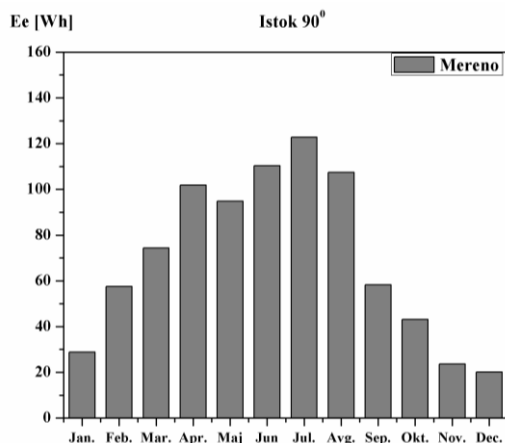


**Slika 3.44.** Srednje dnevne vrednosti električne energije dobijene u toku 2013. godine pomoću vertikalnog solarnog modula orijentisanog ka jugu

Na slici 3.44 se vidi da vrednosti električne energije dobijene pomoću vertikalnog solarnog modula orijentisanog ka jugu u 2013. godini imaju dva maksimuma, jedan u martu (168,1 Wh), a drugi u septembru (157 Wh). Pomoću vertikalnog solarnog modula orijentisanog ka jugu u 2013. godini najmanje električne energije dobijeno je u decembru (61 Wh). Ovakva promena vrednosti dobijene električne energije je u skladu sa promenom vrednosti energije Sunčevog zračenja koje je dospelo na površinu vertikalnog solarnog modula orijentisanog ka jugu. Maksimalne vrednosti energije Sunčevog zračenja koje je dospelo na površinu vertikalnog solarnog modula orijentisanog ka jugu u 2013. godini su u aprilu i oktobru.

### 3.2.5.4. Vertikalni solarni modul orijentisan ka istoku

Srednje dnevne vrednosti električne energije dobijene u toku 2013. godine pomoću vertikalnog solarnog modula orijentisanog ka istoku, snage 60 Wp date su na slici 3.45.

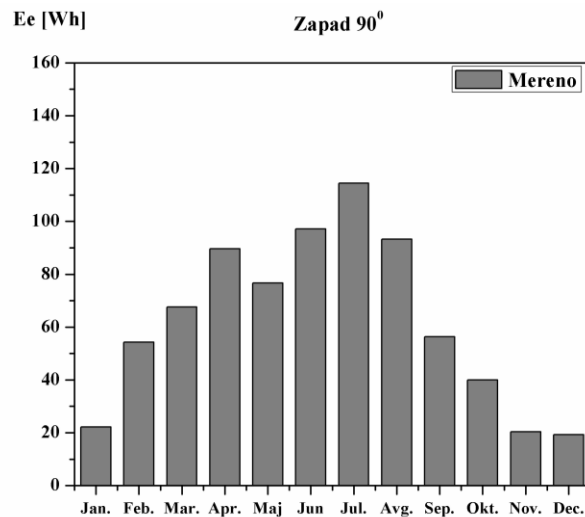


**Slika 3.45.** Srednje dnevne vrednosti električne energije dobijene u toku 2013. godine pomoću vertikalnog solarnog modula orijentisanog ka istoku

Vrednosti električne energije dobijene u toku 2013. godine pomoću vertikalnog solarnog modula orijentisanog ka istoku rastu u periodu od januara do jula, nakon čega vrednosti energije opadaju do najmanje vrednosti u decembru. Pomoću vertikalnog solarnog modula orijentisanog ka istoku u 2013. godini najviše električne energije dobijeno je u julu (122,9 Wh), a najmanje u decembru (20,1 Wh). Na slici 3.45 se može videti da je vrednost električne energije dobijene u maju manja nego u aprilu, zbog nešto manjih vrednosti energije Sunčevog zračenja koje je u maju dospelo na površinu vertikalnog solarnog modula orijentisanog ka istoku.

### 3.2.5.5. Vertikalni solarni modul orijentisan ka zapadu

Srednje dnevne vrednosti električne energije dobijene u toku 2013. godine pomoću vertikalnog solarnog modula orijentisanog ka zapadu, snage 60 Wp date su na slici 3.46.



**Slika 3.46.** Srednje dnevne vrednosti električne energije dobijene u toku 2013. godine pomoću vertikalnog solarnog modula orijentisanog ka zapadu

Pomoću vertikalnog solarnog modula orijentisanog ka zapadu u toku 2013. godine najviše električne energije dobijeno je u julu (114,5 Wh), a najmanje u decembru (19,3 Wh). Srednje dnevne vrednosti električne energije dobijene pomoću vertikalnih solarnih modula orijentisanih prema istoku i zapadu menjaju se na isti način u toku godine. U periodu od aprila do avgusta vrednosti električne energije dobijene pomoću vertikalnog solarnog modula orijentisanog ka istoku su veće od vrednosti električne energije dobijene pomoću vertikalnog solarnog modula orijentisanog ka zapadu. Do ove razlike u dobijenim električnim energijama dolazi u letnjim mesecima kada je česća pojava oblačnosti u popodnevnom časovima (usled zagrevanja tla pod dejstvom Sunčevog zračenja) i kada je povećano isparavanje koje dovodi do porasta udela difuznog Sunčevog zračenja u ukupnom sunčevom zračenju koje dopire do zemlje. Smanjenju dobijene električne energije doprinosi i viša temperatura okoline u popodnevnom časovima u odnosu na jutarnje časove, kao i viša temperatura vertikalnog solarnog modula orijentisanog ka zapadu u popodnevnom časovima u toku potpuno sunčanog dana u odnosu na temperaturu vertikalnog solarnog modula orijentisanog ka istoku.

Promene električne energije dobijene pomoću različito orijentisanih solarnih modula u 2013. godini su u skladu sa promenom energije Sunčevog zračenja koja je dospela na površine pomenutih solarnih modula. U maju je uočen pad dobijene električne energije kod svih solarnih modula, što je posledica manje vrednosti energije Sunčevog zračenja u datom mesecu. U maju je registrovan veći broj oblačnih dana što je dovelo da smanjenja vrednosti energije Sunčevog zračenja.

### 3.2.5.6. Ukupne mesečne vrednosti električne energije dobijene u toku 2013. godine pomoću različito orijentisanih solarnih modula snage 60 Wp

U tabeli 3.4 date su ukupne mesečne vrednosti električne energije dobijene u toku 2013. godine pomoću različito orijentisanih solarnih modula od monokristalnog silicijuma snage 60 Wp.

**Tabela 3.4.** Ukupne mesečne vrednosti električne energije dobijene u toku 2013. godine pomoću različito orijentisanih solarnih modula snage 60 Wp.

Mesec	Ukupne mesečne vrednosti električne energije [Wh]				
	Orijentacija solarnog modula				
	Horizontala	Jug 32°	Jug 90°	Istok 90°	Zapad 90°
Januar	1822,8	3348	3177,5	892,8	688,2
Februar	2634,8	5062,4	4177,6	1610	1520,4
Mart	4690,3	6187,6	5211,1	2306,4	2095,6
April	6978	6675	4365	3057	2691
Maj	7043,2	5967,5	3131	2941,9	2377,7
Jun	8289	6555	2958	3309	2916
Jul	9083,4	6957,5	3080,8	3808,7	3549,5
Avgust	7241,6	6841,08	4433	3330,6	2889,2
Septembar	4878,2	5978,8	4716,5	1749	1690,2
Oktoabar	3053,4	5299,6	4803,5	1336,0	1238,6
Novembar	1221,2	2179,8	1975,4	711	609
Decembar	1147	1829	1891	623,1	598,3

Vrednosti električne energije dobijene pomoću horizontalnog solarnog modula i vertikalnih solarnih modula orijentisanih ka istoku i zapadu, menjaju se na isti način u toku godine.

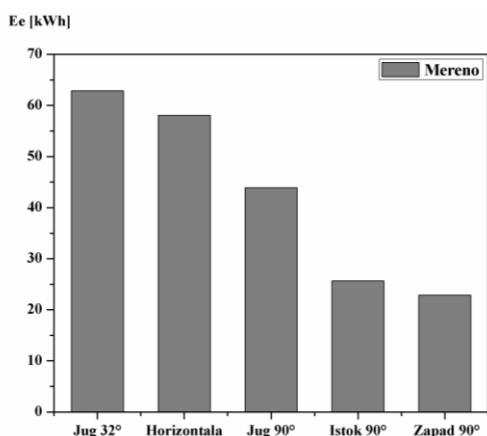
Pomoću horizontalnog, optimalno orijentisanog i vertikalnih solarnih modula u julu su dobijene najveće vrednosti električne energije, više nego u bilo kom drugom mesecu u 2013. godini. Ovo je u skladu sa najvećom vrednošću energije Sunčevog zračenja koje je dospelo na površine pomenutih solarnih modula. Maksimalna vrednost električne energije od 9083,4 Wh dobijena je pomoću horizontalnog solarnog modula u julu.

### 3.2.5.7. Ukupne godišnje vrednosti električne energije dobijene u toku 2013. godine pomoću različito orijentisanih solarnih modula snage 60 Wp

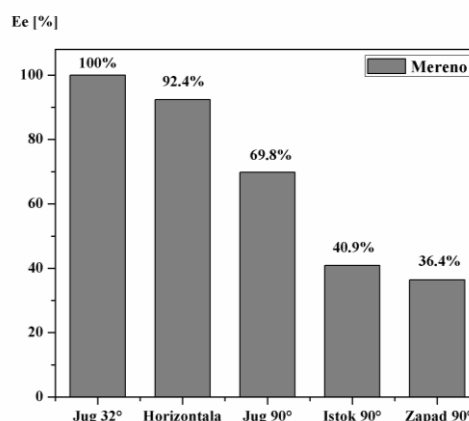
Ukupne vrednosti električne energije dobijene pomoću različito orijentisanih solarnih modula snage 60 Wp u toku 2013. godine u kWh i procentima u odnosu na optimalno orijentisani solarni modula data su u tabeli 3.5 i na slikama 3.47 i 3.48, respektivno.

**Tabela 3.5.** Ukupne vrednosti električne energije dobijene pomoću različito orijentisanih solarnih modula snage 60 Wp u toku 2013. godine u procentima

Orijentacija solarnog modula	Ee (kWh)	%
Optimalno orijentisan	62,9	100
Horizontalni	58,1	92,4
Jug 90°	43,9	69,8
Istok 90°	25,7	40,9
Zapad 90°	22,9	36,4



**Slika 3.47.** Ukupna električna energija dobijena pomoću različito orijentisanih solarnih modula snage 60 Wp u toku 2013. godine



**Slika 3.48.** Procentualni odnos električne energije dobijene pomoću različito orijentisanih solarnih modula snage 60 Wp u toku 2013. godine

Najviše električne energije u toku 2013. godine dobijeno je pomoću optimalno orijentisanog solarnog modula (62,9 kWh), zatim pomoću horizontalnog solarnog modula (58,1 kWh) i vertikalno orijentisanog ka jugu (43,9 kWh). Pomoću vertikalnih solarnih modula orijentisanih ka istoku i zapadu može se dobiti 25,7 kWh i 22,9 kWh godišnje, respektivno. Do razlika u električnim energijama dobijenim pomoću vertikalnih solarnih modula orijentisanih ka istoku i zapadu dolazi zbog uticaja lokalnih klimatskih uslova.

U poređenju sa optimalno orijentisanim solarnim modulom, u toku 2013. godine pomoću horizontalnog solarnog modula dobijeno je 7,6% manje električne energije, a pomoću vertikalnih solarnih modula orijentisanih ka jugu, istoku i zapadu dobijeno je 30,2%, 59,1% i 63,6%, respektivno, manje električne energije.

### 3.2.6. Rezultati eksperimentalnog određivanja energetske efikasnosti geografski različito orijentisanih solarnih modula u Nišu

Srednje dnevne vrednosti energetske efikasnosti horizontalnog, optimalno orijentisanog i vertikalnog solarnog modula orijentisanog ka jugu izračunate su na osnovu dobijenih srednjih dnevnih vrednosti električne energije i srednjih dnevnih vrednosti energije Sunčevog zračenja koja je dospela na površine datih solarnih modula (energije Sunčevog zračenja za optimalno orijentisani i vertikalni solarni modul orijentisan ka jugu izračunate pomoću formula 1.12, 1.13 i 1.14), za 2013. godinu. Srednja dnevna energetska efikasnost tri navedena solarna modula data je u tabeli 3.6.

**Tabela 3.6.** Srednje dnevne vrednosti energetske efikasnosti horizontalnog, optimalno orijentisanog i vertikalnog solarnog modula orijentisanog ka jugu, u 2013. Godini

	$\eta_{\text{horiz.}} (\%)$	$\eta_{\text{jug } 32^\circ} (\%)$	$\eta_{\text{jug } 90^\circ} (\%)$
Januar	13,0	13,3	11,6
Februar	11,8	12,7	12,2
Mart	11,4	12,6	12,2
April	11,1	9,6	11,1
Maj	11,3	8,1	9,8
Jun	9,7	7,9	11,4
Jul	10,4	7,4	11,1
Avgust	9,4	7,7	8,2
Septembar	10,7	9,6	11,1
Oktobar	9,6	11,0	11,5
Novembar	9,0	10,7	10,0
Decembar	9,7	12	10,8
Prosečna vrednost	<b>10,6</b>	<b>10,2</b>	<b>10,9</b>

U periodu od januara do avgusta srednja dnevna energetska efikasnost horizontalnog solarnog modula opada, sa manjim odstupanjem u julu, kada je uočen porast efikasnosti datog solarnog modula. U periodu od avgusta do decembra srednja dnevna energetska efikasnost horizontalnog solarnog modula raste. U septembru je uočen nagli porast energetske efikasnosti horizontalnog solarnog modula. Najveću srednju dnevnu efikasnost horizontalni solarni modul ima u januaru (13%) a, najmanju ima u novembru (9%).

Srednja dnevna energetska efikasnost optimalno orijentisanog solarnog modula opada od maksimalnih vrednosti u januaru, februaru i martu do najmanjih vrednosti u junu, julu i avgust. U periodu od septembra do decembra srednja dnevna energetska efikasnost optimalno



orijentisanog solarnog modula ponovo raste. U novembru je uočen manji pad srednje dnevne energetske efikasnosti optimalno orijentisanog solarnog modula. Optimalno orijentisani modul ima najveću srednju dnevnu energetska efikasnost u januaru (13,3%), a najmanju u julu (7,4%).

U toku 2013. godine srednja dnevna energetska efikasnost vertikalnog solarnog modula orijentisanog ka jugu dosta se menjala. Mogu se uočiti dva minimuma energetske efikasnosti vertikalnog solarnog modula, jedan u maju, a drugi u avgustu, kao i dva maksimuma energetske efikasnosti, jedan u februaru i martu, a drugi u septembru i oktobru. Manji porast energetske efikasnosti uočen je u junu i julu, što može biti posledica manjeg zagrevanja datog solarnog modula u poređenju sa horizontalnim i optimalno orijentisanim solarnim modulom zbog ugla pod kojim sunčevo zračenje dospeva na površinu vertikalnog solarnog modula u ovim mesecima. Vertikalni solarni modul orijentisan ka jugu ima najveću srednju dnevnu energetska efikasnost u februaru (12,2%), a najmanju u avgustu (8,2%).

Najveće srednje dnevne vrednosti energetske efikasnosti horizontalnog, optimalno orijentisanog i vertikalnog solarnog modula orijentisanog ka jugu bile su u hladnim zimskim mesecima (u januaru i februaru), a najmanje vrednosti u toplim letnjim mesecima (u avgustu). U novembru je uočen pad srednjih dnevnih efikasnosti sva tri solarna modula.

Najmanje vrednosti srednje dnevne efikasnosti horizontalnog i optimalno orijentisanog solarnog modula u junu i julu mogu se objasniti kombinacijom visoke temperature ambijenta i visokim vrednostima intenziteta Sunčevog zračenja koje dospeva na solarne module, što je dovelo do znatnog povećanja temperature solarnog modula i za posledicu imalo smanjenje efikasnosti solarnih modula.

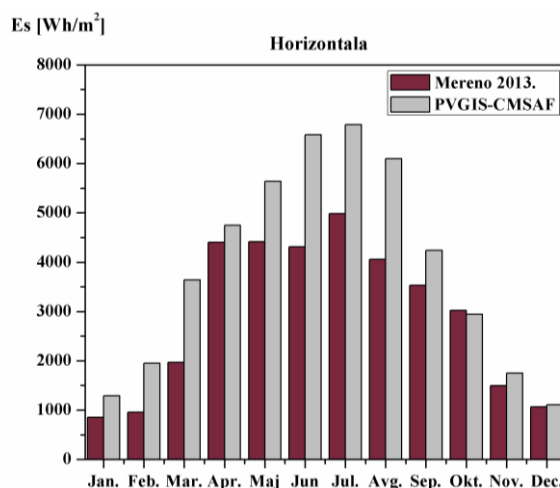
### **3.3. Rezultati upoređivanja teorijski i eksperimentalno dobijenih rezultata**

#### **3.3.1. Rezultati upoređivanja teorijski i eksperimentalno određenih vrednosti energije Sunčevog zračenja koja dospeva na horizontalnu, optimalno orijentisanu i vertikalnu površinu orijentisanu ka jugu, za Niš**

U daljem su dati rezultati upoređivanja teorijski izračunate (PVGIS-CMSAF program) i eksperimentalno određene energije Sunčevog zračenja (za 2013. godinu) koja dospeva na horizontalnu, optimalno orijentisanu i vertikalnu površinu orijentisanu ka jugu, za Niš.

##### **3.3.1.1. Horizontalna površina**

Uporedni prikaz teorijski izračunate energije Sunčevog zračenja pomoću PVGIS-CMSAF programa i eksperimentalno određenje energije Sunčevog zračenja za 2013. godinu koja u toku godine dospeva na horizontalnu površinu dat je na slici 3.49.

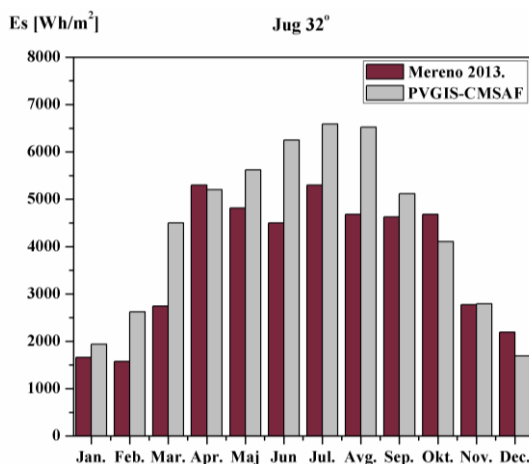


**Slika 3.49.** Uporedni prikaz teorijski izračunate energije Sunčevog zračenja (PVGIS-CMSAF) i eksperimentalno određene energije Sunčevog zračenja (2013. godina) koja u toku godine dospeva na horizontalnu površinu

U toku cele godine su teorijski izračunate vrednosti energije Sunčevog zračenja, koja dospeva na horizontalnu površinu, veće od eksperimentalno određenih vrednosti energije Sunčevog zračenja za datu površinu. Na slici 3.49 vidi se da je najbolje slaganje između eksperimentalnih i teorijskih vrednosti energije Sunčevog zračenja u aprilu, oktobru i decembru, a najveće odstupanje je u februaru, martu i junu. U proseku su teorijski određene vrednosti energije Sunčevog zračenja veće za 24% u odnosu na eksperimentalno određene vrednosti energije Sunčevog zračenja koja u toku godine dospeva na horizontalnu površinu.

### 3.3.1.2. Optimalno orijentisana površina

Uporedni prikaz teorijski izračunate energije Sunčevog zračenja pomoću PVGIS-CMSAF programa i eksperimentalno određene energije Sunčevog zračenja za 2013. godinu koja u toku godine dospeva na optimalno orijentisanu površinu dat je na slici 3.50.

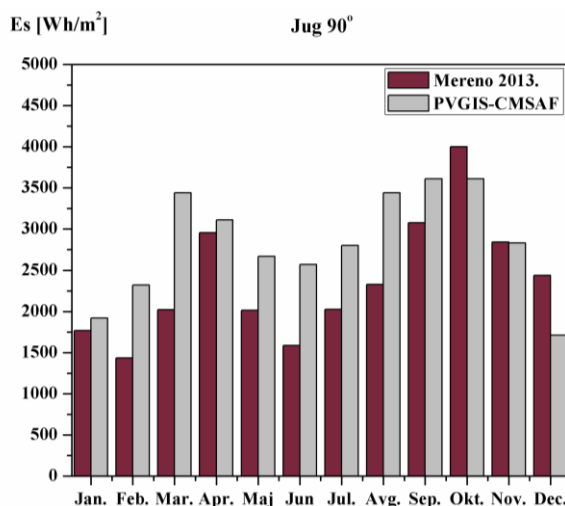


**Slika 3.50.** Uporedni prikaz teorijski izračunate energije Sunčevog zračenja (PVGIS-CMSAF) i eksperimentalno određene energije Sunčevog zračenja (2013. godina) koja u toku godine dospeva na optimalno orijentisanu površinu

Teorijski izračunate vrednosti energije Sunčevog zračenja, koja dospeva na optimalno orijentisanu površinu su manje od eksperimentalno određenih vrednosti energije Sunčevog zračenja u aprilu, oktobru i decembru, a u ostalim mesecima u toku godine teorijski izračunate vrednosti energije Sunčevog zračenja su veće. Na slici 3.50 vidi se da je najbolje slaganje između eksperimentalnih i teorijskih vrednosti energije Sunčevog zračenja u aprilu, septembru i novembru, a najveće odstupanje je u februaru, martu i decembru. U proseku su teorijski određene vrednosti energije Sunčevog zračenja veće za 12,3% u odnosu na eksperimentalno određene vrednosti energije Sunčevog zračenja koja u toku godine dospeva na optimalno orijentisanu površinu.

### 3.3.1.3. Vertikalna površina orijentisana ka jugu

Uporedni prikaz teorijski izračunate energije Sunčevog zračenja pomoću PVGIS-CMSAF programa i eksperimentalno određene energije Sunčevog zračenja za 2013. godinu koja u toku godine dospeva na vertikalnu površinu orijentisanu ka jugu dat je na slici 3.51.



**Slika 3.51.** Uporedni prikaz teorijski izračunate energije Sunčevog zračenja (PVGIS-CMSAF) i eksperimentalno određene energije Sunčevog zračenja (2013. godina) koja u toku godine dospeva na vertikalnu površinu orijentisanu ka jugu

Teorijski izračunate vrednosti energije Sunčevog zračenja, koja dospeva na vertikalnu površinu orijentisanu ka jugu su veće od eksperimentalno određenih vrednosti energije Sunčevog zračenja u svim mesecima u toku godine, osim u oktobru i decembru. Na slici 3.51 vidi se da je najbolje slaganje između eksperimentalnih i teorijskih vrednosti energije Sunčevog zračenja u januaru, aprilu i novembru, a najveće odstupanje je u februaru, martu, junu i decembru. U proseku su teorijski određene vrednosti energije Sunčevog zračenja veće za 14,7% u odnosu na eksperimentalno određene vrednosti energije Sunčevog zračenja koja u toku godine dospeva na vertikalnu površinu orijentisanu ka jugu.

Za sve tri različito orijentisane površine najveće odstupanje teorijskih i eksperimentalnih vrednosti energije Sunčevog zračenja je u februaru i martu, a najbolje slaganje je u aprilu. Takođe, teorijski izračunate vrednosti energije Sunčevog zračenja pomoću PVGIS-CMSAF programa su u proseku veće od eksperimentalno određenih

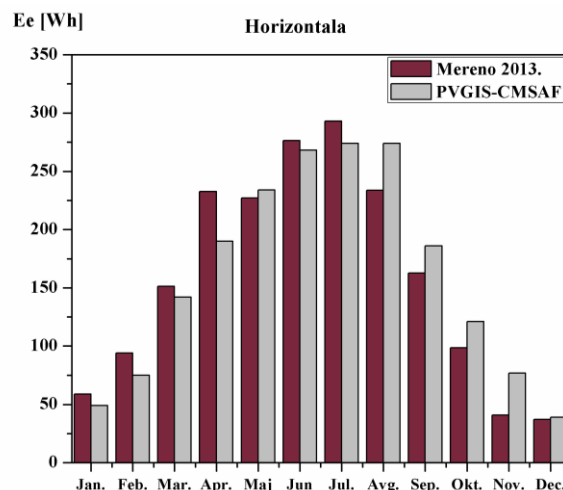
vrednosti energije Sunčevog zračenja za sve tri različito orijentisane površine. Treba naglasiti da vrednosti energije Sunčevog zračenja izračunate PVGIS-CMSAF programom predstavljaju srednje vrednosti energije za period od 12 godina. Razlika između teorijskih i eksperimentalnih vrednosti energije Sunčevog zračenja može se objasniti činjenicom da su pomenute srednje vrednosti energije za period od 12 godina upoređene sa eksperimentalnim vrednostima za samo jednu godinu (2013. godina).

### 3.3.2. Rezultati upoređivanja teorijski izračunatih i eksperimentalno određenih vrednosti električne energije koja se dobija pomoću različito orijentisanih solarnih modula u Nišu

U daljem su dati rezultati upoređivanja teorijski (PVGIS-CMSAF program) i eksperimentalno određene električne energije (za 2013. godinu) koja se dobija pomoću različito orijentisanih solarnih modula od monokristalnog silicijuma snage 60 Wp za Niš.

#### 3.3.2.1. Horizontalni solarni modul

Uporedni prikaz teorijski izračunatih vrednosti električne energije pomoću PVGIS-CMSAF programa i eksperimentalno određenih vrednosti električne energije koja se u toku godine dobija pomoću horizontalnog solarnog modula dat je na slici 3.52.



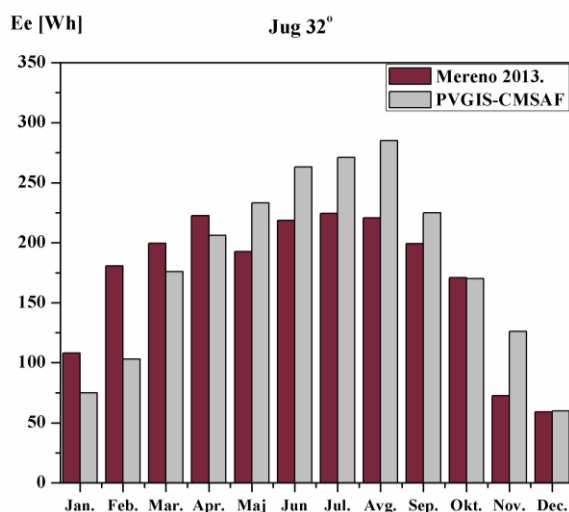
**Slika 3.52.** Uporedni prikaz teorijski izračunatih vrednosti električne energije pomoću PVGIS-CMSAF programa i eksperimentalno određenih vrednosti električne energije koja se dobija pomoću horizontalnog solarnog modula

U periodu od januara do jula eksperimentalno određene vrednosti električne energije, koja se dobija pomoću horizontalnog solarnog modula, su veće od teorijski izračunatih vrednosti, a u periodu od avgusta do decembra eksperimentalno određene vrednosti su manje od teorijski izračunatih vrednosti električne energije. Na slici 3.52 vidi se da je najbolje slaganje između eksperimentalnih i teorijskih vrednosti električne energije u martu, maju, junu, julu i decembru, a najveće odstupanje je u februaru, aprilu i novembru. U proseku su

eksperimentalno određene srednje mesečne vrednosti električne energije manje za 1,4% u odnosu na teorijski izračunate srednje mesečne vrednosti električne energije.

### 3.3.2.2. Optimalno orijentisani solarni modul

Uporedni prikaz teorijski izračunatih vrednosti električne energije pomoću PVGIS-CMSAF programa i eksperimentalno određenih vrednosti električne energije koja se dobija pomoću optimalno orijentisanog solarnog modula dat je na slici 3.53.

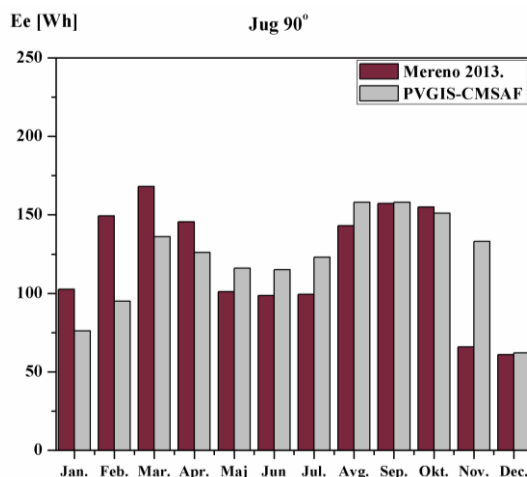


**Slika 3.53.** Uporedni prikaz teorijski izračunatih vrednosti električne energije pomoću PVGIS-CMSAF programa i eksperimentalno određenih vrednosti električne energije koja se dobija pomoću optimalno orijentisanog solarnog modula

U periodu od januara do aprila eksperimentalno određene vrednosti električne energije, koja se dobija pomoću optimalno orijentisanog solarnog modula, su veće od teorijski izračunatih vrednosti. U periodu od maja do avgusta, kao i u novembru, eksperimentalno određene vrednosti su manje od teorijski izračunatih vrednosti električne energije. Na slici 3.53 vidi se da je najbolje slaganje između eksperimentalnih i teorijskih vrednosti električne energije u aprilu, oktobru i decembru, a najveće odstupanje je u februaru i novembru. U proseku su eksperimentalno određene srednje mesečne vrednosti električne energije, koja se dobija pomoću optimalno orijentisanog solarnog modula, veće za 1,0% u odnosu na teorijski izračunate srednje mesečne vrednosti električne energije.

### 3.3.2.3. Vertikalni solarni modul orijentisan ka jugu

Uporedni prikaz teorijski izračunatih vrednosti električne energije pomoću PVGIS-CMSAF programa i eksperimentalno određenih vrednosti električne energije koja se dobija pomoću vertikalnog solarnog modula orijentisanog ka jugu dat je na slici 3.54.

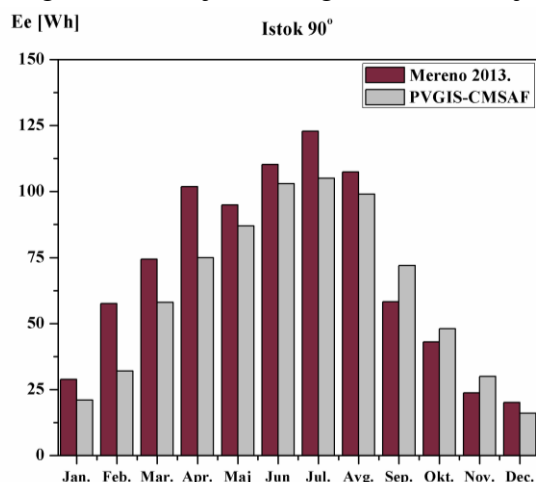


**Slika 3.54.** Uporedni prikaz teorijski izračunatih vrednosti električne energije pomoću PVGIS-CMSAF programa i eksperimentalno određenih vrednosti električne energije koja se dobija pomoću vertikalnog solarnog modula orijentisanog ka jugu

U periodu od januara do aprila eksperimentalno određene vrednosti električne energije, koja se dobija pomoću vertikalnog solarnog modula orijentisanog ka jugu, su veće od teorijski izračunatih vrednosti. U periodu od maja do decembra eksperimentalno određene vrednosti su manje od teorijski izračunatih vrednosti električne energije. Na slici 3.54 vidi se da je najbolje slaganje između eksperimentalnih i teorijskih vrednosti električne energije u septembru, oktobru i decembru, a najveće odstupanje je u februaru i novembru. U proseku su eksperimentalno određene srednje mesečne vrednosti električne energije, koja se dobija pomoću vertikalnog solarnog modula orijentisanog ka jugu, veće za 2,1% u odnosu na teorijski izračunate srednje mesečne vrednosti električne energije.

### 3.3.2.4. Vertikalni solarni modul orijentisan ka istoku

Uporedni prikaz teorijski izračunatih vrednosti električne energije pomoću PVGIS-CMSAF programa i eksperimentalno određenih vrednosti električne energije koja se dobija pomoću vertikalnog solarnog modula orijentisanog ka istoku dat je na slici 3.55.

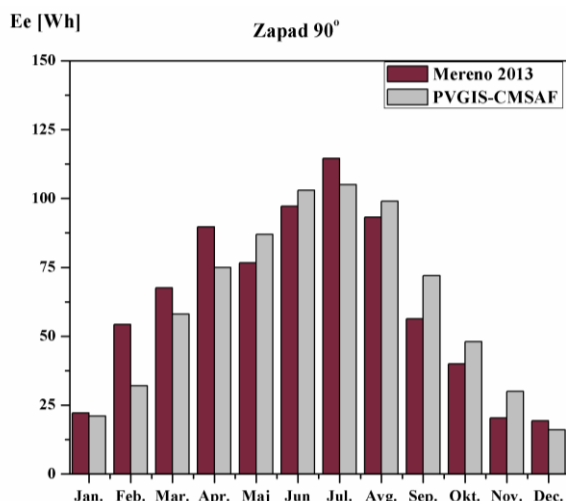


**Slika 3.55.** Uporedni prikaz teorijski izračunatih vrednosti električne energije pomoću PVGIS-CMSAF programa i eksperimentalno određenih vrednosti električne energije koja se dobija pomoću vertikalnog solarnog modula orijentisanog ka istoku

U periodu od januara do avgusta eksperimentalno određene vrednosti električne energije, koja se dobija pomoću vertikalnog solarnog modula orijentisanog ka istoku, su veće od teorijski izračunatih vrednosti. U periodu od septembra do decembra eksperimentalno određene vrednosti su manje od teorijski izračunatih vrednosti električne energije. Na slici 3.55 vidi se da je najbolje slaganje između eksperimentalnih i teorijskih vrednosti električne energije u maju, junu i avgustu, a najveće odstupanje je u januaru, februaru i martu. U proseku su eksperimentalno određene srednje mesečne vrednosti električne energije, koja se dobija pomoću vertikalnog solarnog modula orijentisanog ka istoku, veće za 16,5% u odnosu na teorijski izračunate srednje mesečne vrednosti električne energije.

### 3.3.2.5. Vertikalni solarni modul orijentisan ka zapadu

Uporedni prikaz teorijski izračunatih vrednosti električne energije pomoću PVGIS-CMSAF programa i eksperimentalno određenih vrednosti električne energije koja se dobija pomoću vertikalnog solarnog modula orijentisanog ka zapadu dat je na slici 3.56.

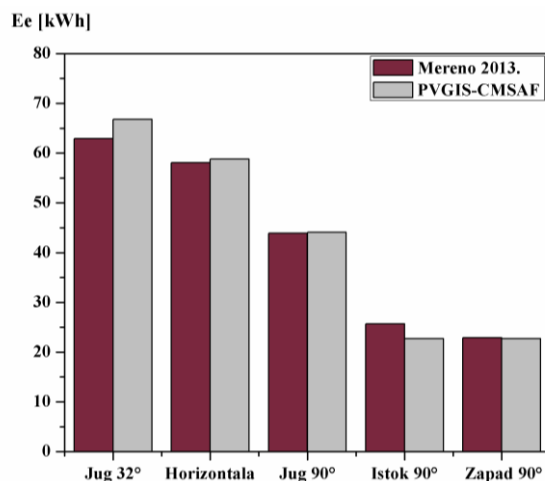


**Slika 3.56.** Uporedni prikaz teorijski izračunatih vrednosti električne energije pomoću PVGIS-CMSAF programa i eksperimentalno određenih vrednosti električne energije koja se dobija pomoću vertikalnog solarnog modula orijentisanog ka zapadu

U periodu od januara do aprila, kao i u julu, eksperimentalno određene vrednosti električne energije, koja se dobija pomoću vertikalnog solarnog modula orijentisanog ka zapadu, su veće od teorijski izračunatih vrednosti. U periodu od maja do decembra eksperimentalno određene vrednosti su manje od teorijski izračunatih vrednosti električne energije. Na slici 3.56 vidi se da je najbolje slaganje između eksperimentalnih i teorijskih vrednosti električne energije u maju, junu i avgustu, a najveće odstupanje je u januaru, februaru i martu. U proseku su eksperimentalno određene srednje mesečne vrednosti električne energije, koja se dobija pomoću vertikalnog solarnog modula orijentisanog ka zapadu, veće za 3,9% u odnosu na teorijski izračunate srednje mesečne vrednosti električne energije.

### 3.3.2.6. Upoređivanje ukupnih godišnjih vrednosti električne energije

Uporedni prikaz ukupne teorijski izračunate vrednosti električne energije pomoću PVGIS-CMSAF programa i ukupne eksperimentalno određene vrednosti električne energije, koja se u toku godine može dobiti pomoću različito orijentisanih solarnih modula snage 60 Wp, dat je na slici 3.57.



**Slika 3.57.** Uporedni prikaz ukupne teorijski izračunate vrednosti električne energije pomoću PVGIS-CMSAF programa i ukupne eksperimentalno određene vrednosti električne energije, koja se u toku godine može dobiti pomoću različito orijentisanih solarnih modula snage 60 Wp

Ukupna električna energija dobijena pomoću horizontalnog, optimalno orijentisanog i vertikalnog solarnog modula orijentisanog ka jugu u 2013. godini je za 1,2%, 6% i 0,5%, respektivno, manja u odnosu na ukupnu električnu energiju izračunatu pomoću PVGIS-CMSAF programa. Ukupna električna energija dobijena pomoću vertikalnog solarnog modula orijentisanog ka istoku i zapadu u 2013. godini je za 12% i 1% veća u odnosu na ukupnu električnu energiju izračunatu pomoću PVGIS-CMSAF programa.

Na osnovu prikazanih podataka može se zaključiti da postoji dobro slaganje između eksperimentalnih i teorijskih vrednosti električne energije koja se dobija pomoću različito orijentisanih solarnih modula. Najbolje slaganje između eksperimentalnih i teorijskih podataka je za vertikalni solarni modul orijentisan ka jugu. Najveće odstupanje između eksperimentalnih i teorijskih vrednosti električne energije je za vertikalni solarni modul orijentisan ka istoku.

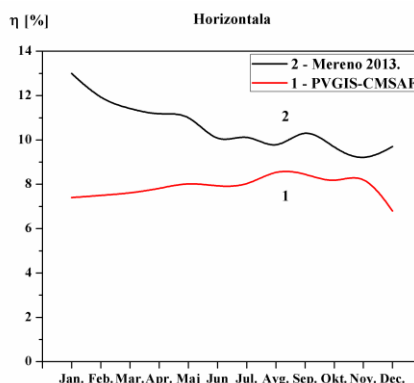
### 3.3.3. Rezultati upoređivanja srednjih dnevnih vrednosti teorijski izračunate i eksperimentalno određene energetske efikasnosti geografski različito orijentisanih solarnih modula u Nišu

U daljem su dati rezultati upoređivanja srednjih dnevnih vrednosti teorijski izračunate (PVGIS-CMSAF program) i eksperimentalno određene energetske efikasnosti (za 2013. godinu) za horizontalni, optimalno orijentisani i vertikalni solarni modul orijentisan ka jugu, za Niš.



### 3.3.3.1. Horizontalni solarni modul

Uporedni prikaz srednjih dnevnih vrednosti teorijski izračunate i eksperimentalno određene energetske efikasnosti za horizontalni solarni modul dat je na slici 3.58.

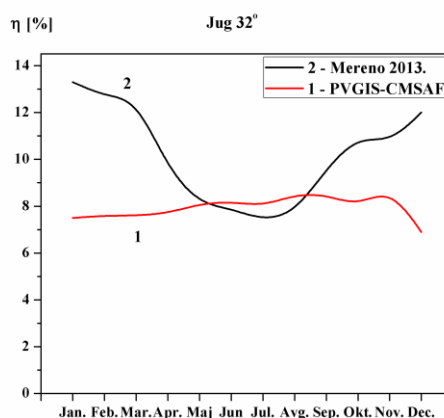


**Slika 3.58.** Uporedni prikaz srednjih dnevnih vrednosti teorijski izračunate (1) i eksperimentalno određene energetske efikasnosti (2) za horizontalni solarni modul

U periodu od januara do juna može se uočiti blagi porast srednjih dnevnih vrednosti teorijski izračunate energetske efikasnosti (kriva 1), pri čemu se u istom periodu uočava pad srednjih dnevnih vrednosti eksperimentalno određene energetske efikasnosti horizontalnog solarnog modula (kriva 2). Upravo u ovom periodu je najveće odstupanje teorijski izračunatih i eksperimentalno određenih vrednosti energetske efikasnosti horizontalnog solarnog modula. Najmanje odstupanje između teorijskih i eksperimentalnih vrednosti energetske efikasnosti je u avgustu i novembru, kada su eksperimentalne vrednosti veće od teorijskih vrednosti energetske efikasnosti za 8% i 4,7%, redom. U decembru eksperimentalno određene vrednosti energetske efikasnostu rastu, a teorijske vrednosti opadaju.

### 3.3.3.2. Optimalno orijentisan solarni modul

Uporedni prikaz srednjih dnevnih vrednosti teorijski izračunate i eksperimentalno određene energetske efikasnosti za optimalno orijentisani solarni modul dat je na slici 3.59.

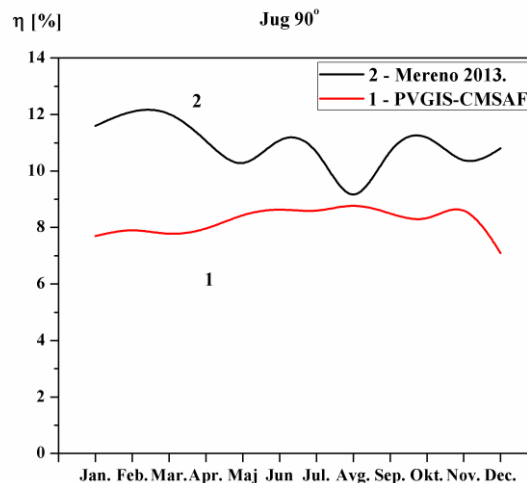


**Slika 3.59.** Uporedni prikaz srednjih dnevnih vrednosti teorijski izračunate (1) i eksperimentalno određene energetske efikasnosti (2) za optimalno orijentisani solarni modul

U periodu od januara do jula može se uočiti blagi porast srednjih dnevnih vrednosti teorijski izračunate energetske efikasnosti (kriva 1), pri čemu se u istom periodu uočava nagli pad srednjih dnevnih vrednosti eksperimentalno određene energetske efikasnosti optimalno orijentisanog solarnog modula (kriva 2). U periodu od avgusta do novembra srednje dnevne vrednosti eksperimentalno određene energetske efikasnosti naglo rastu, a teorijski određene vrednosti se malo razlikuju. U decembru eksperimentalno određene vrednosti energetske efikasnosti optimalno orijentisanog solarnog modula rastu, a teorijske vrednosti opadaju. Najmanje odstupanje između teorijskih i eksperimentalnih vrednosti energetske efikasnosti je u maju, junu, julu i avgustu (0%, 3,7%, 7,5% i 9,4%, respektivno).

### 3.3.3.3. Vertikalni solarni modul orijentisan ka jugu

Uporedni prikaz srednjih dnevnih vrednosti teorijski izračunate i eksperimentalno određene energetske efikasnosti za vertikalni solarni modul orijentisan ka jugu dat je na slici 3.60.



**Slika 3.60.** Uporedni prikaz srednjih dnevnih vrednosti teorijski izračunate (1) i eksperimentalno određene energetske efikasnosti (2) za vertikalni solarni modul orijentisan ka jugu

Eksperimentalno određene vrednosti srednje dnevne energetske efikasnosti vertikalnog solarnog modula orijentisanog ka jugu znatno se menjaju u toku godine u poređenju sa teorijski izračunatim vrednostima energetske efikasnosti koje se malo menjaju u toku godine. U maju, avgustu i novembru mogu se uočiti minimumi eksperimentalno određene efikasnosti, a upravo u tim mesecima je i najbolje slaganje između teorijskih i eksperimentalnih vrednosti energetske efikasnosti (15,3%, 7,9% i 9,9%, respektivno) vertikalnog solarnog modula orijentisanog ka jugu. U decembru eksperimentalno određene vrednosti energetske efikasnosti vertikalnog solarnog modula orijentisanog ka jugu rastu, a teorijski izračunate vrednosti opadaju. Srednje dnevne vrednosti teorijski izračunate energetske efikasnosti za horizontalni, optimalno orijentisani i vertikalni solarni modul orijentisan ka jugu se menjaju na isti način u toku godine, pri čemu se njihove vrednosti neznatno razlikuju. U letnjim mesecima su vrednosti energetske efikasnosti vertikalnog solarnog modula malo veće od vrednosti energetske efikasnosti ostala dva solarna modula.

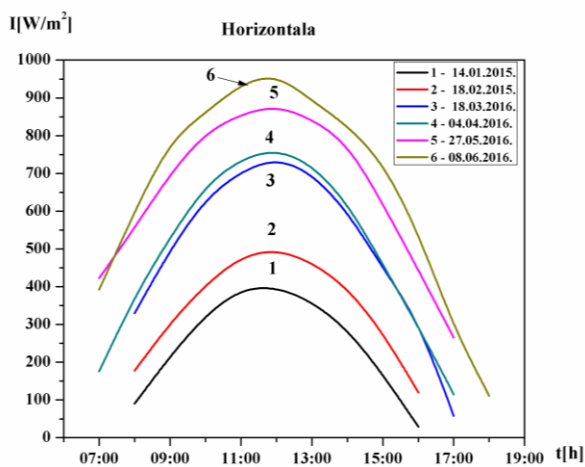
U toku godine srednje dnevne vrednosti eksperimentalno određene energetske efikasnosti veće su od teorijski izračunatih vrednosti za horizontalni, optimalno orijentisani i vertikalni solarni modul orijentisan ka jugu. Takođe, eksperimentalne vrednosti energetske efikasnosti se znatno menjaju sa promenom klimatskih parametara u toku godine [3].

### 3.4. Rezultati merenja za 12 potpuno sunčanih dana u periodu 2014-2016. godina

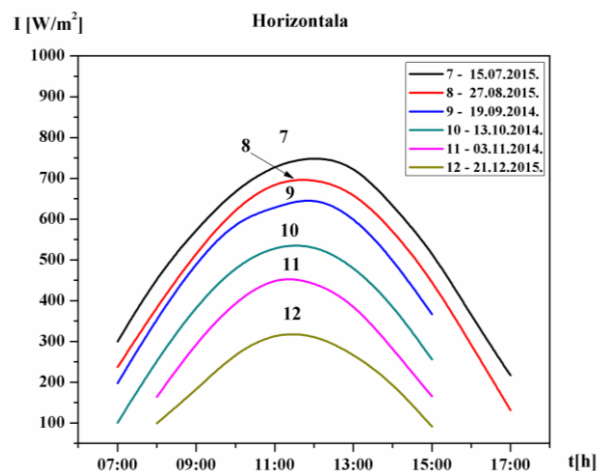
#### 3.4.1. Rezultati merenja intenziteta Sunčevog zračenja, temperature ambijenta, brzine vetra i temperature geografski različito orijentisanih solarnih modula u Nišu

##### 3.4.1.1. Intenzitet Sunčevog zračenja koji dospeva na horizontalnu površinu

Dnevne promene intenziteta Sunčevog zračenja  $I$  ( $\text{W}/\text{m}^2$ ) koje dospeva na horizontalnu površinu u periodu od januara do juna i u periodu od jula do decembra date su na slikama 3.61 i 3.62.



Slika 3.61. Dnevna promena intenziteta Sunčevog zračenja  $I$  ( $\text{W}/\text{m}^2$ ) koje dospeva na horizontalnu površinu u periodu od januara do juna



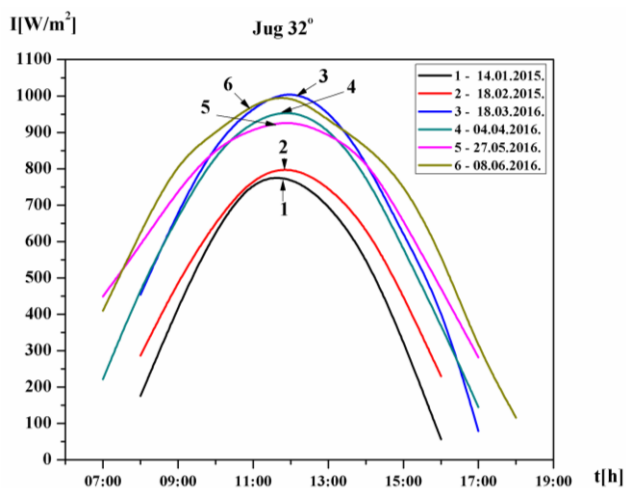
Slika 3.62. Dnevna promena intenziteta Sunčevog zračenja  $I$  ( $\text{W}/\text{m}^2$ ) koje dospeva na horizontalnu površinu u periodu od jula do decembra

U toku dana, maksimalne vrednosti intenziteta Sunčevog zračenja koje dospeva na horizontalnu površinu odgovaraju sunčevom podnevu. U prvoj polovini godine maksimalne vrednosti intenziteta Sunčevog zračenja rastu od najmanje vrednosti od  $400 \text{ W}/\text{m}^2$  izmerene u januaru do najveće vrednosti od  $965 \text{ W}/\text{m}^2$  izmerene u junu (slika 3.61). U drugoj polovini godine maksimalne vrednosti intenziteta Sunčevog zračenja opadaju od najveće vrednosti od  $755 \text{ W}/\text{m}^2$  izmerene u julu do najmanje vrednosti od  $321 \text{ W}/\text{m}^2$  izmerene u decembru (slika 3.62).

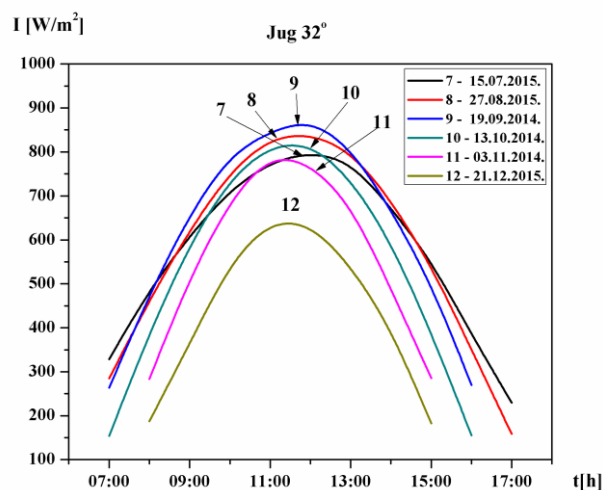
U letnjim mesecima na horizontalnu površinu dospevaju najveće, a u zimskim mesecima najmanje vrednosti intenziteta Sunčevog zračenja. U prolece i jesen vrednosti intenziteta Sunčevog zračenja su bliske.

### 3.4.1.2. Intenzitet Sunčevog zračenja koji dospeva na optimalno orijentisanu površinu

Dnevne promene intenziteta Sunčevog zračenja  $I$  ( $\text{W}/\text{m}^2$ ) koje dospeva na površinu orijentisanu ka jugu i postavljenu pod uglom od  $32^\circ$  u odnosu na horizontalnu površinu u periodu od januara do juna i u periodu od jula do decembra date su na slikama 3.63 i 3.64.



Slika 3.63. Dnevna promena intenziteta Sunčevog zračenja  $I$  ( $\text{W}/\text{m}^2$ ) koje dospeva na površinu orijentisanu ka jugu i postavljenu pod uglom od  $32^\circ$  u periodu od januara do juna



Slika 3.64. Dnevna promena intenziteta Sunčevog zračenja  $I$  ( $\text{W}/\text{m}^2$ ) koje dospeva na površinu orijentisanu ka jugu i postavljenu pod uglom od  $32^\circ$  u periodu od jula do decembra

U toku dana, maksimalne vrednosti intenziteta Sunčevog zračenja koje dospeva na površinu orijentisanu ka jugu i postavljenu pod uglom od  $32^\circ$  odgovaraju sunčevom podnevu. U prvoj polovini godine maksimalne vrednosti intenziteta Sunčevog zračenja koje na datu površinu dospevaju u januaru i februaru iznose  $782 \text{ W}/\text{m}^2$  i  $810 \text{ W}/\text{m}^2$ , respektivno. Od marta do juna maksimalne vrednosti intenziteta Sunčevog zračenja koje dospeva na datu površinu su između  $963 \text{ W}/\text{m}^2$  i  $1021 \text{ W}/\text{m}^2$ . U drugoj polovini godine najmanje vrednosti intenziteta Sunčevog zračenja koje dospeva na datu površinu su u decembru (u podne  $643 \text{ W}/\text{m}^2$ ), a najveće vrednosti intenziteta su u avgustu ( $875 \text{ W}/\text{m}^2$ ) i septembru ( $842 \text{ W}/\text{m}^2$ ).

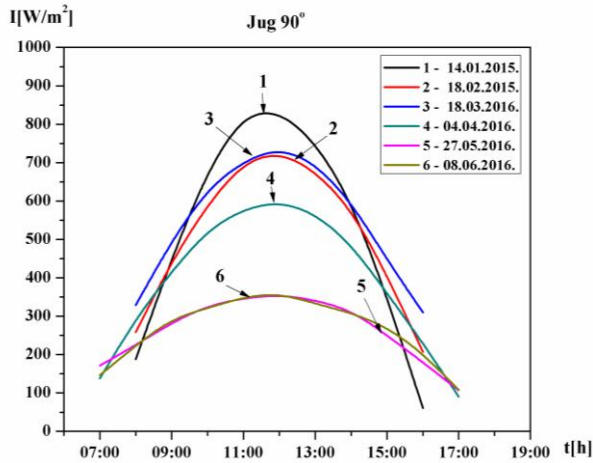
U jesenjim i prolećnim mesecima na površinu orijentisanu ka jugu i postavljenu pod uglom od  $32^\circ$  dospevaju najveće vrednosti intenziteta Sunčevog zračenja.

### 3.4.1.3. Intenzitet Sunčevog zračenja koji dospeva na vertikalnu površinu orijentisanu ka jugu

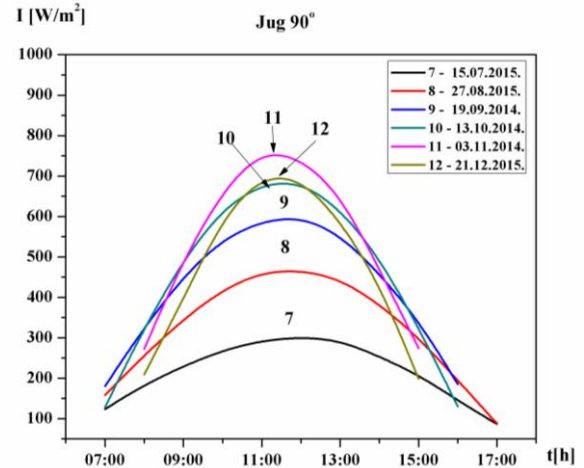
Dnevne promene intenziteta Sunčevog zračenja  $I$  ( $\text{W}/\text{m}^2$ ) koje dospeva na vertikalnu površinu orijentisanu ka jugu u periodu od januara do juna i u periodu od jula do decembra date su na slikama 3.65 i 3.66.

U toku dana, maksimalne vrednosti intenziteta Sunčevog zračenja koje dospeva na vertikalnu površinu orijentisanu ka jugu odgovaraju sunčevom podnevu. U prvoj polovini

godine maksimalne vrednosti intenziteta Sunčevog zračenja na datu površinu dospevaju u januaru ( $836 \text{ W/m}^2$ ), a najmanje u maju ( $356 \text{ W/m}^2$ ) i junu ( $360 \text{ W/m}^2$ ). U februaru i martu kao i u maju i junu vrednosti intenziteta Sunčevog zračenja koje dospeva na datu površinu su bliske (slika 3.65). U drugoj polovini godine maksimalne vrednosti intenziteta Sunčevog zračenja na datu površinu dospevaju u novembru ( $764 \text{ W/m}^2$ ), a najmanje u julu ( $301 \text{ W/m}^2$ ).



**Slika 3.65.** Dnevna promena intenziteta Sunčevog zračenja  $I$  ( $\text{W/m}^2$ ) koje dospeva na vertikalnu površinu orijentisanu ka jugu u periodu od januara do juna

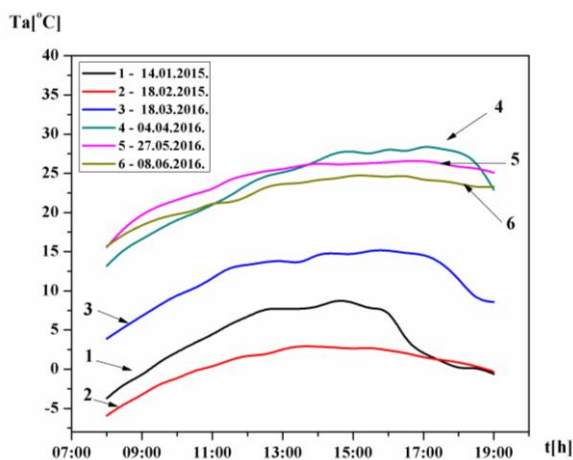


**Slika 3.66.** Dnevna promena intenziteta Sunčevog zračenja  $I$  ( $\text{W/m}^2$ ) koje dospeva na vertikalnu površinu orijentisanu ka jugu u periodu od jula do decembra

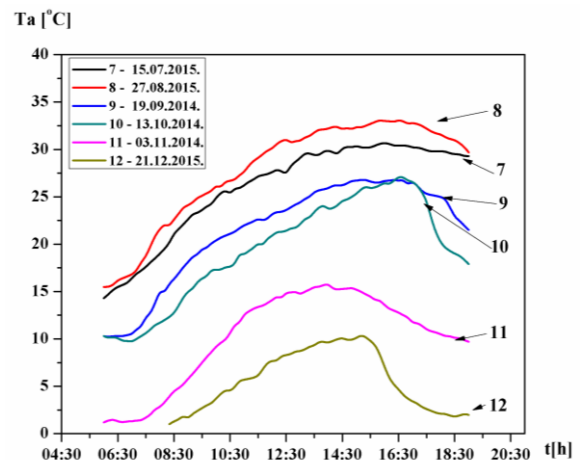
U letnjim mesecima, kada je visina Sunca na nebu najveća, na vertikalnu površinu orijentisanu ka jugu dospevaju najmanje vrednosti intenziteta Sunčevog zračenja, a u zimskim mesecima, kada je najmanja visina Sunca na nebu, na datu površinu dospevaju najveće vrednosti intenziteta najveće.

### 3.4.1.4. Temperatura ambijenta $T_a$

Dnevne promene temperature ambijenta  $T_a$  ( $^{\circ}\text{C}$ ) u periodu od januara do juna i u periodu od jula do decembra date su na slikama 3.67 i 3.68.



**Slika 3.67.** Dnevna promena temperature ambijenta  $T_a$  ( $^{\circ}\text{C}$ ) u periodu od januara do juna



**Slika 3.68.** Dnevna promena temperature ambijenta  $T_a$  ( $^{\circ}\text{C}$ ) u periodu od jula do decembra

U toku dana, najmanje dnevne vrednosti temperature ambijenta su u ranim jutarnjim časovima, a najveće u popodnevnom časovima. U prvoj polovini godine izmerena dnevna temperatura ambijenta raste od najmanjih dnevnih vrednosti u februaru i januaru do maksimalnih vrednosti u aprilu, maju i junu. Najhladniji dan bio je februar, kada su temperature ambijenta veći deo dana bile ispod 0°C, a najveća dnevna temperatura ambijenta od 3,3°C izmerena je u popodnevnom časovima. U popodnevnom časovima u aprilu izmerene su najveće dnevne temperature ambijenta (26,7°C).

U drugoj polovini godine dnevna temperatura ambijenta opada od maksimalnih vrednosti izmerenih u avgustu i julu do minimalnih vrednosti izmerenih u decembru. Na slici 3.68 vidi se da je temperatura ambijenta u toku dana u avgustu bila veća od temperature ambijenta u julu. Najtopliji dan bio je avgust sa temperaturom ambijenta od 33,1°C u popodnevnom časovima, dok je temperatura ambijenta u decembru u popodnevnom časovima iznosila 10,4°C.

Temperatura ambijenta je najveća u letnjim mesecima a najmanja u zimskim mesecima, u proleće i jesen temperature ambijenta su približno iste.

### 3.4.1.5. Brzina vetra $v$

Rezultati merenja dnevne promene brzine vetra u toku godine dati su u tabeli 3.7.

**Tabela 3.7.** Rezultati merenja dnevne promene brzine vetra u toku godine

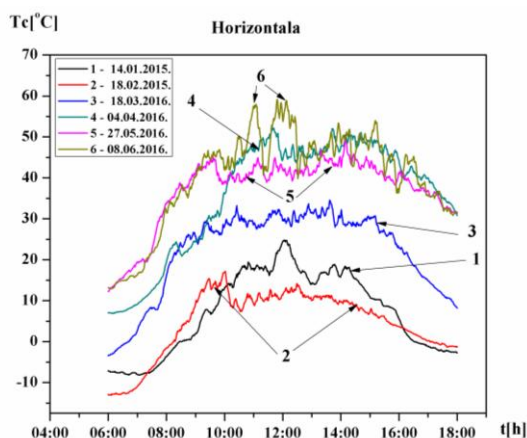
	v [m/s]											
Vreme	14.01. 2015.	18.02. 2015.	18.03. 2016.	04.04. 2016.	27.05. 2016.	08.06. 2016.	15.07. 2015.	27.08. 2015.	19.09. 2014.	13.10. 2014.	03.11. 2014.	21.12. 2015.
8:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,4
9:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,9
10:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,4
11:00	0	0,4	0	0	0,4	0	0	0	0	0	0	0
12:00	0	0	0,4	0	0	0,4	0	0,4	0	0	0,4	0
13:00	0	0	0,9	0	0	0	0,4	0	0	0	0,4	0
14:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0,4	0	2,2	0
15:00	0	0,4	0	0	0	0	0	0,4	0	0	0,4	0
16:00	0	0	0	0	0,4	0	0	0	0	0	0,9	0
17:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
18:00	0	0	0,9	0	0	0	0	0	0	0,4	0,4	0

Na osnovu rezultata prikazanih u tabeli 3.7 može se videti da u izabranim danima u januaru, aprilu i oktobru nije bilo vetra u toku eksperimenta. U toku dana u februaru, maju, junu, julu, avgustu i septembru vetar je registrovan samo na trenutke i imao je vrednost od 0.4 m/s. U toku dana u martu vetar je registrovan u 12<sup>00</sup>, 13<sup>00</sup> i 18<sup>00</sup> časova i iznosio je 0.4

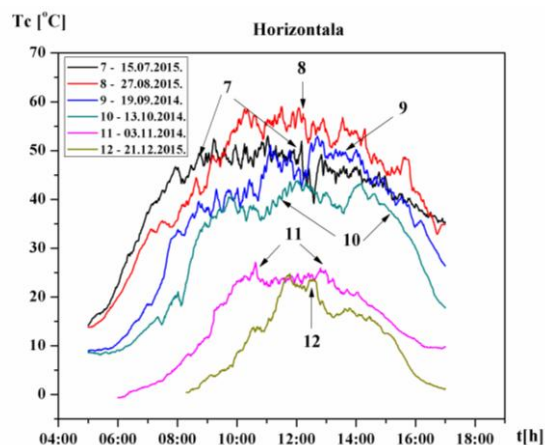
m/s, 0.9 m/s i 0.9 m/s, respektivno. Izabrani dan u novembru bio vetrovit, sa maksimalnom brzinom vetra od 2.2 m/s koja je izmerena u 14<sup>00</sup> časova.

### 3.4.1.6. Temperatura horizontalnog solarnog modula

Dnevne promene temperature horizontalnog solarnog modula  $T_c$  (°C) u periodu od januara do juna i u periodu od jula do decembra date su na slikama 3.69 i 3.70.



**Slika 3.69.** Dnevna promena temperature horizontalnog solarnog  $T_c$  (°C) modula u periodu od januara do juna



**Slika 3.70.** Dnevna promena temperature horizontalnog solarnog modula  $T_c$  (°C) u periodu od jula do decembra

U toku sunčanog dana može se uočiti da je temperatura solarnog modula najniža u ranim jutranjim časovima (6<sup>00</sup>) i odgovara temperaturi ambijenta. Sa porastom intenziteta Sunčevog zračenja koje dospeva na površinu solarnog modula raste i temperatura solarnog modula. U popodnevним časovima temperatura modula je veća od temperature modula u jutarnjim časovima što je posledica veće temperature ambijenta u večernjim nego u jutarnjim časovima. Najveće temperature solarnog modula u toku sunčanog dana izmerene su oko Sunčevog podneva kada na površinu horizontalnog solarnog modula dospevaju najveće vrednosti intenziteta Sunčevog zračenja.

Na slici 3.69 se vidi da su najveće vrednosti temperature solarnog modula izmerene u toku dana u februaru i januaru iznosile 17.2°C i 24.8°C, respektivno, a u junu (59.2°C). Dan u februaru je bio najhladniji dan u posmatranom periodu, maksimalna vrednost intenziteta Sunčevog zračenja koje dospeva na horizontalnu površinu u februaru bila je 500 W/m<sup>2</sup> (257 W na površini solarnog modula), zbog čega su najmanje temperature solarnog modula upravo izmerene u februaru. U junu, kada na površinu datog solarnog modula dospevaju najveće vrednosti intenziteta Sunčevog zračenja (496 W), izmerene su najveće temperature solarnog modula.

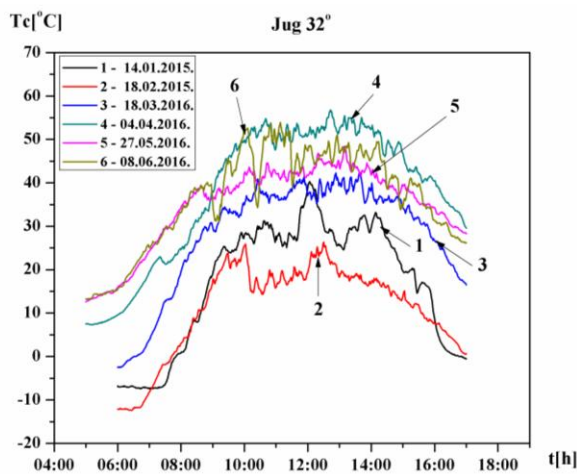
Na slici 3.70 vidi se da su najveće vrednosti temperature horizontalnog solarnog modula izmerene u toku sunčanog dana u avgustu (59°C) i julu (53°C), a najmanje u novembru (27.1°C) i decembru (24.8°C). Dan u avgustu je bio najtopliji dan u datom periodu, maksimalna vrednost intenziteta Sunčevog zračenja koje dospeva na horizontalnu površinu bila je 755 W/m<sup>2</sup> (388 W na površini solarnog modula), zbog čega su najveće temperature horizontalnog solarnog modula izmerene upravo u avgustu. Dan u decembru bio

je najhladniji dan u ovom periodu, maksimalna vrednost intenziteta Sunčevog zračenja koje dospeva na horizontalnu površinu bila je  $321 \text{ W/m}^2$  ( $165 \text{ W}$  na površini solarnog modula). Takođe se može uočiti da se temperature solarnog modula, oko podneva, u novembru i decembru vrlo malo razlikuju (krive 11 i 12).

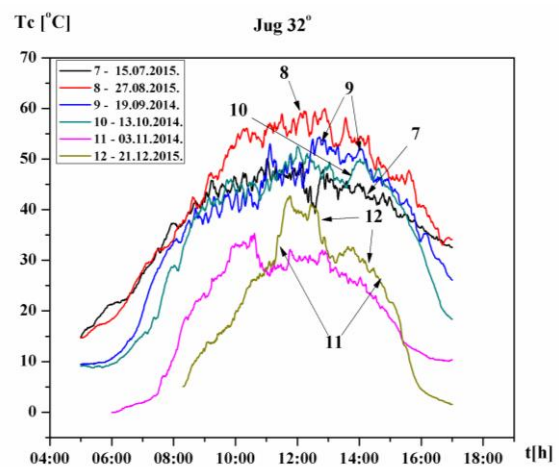
Najniže temperature solarnog modula izmerene su u toku sunčanog dana u hladnim zimskim mesecima, a najveće u toplim letnjim mesecima.

### 3.4.1.7. Temperatura optimalno orijentisanog solarnog modula

Dnevne promene temperature optimalno orijentisanog solarnog modula  $T_c$  ( $^{\circ}\text{C}$ ) u periodu od januara do juna i u periodu od jula do decembra date su na slikama 3.71 i 3.72.



**Slika 3.71.** Dnevna promena temperature optimalno orijentisanog solarnog modula  $T_c$  ( $^{\circ}\text{C}$ ) u periodu od januara do juna



**Slika 3.72.** Dnevna promena temperature optimalno orijentisanog solarnog modula  $T_c$  ( $^{\circ}\text{C}$ ) u periodu od jula do decembra

U toku sunčanog dana temperatura optimalno orijentisanog solarnog modula je najniža u ranim jutranjim časovima i odgovara temperaturi ambijenta. Najveće temperature optimalno orijentisanog solarnog modula u toku sunčanog dana izmerene su oko Sunčevog podneva kada na površinu modula dospevaju najveće vrednosti intenziteta Sunčevog zračenja.

Na slici 3.71 se vidi da je najveća izmerena dnevna vrednost temperature optimalno orijentisanog solarnog modula u februaru iznosila  $26,3^{\circ}\text{C}$ , a u aprilu  $56,8^{\circ}\text{C}$ . Dan u aprilu je bio najtopliji dan u posmatranom periodu, pri čemu su vrednosti intenziteta Sunčevog zračenja koje dospeva na površinu datog solarnog bile visoke ( $966 \text{ W/m}^2$ ), što je rezultovalo visokom temperaturom solarnog modula.

Na slici 3.72 vidi se da su najveće vrednosti temperature optimalno orijentisanog solarnog modula izmerene u toku sunčanog dana u avgustu ( $60^{\circ}\text{C}$ ). Iako je najhladniji dan u drugoj polovini godine bio decembar sa temperaturom ambijenta od  $10,4^{\circ}\text{C}$ , najveća temperatura solarnog modula iznosila je  $42,7^{\circ}\text{C}$ , dok je u novembru najveća temperatura solarnog modula iznosila  $35,3^{\circ}\text{C}$ . Temperatura ambijenta u novembru u najtoplijem delu dana bila je  $15,8^{\circ}\text{C}$ , a maksimalna vrednost intenziteta Sunčevog zračenja koje dospeva na površinu datog solarnog modula bila je  $795 \text{ W/m}^2$ . Kako je dan u novembru bio vetrovit,

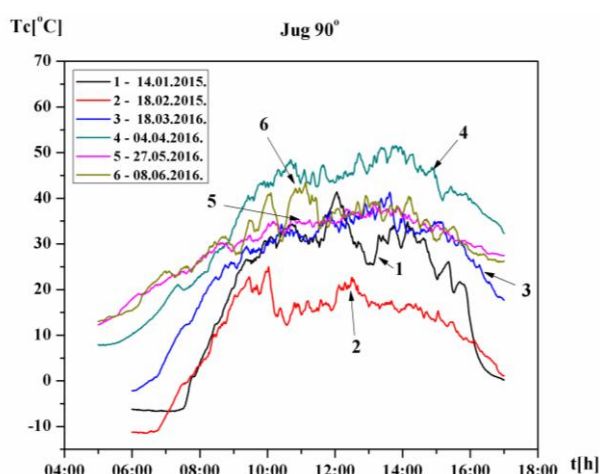


može se zaključiti da je temperatura solarnog modula bila manja zbog povećanog odvođenja toplote usled povećane kondukcije.

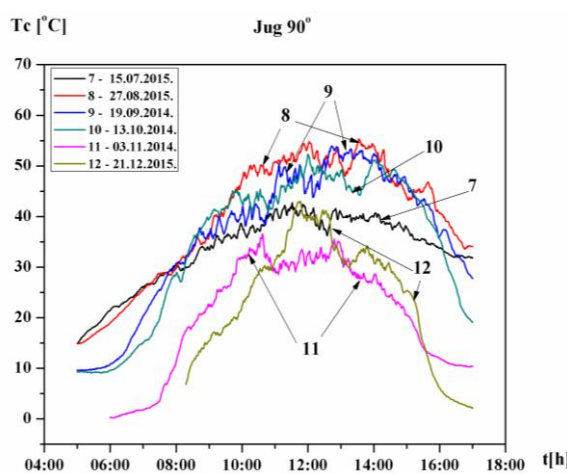
Najniže temperature optimalno orijentisanog solarnog modula izmerene su u zimskim mesecima.

### 3.4.1.8. Temperatura vertikalnog solarnog modula orijentisanog ka jugu

Dnevne promene temperature vertikalnog solarnog modula  $T_c$  ( $^{\circ}\text{C}$ ) orijentisanog ka jugu u periodu od januara do juna i u periodu od jula do decembra date su na slikama 3.73 i 3.74.



**Slika 3.73.** Dnevna promena temperature vertikalnog solarnog modula  $T_c$  ( $^{\circ}\text{C}$ ) orijentisanog ka jugu u periodu od januara do juna



**Slika 3.74.** Dnevna promena temperature vertikalnog solarnog modula  $T_c$  ( $^{\circ}\text{C}$ ) orijentisanog ka jugu u periodu od jula do decembra

U toku sunčanog dana temperatura vertikalnog solarnog modula orijentisanog ka jugu je najniža u ranim jutranjim časovima i odgovara temperaturi ambijenta. Najveće temperature vertikalnog solarnog modula orijentisanog ka jugu su u toku sunčanog dana izmerene oko Sunčevog podneva kada na površinu modula dospevaju najveće vrednosti intenziteta Sunčevog zračenja.

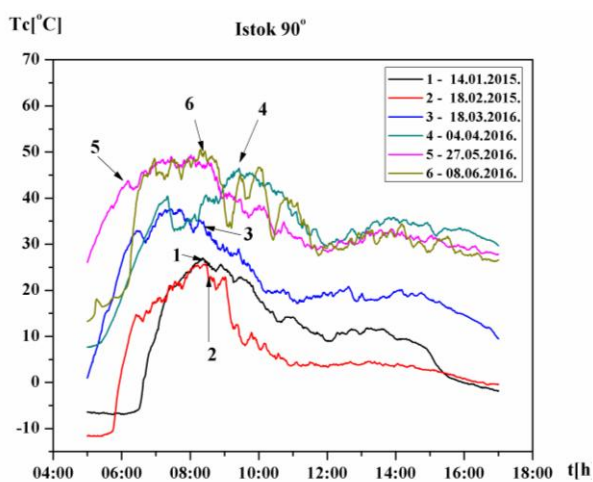
Na slici 3.73 se vidi da su najmanje dnevne vrednosti temperature vertikalnog solarnog modula orijentisanog ka jugu izmerene u februaru ( $25^{\circ}\text{C}$ ), a najveće u aprilu ( $51.5^{\circ}\text{C}$ ). Dan u aprilu je bio najtopliji dan u posmatranom periodu, sa maksimalnim intenzitetom Sunčevog zračenja od  $600 \text{ W/m}^2$ , što je rezultovalo visokom temperaturom solarnog modula. U januaru i martu kada su najveće vrednosti intenziteta Sunčevog zračenja koje dospeva na površinu datog solarnog, najveće temperature solarnog modula su iznosile  $41.4^{\circ}\text{C}$  i  $41.3^{\circ}\text{C}$ , respektivno.

Na slici 3.74 vidi se da su najveće vrednosti temperature vertikalnog solarnog modula orijentisanog ka jugu izmerene u toku sunčanog dana u avgustu ( $55.3^{\circ}\text{C}$ ), a najmanje u novembru ( $36.6^{\circ}\text{C}$ ). Iako su vrednosti intenziteta Sunčevog zračenja koje dospeva na

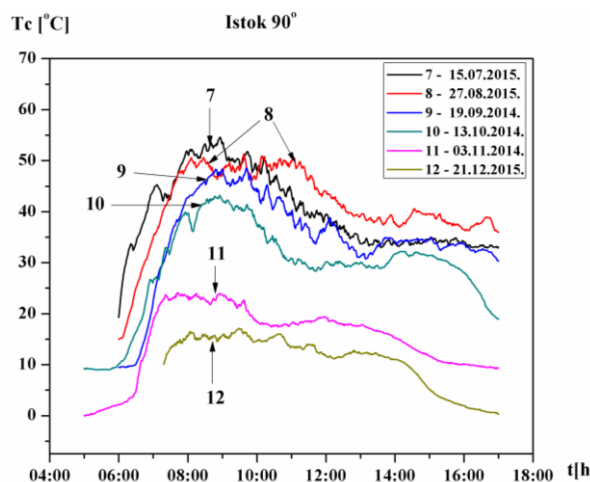
površinu solarnog modula najveće u novembru, temperatura solarnog modula bila je manja zbog povećanog odvođenja toplote usled povećane kondukcije.

### 3.4.1.9. Temperatura vertikalnog solarnog modula orijentisanog ka istoku

Dnevne promene temperature vertikalnog solarnog modula  $T_c$  (°C) orijentisanog ka istoku u periodu od januara do juna i u periodu od jula do decembra date su na slikama 3.75 i 3.76.



**Slika 3.75.** Dnevna promena temperature vertikalnog solarnog modula  $T_c$  (°C) orijentisanog ka istoku u periodu od januara do juna



**Slika 3.76.** Dnevna promena temperature vertikalnog solarnog modula  $T_c$  (°C) orijentisanog ka istoku u periodu od jula do decembra

U toku sunčanog dana temperatura vertikalnog solarnog modula orijentisanog ka istoku je najniža u ranim jutranjim časovima i odgovara temperaturi ambijenta. Sa porastom intenziteta Sunčevog zračenja koje dospeva na površinu solarnog modula raste i njegova temperatura. Najveće temperature vertikalnog solarnog modula orijentisanog ka istoku u toku sunčanog dana izmerene između 8<sup>00</sup> i 9<sup>00</sup> časova ujutru, kada na površinu modula dospevaju najveće vrednosti intenziteta Sunčevog zračenja.

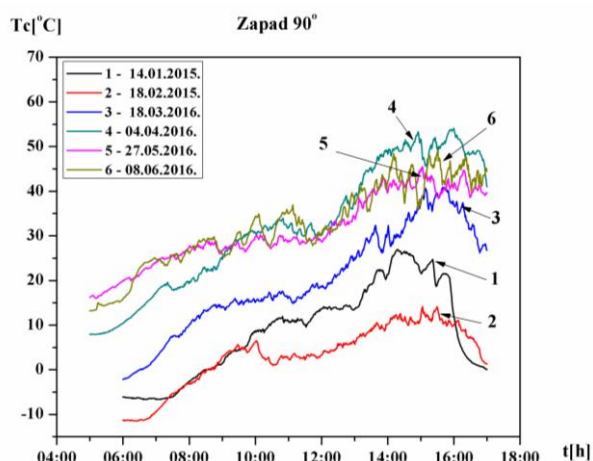
Na slici 3.75 vidi se da su najmanje dnevne vrednosti temperature vertikalnog solarnog modula orijentisanog ka jugu izmerene u januaru (27°C) i februaru (25,7°C), a najveće u maju (49,3°C) i junu (50,5°C).

Na slici 3.76 vidi se da su najveće dnevne vrednosti temperature vertikalnog solarnog modula orijentisanog ka jugu izmerene u julu (54,6°C) i avgustu (51,3°C), a najmanje u novembru (24,1°C) i decembru (17,1°C).

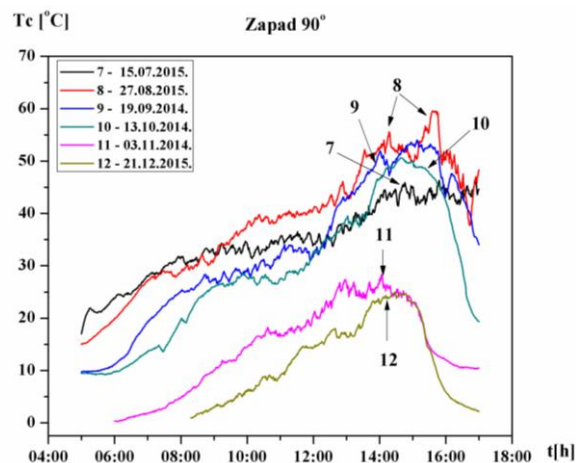
Na temperaturu vertikalnog solarnog modula orijentisanog ka istoku prvenstveno utiče intenzitet Sunčevog zračenja a zatim temperatura ambijenta, jer su jutarnje temperature ambijenta niže od podnevnih pa do izražaja dolazi zagrevanje solarnog modula pod dejstvom Sunčevog zračenja.

### 3.4.1.10. Temperatura vertikalnog solarnog modula orijentisanog ka zapadu

Dnevne promene temperature vertikalnog solarnog modula  $T_c$  ( $^{\circ}\text{C}$ ) orijentisanog ka zapadu u periodu od januara do juna i u periodu od jula do decembra date su na slikama 3.77 i 3.78.



**Slika 3.77.** Dnevna promena temperature vertikalnog solarnog modula  $T_c$  ( $^{\circ}\text{C}$ ) orijentisanog ka zapadu u periodu od januara do juna



**Slika 3.78.** Dnevna promena temperature vertikalnog solarnog modula  $T_c$  ( $^{\circ}\text{C}$ ) orijentisanog ka zapadu u periodu od jula do decembra

U toku sunčanog dana temperatura vertikalnog solarnog modula orijentisanog ka zapadu je najniža u ranim jutranjim časovima i odgovara temperaturi ambijenta. Sa porastom temperature ambijenta i intenziteta Sunčevog zračenja koje dospeva na površinu vertikalnog solarnog modula orijentisanog ka zapadu raste i njegova temperatura. Najveće temperature vertikalnog solarnog modula orijentisanog ka zapadu, u toku sunčanog dana, izmerene između 15<sup>00</sup> i 16<sup>00</sup> časova popodne kada na površinu modula dospevaju najveće vrednosti intenziteta Sunčevog zračenja.

Na slici 3.77 vidi se da su najmanje dnevne vrednosti temperature vertikalnog solarnog modula orijentisanog ka zapadu izmerene u februaru ( $14,1^{\circ}\text{C}$ ), a najveće u aprilu ( $54,1^{\circ}\text{C}$ ). Na slici 3.78 vidi se da su najveće dnevne vrednosti temperature vertikalnog solarnog modula orijentisanog ka jugu izmerene u avgustu ( $59,6^{\circ}\text{C}$ ), a najmanje u novembru ( $28,3^{\circ}\text{C}$ ) i decembru ( $25^{\circ}\text{C}$ ).

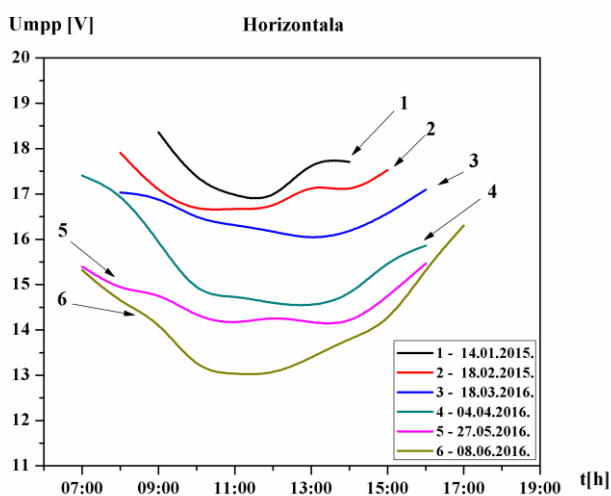
U drugoj polovini godine maksimalna temperatura vertikalnog solarnog modula orijentisanog ka zapadu veća je od maksimalne temperature vertikalnog solarnog modula orijentisanog ka istoku zbog većih temperature ambijenta u popodnevnom periodu nego u jutarnjim časovima.

Dominantni uticaj na temperaturu solarnih modula ima intenzitet Sunčevog zračenja koji dospeva na njegovu površinu. Sa porastom intenziteta Sunčevog zračenja raste i temperatura solarnog modula. Zatim, veliki uticaj na temperaturu modula ima i vetar. Sa porastom brzine vetra dolazi do smanjenja temperature solarnog modula (povećana kondukcija toplote). U toku potpuno oblačnog dana temperatura solarnih modula se vrlo malo razlikuje od temperature ambijenta.

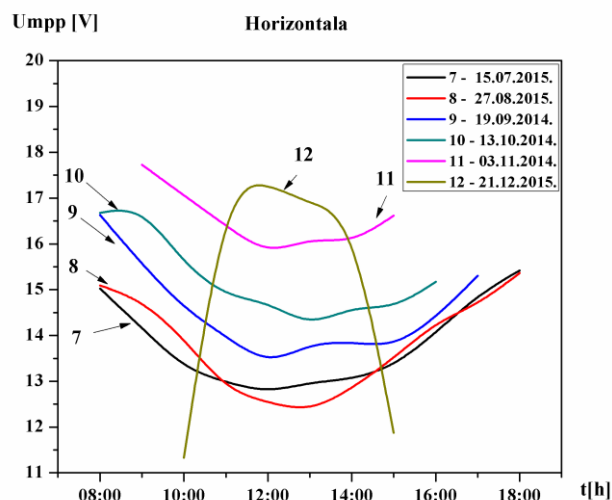
### 3.4.2. Rezultati merenja maksimalnog napona geografski različito orijentisanih solarnih modula u Nišu

#### 3.4.2.1. Horizontalni solarni modul

Dnevne promene maksimalnog napona  $U_{mpp}$  (V) horizontalnog solarnog modula u periodu od januara do juna i u periodu od jula do decembra date su na slikama 3.79 i 3.80.



**Slika 3.79.** Dnevna promena maksimalnog napona  $U_{mpp}$  (V) horizontalnog solarnog modula u periodu od januara do juna



**Slika 3.80.** Dnevna promena maksimalnog napona  $U_{mpp}$  (V) horizontalnog solarnog modula u periodu od jula do decembra

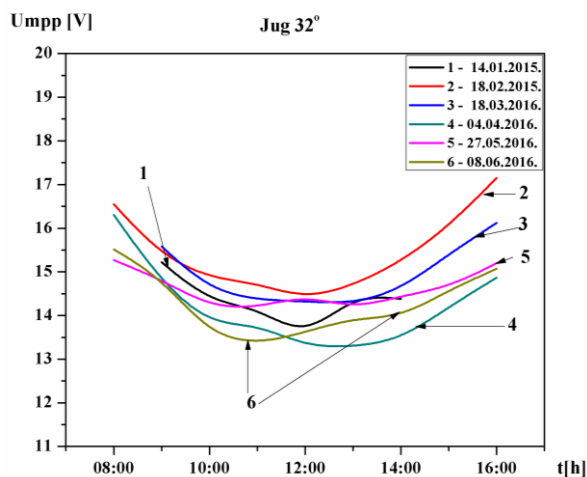
Na slici 3.79 vidi se da maksimalni napon  $U_{mpp}$  horizontalnog solarnog modula opada od najvećih dnevnih vrednosti u januaru do najmanjih dnevnih vrednosti u junu. U istom periodu rastu vrednosti temperature ambijenta, i intenziteta Sunčevog zračenja koje dospeva na površinu horizontalnog solarnog modula, što dovodi do porasta temperature solarnog modula i smanjenja napona. U toku sunčanog dana maksimalni napon horizontalnog solarnog modula ima najveće vrednosti u jutarnjim i večernjim časovima a najmanje u podne (sunčevo podne). Najmanje vrednosti maksimalnog napona  $U_{mpp}$  u toku dana odgovaraju maksimalnim vrednostima intenziteta Sunčevog zračenja koje dospeva na površinu horizontalnog solarnog modula, kao i najvećim vrednostima temperature  $T_c$  ovog solarnog modula.

Na slici 3.80 vidi se da maksimalni napon  $U_{mpp}$  horizontalnog solarnog modula ima najveće vrednosti u jutarnjim i večernjim časovima a najmanje u podne. Maksimalni napon  $U_{mpp}$  horizontalnog solarnog modula raste od najmanjih dnevnih vrednosti u julu i avgustu do najvećih dnevnih vrednosti u decembru. U periodu od jula do decembra, vrednosti temperature ambijenta opadaju, kao i vrednosti intenziteta Sunčevog zračenja koje dospeva na horizontalni solarni modul, što dovodi smanjenja temperature solarnog modula i do porasta maksimalnog napona.

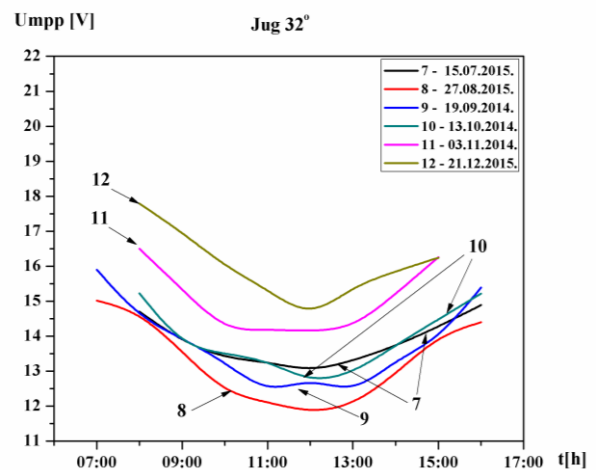
Izuzetak je dan u decembru (kriva 12) kad su bili specifični vremenski uslovi čiji je uticaj na promenu maksimalnog napona jasno uočljiv. Vrednosti intenziteta Sunčevog zračenja bile su manje od  $300 \text{ W/m}^2$ , bilo je izmaglice što je dovelo do povećanja udela difuznog Sunčevog zračenja tako da samo u periodu maksimalnog intenziteta Sunčevog zračenja maksimalni napon ima očekivane vrednosti. Najniže vrednosti napona odgovaraju minimlnim vrednostima intenziteta Sunčevog zračenja koje dospeva na površinu ovog modula. Ipak i pri tako malim vrednostima intenziteta izmerena je određena vrednost snage, što će se posle ogledati u visokim vrednostima fil faktora.

### 3.4.2.2. Optimalno orijentisani solarni modul

Dnevne promene maksimalnog napona  $U_{mpp}$  (V) optimalno orijentisanog solarnog modula u periodu od januara do juna i u periodu od jula do decembra date su na slikama 3.81 i 3.82.



**Slika 3.81.** Dnevna promena maksimalnog napona  $U_{mpp}$  (V) solarnog modula orijentisanog ka jugu pod uglom od  $32^\circ$  u periodu od januara do juna



**Slika 3.82.** Dnevna promena maksimalnog napona  $U_{mpp}$  (V) solarnog modula orijentisanog ka jugu pod uglom od  $32^\circ$  u periodu od jula do decembra

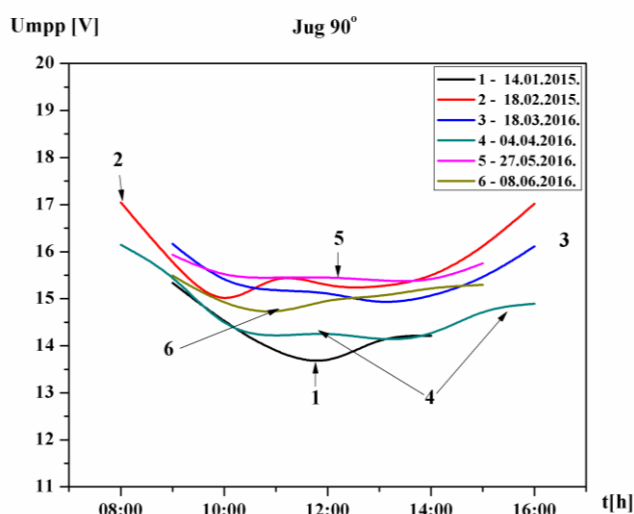
Maksimalni napon optimalno orijentisanog solarnog modula ima najveće vrednosti u jutarnjim i večernjim časovima, a najmanje u podne. U priodu od januara do juna maksimalni napon  $U_{mpp}$  optimalno orijentisanog solarnog modula opada od najvećih dnevnih vrednosti u februaru (najhladnini dan u datom periodu) do najmanjih dnevnih vrednosti u aprilu i junu (najveće vrednosti temperature solarnog modula). Kada su vrednosti intenziteta Sunčevog zračenja koje dospeva na ovaj solarni modul bliske i izmerene vrednosti maksimalnog napona  $U_{mpp}$  su bliske.

U drugoj polovini godine maksimalni napon  $U_{mpp}$  optimalno orijentisanog solarnog modula raste sa smanjenjem temperature ambijenta i smanjenjem temperature solarnog modula. Na slici 3.82 vidi se da maksimalni napon  $U_{mpp}$  optimalno orijentisanog solarnog modula ima najmanje dnevne vrednosti u avgustu kada su izmerene najveće temperature ovog solarnog modula ( $50^\circ\text{C} - 60^\circ\text{C}$ ) i najveće temperature ambijenta ( $30^\circ\text{C} - 35^\circ\text{C}$ ). Najveće dnevne vrednosti maksimalnog napona su izmerene u decembru. Za razliku od dnevne promene maksimalnog napona horizontalnog solarnog modula u decembru, promena maksimalnog napona optimalno orijentisanog modula je u skladu sa trendom promene u

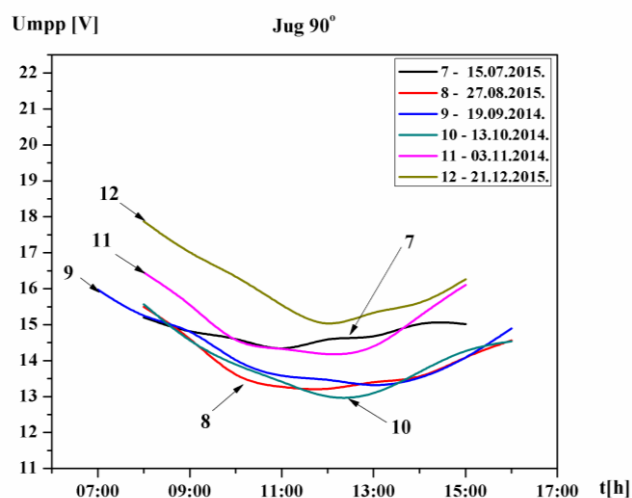
ostalim danima, upravo zato što su vrednosti intenziteta Sunčevog zračenja koje dospevaju na njegovu površinu veće od  $550 \text{ W/m}^2$ .

### 3.4.2.3. Vertikalni solarni modul orijentisan ka jugu

Dnevne promene maksimalnog napona  $U_{mpp}$  (V) vertikalnog solarnog modula orijentisanog ka jugu u periodu od januara do juna i u periodu od jula do decembra date su na slikama 3.83 i 3.84.



**Slika 3.83.** Dnevna promena maksimalnog napona  $U_{mpp}$  (V) vertikalnog solarnog modula orijentisanog ka jugu u periodu od januara do juna



**Slika 3.84.** Dnevna promena maksimalnog napona  $U_{mpp}$  (V) vertikalnog solarnog modula orijentisanog ka jugu u periodu od jula do decembra

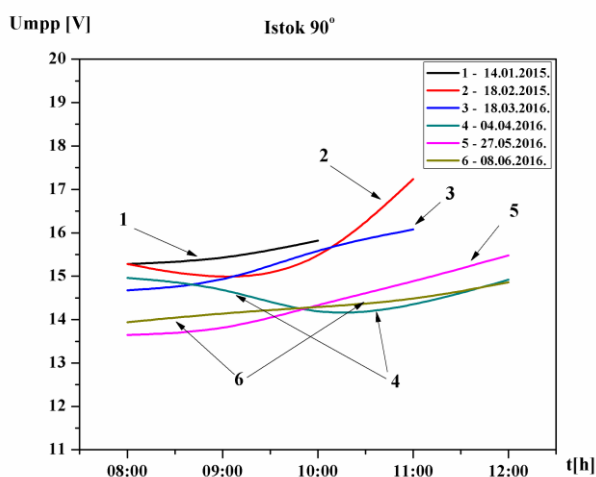
U toku sunčanog dana maksimalni napon vertikalnog solarnog modula orijentisanog ka jugu ima najveće vrednosti u jutarnjim i večernjim časovima a najmanje u podne. Najveće dnevne vrednosti maksimalnog napona vertikalnog solarnog modula orijentisanog ka jugu izmerene su u februaru, martu i maju, a najmanje dnevne vrednosti izmerene su u januaru i aprilu. U januaru, intenziteta Sunčevog zračenja koji dospeva na površinu vertikalnog solarnog modula orijentisanog ka jugu ima najveće vrednosti, što dovodi do zagrevanje solarnog modula usled Sunčevog zračenja i porasta njegove temperature  $T_c$  kao i smanjenja dnevnih vrednosti maksimalnog napona. Zbog veoma niske temperature ambijenta u februaru izmerene su visoke vrednosti maksimalnog napona. U aprilu je dominantan uticaj visoke temperature okoline (najtopliji dan u datom periodu) i visoke temperature solarnog modula ( $T_c > 45^\circ\text{C}$ ), što za posledicu ima smanjenje dnevnih vrednosti maksimalnog napona vertikalnog solarnog modula. Na slici 3.83 vidi se da je u maju izmerena najmanja promena maksimalnog napona ovog solarnog modula. U letnjim mesecima intenzitet Sunčevog zračenja koje dospeva na površinu ovog modula ima najmanje vrednosti oko  $300 \text{ W/m}^2$ .

Na slici 3.84 vidi se da maksimalni napon  $U_{mpp}$  vertikalnog solarnog modula orijentisanog ka jugu ima najmanje dnevne vrednosti u avgustu, oktobru i septembru kada su

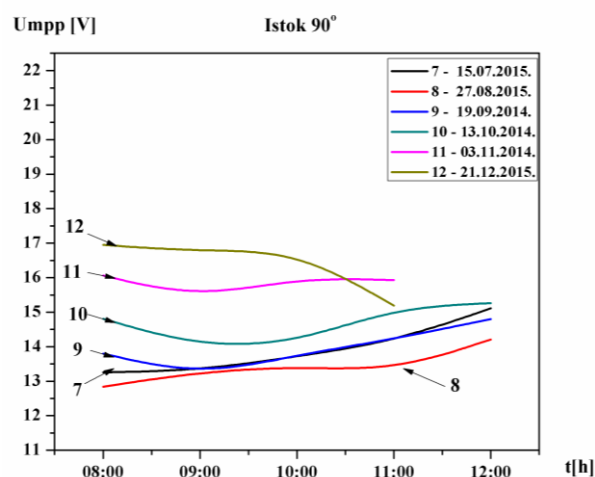
izmerene i najveće vrednosti temperature ovog solarnog modula ( $45^{\circ}\text{C} - 55^{\circ}\text{C}$ ). Najveće dnevne vrednosti maksimalnog napona vertikalnog solarnog modula orijentisanog ka jugu izmerene su u decembru, kada je izmerena najniža temperatura ambijenta u ovom periodu.

### 3.4.2.4. Vertikalni solarni modul orijentisan ka istoku

Dnevne promene maksimalnog napona  $U_{mpp}$  (V) vertikalnog solarnog modula orijentisanog ka istoku u periodu od januara do juna i u periodu od jula do decembra date su na slikama 3.85 i 3.86.



**Slika 3.85.** Dnevna promena maksimalnog napona  $U_{mpp}$  (V) vertikalnog solarnog modula orijentisanog ka istoku u periodu od januara do juna



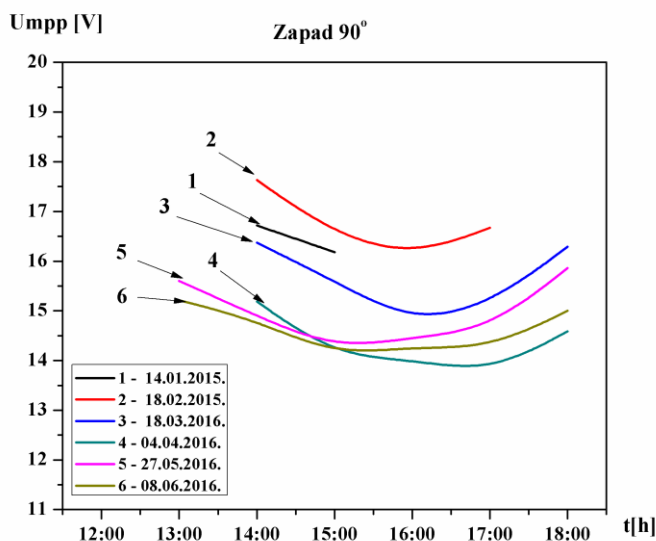
**Slika 3.86.** Dnevna promena maksimalnog napona  $U_{mpp}$  (V) vertikalnog solarnog modula orijentisanog ka istoku u periodu od jula do decembra

Na slici 3.85 se vidi da maksimalni napon vertikalnog solarnog modula orijentisanog ka istoku opada od najvećih dnevnih vrednosti u januaru i februaru do najmanjih dnevnih vrednosti u aprilu, maju i junu. Minimalne vrednosti maksimalnog napona vertikalnog solarnog modula orijentisanog ka istoku odgovaraju maksimalnim vrednostima intenziteta Sunčevog zračenja koje dospeva na njegovu površinu i maksimalnoj vrednosti temperature solarnog modula u toku dana.

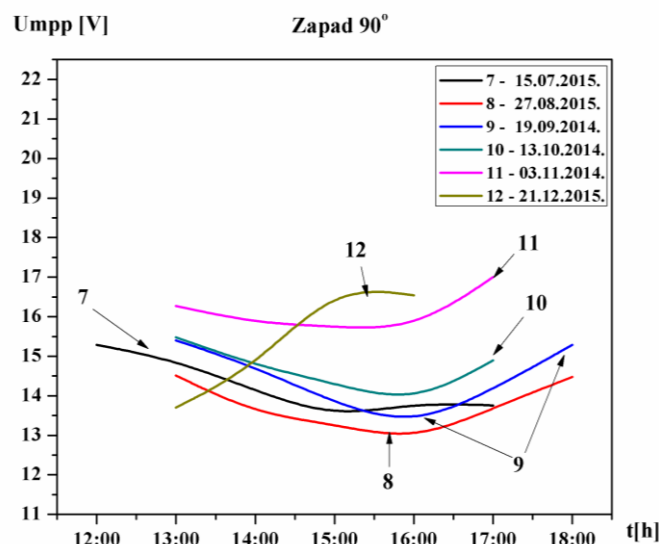
U drugoj polovini godine maksimalni napon vertikalnog solarnog modula orijentisanog ka istoku raste od najmanjih dnevnih vrednosti u julu i avgustu do najvećih dnevnih vrednosti u decembru. U decembru sa smanjenjem intenziteta Sunčevog zračenja koje dospeva na površinu ovog solarnog modula dolazi do vidnog pada maksimalnog napona. U septembru, oktobru i novembru minimalne vrednosti maksimalnog napona (oko 9 časova ujutru) dogovaraju maksimalnoj temperaturi solarnog modula i maksimumu intenziteta Sunčevog zračenja koje dospeva na njegovu površinu.

### 3.4.2.5. Vertikalni solarni modul orijentisan ka zapadu

Dnevne promene maksimalnog napona  $U_{mpp}$  (V) vertikalnog solarnog modula orijentisanog ka zapadu u periodu od januara do juna i u periodu od jula do decembra date su na slikama 3.87 i 3.88.



**Slika 3.87.** Dnevna promena maksimalnog napona  $U_{mpp}$  (V) vertikalnog solarnog modula orijentisanog ka zapadu u periodu od januara do juna



**Slika 3.88.** Dnevna promena maksimalnog napona  $U_{mpp}$  (V) vertikalnog solarnog modula orijentisanog ka zapadu u periodu od jula do decembra

U prvoj polovini godine dnevne vrednosti maksimalnog napona vertikalnog solarnog modula orijentisanog ka zapadu opadaju od najvećih vrednosti u februaru i januaru do najmanjih vrednosti u junu i aprilu. Na slici 3.87 se može videti da krive 1-6 imaju minimum u periodu od 15 do 16 časova, zavisno od meseca u godini. Minimalne vrednosti napona vertikalnog solarnog modula orijentisanog ka zapadu odgovaraju maksimalnim vrednostima intenziteta Sunčevog zračenja koje dospeva na njegovu površnu i maksimalnoj vrednosti njegove temperature u toku dana.

U drugoj polovini godine dnevne vrednosti maksimalnog napon vertikalnog solarnog modula orijentisanog ka zapadu rastu od najmanjih dnevnih vrednosti u julu i avgustu do najvećih dnevnih vrednosti u novembru. U toku sunčanog dana krive 7-11 imaju minimum u periodu od 15 do 16 časova. U decembru je specifična dnevna promena maksimalnog napona vertikalnog solarnog modula orijentisanog ka zapadu gde sa porastom intenziteta Sunčevog zračenja koje dospeva na njegovu površinu dolazi do porasta maksimalnog napona.

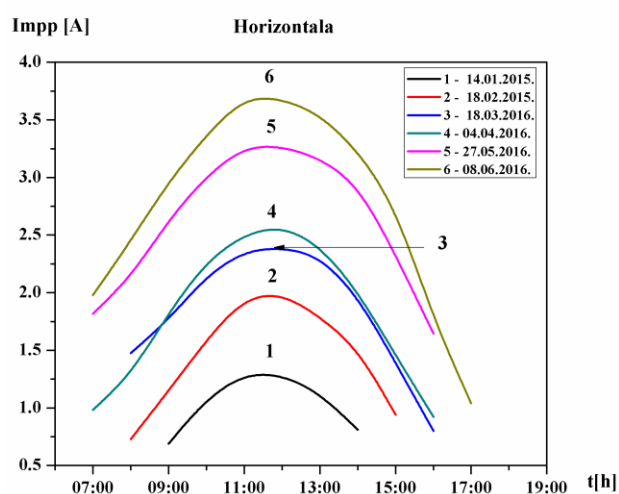
Na promenu maksimalnog napona pet različito orijentisana solarna modula u toku dana utiču intenzitet Sunčevog zračenja i temperatura solarnog modula. U slučaju kada su vrednosti intenziteta Sunčevog zaračenja male ( $< 300 \text{ W/m}^2$ ) promena maksimalnog napona odstupa od uobičajene dnevne promene što je uočeno u decembru za horizontalni solarni modul i za vertikalne solarne module orijentisane ka istoku i zapadu.



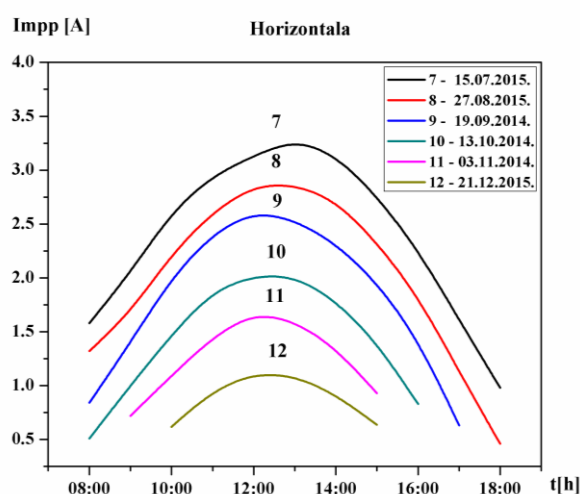
### 3.4.3. Rezultati merenja maksimalne struje geografski različito orijentisanih solarnih modula u Nišu

#### 3.4.3.1. Horizontalni solarni modul

Dnevne promene maksimalne struje  $I_{mpp}$  (A) horizontalnog solarnog modula u periodu od januara do juna i u periodu od jula do decembra date su na slikama 3.89 i 3.90.



Slika 3.89. Dnevna promena maksimalne struje  $I_{mpp}$  (A) horizontalnog solarnog modula u periodu od januara do juna



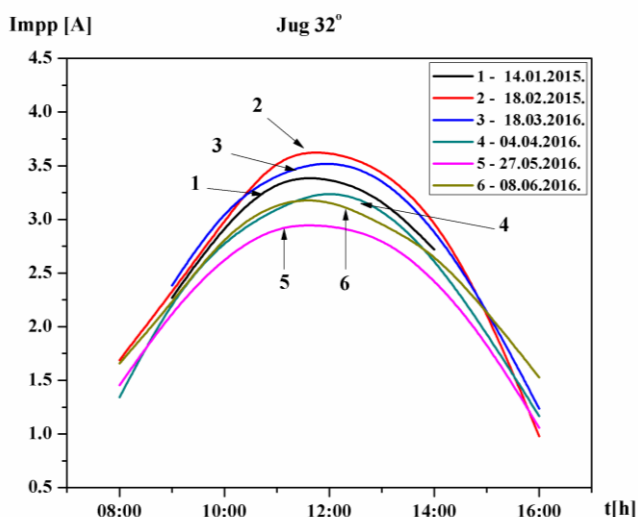
Slika 3.90. Dnevna promena maksimalne struje  $I_{mpp}$  (A) horizontalnog solarnog modula u periodu od jula do decembra

Sa porastom vrednosti intenziteta Sunčevog zračenja, koje dospeva na površinu horizontalnog solarnog modula, rastu i vrednosti maksimalne struje. Na slici 3.89 se vidi da su najmanje dnevne vrednosti maksimalne struje  $I_{mpp}$  horizontalnog solarnog modula izmerene u ranim jutarnjim i kasnim večernjim časovima, a maksimalna vrednost izmerena je u podne (sunčevo podne). U prvoj polovini godine maksimalna vrednost maksimalne struje  $I_{mpp}$  horizontalnog solarnog modula raste od 1,3 A izmerene u januaru do 3,73 A izmerene u junu.

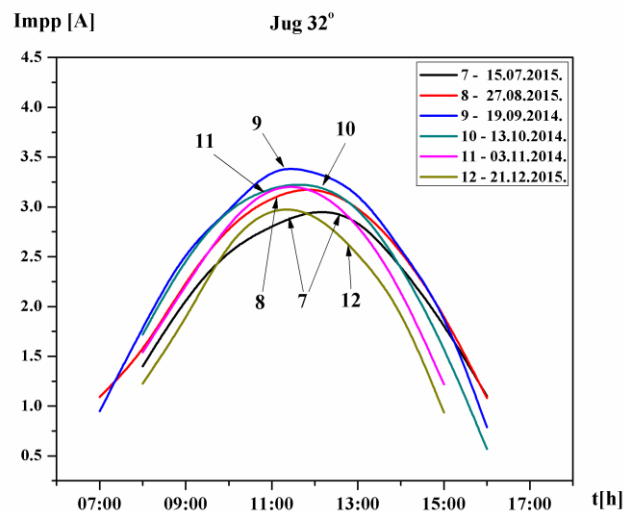
U drugoj polovini godine vrednosti maksimalne struje  $I_{mpp}$  horizontalnog solarnog modula opadaju od najvećih dnevnih vrednosti u julu do najmanjih dnevnih vrednosti u decembru. Ovakva promena maksimalne struje  $I_{mpp}$  horizontalnog solarnog modula u periodu od jula do decembra je u skladu sa smanjenjem intenziteta Sunčevog zračenja koje dospeva na površinu ovog solarnog modula. Maksimalna dnevna vrednost maksimalne struje  $I_{mpp}$  horizontalnog solarnog modula u julu iznosila je 3,29 A, a u decembru 1,11 A.

### 3.4.3.2. Optimalno orijentisan solarni modul

Dnevne promene maksimalne struje  $I_{mpp}$  (A) optimalno orijentisanog solarnog modula u periodu od januara do juna i u periodu od jula do decembra date su na slikama 3.91 i 3.92.



Slika 3.91. Dnevna promena maksimalne struje  $I_{mpp}$  (A) solarnog modula orijentisanog ka jugu pod uglom od  $32^\circ$  u periodu od januara do juna



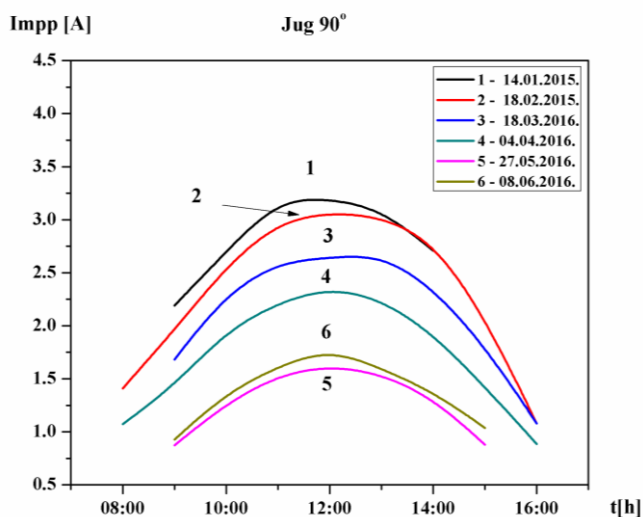
Slika 3.92. Dnevna promena maksimalne struje  $I_{mpp}$  (A) solarnog modula orijentisanog ka jugu pod uglom od  $32^\circ$  u periodu od jula do decembra

U toku sunčanog dana maksimalna vrednost maksimalna struje  $I_{mpp}$  optimalno orijentisanog solarnog modula odgovara sunčevom podnevu. Sa porastom vrednosti intenziteta Sunčevog zračenja, koje dospeva na površinu optimalno orijentisanog solarnog modula, rastu i vrednosti maksimalne struje. U prvoj polovini godine maksimalne izmerene dnevne vrednosti maksimalne struje  $I_{mpp}$  optimalno orijentisanog solarnog modula bile su najveće u februaru i martu (3,65 A; 3,56 A), a najmanje su izmerene u maju (2,95 A). Iako su vrednosti intenziteta Sunčevog zračenja koje dospeva na površinu posmatranog solarnog modula bliske u januaru i februaru, može se uočiti da su dnevne vrednosti maksimalne struje u februaru veće upravo zbog niske temperature ambijenta.

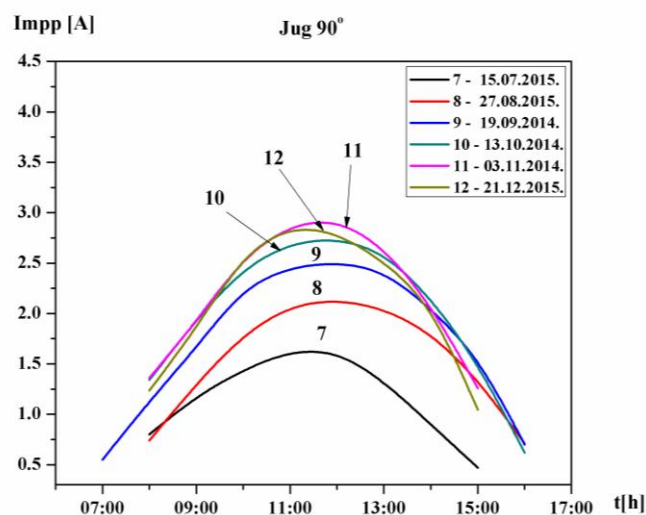
U drugoj polovini godine najveća maksimalna vrednost maksimalne struje  $I_{mpp}$  optimalno orijentisanog solarnog modula izmerena je u septembru (3,43A), a najmanje su izmerene u julu i decembru (3 A; 3,02 A). Na slici 3.92 se vidi da su u julu (kriva 7) i decembru (kriva 12) vrednost maksimalne struje bliske, što se ne očekuje s obzirom na to da je maksimalna vrednost intenziteta Sunčevog zračenja koje dospeva na površinu ovog solarnog modula u decembru bila  $600 \text{ W/m}^2$ , a u julu  $800 \text{ W/m}^2$ . Ovo se može objasniti kombinacijom uticaja intenziteta Sunčevog zračenja koje dospeva na površinu modula, njegove temperature i temperature okoline. U decembru temperatura ambijenta je bila manja od  $10^\circ\text{C}$ , a temperatura solarnog modula manja od  $40^\circ\text{C}$ , dok je u julu temperatura ambijenta bila veća od  $25^\circ\text{C}$ , a temperatura solarnog modula bila oko  $45^\circ\text{C}$ .

### 3.4.3.3. Vertikalni solarni modul orijentisan ka jugu

Dnevne promene maksimalne struje  $I_{mpp}$  (A) vertikalnog solarnog modula orijentisanog ka jugu u periodu od januara do juna i u periodu od jula do decembra date su na slikama 3.93 i 3.94.



**Slika 3.93.** Dnevna promena maksimalne struje  $I_{mpp}$  (A) vertikalnog solarnog modula orijentisanog ka jugu u periodu od januara do juna



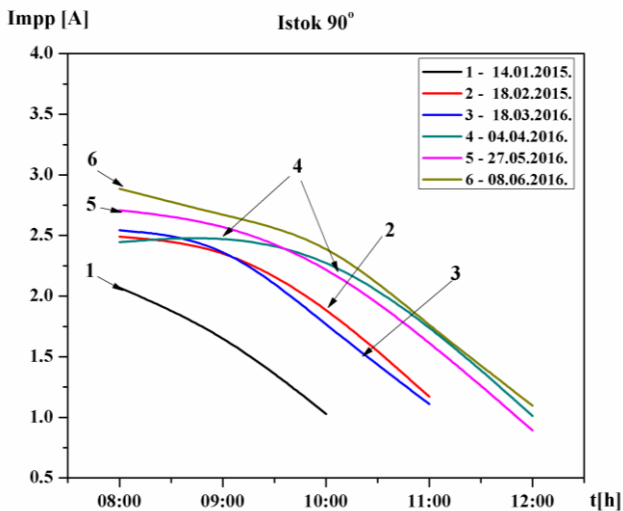
**Slika 3.94.** Dnevna promena maksimalne struje  $I_{mpp}$  (A) vertikalnog solarnog modula orijentisanog ka jugu u periodu od jula do decembra

U toku sunčanog dana maksimalna vrednost maksimalne struje  $I_{mpp}$  vertikalnog solarnog modula orijentisanog ka jugu odgovara sunčevom podnevu. U prvoj polovini godine maksimalna dnevna vrednost maksimalne struje  $I_{mpp}$  vertikalnog solarnog modula orijentisanog ka jugu opada od najveće vrednosti izmerene u januaru (3,2 A) do najmanje vrednosti izmerene u maju (1,32 A). Ovakve vrednosti maksimalne struje su u skladu sa vrednostima intenziteta Sunčevog zračenja koje dospeva na površinu vertikalnog solarnog modula orijentisanog ka jugu (najveće vrednosti intenziteta su u januaru, a najmanje u maju i junu).

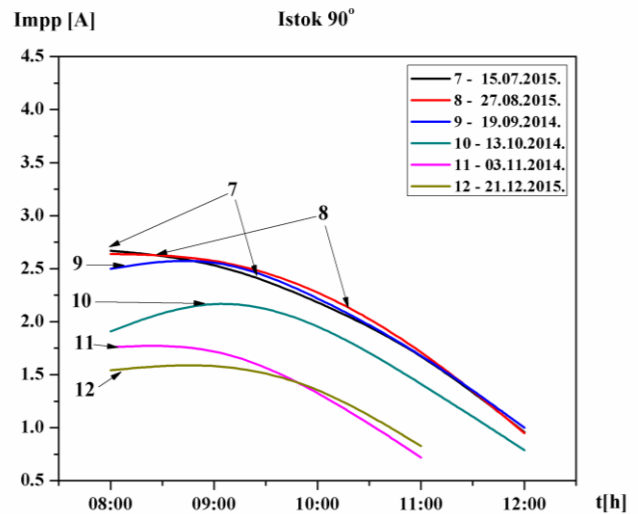
U drugoj polovini godine maksimalna dnevna vrednost maksimalne struje  $I_{mpp}$  vertikalnog solarnog modula orijentisanog ka jugu raste od najmanje izmerene vrednosti u julu (1,63 A) do najvećih izmerenih vrednosti u novembru i decembru (2,94 A, 2,87 A). Vrednost intenziteta Sunčevog zračenja koje dospeva na površinu datog solarnog modula opada od minimalne vrednosti u julu do maksimalne vrednosti u novembru i decembru.

### 3.4.3.4. Vertikalni solarni modul orijentisan ka istoku

Dnevne promene maksimalne struje  $I_{mpp}$  (A) vertikalnog solarnog modula orijentisanog ka istoku u periodu od januara do juna i u periodu od jula do decembra date su na slikama 3.95 i 3.96.



**Slika 3.95.** Dnevna promena maksimalne struje  $I_{mpp}$  (A) vertikalnog solarnog modula orijentisanog ka istoku u periodu od januara do juna



**Slika 3.96.** Dnevna promena maksimalne struje  $I_{mpp}$  (A) vertikalnog solarnog modula orijentisanog ka istoku u periodu od jula do decembra

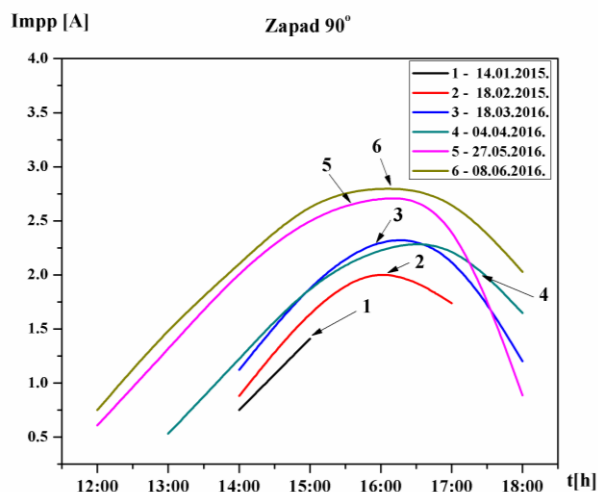
U toku dana maksimalna izmerena vrednost intenziteta Sunčevog zračenja dospeva na površinu vertikalnog solarnog modula orijentisanog ka istoku u periodu od 8<sup>00</sup> do 9<sup>00</sup> časova, u zavisnosti od meseca u godini.

Na slici 3.95 se vidi da krive promene maksimalne struje imaju maksimum koji odgovara maksimumu Sunčevog zračenja koje dospeva na površinu ovog solarnog modula. U prvoj polovini godine maksimalna dnevna vrednost struje  $I_{mpp}$  vertikalnog solarnog modula orijentisanog ka istoku raste od najmanje izmerene vrednosti u januaru (2,07 A) do maksimalne izmerene vrednosti u junu (2,89 A). Takođe se vidi da su u aprilu, maju i junu krive promene maksimalne struje (krive 4, 5 i 6) bliske, što se objašnjava kombinovanim uticajem intenziteta Sunčevog zračenja, temperature solarnog modula i temperature ambijenta. Zbog porasta intenziteta Sunčevog zračenja koje dospeva na površinu ovog solarnog modula i porasta temperature ambijenta, u ovim mesecima, dolazi do porasta temperature solarnog modula, tako da sa većim intenzitetom sučevog zračenja se mogu dobiti približno iste vrednosti maksimalne struje kao i sa manjim intenzitetom i manjim temperaturama.

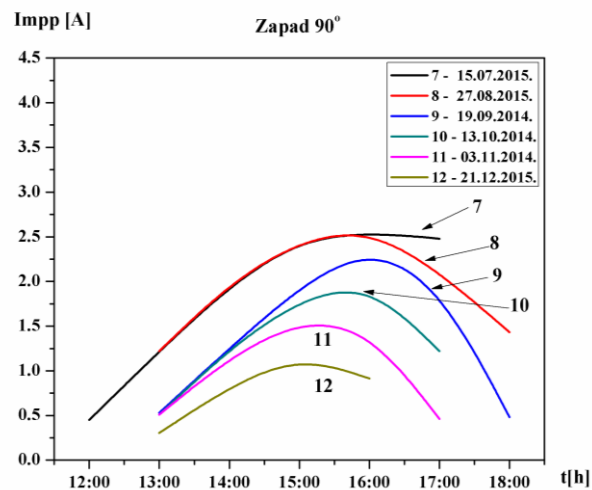
U drugoj polovini godine maksimalna dnevna vrednost struje  $I_{mpp}$  vertikalnog solarnog modula orijentisanog ka istoku opada od najveće vrednosti izmerene u julu (2,67 A) do najmanje izmerene vrednosti u decembru (1,63 A). Na slici 3.95 se vidi da su krive promene maksimalne struje za juli, avgust i septembar (7, 8 i 9) bliske. Zbog smanjenja intenziteta Sunčevog zračenja koje dospeva na površinu ovog solarnog modula i smanjenje temperature ambijenta, u ovim mesecima, dolazi do smanjenja i temperature solarnog modula, tako da su vrednosti maksimalne struje izmerene u julu i septembru približno iste.

### 3.4.3.5. Vertikalni solarni modul orijentisan ka zapadu

Dnevne promene maksimalne struje  $I_{mpp}$  (A) vertikalnog solarnog modula orijentisanog ka zapadu u periodu od januara do juna i u periodu od jula do decembra date su na slikama 3.97 i 3.98.



Slika 3.97. Dnevna promena maksimalne struje  $I_{mpp}$  (A) vertikalnog solarnog modula orijentisanog ka zapadu u periodu od januara do juna



Slika 3.98. Dnevna promena maksimalne struje  $I_{mpp}$  (A) vertikalnog solarnog modula orijentisanog ka zapadu u periodu od jula do decembra

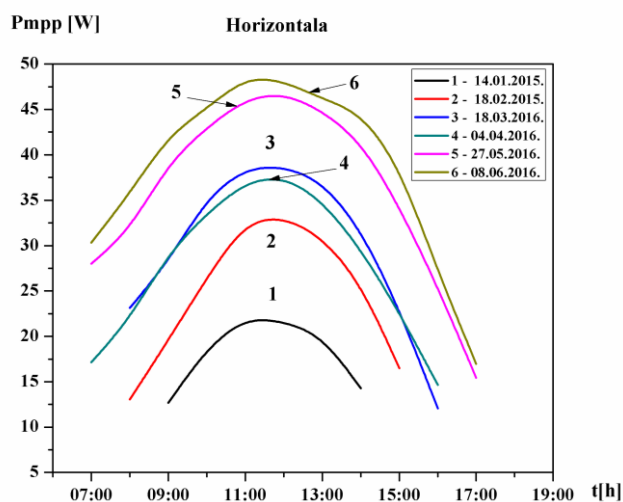
U toku dana na površinu vertikalnog solarnog modula orijentisanog ka zapadu maksimalni intenziteta Sunčevog zračenja dospeva u periodu od 15<sup>00</sup> do 16<sup>00</sup> časova, u zavisnosti od meseca u godini. Na slici 3.97 se vidi da krive promene maksimalne struje imaju maksimum koji odgovara maksimumu Sunčevog zračenja koje dospeva na površinu ovog solarnog modula. U prvoj polovini godine maksimalna dnevna vrednost maksimalne struje  $I_{mpp}$  vertikalnog solarnog modula orijentisanog ka zapadu raste od najmanje izmerene vrednosti u januaru (1,41 A) do najvećih vrednosti izmerenih u maju (2,75 A) i junu (2,83 A).

U drugoj polovini godine maksimalna vrednost maksimalne struje  $I_{mpp}$  vertikalnog solarnog modula orijentisanog ka zapadu opada od najvećih vrednosti izmerenih u julu (2,55 A) i avgustu (2,59 A), do najmanje izmerene vrednosti izmerene u decembru (1,17A). Na slici 3.97 se vidi da se krive promene maksimalne struje za juli i avgust (krive 7 i 8) poklapaju sve do 16<sup>00</sup> časova.

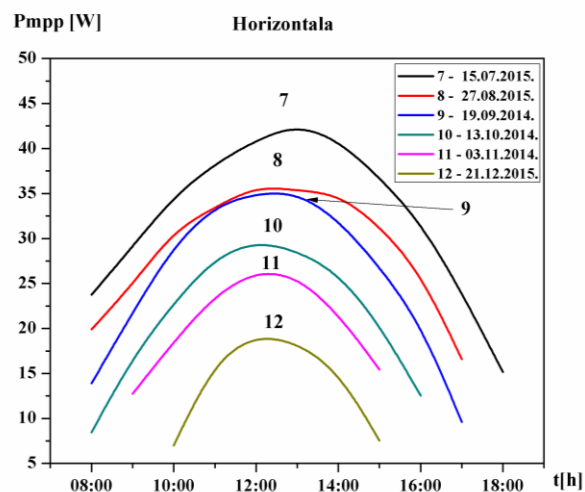
## 3.4.4. Rezultati merenja maksimalne snage geografski različito orijentisanih solarnih modula u Nišu

### 3.4.4.1. Horizontalni solarni modul

Dnevne promene maksimalne snage  $P_{mpp}$  (W) horizontalnog solarnog modula u periodu od januara do juna i u periodu od jula do decembra date su na slikama 3.99 i 3.100.



**Slika 3.99.** Dnevna promena maksimalne snage  $P_{mpp}$  (W) horizontalnog solarnog modula u periodu od januara do juna



**Slika 3.100.** Dnevna promena maksimalne snage  $P_{mpp}$  (W) horizontalnog solarnog modula u periodu od jula do decembra

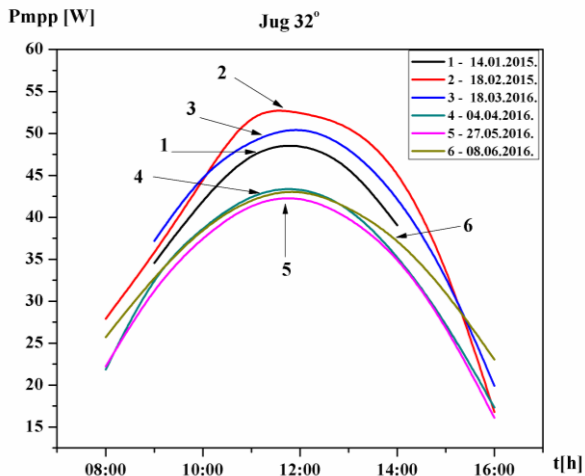
Maksimalna izmerena snaga horizontalnog solarnog modula u toku sunčanog dana odgovara sunčevom podnevu. Sa porastom intenziteta Sunčevog zračenja koje dospeva na površinu horizontalnog solarnog modula raste i maksimalna vrednost izlazne snage. Na slici 3.99 se vidi da maksimum izmerene snage horizontalnog solarnog modula raste od januara (22,12 W) do juna (48,63 W). Dan u aprilu je bio najtopliji u ovom periodu, dok je temperatura solarnog modula bila visoka (bliska vrednosti u junu). Visoke temperature ambijenta i solarnog modula u aprilu uticale su na smanjenje maksimalne vrednosti snage horizontalnog solarnog modula (kriva 4).

U periodu od jula do decembra smanjuje se intenzitet Sunčevog zračenja koje dospeva na površinu horizontalnog solarnog modula tako da maksimum izmerene snage horizontalnog solarnog modula opada od najveće vrednosti u julu (42,72 W) do najmanje vrednosti u decembru (19,33 W). Na slici 3.99 se vidi da je u avgustu snaga solarnog modula znatno manja nego u julu. Dan u avgustu je bio najtopliji dan sa temperaturom ambijenta preko 30°C. Takođe, tada je izmerena i najveća temperatura horizontalnog solarnog modula od 59°C. Visoka temperatura ambijenta i visoka temperatura solarnog modula doveli su do znatnog smanjenja izlazne snage horizontalnog solarnog modula.

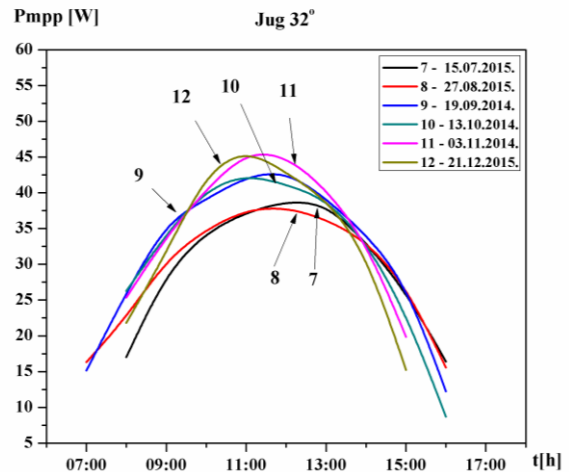
U letnjim mesecima kada su najveće vrednosti intenziteta Sunčevog zračenja, temperature ambijenta i temperature horizontalnog solarnog modula može se uočiti negativan uticaj visoke temperature solarnog modula na izlaznu snagu.

### 3.4.4.2. Optimalno orijentisan solarni modul

Dnevne promene maksimalne snage  $P_{mpp}$  (W) optimalno orijentisanog solarnog modula u periodu od januara do juna i u periodu od jula do decembra date su na slikama 3.101 i 3.102.



**Slika 3.101.** Dnevna promena maksimalne snage  $P_{mpp}$  (W) optimalno orijentisanog solarnog modula u periodu od januara do juna

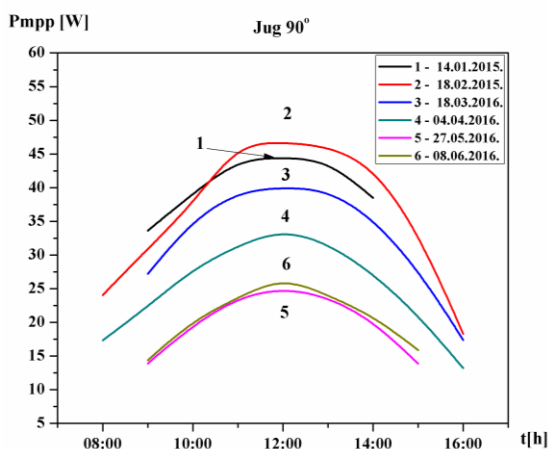


**Slika 3.102.** Dnevna promena maksimalne snage  $P_{mpp}$  (W) optimalno orijentisanog solarnog modula u periodu od jula do decembra

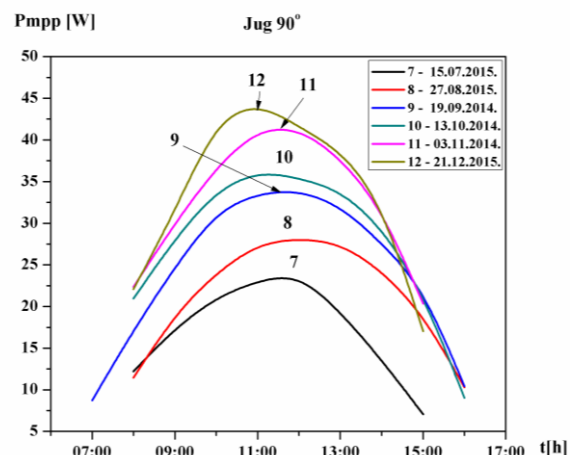
Maksimalna snaga optimalno orijentisanog solarnog modula je izmerena u februaru (53,27 W), dok su u januaru i martu maksimalne vrednosti snage iznosile 49,02 W i 51,1 W, respektivno. U aprilu, maju i junu maksimalne izmerene snage optimalno orijentisanog solarnog modula su iznosile 43,81 W, 42,73 W i 43,56 W, respektivno. U periodu od jula do decembra maksimum izmerene snage optimalno orijentisanog solarnog modula raste od 38,85 W do 46,25 W. Iako u novembru i decembru nisu najveće vrednosti intenziteta Sunčevog zračenja koje doseže na površinu optimalno orijentisanog solarnog modula tada su izmerene najveće vrednosti izlazne snage. Upravo u ovim danima izmerene su najniže temperature ambijenta i temperature optimalno orijentisanog solarnog modula.

### 3.4.4.3. Vertikalni solarni modul orijentisan ka jugu

Dnevne promene maksimalne snage  $P_{mpp}$  (W) vertikalnog solarnog modula orijentisanog ka jugu u periodu od januara do juna i u periodu od jula do decembra date su na slikama 3.103 i 3.104.



**Slika 3.103.** Dnevna promena maksimalne snage  $P_{mpp}$  (W) vertikalnog solarnog modula orijentisanog ka jugu u periodu od januara do juna

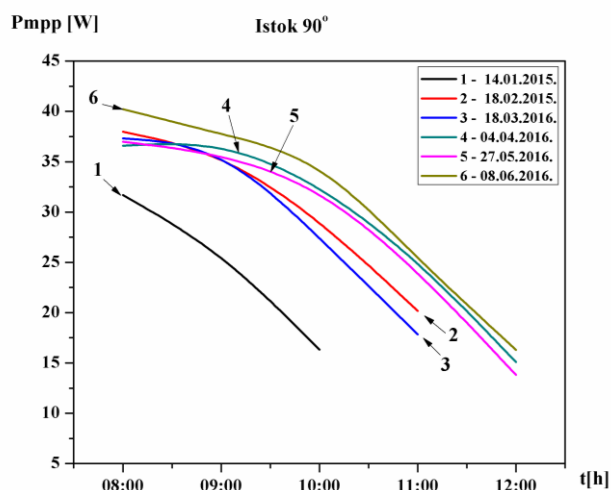


**Slika 3.104.** Dnevna promena maksimalne snage  $P_{mpp}$  (W) vertikalnog solarnog modula orijentisanog ka jugu u periodu od jula do decembra

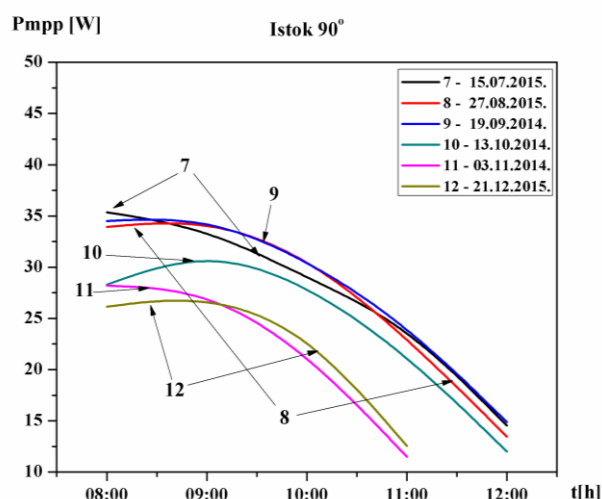
Na slici 3.103 vidi se da su najveće vrednosti izlazne snage vertikalnog solarnog modula orijentisanog ka jugu izmerene u januaru (44,5 W), februaru (46,72 W) i martu (40,10 W). Najmanje vrednosti izlazne snage izmerene su u maju (25,14 W) i junu (26,77 W) kada su i najmanje vrednosti intenziteta Sunčevog zračenja koje dospeva na površinu vertikalnog solarnog modula orijentisanog ka jugu. U periodu od jula do decembra maksimum izmerene snage vertikalnog solarnog modula orijentisanog ka jugu raste od 23,93 W do decembra 44,55 W. Najveće vrednosti intenziteta Sunčevog zračenja koje dospeva na površinu vertikalnog solarnog modula orijentisanog ka jugu su u novembru i decembru, upravo kada su izmerene i najveće vrednosti izlazne snage ovog solarnog modula.

#### 3.4.4.4. Vertikalni solarni modul orijentisan ka istoku

Dnevne promene maksimalne snage  $P_{mpp}$  (W) vertikalnog solarnog modula orijentisanog ka istoku u periodu od januara do juna i u periodu od jula do decembra date su na slikama 3.105 i 3.106.



**Slika 3.105.** Dnevna promena maksimalne snage  $P_{mpp}$  (W) vertikalnog solarnog modula orijentisanog ka istoku u periodu od januara do juna



**Slika 3.106.** Dnevna promena maksimalne snage  $P_{mpp}$  (W) vertikalnog solarnog modula orijentisanog ka istoku u periodu od jula do decembra

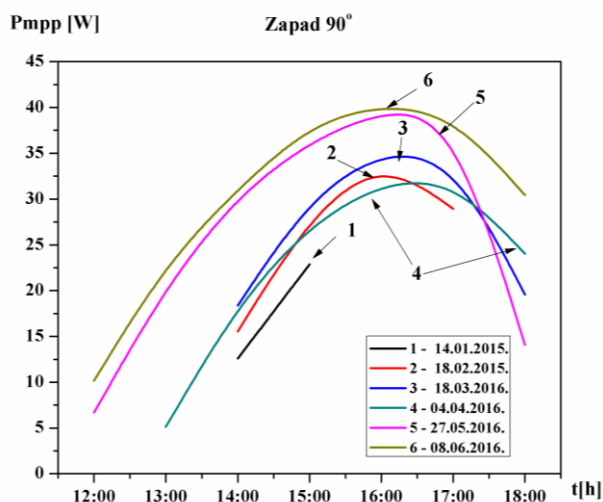
Maksimalne vrednosti snage vertikalnog solarnog modula orijentisanog ka istoku u toku sunčanog dana su između  $7^{00}$  i  $8^{00}$  časova ujutru, u zavisnosti od dana u godini, što je u skladu sa maksimalnim vrednostima intenziteta Sunčevog zračenja koje u toku dana dospeva na površinu ovog solarnog modula. Najmanje vrednosti izlazne snage vertikalnog solarnog modula orijentisanog ka istoku izmerene su u januaru (31,69 W), a najveće u junu (40,23 W).

U periodu od jula do decembra maksimum izmerene snage vertikalnog solarnog modula orijentisanog ka istoku opada od 35,37 W do 23,93 W. U avgustu i septembru vrednosti izlazne snage vertikalnog solarnog modula orijentisanog ka istoku bile su bliske.

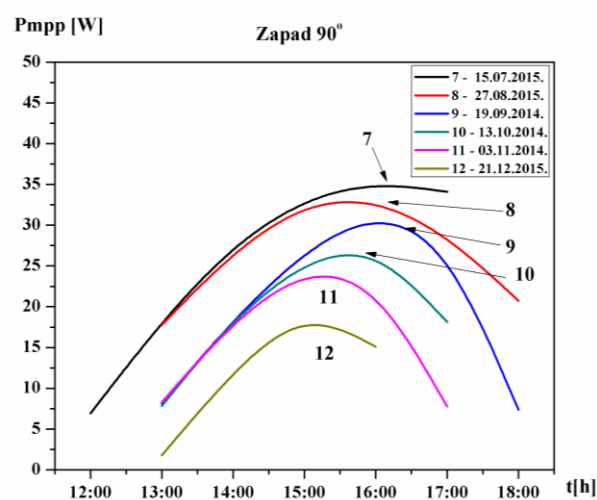


### 3.4.4.5. Vertikalni solarni modul orijentisan ka zapadu

Dnevne promene maksimalne snage  $P_{mpp}$  (W) vertikalnog solarnog modula orijentisanog ka zapadu u periodu od januara do juna i u periodu od jula do decembra date su na slikama 3.107 i 3.108.



**Slika 3.107.** Dnevna promena maksimalne snage  $P_{mpp}$  (W) vertikalnog solarnog modula orijentisanog ka zapadu u periodu od januara do juna



**Slika 3.108.** Dnevna promena maksimalne snage  $P_{mpp}$  (W) vertikalnog solarnog modula orijentisanog ka zapadu u periodu od jula do decembra

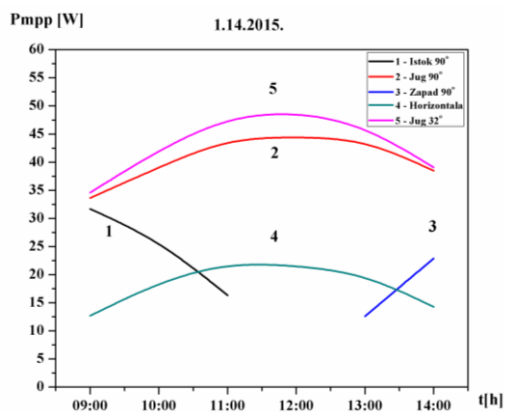
Direktno sunčevo zračenje u toku dana dopeva na površinu vertikalnog solarnog modula orijentisanog ka zapadu od 12<sup>00</sup> časova pa sve do kasnih popodnevni časova, sa manjim odstupanjima u zavisnosti od meseca u godini.

Maksimalne vrednosti snage vertikalnog solarnog modula orijentisanog ka zapadu u toku sunčanog dana su između 15<sup>00</sup> i 16<sup>00</sup> časova popodne, u zavisnosti od dana u godini, što je u skladu sa maksimalnim vrednostima intenziteta Sunčevog zračenja koje u toku dana dospeva na površinu ovog solarnog modula. Maksimum izmerene snage vertikalnog solarnog modula orijentisanog ka zapadu raste od minimalne vrednosti izmerene u januaru (22,88 W) do maksimalne vrednosti izmerene u junu (40,40 W).

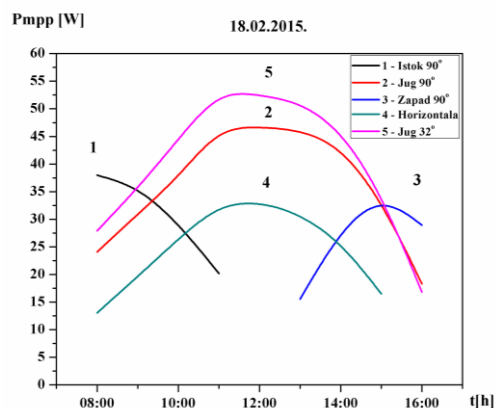
U periodu od jula do decembra maksimum izmerene snage vertikalnog solarnog modula orijentisanog ka zapadu opada od 35,3 W do 19,66 W.

### 3.4.4.6. Uporedni prikaz promene maksimalne snage $P_{mpp}$ (W) pet solarnih modula u toku istog dana za sve mesece u godini

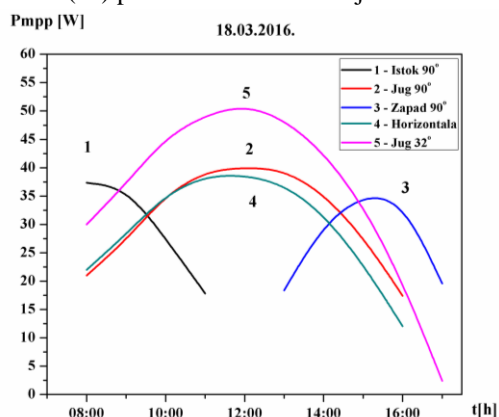
Promena maksimalne snage  $P_{mpp}$  (W) pet solarnih modula u toku istog dana u periodu od januara do juna data je na slikama 3.109-3.114.



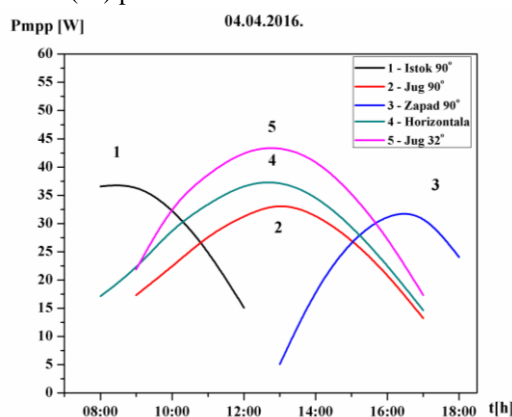
Slika 3.109. Dnevna promena maksimalne snage  $P_{mpp}$  (W) pet solarnih modula u januaru



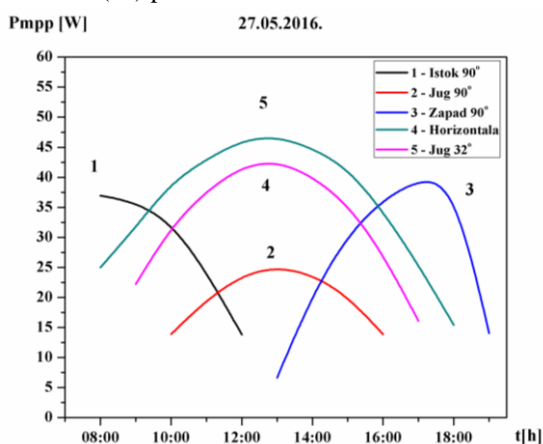
Slika 3.110. Dnevna promena maksimalne snage  $P_{mpp}$  (W) pet solarnih modula u februaru



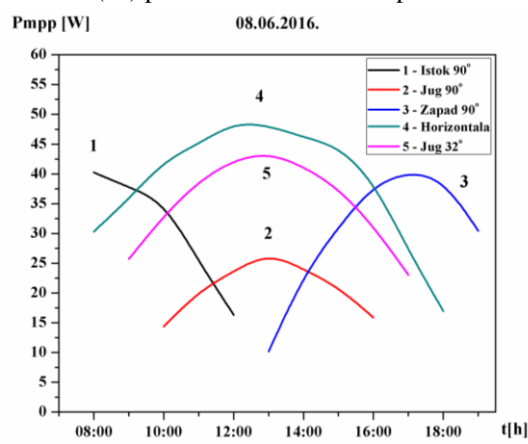
Slika 3.111. Dnevna promena maksimalne snage  $P_{mpp}$  (W) pet solarnih modula u martu



Slika 3.112. Dnevna promena maksimalne snage  $P_{mpp}$  (W) pet solarnih modula u aprilu



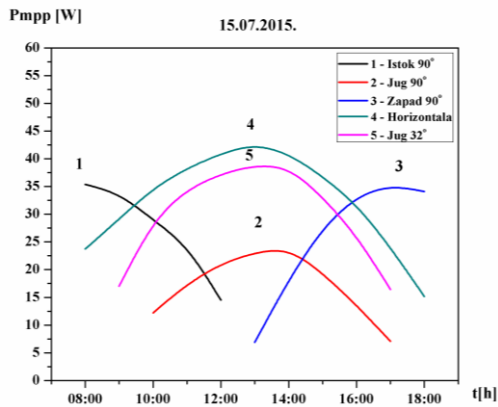
Slika 3.113. Dnevna promena maksimalne snage  $P_{mpp}$  (W) pet solarnih modula u maju



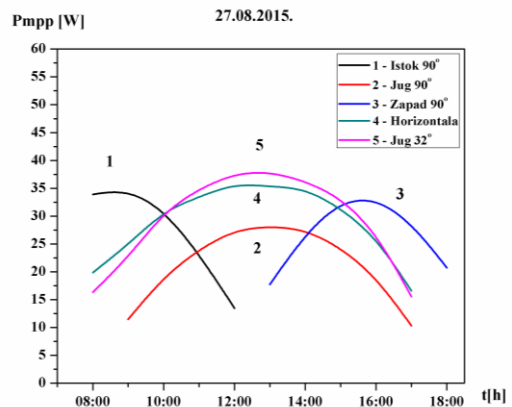
Slika 3.114. Dnevna promena maksimalne snage  $P_{mpp}$  (W) pet solarnih modula u junu

Od januara do aprila optimalno orijentisani solarni modul ima najveće dnevne vrednosti izlazne snage u poređenju sa vrednostima snaga ostalih solarnih modula. U maju i junu horizontalni solarni modul ima najveće dnevne vrednosti izlazne snage. Od aprila do juna vertikalni solarni modul orijentisan ka jugu ima najmanje dnevne izlazne vrednosti snage u poređenju sa vrednostima snaga ostalih solarnih modula u toku dana.

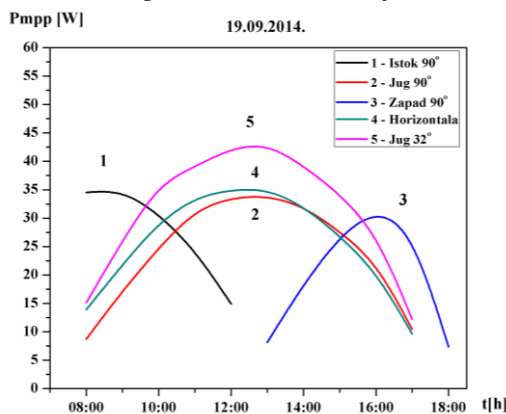
Promena maksimalne snage  $P_{mpp}$  (W) pet solarnih modula u toku istog dana u periodu od jula do decembra data je na slikama 3.115-3.120.



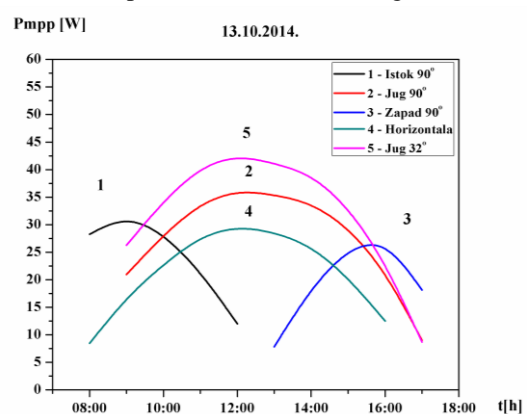
Slika 3.115. Dnevna promena maksimalne snage  $P_{mpp}$  (W) pet solarnih modula u julu



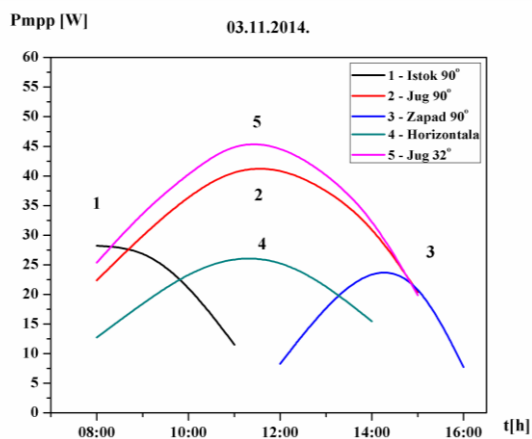
Slika 3.116. Dnevna promena maksimalne snage  $P_{mpp}$  (W) pet solarnih modula u avgustu



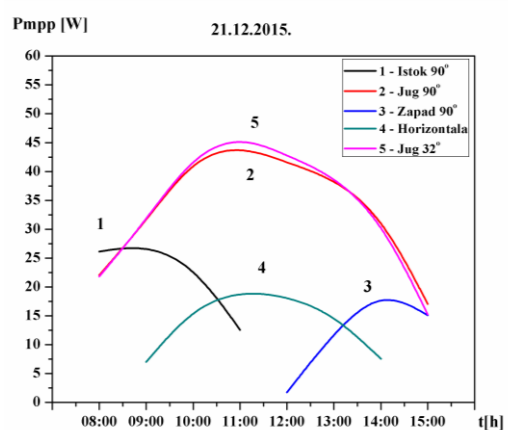
Slika 3.117. Dnevna promena maksimalne snage  $P_{mpp}$  (W) pet solarnih modula u septembru



Slika 3.118. Dnevna promena maksimalne snage  $P_{mpp}$  (W) pet solarnih modula u oktobru



Slika 3.119. Dnevna promena maksimalne snage  $P_{mpp}$  (W) pet solarnih modula u novembru



Slika 3.120. Dnevna promena maksimalne snage  $P_{mpp}$  (W) pet solarnih modula u decembru

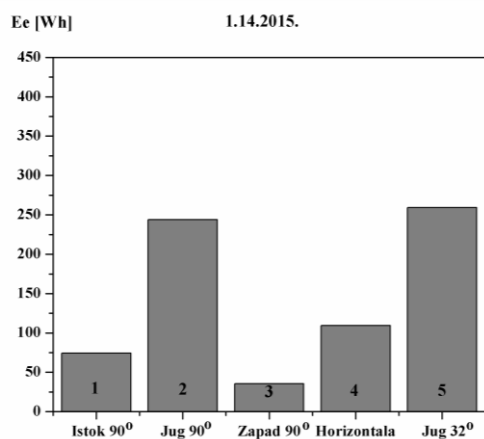
U julu horizontalni solarni modul ima najveće dnevne vrednosti izlazne snage u poređenju sa izlaznim snagama ostalih solarnih modula. Od avgusta do novembra optimalno orijentisani solarni modul ima najveće dnevne vrednosti izlazne snage. U decembru najveće vrednosti izlazne snage imaju optimalno orijentisani i vertikalni solarnog modula orijentisanog ka jugu (slika 3.120), pri čemu horizontalni solarni modul ima najmanju vrednost izlazne snage u toku dana. U periodu od avgusta do decembra maksimalna vrednost snage vertikalnog solarnog modula orijentisanog ka istoku je veća od maksimalne vrednosti snage vertikalnog solarnog modula orijentisanog ka zapadu. U istom periodu je maksimalna

temperatura vertikalnog solarnog modula orijentisanog ka zapadu veća od maksimalne temperature vertikalnog solarnog modula orijentisanog ka istoku. Manje vrednosti izlazne snage vertikalnog solarnog modula orijentisanog ka zapadu se mogu objasniti negativnim uticajem visoke temperature solarnog modula.

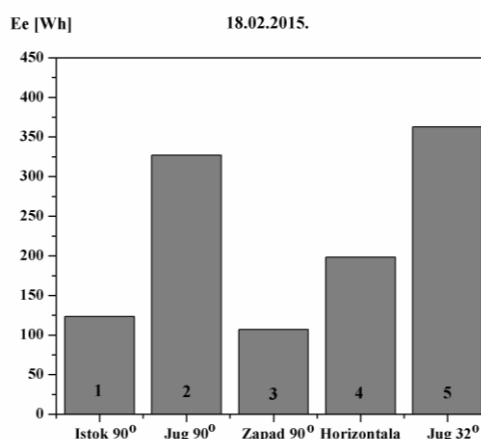
Najveća izlazna snaga optimalno orijentisanog solarnog modula izmerena je u februaru i iznosila je 53,27 W. Dan u februaru je bio najhladniji dan u godini, a najveća temperatura ambijenta iznosila je 4°C. Takođe, u toku ovog dana izmerena je najveća vrednost snage vertikalnog solarnog modula orijentisanog ka jugu (46,7 W). Najveća snaga horizontalnog solarnog modula izmerena je u junu i iznosila je 46,8 W. U junu su izmerene i najveće vrednosti snaga vertikalnih solarnih modula orijentisanih ka istoku i zapadu i iznosile su 40,2 W i 40,4 W, respektivno.

### 3.4.4.7. Električna energija dobijena pomoću pet solarnih modula u toku sunčanog dana

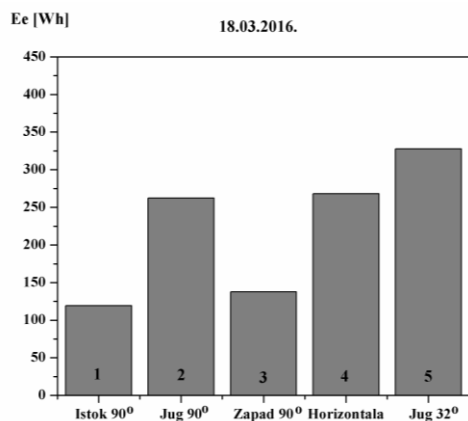
Električna energija (Wh) dobijena pomoću pet solarnih modula u toku sunčanog dana u periodu od januara do juna data je na slikama 3.121-3.126.



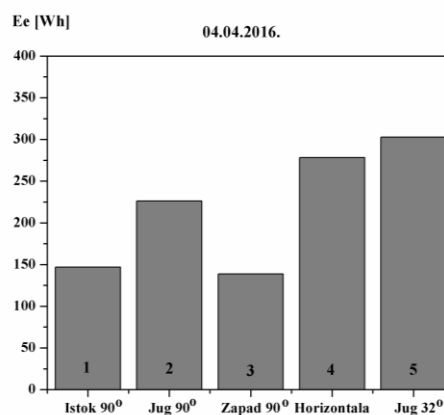
**Slika 3.121.** Električna energija dobijena pomoću pet solarnih modula u toku sunčanog dana u januaru



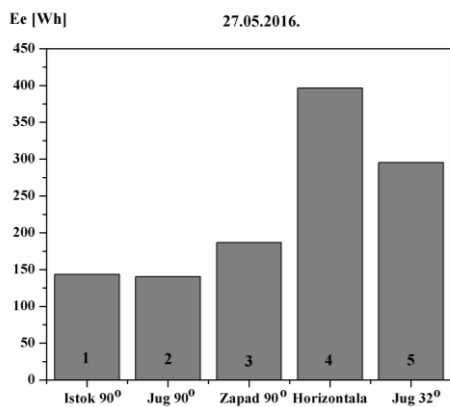
**Slika 3.122.** Električna energija dobijena pomoću pet solarnih modula u toku sunčanog dana u februaru



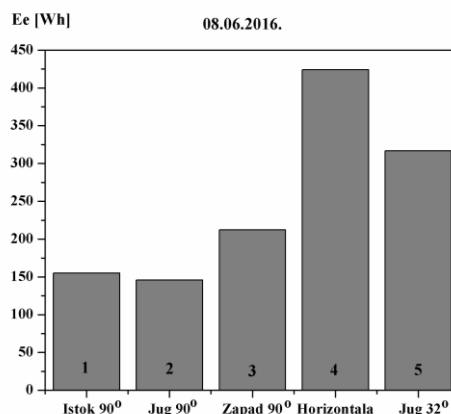
**Slika 3.123.** Električna energija dobijena pomoću pet solarnih modula u toku sunčanog dana u martu



**Slika 3.124.** Električna energija dobijena pomoću pet solarnih modula u toku sunčanog dana u aprilu

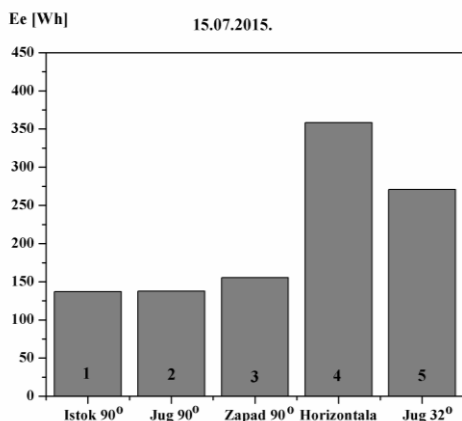


**Slika 3.125.** Električna energija dobijena pomoću pet solarnih modula u toku sunčanog dana u maju

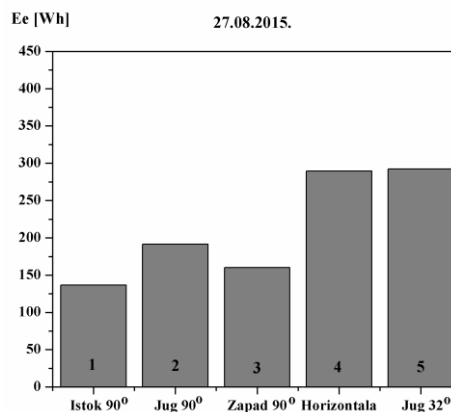


**Slika 3.126.** Električna energija dobijena pomoću pet solarnih modula u toku sunčanog dana u junu

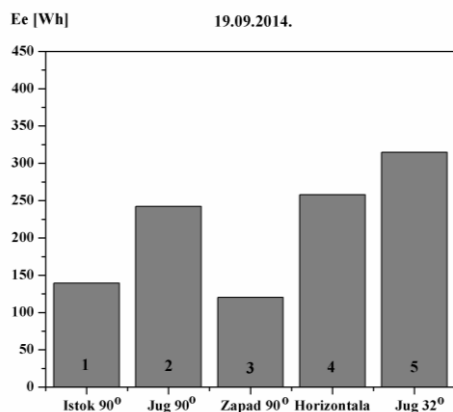
Električna energija (Wh) dobijena pomoću pet solarnih modula u toku sunčanog dana u periodu od jula do decembra data je na slikama 3.127-3.3.133.



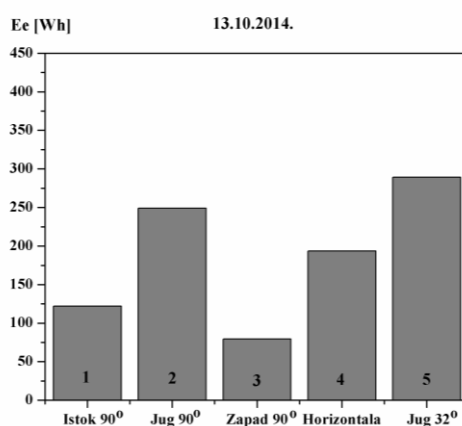
**Slika 3.127.** Električna energija dobijena pomoću pet solarnih modula u toku sunčanog dana u julu



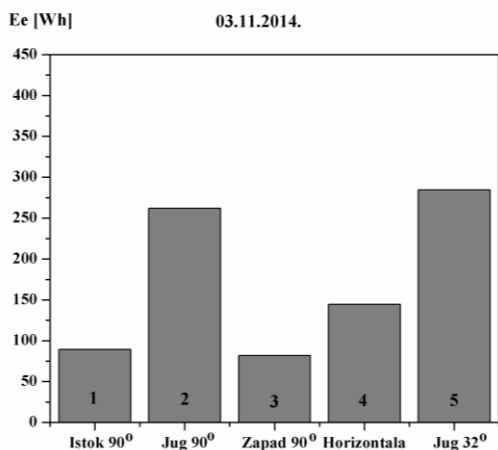
**Slika 3.128.** Električna energija dobijena pomoću pet solarnih modula u toku sunčanog dana u avgustu



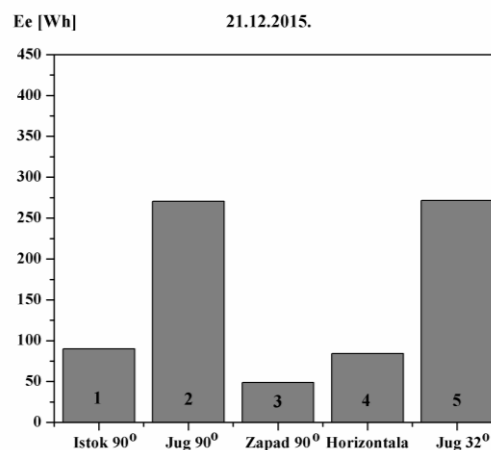
**Slika 3.129.** Električna energija dobijena pomoću pet solarnih modula u toku sunčanog dana u septembru



**Slika 3.130.** Električna energija dobijena pomoću pet solarnih modula u toku sunčanog dana u oktobru



**Slika 3.131.** Električna energija dobijena pomoću pet solarnih modula u toku sunčanog dana u novembru



**Slika 3.132.** Električna energija dobijena pomoću pet solarnih modula u toku sunčanog dana u decembru

Optimalno orijentisani solarni modul generiše najviše električne energije u toku sunčanog dana u februaru (362,6 Wh), martu (327,6 Wh) i septembru (314,7 Wh), a najmanje generiše u januaru (259,4 Wh) i decembru (271,6 Wh). Najviše električne energije optimalno orijentisani solarni modul generiše u prolećnim i jesenjim mesecima.

Horizontalni solarni modul generiše najviše električne energije tokom sunčanog dana u maju (396,4 Wh), junu (424 Wh) i julu (358,2 Wh), a najmanje u decembru (76,59 Wh) i januaru (109,5 Wh).

Vertikalni solarni modul orijentisan ka jugu generiše najviše električne energije tokom sunčanog dana u februaru (327 Wh), martu (262,3 Wh) i novembru (261,9 Wh), a najmanje generiše u maju (140,2 Wh), junu (146 Wh) i julu (137,8 Wh).

Vertikalni solarni modul orijentisan ka istoku generiše najviše električne energije u toku sunčanog dana u junu (155 Wh), a najmanje generiše u januaru (74,1 Wh), novembru (89,2 Wh) i decembru (89,9 Wh).

Vertikalni solarni modul orijentisan ka zapadu generiše najviše električne energije tokom sunčanog dana u junu (212,4 Wh) i maju (186,8 Wh), a najmanje u januaru (35,5 Wh) i decembru (68,6 Wh).

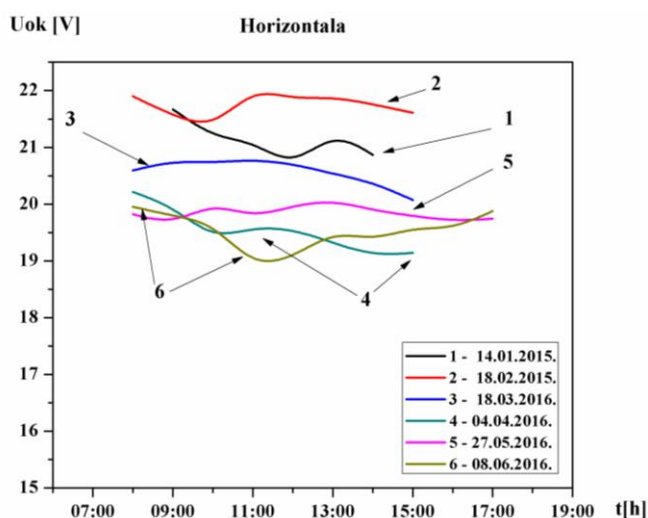
U toku sunčanog dana u januaru najviše električne energije dobija se pomoću optimalno orijentisanog solarnog modula (280 Wh) a najmanje pomoću vertikalnog solarnog modula orijentisanog ka istoku (103,14 Wh).

Pomoću vertikalnog solarnog modula orijentisanog ka istoku dobija se više električne energije u toku sunčanog dana nego pomoću vertikalnog solarnog modula orijentisanog ka zapadu u sledećim mesecima: januar, februar, mart, septembar, oktobar i novembar. U ostalim mesecima pomoću vertikalnog solarnog modula orijentisanog ka zapadu dobija se više električne energije u toku sunčanog dana.

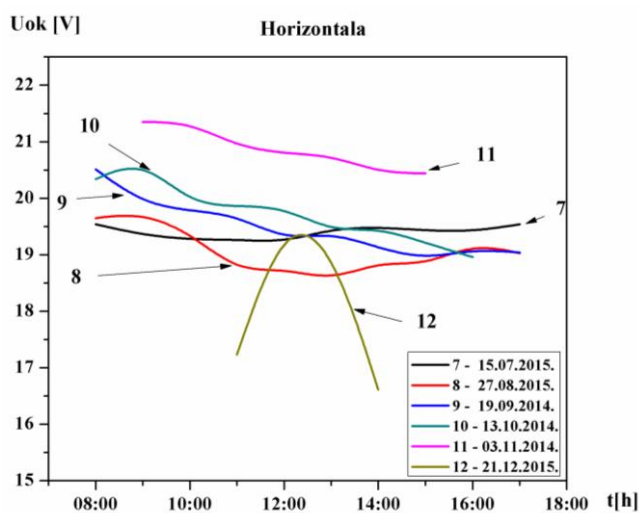
### 3.4.5. Rezultati merenja napona otvorenog kola geografski različito orijentisanih solarnih modula u Nišu

#### 3.4.5.1. Horizontalni solarni modul

Dnevne promene napona otvorenog kola  $U_{ok}$  (V) horizontalnog solarnog modula u periodu od januara do juna i u periodu od jula do decembra date su na slikama 3.133 i 3.134.



**Slika 3.133.** Dnevna promena napona otvorenog kola  $U_{ok}$  (V) horizontalnog solarnog modula u periodu od januara do juna



**Slika 3.134.** Dnevna promena napona otvorenog kola  $U_{ok}$  (V) horizontalnog solarnog modula u periodu od jula do decembra

Na slici 3.133 vidi se da napon otvorenog kola horizontalnog solarnog modula ima najveće vrednosti u jutarnjim satima, nakon čega napon opada usled porasta temperature solarnog modula i temperature ambijenta. Sa porastom intenziteta Sunčevog zračenja koje dospeva na površinu horizontalnog modula dolazi do porasta njegove temperature i smanjenja dnevnih vrednosti napona otvorenog kola. Minimalne vrednosti napona otvorenog kola su izmerene za maksimalne temperature solarnog modula. Takođe, vidi se da su vrednosti napona otvorenog kola u večernjim satima manje od vrednosti napona u jutarnjim satima, što je posledica veće temperature ambijenta i temperature solarnog modula u večernjim satima nego u jutarnjim. Sa porastom temperature solarnog modula dolazi do porasta termalnih vibracija atoma kristalne rešetke materijala od koga su napravljene solarne ćelije, čime se sputava usmereno kretanje nosioca naelektrisanja što dovodi do smanjenja napona otvorenog kola.

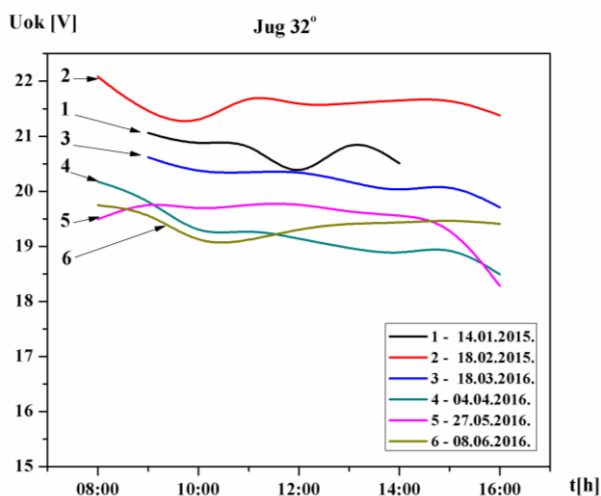
U prvoj polovini godine napon otvorenog kola horizontalnog solarnog modula opada od najvećih dnevnih vrednosti izmerenih u februaru (22,1 V) do najmanjih dnevnih vrednosti izmerenih u junu (18,6 V). U februaru dnevne vrednosti napona otvorenog kola bile su veće od STC vrednosti napona za ovaj solarni modul (kriva 2), što se objašnjava niskom temperaturom ambijenta ( $T_a < 4^{\circ}\text{C}$ ) i malom temperaturom solarnog modula ( $T_c < 10^{\circ}\text{C}$ ) nakon 11<sup>00</sup> časova ujutru. U toplim prolećnim i letnjim mesecima, kada su visoke temperature solarnog modula, uočava se pad dnevnih vrednosti napona otvorenog kola (krive 4 i 6).

U drugoj polovini godine napon otvorenog kola horizontalnog solarnog modula raste od najmanjih dnevnih vrednosti izmerenih u avgustu (18,5 V) do najvećih dnevnih vrednosti izmerenih u novembru (21,4 V). Porast napona otvorenog kola je u skladu sa smanjenjem intenziteta Sunčevog zračenja koje dospeva na površinu horizontalnog solarnog modula, smanjenjem temperature solarnog modula i temperature ambijenta. Sa smanjenjem temperature solarnog modula u popodnevnom i večernjim satima u julu, avgustu i septembru (krive 7, 8 i 9) vrednosti napona otvorenog kola polako rastu.

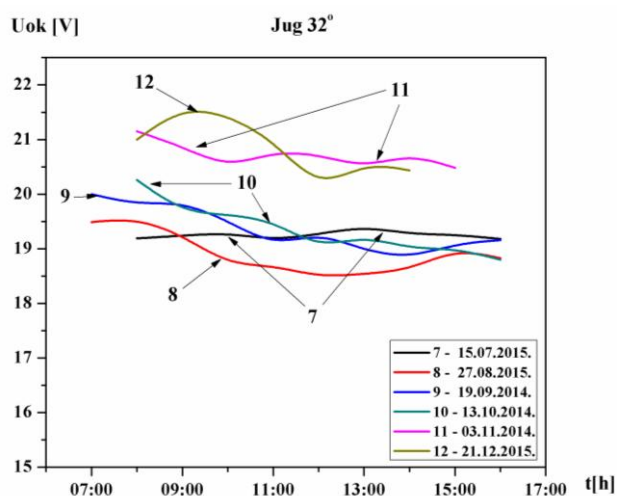
Izuzetak je dan u decembru (kriva 12) kad su bili specifični atmosferski uslovi čiji je kombinovan uticaj doprineo drugačijoj promeni napona otvorenog kola u toku dana. Male vrednosti intenziteta Sunčevog zračenja, povećano difuzno sunčevo zračenje, tako da je samo u periodu maksimalnog intenziteta Sunčevog zračenja (oko 12<sup>00</sup> časova) napon otvorenog kola imao očekivane vrednosti. Pri tako malim vrednostima intenziteta Sunčevog zračenja izmerena je minimalna vrednost snage.

### 3.4.5.2. Optimalno orijentisan solarni modul

Dnevne promene napona otvorenog kola  $U_{ok}$  (V) optimalno orijentisanog solarnog modula u periodu od januara do juna i u periodu od jula do decembra date su na slikama 3.135 i 3.136.



**Slika 3.135.** Dnevna promena napona otvorenog kola  $U_{ok}$  (V) optimalno orijentisanog solarnog modula u periodu od januara do juna



**Slika 3.136.** Dnevna promena napona otvorenog kola  $U_{ok}$  (V) optimalno orijentisanog solarnog modula u periodu od jula do decembra

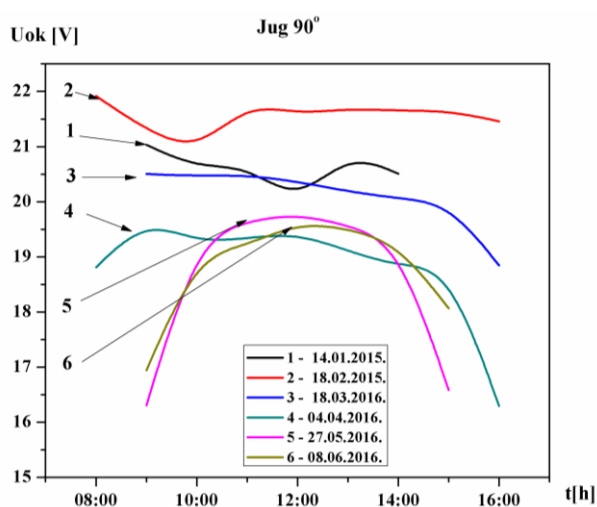
Napon otvorenog kola optimalno orijentisanog solarnog modula ima najveće vrednosti u jutarnjim časovima nakon čega, sa porastom temperature solarnog modula i temperature ambijenta napon opada. Vrednosti napona otvorenog kola u jutarnjim časovima su veće od vrednosti napona u večernjim časovima, zbog više temperature ambijenta i temperature solarnog modula u popodnevnom časovima. U prvoj polovini godine napon otvorenog kola optimalno orijentisanog solarnog modula opada od najvećih dnevnih vrednosti u februaru i januaru (kada su izmerene najmanje temperature ambijenta i temperature solarnog modula) do najmanjih dnevnih vrednosti u aprilu i junu (kada su izmerene visoke temperature solarnog modula i temperature okoline).



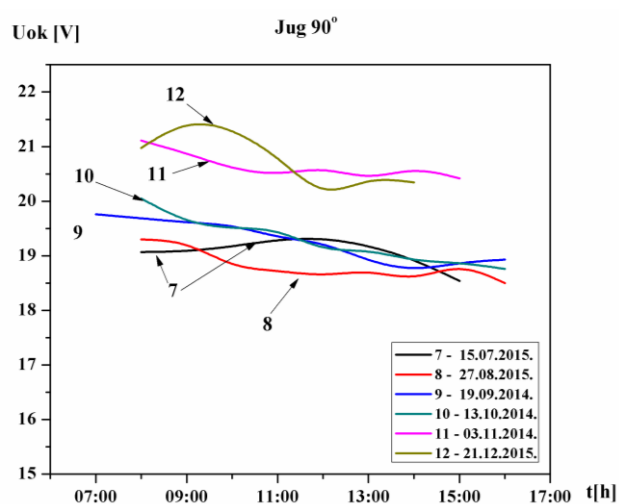
U drugoj polovini godine napon otvorenog kola optimalno orijentisanog solarnog modula raste sa smanjenjem temperature ambijenta i smanjenjem temperature solarnog modula. Na slici 3.136 vidi se da su najmanje dnevne vrednosti napona otvorenog kola optimalno orijentisanog solarnog modula izmerene u avgustu (18,5 V), a najveće u decembru (21,6 V). Na dnevnu promenu napona otvorenog kola optimalno orijentisanog solarnog modula najviše utiče temperatura solarnog modula i temperatura ambijenta.

### 3.4.5.3. Vertikalni solarni modul orijentisan ka jugu

Dnevne promene napona otvorenog kola  $U_{ok}$  (V) vertikalnog solarnog modula orijentisanog ka jugu u periodu od januara do juna i u periodu od jula do decembra date su na slikama 3.137 i 3.138.



**Slika 3.137.** Dnevna promena napona otvorenog kola  $U_{ok}$  (V) vertikalnog solarnog modula orijentisanog ka jugu u periodu od januara do juna



**Slika 3.138.** Dnevna promena napona otvorenog kola  $U_{ok}$  (V) vertikalnog solarnog modula orijentisanog ka jugu u periodu od jula do decembra

U prvoj polovini godine napon otvorenog kola vertikalnog solarnog modula orijentisanog ka jugu opada od najvećih dnevnih vrednosti izmerenih u februaru (21,92 V) do najmanjih dnevnih vrednosti izmerenih u aprilu (16,31 V) i junu (16,94 V). U januaru, februaru i martu na površinu vertikalnog solarnog modula orijentisanog ka jugu dospevaju najveće vrednosti intenziteta Sunčevog zračenja. U toku ovih meseci napon otvorenog kola ima najveće vrednosti u jutarnjim časovima, nakon čega napon opada usled porasta temperature solarnog modula.

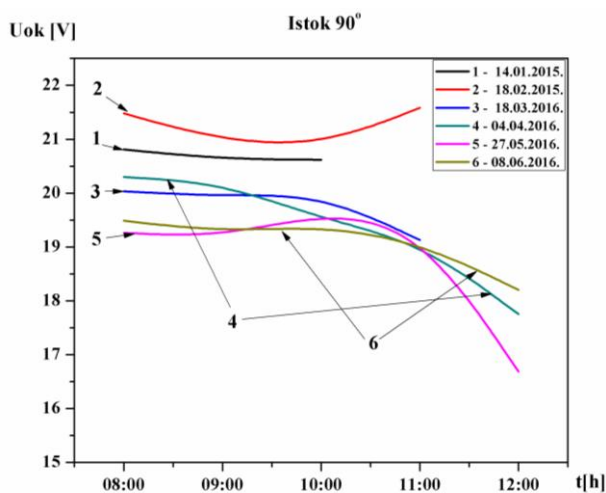
U jutarnjim časovima, u aprilu, maju i junu, izmerene su najmanje vrednosti napona otvorenog kola vertikalnog solarnog modula orijentisanog ka jugu. Zatim, sa porastom intenziteta Sunčevog zračenja koje dospeva na površinu solarnog modula rastu i izmerene vrednosti napona otvorenog kola. Potom, sa smanjenjem intenziteta Sunčevog zračenja u popodnevnom časovima, dolazi do ponovnog smanjenja napona otvorenog kola. Upravo ove male vrednosti napona otvorenog kola izmerene su kada je intenzitet Sunčevog zračenja, koji dospeva na površinu solarnog modula, bio manji od  $300 \text{ W/m}^2$ . Na dnevnu promenu napona

otvorenog kola najviše utiče temperatura solarnog modula kao i promena intenziteta Sunčevog zračenje koje dospeva na površinu solarnog modula.

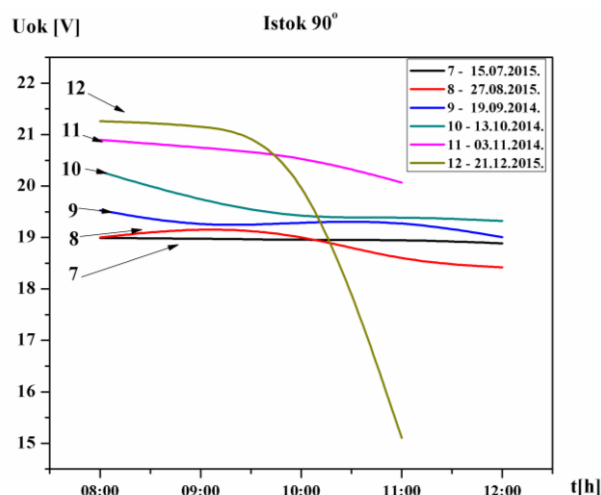
U drugoj polovini godine napon otvorenog kola vertikalnog solarnog modula orijentisanog ka jugu raste od najmanjih dnevnih vrednosti izmerenih u avgustu (18,5 V) do najvećih dnevnih vrednosti izmerenih u decembru (21,5 V). Najmanje izmerene vrednosti napona otvorenog kola, u toku dana, odgovaraju najvećoj temperaturi ambijenta i najvećoj temperaturi solarnog modula, a najveće izmerene vrednosti napona odgovaraju najmanjim temperaturama ambijenta i najmanjoj temperaturi solarnog modula. Na slici 3.138 se vidi da su vrednosti napona otvorenog kola u septembru i oktobru bliske (kriva 9 i 10).

### 3.4.5.4. Vertikalni solarni modul orijentisan ka istoku

Dnevne promene napona otvorenog kola  $U_{ok}$  (V) vertikalnog solarnog modula orijentisanog ka istoku u periodu od januara do juna i u periodu od jula do decembra date su na slikama 3.139 i 3.140.



**Slika 3.139.** Dnevna promena napona otvorenog kola  $U_{ok}$  (V) vertikalnog solarnog modula orijentisanog ka istoku u periodu od januara do juna



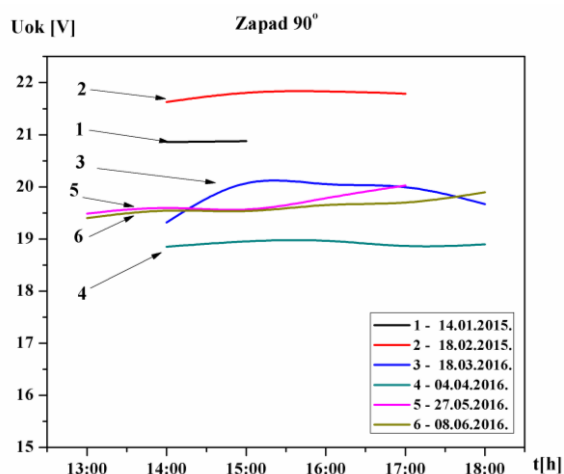
**Slika 3.140.** Dnevna promena napona otvorenog kola  $U_{ok}$  (V) vertikalnog solarnog modula orijentisanog ka istoku u periodu od jula do decembra

Na slici 3.139 se vidi da napon otvorenog kola vertikalnog solarnog modula orijentisanog ka istoku opada od najvećih dnevnih vrednosti izmerenih u februaru (21,48 V) i januaru (20,8 V) do najmanjih dnevnih vrednosti izmerenih u junu i maju (16,7 V). U toku dana u martu, maju i junu se uočava da minimalna vrednost napona otvorenog kola odgovara maksimalnoj vrednosti intenziteta Sunčevog zračenja koje dospeva na površinu ovog solarnog modula i maksimalnoj temperaturi solarnog modula.

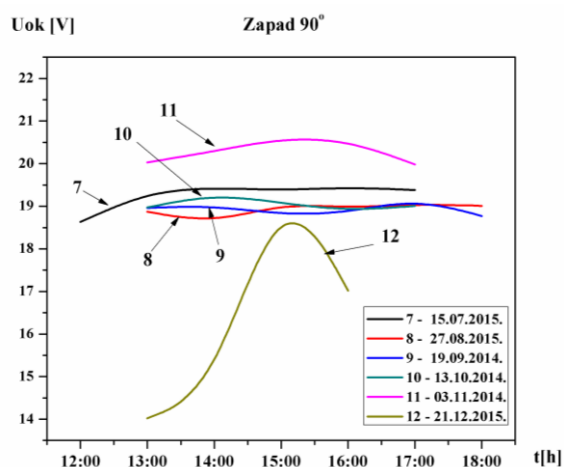
U drugoj polovini godine napon otvorenog kola vertikalnog solarnog modula orijentisanog ka jugu raste od najmanjih dnevnih vrednosti izmerenih u julu (18,95 V) do najvećih dnevnih vrednosti izmerenih u novembru (20,9 V) i decembru (21,26 V). Na slici 3.140 se vidi da u decembru sa smanjenjem intenziteta Sunčevog zračenja koje dospeva na površinu vertikalnog solarnog modula orijentisanog ka jugu dolazi do vidnog pada napona otvorenog kola.

### 3.4.5.5. Vertikalni solarni modul orijentisan ka zapadu

Dnevne promene napona otvorenog kola  $U_{ok}$  (V) vertikalnog solarnog modula orijentisanog ka zapadu u periodu od januara do juna i u periodu od jula do decembra date su na slikama 3.141 i 3.142.



**Slika 3.141.** Dnevna promena napona otvorenog kola  $U_{ok}$  (V) vertikalnog solarnog modula orijentisanog ka zapadu u periodu od januara do juna



**Slika 3.142.** Dnevna promena napona otvorenog kola  $U_{ok}$  (V) vertikalnog solarnog modula orijentisanog ka zapadu u periodu od jula do decembra

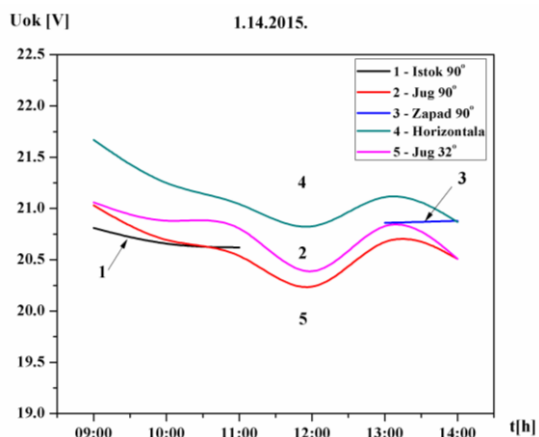
U prvoj polovini godine napon otvorenog kola vertikalnog solarnog modula orijentisanog ka zapadu opada od najvećih dnevnih vrednosti u februaru (21,84 V) do najmanjih dnevnih vrednosti u aprilu (18,83 V). U toku sunčanog dana najmanje vrednosti napon otvorenog kola odgovaraju najmanjim vrednosti intenziteta Sunčevog zračenja koje dospeva na površinu ovog solarnog modula (oko 12<sup>00</sup> časova). U kasnim večernjim časovima, kada su male vrednosti intenziteta Sunčevog zračenja dolazi do pada napona otvorenog kola vertikalnog solarnog modula orijentisanog ka zapadu (kriva 3).

Na slici 3.142 vidi se da su najmanje dnevne vrednosti napona otvorenog kola vertikalnog solarnog modula orijentisanog ka zapadu izmerene u avgustu (18,6 V) kada su izmerene najveće temperature ambijenta i najveće temperatura solarnog modula. Najveće dnevne vrednosti napona otvorenog kola izmerene su u novembru (20,56 V).

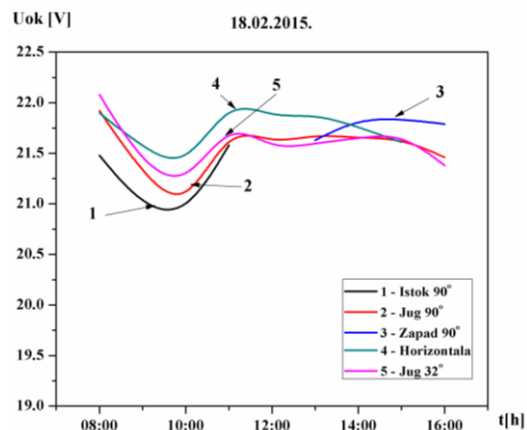
U decembru je specifična dnevna promena napona otvorenog kola vertikalnog solarnog modula orijentisanog ka zapadu (kriva 12). Sa porastom intenziteta Sunčevog zračenja koje dospeva na površinu vertikalnog solarnog modula orijentisanog ka zapadu dolazi do porasta napona otvorenog kola, a maksimalna vrednost napona odgovara maksimumu intenziteta Sunčevog zračenja koje dospeva na površinu ovog modula, zatim sa smanjenjem intenziteta opada i napon otvorenog kola vertikalnog solarnog modula orijentisanog ka zapadu. Na ovakvu dnevnu promenu napona otvorenog kola uticali su lokalni atmosferski uslovi.

### 3.4.5.6. Uporedni prikaz promene napona otvorenog kola $U_{ok}$ (V) pet solarnih modula u toku istog dana za sve mesece u godini

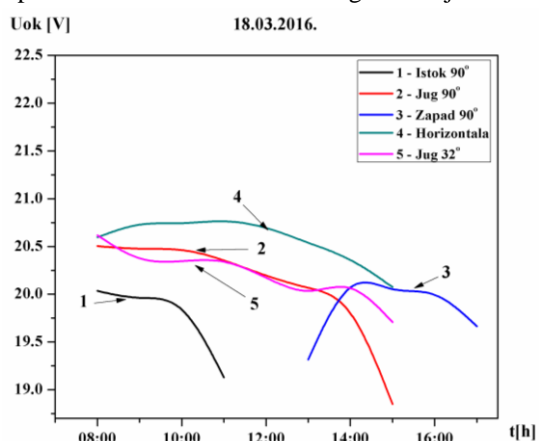
Promena napona otvorenog kola  $U_{ok}$  (V) pet solarnih modula u toku istog dana za period od januara do juna data je na slikama 3.143-3.148.



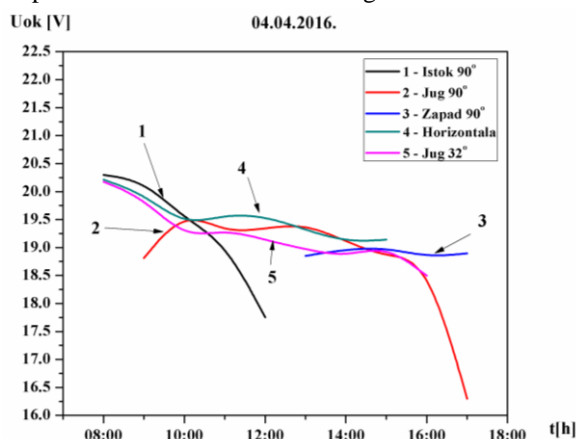
Slika 3.143. Promena napona otvorenog kola  $U_{ok}$  (V) pet solarnih modula u toku istog dana u januaru



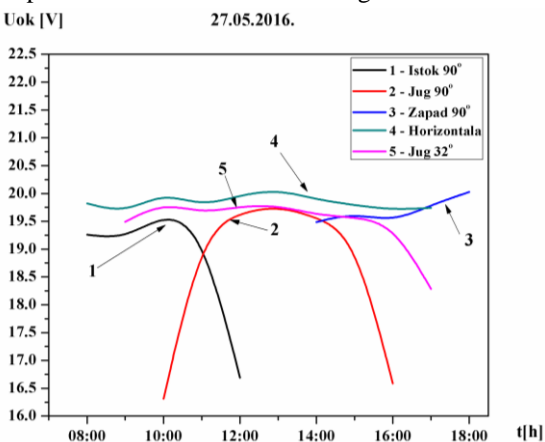
Slika 3.144. Promena napona otvorenog kola  $U_{ok}$  (V) pet solarnih modula u toku istog dana u februaru



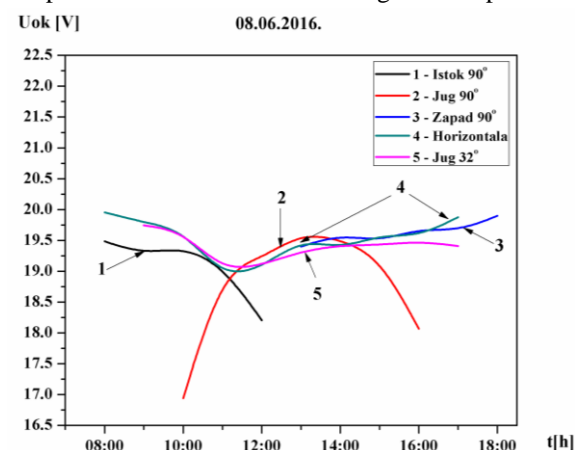
Slika 3.145. Promena napona otvorenog kola  $U_{ok}$  (V) pet solarnih modula u toku istog dana u martu



Slika 3.146. Promena napona otvorenog kola  $U_{ok}$  (V) pet solarnih modula u toku istog dana u aprilu

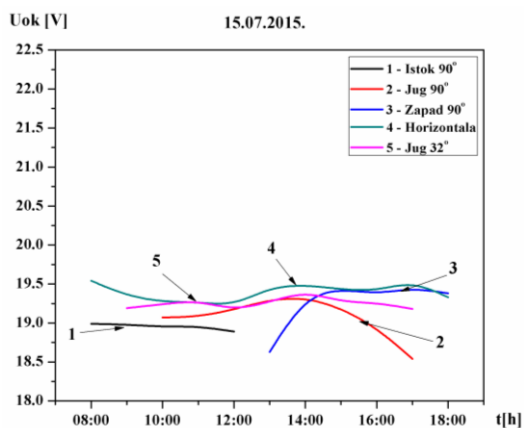


Slika 3.147. Promena napona otvorenog kola  $U_{ok}$  (V) pet solarnih modula u toku istog dana u maju

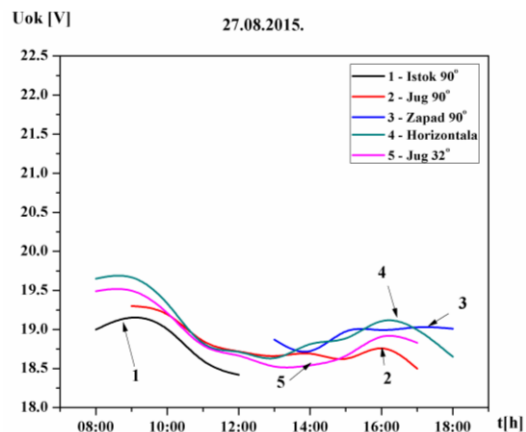


Slika 3.148. Promena napona otvorenog kola  $U_{ok}$  (V) pet solarnih modula u toku istog dana u junu

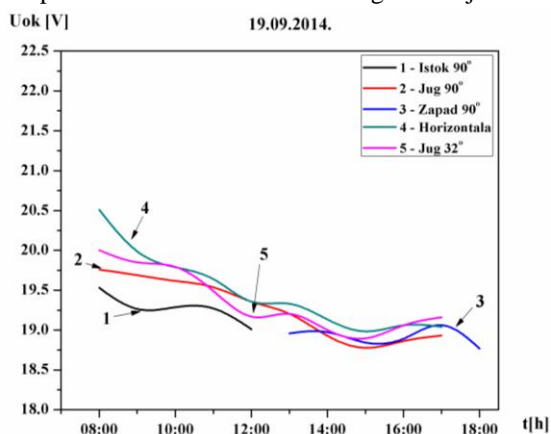
Promena napona otvorenog kola  $U_{ok}$  (V) pet solarnih modula u toku istog dana za period od jula do decembra data je na slikama 3.149-3.154.



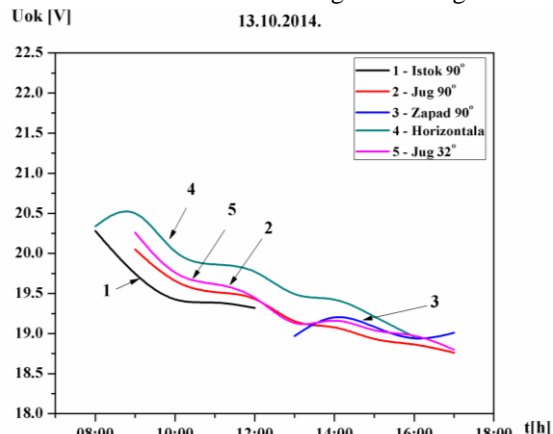
Slika 3.149. Promena napona otvorenog kola  $U_{ok}$  (V) pet solarnih modula u toku istog dana u julu



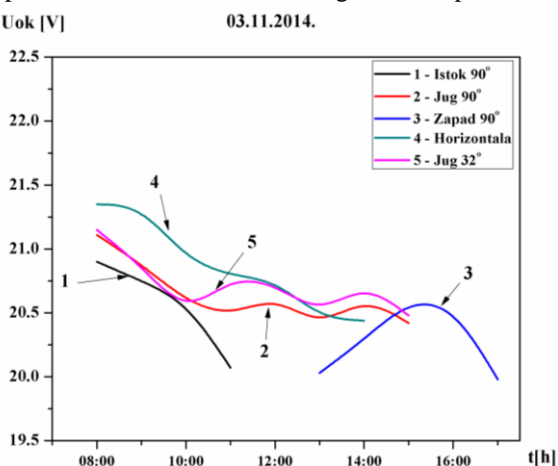
Slika 3.150. Promena napona otvorenog  $U_{ok}$  (V) pet solarnih modula u toku istog dana u avgustu



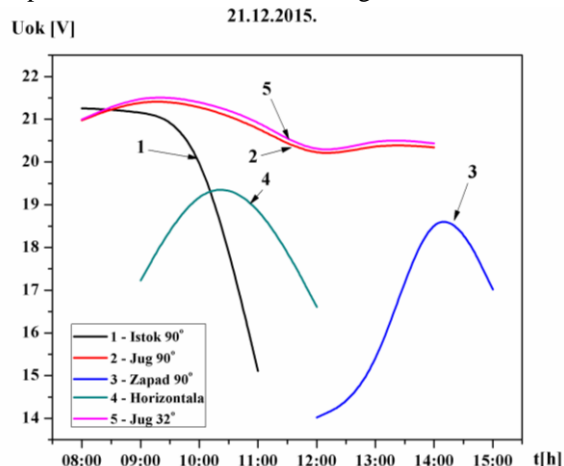
Slika 3.151. Promena napona otvorenog kola  $U_{ok}$  (V) pet solarnih modula u toku istog dana u septembru



Slika 3.152. Promena napona otvorenog kola  $U_{ok}$  (V) pet solarnih modula u toku istog dana u oktobru



Slika 3.153. Promena napona otvorenog kola  $U_{ok}$  (V) pet solarnih modula u toku istog dana u novembru



Slika 3.154. Promena napona otvorenog kola  $U_{ok}$  (V) pet solarnih modula u toku istog dana u decembru

U januaru, februaru i martu najveće dnevne vrednosti napona otvorenog kola izmerene su za horizontalni solarni modul. U poređenju sa ostalim solarnim modulima u ovom periodu na površinu horizontalnog solarnog modula dospevu najmanje vrednosti

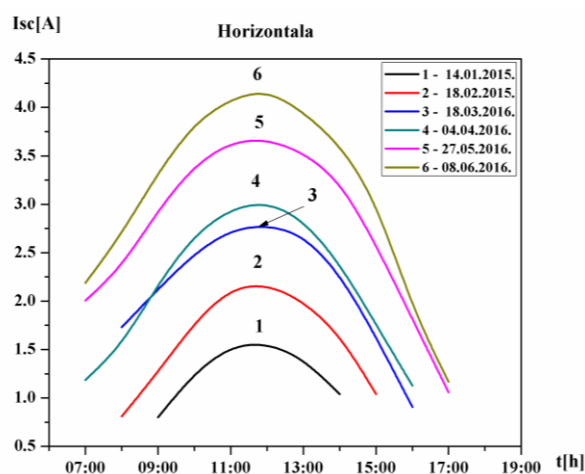
intenziteta Sunčevog zračenja, pri čemu su tada izmerene i najmanje vrednosti temperature horizontalnog solarnog modula.

U avgustu, kada su izmerene najveće temperature solarnih modula i najveća temperatura ambijenta, izmerene su i najmanje dnevne vrednosti napona otvorenog kola svih pet solarnih modula. U decembru, je izmerena najmanja temperatura ambijenta, a izmerene temperature optimalno orijentisanog i vertikalnog solarnog modula orijentisanog ka jugu su bile manje od 40°C, upravo pri ovakvim uslovima su izmerene najveće dnevne vrednosti napona otvorenog kola optimalno orijentisanog i vertikalnog solarnog modula orijentisanog ka jugu (slika 3.154).

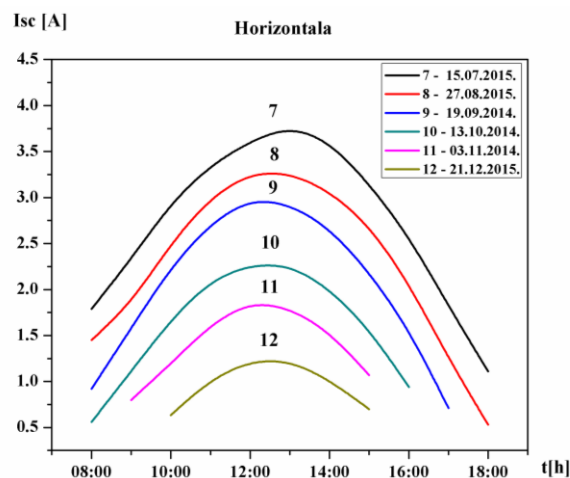
### 3.4.6. Rezultati merenja struje kratkog spoja solarnih modula geografski različito orijentisanih solarnih modula u Nišu

#### 3.4.6.1. Horizontalni solarni modul

Dnevne promene struje kratkog spoja  $I_{ks}$  (A) horizontalnog solarnog modula u periodu od januara do juna i u periodu od jula do decembra date su na slikama 3.155 i 3.156.



**Slika 3.155.** Dnevna promena struje kratkog spoja  $I_{ks}$  (A) horizontalnog solarnog modula u periodu od januara do juna



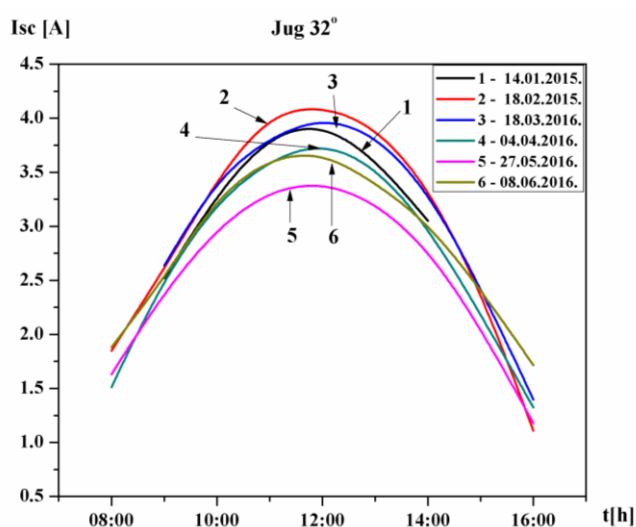
**Slika 3.156.** Dnevna promena struje kratkog spoja  $I_{ks}$  (A) horizontalnog solarnog modula u periodu od jula do decembra

Sa porastom vrednosti intenziteta Sunčevog zračenja, koje dospeva na površinu horizontalnog solarnog modula, rastu i vrednosti struje kratkog spoja. Na slici 3.155 se vidi da su najmanje dnevne vrednosti struje kratkog spoja  $I_{ks}$  horizontalnog solarnog modula izmerene u ranim jutarnjim i kasnim večernjim časovima, a maksimalna vrednost izmerena je u podne (sunčevo podne). U prvaj polovini godine maksimalna vrednost struje kratkog spoja  $I_{ks}$  horizontalnog solarnog modula raste od 1,57 A izmerene u januaru do 4,29 A izmerene u junu.

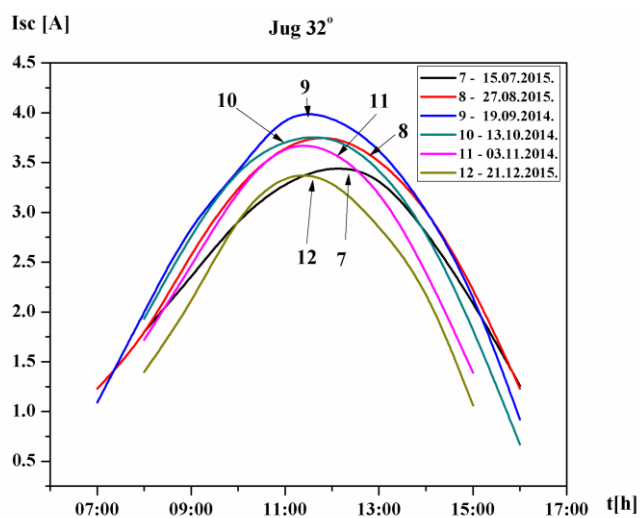
U drugoj polovini godine vrednosti struje kratkog spoja  $I_{ks}$  horizontalnog solarnog modula opadaju od najvećih dnevnih vrednosti u julu do najmanjih dnevnih vrednosti u decembru. Ovaka promena struje kratkog spoja  $I_{ks}$  horizontalnog solarnog modula u periodu od jula do decembra je u skladu sa smanjenjem intenziteta Sunčevog zračenja koje dospeva na površinu ovog solarnog modula. Maksimalna dnevna vrednost struje kratkog spoja  $I_{ks}$  horizontalnog solarnog modula u julu iznosila je 3,78 A, a u decembru 1,23 A.

### 3.4.6.2. Optimalno orijentisan solarni modul

Dnevne promene struje kratkog spoja  $I_{ks}$  (A) optimalno orijentisanog solarnog modula u periodu od januara do juna i u periodu od jula do decembra date su na slikama 3.157 i 3.158.



**Slika 3.157.** Dnevna promena struje kratkog spoja  $I_{ks}$  (A) optimalno orijentisanog solarnog modula u periodu od januara do juna



**Slika 3.158.** Dnevna promena struje kratkog spoja  $I_{ks}$  (A) optimalno orijentisanog solarnog modula u periodu od jula do decembra

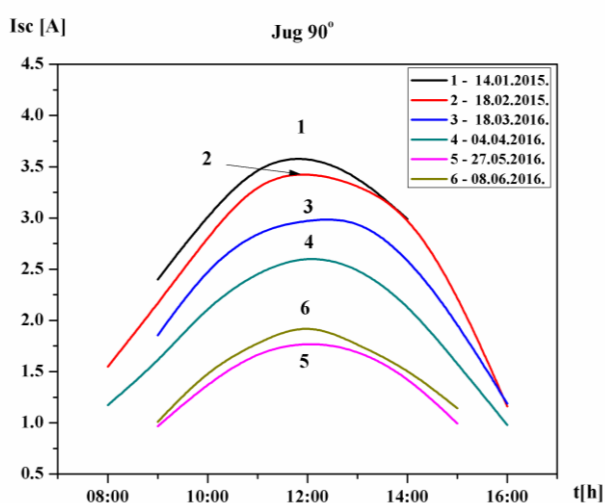
U toku sunčanog dana maksimalna vrednost struje kratkog spoja  $I_{ks}$  optimalno orijentisanog solarnog modula odgovara sunčevom podnevu. Sa porastom vrednosti intenziteta Sunčevog zračenja, koje dospeva na površinu optimalno orijentisanog solarnog modula, rastu i vrednosti struje kratkog spoja. U prvoj polovini godine maksimalne izmerene vrednosti struje kratkog spoja  $I_{ks}$  optimalno orijentisanog solarnog modula bile su najveće u februaru i martu (4,12 A; 4,02 A), a najmanje su izmerene u maju (3,41 A). Iako su vrednosti intenziteta Sunčevog zračenja koje dospeva na površinu posmatranog modula bliske u januaru i februaru, može se uočiti da su dnevne vrednosti maksimalne struje u februaru veće upravo zbog niske temperature ambijenta.

U drugoj polovini godine najveća maksimalna vrednost struje kratkog spoja  $I_{ks}$  optimalno orijentisanog solarnog modula izmerena je u septembru (4,03A), a najmanje vrednosti su izmerene u julu i decembru (3,48 A; 3,41 A). Na slici 3.158 se vidi da su kriva za juli (7) i kriva za decembar (12) bliske, što se ne očekuje s obzirom na to da je maksimalna vrednost intenziteta Sunčevog zračenja koje dospeva na površinu ovog solarnog modula u

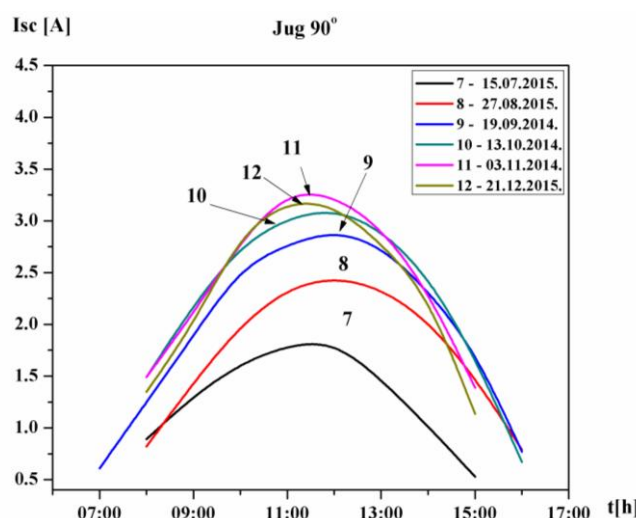
decembru bila  $600 \text{ W/m}^2$ , a u julu  $800 \text{ W/m}^2$ . Ovo se može objasniti kombinacijom uticaja intenziteta Sunčevog zračenja koje dospeva na površinu modula, njegove temperature i temperature okoline.

### 3.4.6.3. Vertikalni solarni modul orijentisan ka jugu

Dnevne promene struje kratkog spoja  $I_{ks}$  (A) vertikalnog solarnog modula orijentisanog ka jugu u periodu od januara do juna i u periodu od jula do decembra date su na slikama 3.159 i 3.160.



**Slika 3.159.** Dnevna promena struje kratkog spoja  $I_{ks}$  (A) vertikalnog solarnog modula orijentisanog ka jugu u periodu od januara do juna



**Slika 3.160.** Dnevna promena struje kratkog spoja  $I_{ks}$  (A) vertikalnog solarnog modula orijentisanog ka jugu u periodu od jula do decembra

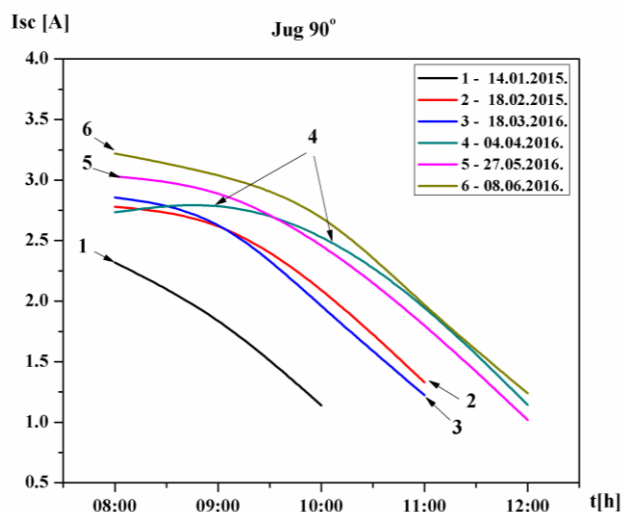
U toku sunčanog dana maksimalna vrednost struje kratkog spoja  $I_{ks}$  vertikalnog solarnog modula orijentisanog ka jugu odgovara sunčevom podnevu. U prvoj polovini godine maksimalna dnevna vrednost struje kratkog spoja  $I_{ks}$  vertikalnog solarnog modula orijentisanog ka jugu opada od najveće vrednosti izmerene u januaru ( $3,62 \text{ A}$ ) do najmanje vrednosti izmerene u maju ( $1,80 \text{ A}$ ). Ovakve vrednosti struje kratkog spoja  $I_{ks}$  su u skladu sa vrednostima intenziteta Sunčevog zračenja koje dospeva na površinu vertikalnog solarnog modula orijentisanog ka jugu.

U drugoj polovini godine maksimalna dnevna vrednost struje kratkog spoja  $I_{ks}$  vertikalnog solarnog modula orijentisanog ka jugu raste od najmanje izmerene vrednosti u julu ( $1,84 \text{ A}$ ) do najvećih izmerenih vrednosti u novembru i decembru ( $3,29 \text{ A}$ ;  $3,19 \text{ A}$ ). Vrednost intenziteta Sunčevog zračenja koje dospeva na površinu datog solarnog modula opada od minimalne vrednosti u julu do maksimalne vrednosti u novembru i decembru.

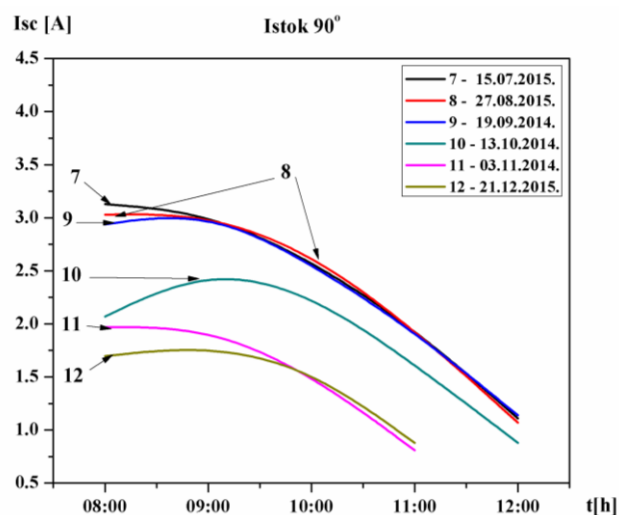


### 3.4.6.4. Vertikalni solarni modul orijentisan ka istoku

Dnevna promena struje kratkog spoja  $I_{ks}$  (A) vertikalnog solarnog modula orijentisanog ka istoku u periodu od januara do juna i u periodu od jula do decembra date su na slikama 3.161 i 3.162.



Slika 3.161. Dnevna promena struje kratkog spoja  $I_{ks}$  (A) vertikalnog solarnog modula orijentisanog ka istoku u periodu od januara do juna



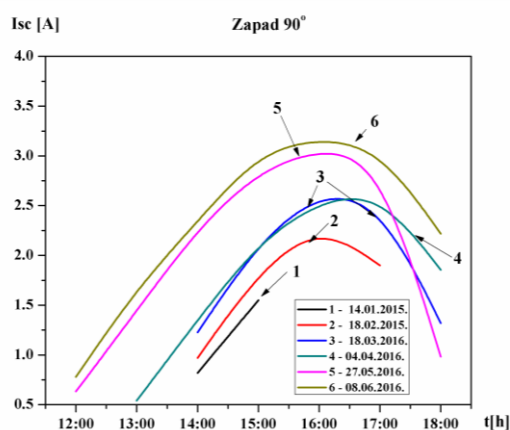
Slika 3.162. Dnevna promena struje kratkog spoja  $I_{ks}$  (A) vertikalnog solarnog modula orijentisanog ka istoku u periodu od jula do decembra

Na slici 3.161 se vidi da krive promene struje kratkog spoja imaju maksimum koji odgovara maksimumu Sunčevog zračenja koje dospeva na površinu ovog solarnog modula. U prvoj polovini godine maksimalna dnevna vrednost struje kratkog spoja  $I_{ks}$  vertikalnog solarnog modula orijentisanog ka istoku raste od najmanje izmerene vrednosti u januaru (2,32 A) do maksimalne izmerene vrednosti u junu (3,22 A). Sa porastom intenziteta Sunčevog zračenja koje dospeva na površinu solarnog modula i porastom temperature ambijenta, u letnjim mesecima, dolazi do porasta temperature solarnog modula, tako da sa većim intenzitetom sučevog zračenja se mogu dobiti približno iste vrednosti maksimalne struje, kao i sa manjim intenzitetom i manjim temperaturama.

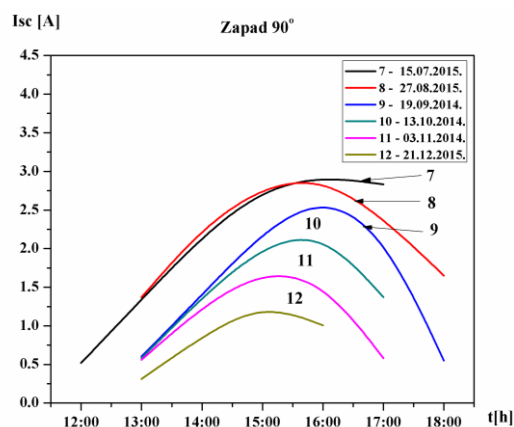
U drugoj polovini godine maksimalna dnevna vrednost struje kratkog spoja  $I_{ks}$  vertikalnog solarnog modula orijentisanog ka istoku opada od najveće vrednosti izmerene u julu (3,13 A) do najmanje izmerene vrednosti u decembru (1,80 A). Na slici 3.162 se vidi da su krive promene struje kratkog spoja za juli, avgust i septembar (7, 8 i 9) bliske. Zbog smanjenja intenziteta Sunčevog zračenja koje dospeva na površinu ovog solarnog modula i smanjenja temperature ambijenta, u ovim mesecima, dolazi i do smanjenja temperature solarnog modula, tako da su vrednosti maksimalne struje izmerene u julu i septembru približno iste.

### 3.4.6.5. Vertikalni solarni modul orijentisan ka zapadu

Dnevne promene struje kratkog spoja  $I_{ks}$  (A) vertikalnog solarnog modula orijentisanog ka zapadu u periodu od januara do juna i u periodu od jula do decembra date su na slikama 3.163 i 3.164.



**Slika 3.163.** Dnevna promena struje kratkog spoja  $I_{ks}$  (A) vertikalnog solarnog modula orijentisanog ka zapadu u periodu od januara do juna



**Slika 3.164.** Dnevna promena struje kratkog spoja  $I_{ks}$  (A) vertikalnog solarnog modula orijentisanog ka zapadu u periodu od jula do decembra

Na slici 3.163 se vidi da krive promene struje kratkog spoja u toku dana imaju maksimum u periodu od 15<sup>00</sup> do 16<sup>00</sup> časova koji odgovara maksimumu Sunčevog zračenja koje dospeva na površinu ovog solarnog modula.

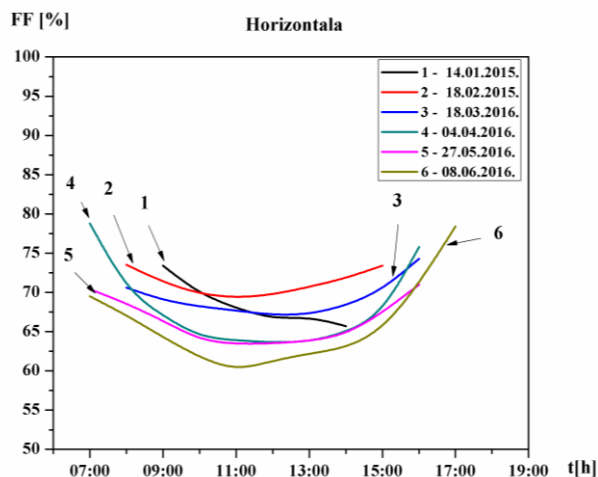
U prvoj polovini godine maksimalna dnevna vrednost struje kratkog spoja  $I_{ks}$  vertikalnog solarnog modula orijentisanog ka zapadu raste od najmanje izmerene vrednosti u januaru (1,55 A) do najvećih vrednosti izmerenih u maju (3,08 A) i junu (3,18 A).

U drugoj polovini godine maksimalna vrednost struje kratkog spoja  $I_{ks}$  vertikalnog solarnog modula orijentisanog ka zapadu opada od najvećih vrednosti izmerenih u julu (2,94 A) i avgustu (2,92 A) do najmanje izmerene vrednosti u decembru (1,30 A). Na slici 3.164 se vidi da se krive promene maksimalne struje za juli i avgust (7, 8) poklapaju sve do 16<sup>00</sup> časova.

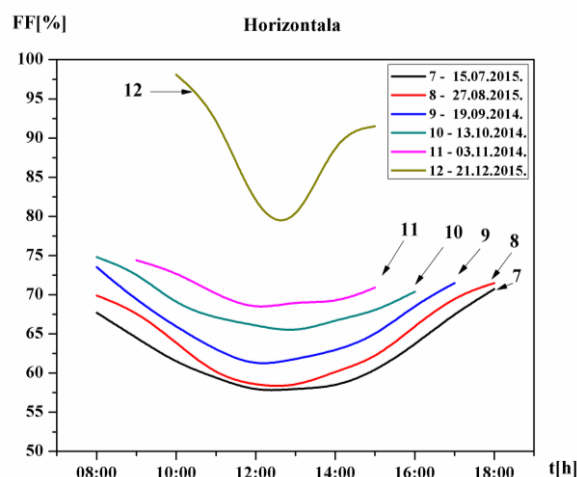
### 3.4.7. Rezultati merenja fil faktora solarnih modula geografski različito orijentisanih solarnih modula u Nišu

#### 3.4.7.1. Horizontalni solarni modul

Dnevne promene fil faktora  $FF$  (%) horizontalnog solarnog modula u periodu od januara do juna i u periodu od jula do decembra date su na slikama 3.165 i 3.166.



**Slika 3.165.** Dnevna promena fil faktora  $FF$  (%) horizontalnog solarnog modula u periodu od januara do juna



**Slika 3.166.** Dnevna promena fil faktora  $FF$  (%) horizontalnog solarnog modula u periodu od jula do decembra

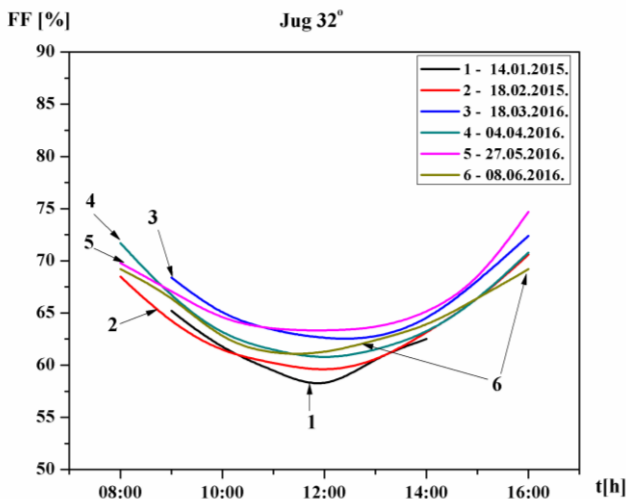
Dnevne vrednosti fil faktora horizontalnog solarnog modula najveće su u jutarnjim i kasnim popodnevima, a minimalne vrednosti odgovaraju sunčevom podnevu. Sa porastom intenziteta Sunčevog zračenja koje u toku dana dospeva na površinu solarnog modula raste i temperatura solarnog modula što za posledicu ima smanjenje fil faktora.

Na slici 3.165 vidi se da su najveće vrednosti fil faktora horizontalnog solarnog modula izmerene u podne u februaru (69,3 %), a najmanje vrednosti izmerene su u podne u junu (59,5 %). U februaru su izmerene najmanje temperature ambijenta i najmanje temperature horizontalnog solarnog modula. U junu su izmerene najveće vrednosti intenziteta Sunčevog zračenja koje dospeva na površinu horizontalnog solarnog modula kao i najveće temperature solarnog modula.

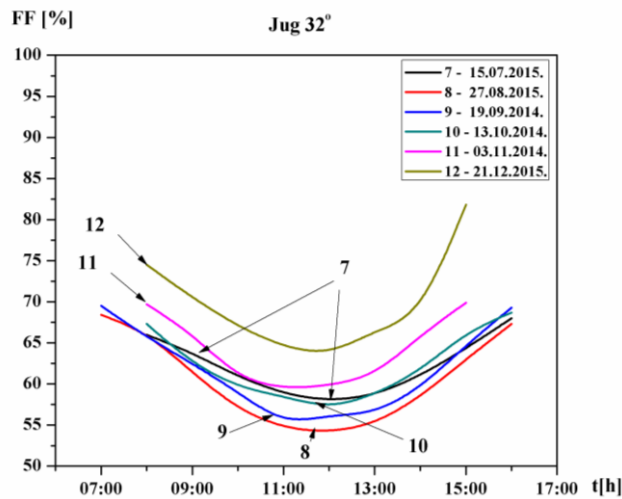
Na slici 3.166 se vidi da vrednosti fil faktora horizontalnog solarnog modula rastu od najmanjih dnevnih vrednosti izmerenih u julu (u podne 57,6 %) do najvećih dnevnih vrednosti izmerenih u decembru (u podne 77,9 %). Sa porastom temperature solarnog modula smanjuju se vrednosti fil faktora. Minimalne dnevne vrednosti fil faktora odgovaraju maksimalnim dnevnim vrednostima intenziteta Sunčevog zračenja i temperature solarnog modula. U decembru (kriva 12) su bili specifični vremenski uslovi, kada su izmerene manje vrednosti struje i napona ali njihov međusobni odnos, koji se ogleda upravo u fil faktoru, ukazuje na visok stepen iskorišćenja Sunčevog zračenja.

### 3.4.7.2. Optimalno orijentisan solarni modul

Dnevne promene fil faktora  $FF$  (%) optimalno orijentisanog solarnog modula u periodu od januara do juna i u periodu od jula do decembra date su na slikama 3.167 i 3.168.



**Slika 3.167.** Dnevna promena fil faktora  $FF$  (%) optimalno orijentisanog solarnog modula u periodu od januara do juna



**Slika 3.168.** Dnevna promena fil faktora  $FF$  (%) optimalno orijentisanog solarnog modula u periodu od jula do decembra

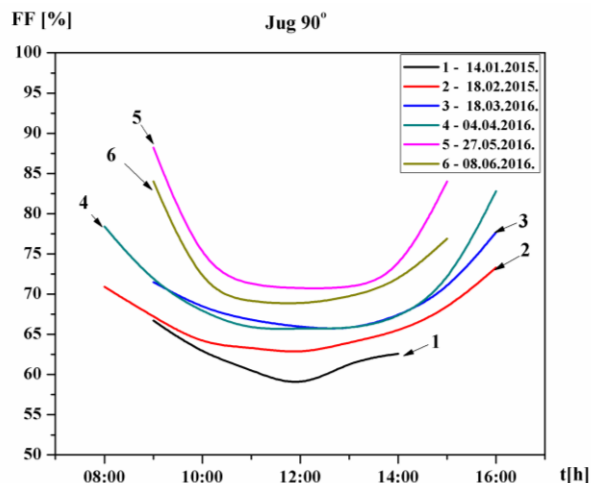
Najveće dnevne vrednosti fil faktora optimalno orijentisanog solarnog modula izmerene su u jutarnjim i kasnim popodnevima, a minimalne vrednosti izmerene su u podne. Na slici 3.167 vidi se da su najveće vrednosti fil faktora optimalno orijentisanog solarnog modula izmerene u podne u martu (62,5 %) i maju (63,3 %), a najmanje vrednosti izmerene su u podne u januaru (57,4 %). Najveće vrednosti intenziteta Sunčevog zračenja dospevaju na površinu optimalno orijentisanog solarnog modula u martu, kada je temperatura ambijenta bila manja od 15°C, a najveća izmerena temperatura solarnog modula bila 40°C. Najmanje vrednosti intenziteta Sunčevog zračenja dospevaju na površinu optimalno orijentisanog solarnog modula u januaru, kada je temperatura ambijenta bila manja od 9°C, a najveća izmerena temperatura solarnog modula bila 35°C. .

Na slici 3.168 vidi se da su najveće vrednosti fil faktora optimalno orijentisanog solarnog modula izmerene u decembru (u podne 63,5 %). U decembru na površinu optimalno orijentisanog solarnog modula dospevaju najmanje vrednosti intenziteta Sunčevog zračenja za dati period, pri čemu je temperatura ambijenta bila manja od 10°C a najveća izmerena temperatura solarnog modula bila je 40°C. Ovako visoke vrednosti fil faktora su posledica male temperature ambijenta, manjeg zagrevanja modula pod uticajem Sunčevog zračenja i umerene temperature solarnog modula.

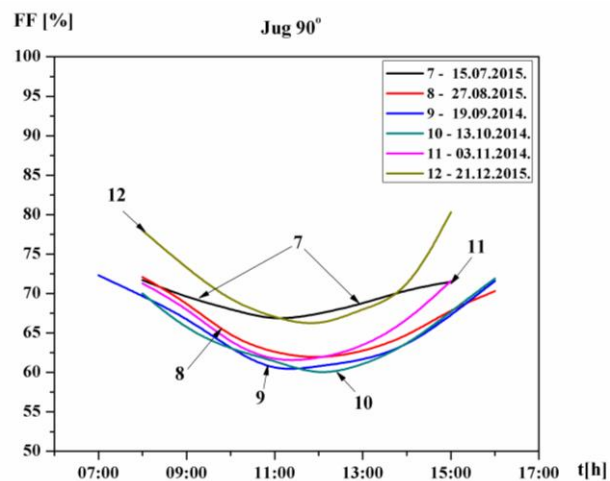
Najmanje vrednosti fil faktora optimalno orijentisanog solarnog modula izmerene su u avgustu (u podne 54,1 %) i septembru (u podne 55,1 %). U septembru na površinu optimalno orijentisanog solarnog modula dospevaju najveće vrednosti intenziteta Sunčevog zračenja, pri čemu je temperatura ambijenta bila oko 25°C, a najveća izmerena temperatura solarnog modula bila je 50°C. U avgustu su vrednosti intenziteta Sunčevog zračenja nešto manje nego u septembru, ali je to bio najtopliji dan sa temperaturom ambijenta od 33,1°C, takođe tada su izmerene najveće temperature ovog solarnog modula (60°C). Manje vrednosti fil faktora u pomenutim mesecima posledica su visoke temperature solarnog modula usled visokih vrednosti intenziteta Sunčevog zračenja koje dospeva na površinu modula i visoke vrednosti temperature ambijenta.

### 3.4.7.3. Vertikalni solarni modul orijentisan ka jugu

Dnevne promene fil faktora  $FF$  (%) vertikalnog solarnog modula orijentisanog ka jugu u periodu od januara do juna i u periodu od jula do decembra date su na slikama 3.169 i 3.170.



Slika 3.169. Dnevna promena fil faktora  $FF$  (%) vertikalnog solarnog modula orijentisanog ka jugu u periodu od januara do juna



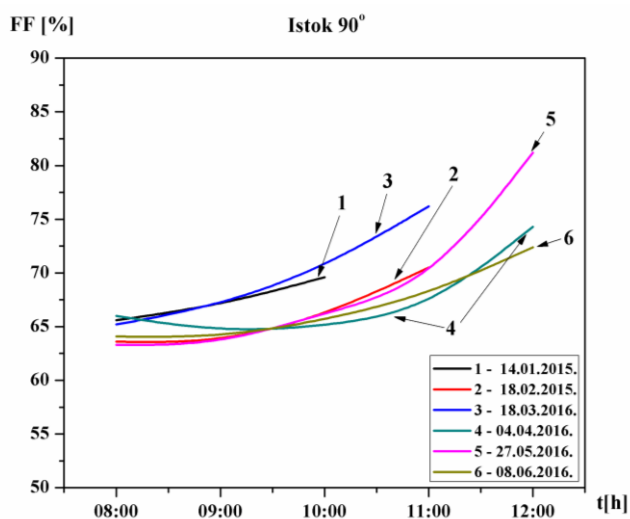
Slika 3.170. Dnevna promena fil faktora  $FF$  (%) vertikalnog solarnog modula orijentisanog ka jugu u periodu od jula do decembra

Najveće dnevne vrednosti fil faktora vertikalnog solarnog modula orijentisanog ka jugu izmerene su u jutarnjim i kasnim večernjim časovima, a minimalne vrednosti izmerene su u podne. Na slici 3.169 vidi se da vrednosti fil faktora vertikalnog solarnog modula orijentisanog ka jugu rastu od najmanjih izmerenih vrednosti u januaru (u podne 58,1 %) do najvećih vrednosti izmerenih u maju (u podne 70,7 %) i junu (u podne 68,7 %). U januaru na površinu vertikalnog solarnog modula orijentisanog ka jugu dospevaju najveće vrednosti intenziteta Sunčevog zračenja, dok su u maju i junu vrednosti intenziteta najmanje i približno iste. U pomenutim mesecima temperatura solarnog modula se nije bitno razlikovala. Dominantan uticaj na fil faktor ovog solarnog modula imao intenzitet Sunčevog zračenja (najveće vrednosti intenziteta Sunčevog zračenja daju najmanje vrednosti fil faktora i obrnuto).

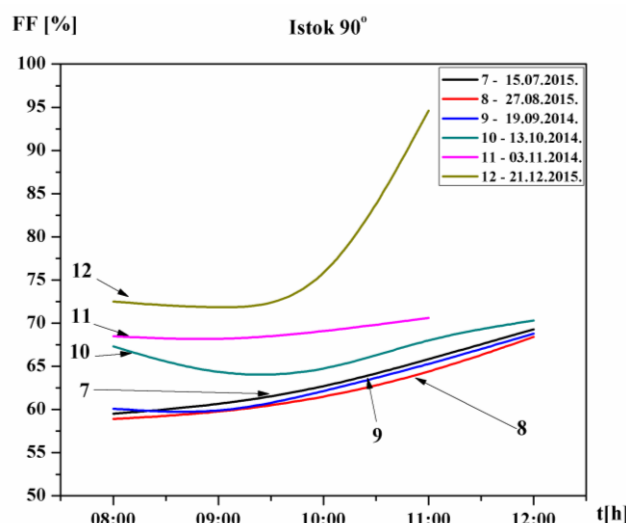
Na slici 3.170 vidi se da su u drugoj polovini godine najveće dnevne vrednosti fil faktora vertikalnog solarnog modula orijentisanog ka jugu izmerene u decembru (u podne 65,7 %) i julu (u podne 66,5%), dok su u ostalim mesecima vrednosti fil faktora znatno manje i približno iste. U julu na površinu vertikalnog solarnog modula orijentisanog ka jugu dospevaju najmanje vrednosti intenziteta Sunčevog zračenja, dok su u decembru vrednosti intenziteta bile znatno veće. U julu i decembru izmerene vrednosti temperature solarnog modula u podne bile su skoro iste, a temperatura ambijenta u decembru je bila za 20°C niža nego u julu. Ovakva kombinacija intenziteta Sunčevog zračenja, temperature solarnog modula i temperature ambijenta dovela je do porasta fil faktora u decembru, i približila ih vrednostima fil faktora u julu.

### 3.4.7.4. Vertikalni solarni modul orijentisan ka istoku

Dnevne promene fil faktora  $FF$  (%) vertikalnog solarnog modula orijentisanog ka istoku u periodu od januara do juna i u periodu od jula do decembra date su na slikama 3.171 i 3.172.



Slika 3.171. Dnevna promena fil faktora  $FF$  (%) vertikalnog solarnog modula orijentisanog ka istoku u periodu od januara do juna



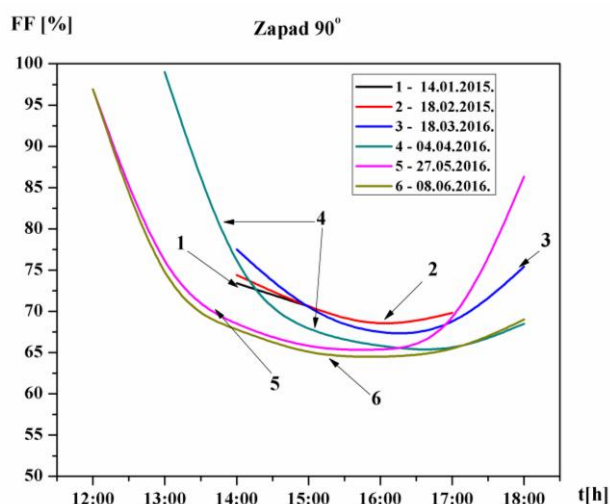
Slika 3.172. Dnevna promena fil faktora  $FF$  (%) vertikalnog solarnog modula orijentisanog ka istoku u periodu od jula do decembra

Dnevne vrednosti fil faktora vertikalnog solarnog modula orijentisanog ka istoku rastu sa smanjenjem intenziteta Sunčevog zračenja koje dospeva na površinu ovog solarnog modula. Najmanje dnevne vrednosti fil faktora izmerene su u jutarnjim časovima a najveće vrednosti u podne. U januaru i martu dnevne vrednosti fil faktora bile su su veće od dnevnih vrednosti fil faktora u aprilu, maju i junu kada su izmerene najveće temperature datog solarnog modula.

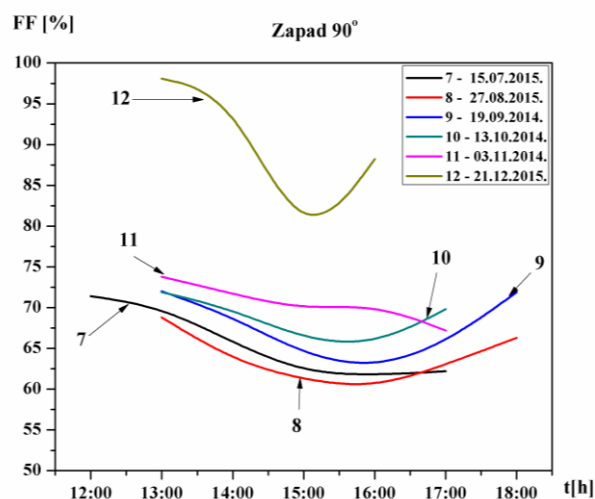
U drugoj polovini godine najmanje dnevne vrednosti fil faktora vertikalnog solarnog modula orijentisanog ka istoku izmerene su u julu avgustu i septembru, kada su izmerene najveće temperature solarnog modula i najveće temperature ambijenta. Najveće dnevne vrednosti fil faktora vertikalnog solarnog modula orijentisanog ka istoku izmerene su u novembru i decembru, kada su izmerene najmanje temperature solarnog modula i najmanje temperature ambijenta. U decembru su bili specifični atmosferski uslovi zbog kojih su izmerene visoke vrednosti fill faktora. Na slici 3.172 može se uočiti nakon 10<sup>00</sup> časova iznenadni porast vrednosti fill faktora vertikalnog solarnog modula orijentisanog ka istoku (kriva 12).

### 3.4.7.5. Vertikalni solarni modul orijentisan ka zapadu

Dnevne promene fil faktora  $FF$  (%) vertikalnog solarnog modula orijentisanog ka zapadu u periodu od januara do juna i u periodu od jula do decembra date su na slikama 3.173 i 3.174.



**Slika 3.173.** Dnevna promena fil faktora  $FF$  (%) vertikalnog solarnog modula orijentisanog ka zapadu u periodu od januara do juna



**Slika 3.174.** Dnevna promena fil faktora  $FF$  (%) vertikalnog solarnog modula orijentisanog ka zapadu u periodu od jula do decembra

Dnevne vrednosti fil faktora vertikalnog solarnog modula orijentisanog ka zapadu opadaju sa porastom intenziteta Sunčevog zračenja koje dospeva na površinu ovog solarnog modula. U toku sunčanog dana, najveće vrednosti fil faktora izmerene su u podne, a najmanje između 15<sup>00</sup> i 16<sup>00</sup> časova, upravo kada su najveće vrednosti inteziteta Sunčevog zračenja koje dospeva na površinu solarnog modula. Zatim sa smanjenjem intenziteta Sunčevog zračenja dolazi do povećanja vrednosti fil faktora. U januaru, februaru i martu dnevne vrednosti fil faktora vertikalnog solarnog modula orijentisanog ka zapadu veće su od dnevnih vrednosti fil faktora u aprilu, maju i junu (kada su izmerene najveće temperature solarnog modula i temperature ambijenta).

U drugoj polovini godine najmanje dnevne vrednosti fil faktora vertikalnog solarnog modula orijentisanog ka zapadu izmerene su u julu avgustu i septembru, kada na površinu datog solarnog modula dospevaju najveće vrednosti intenziteta sučevog zračenja. Najveće dnevne vrednosti fil faktora vertikalnog solarnog modula orijentisanog ka zapadu izmerene su u novembru i decembru, kada su izmerene najmanje temperature ambijenta. U decembru su bili specifični atmosferski uslovi zbog kojih su izmerene visoke vrednosti fill faktora, u podne 98,1%, a u 15<sup>00</sup> časova 88,2%.

Srednje dnevne vrednosti fill faktora pet različito orijentisanih solarnih modula za izabrane dane date su u tabeli 3.8.

**Tabela 3.8.** Srednje dnevne vrednosti fill faktora pet različito orijentisanih solarnih modula za izabrane dane

	$FF_{\text{horizontala}}$ (%)	$FF_{\text{jug } 32^\circ}$ (%)	$FF_{\text{jug } 90^\circ}$ (%)	$FF_{\text{istok } 90^\circ}$ (%)	$FF_{\text{zapad } 90^\circ}$ (%)
14.01.2015.	68.4	61.2	62.1	67.4	72.0
18.02.2015.	71.2	63.7	66.5	65.9	70.6
18.03.2016.	71.3	65.8	69.1	74.9	71.4
04.04.2016.	70.3	64.9	70.6	67.3	73.0
27.05.2016.	67.8	66.5	75.7	68.6	74.4

08.06.2016.	68.1	64.7	72.8	66.8	71.2
15.07.2015.	62.6	62.1	69.2	63.5	65.5
27.08.2015.	64.3	60.6	66.1	62.5	63.8
19.09.2014.	66.2	61.8	65.6	63.1	67.5
13.10.2014.	68.8	62.2	64.8	66.8	68.6
03.11.2014.	70.6	64.1	65.9	69.0	70.6
21.12.2015.	88.7	69.6	71.4	77.7	89.7

Najveće srednje dnevne vrednosti fil faktora horizontalnog solarnog modula izmerene su u zimskim mesecima kada u toku dana na površinu datog solarnog modula dospevaju najmanje vrednosti intenziteta Sunčevog zračenja, kada su najmanje temperature solarnog modula i temperature ambijenta. Najmanje srednje dnevne vrednosti fil faktora horizontalnog solarnog modula izmerene su u letnjim mesecima kada na površinu solarnog modula dospevaju najveće vrednosti intenziteta Sunčevog zračenja, kada su najveće temperature solarnog modula i temperature ambijenta.

U periodu od januara do maja srednje dnevne vrednosti fil faktora optimalno orijentisanog solarnog modula rastu, zatim sa porastom temperature solarnog modula i temperature ambijenta vrednosti fill faktora opadaju sve do avgusta kada su najmanje srednje dnevne vrednosti fil faktora. U periodu od septembra do decembra rastu srednje dnevne vrednosti fil faktora optimalno orijentisanog solarnog modula.

U periodu od januara do maja rastu srednje dnevne vrednosti fil faktora vertikalnog solarnog modula orijentisanog ka jugu, zatim dolazi do smanjenja srednjih dnevnih vrednosti fil faktora sve do oktobra. Srednje dnevne vrednosti fil faktora u novembru i decembru su 65,9% i 71,45, respektivno.

U periodu od januara do maja srednje dnevne vrednosti fil faktora vertikalnog solarnog modula orijentisanog ka istoku se razlikuju svega nekoliko procenata. Izuzetak je dan u martu kada se može uočiti nagli porast fil faktora. U periodu od juna do avgusta, sa porastom temperature solarnog modula i temperature ambijenta, dolazi do smanjenja srednjih dnevnih vrednosti fil faktora. U periodu od septembra do decembra srednje dnevne vrednosti fil faktora vertikalnog solarnog modula orijentisanog ka istoku rastu.

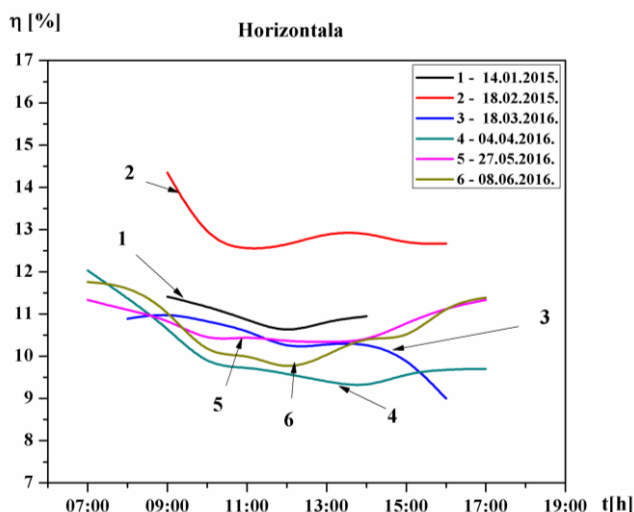
U periodu od januara do maja srednje dnevne vrednosti fil faktora vertikalnog solarnog modula orijentisanog ka zapadu se vrlo malo razlikuju pri čemu je najveća srednja dnevna vrednost fil faktora u maju. U periodu od juna do avgusta dolazi do smanjenja srednjih dnevnih vrednosti fil faktora, a u periodu od septembra do decembra srednje dnevne vrednosti fil faktora vertikalnog solarnog modula orijentisanog ka zapadu rastu.

### **3.4.8. Rezultati određivanja dnevne energetske efikasnosti geografski različito orijentisanih solarnih modula u Nišu**

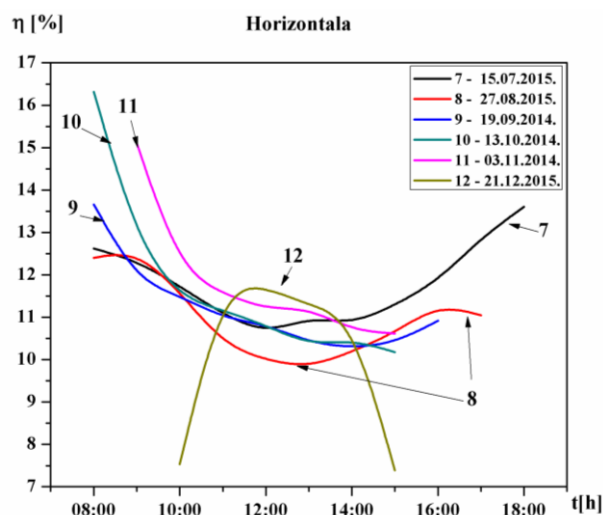
#### **3.4.8.1. Horizontalni solarni modul**

Dnevne promene efikasnosti  $\eta$  (%) horizontalnog solarnog modula u periodu od januara do juna i u periodu od jula do decembra date su na slikama 3.175 i 3.176.





**Slika 3.175.** Dnevna promena efikasnosti  $\eta$  (%) horizontalnog solarnog modula u periodu od januara do juna



**Slika 3.176.** Dnevna promena efikasnosti  $\eta$  (%) horizontalnog solarnog modula u periodu od jula do decembra

Dnevne vrednosti efikasnosti horizontalnog solarnog modula najveće su u ranim jutarnjim i kasnim popodnevним časovima, a minimalne vrednosti odgovaraju sunčevom podnevu i maksimalnoj temperaturi solarnog modula. U ranim jutarnjim časovima su najmanje vrednosti temperature solarnog modula i temperature ambijenta, tako da je i pri manjim vrednostima intenziteta Sunčevog zračenja efikasnost solarnog modula veća nego kasnije u toku dana. U večernjim časovima, sa smanjenjem intenziteta Sunčevog zračenja, temperatura solarnog modula se smanjuje i ponovo se uočava porast efikasnosti solarnog modula.

Na slici 3.175 se vidi da su najveće dnevne vrednosti efikasnosti horizontalnog solarnog modula u januaru i februaru. U toku ovih meseci na površinu horizontalnog solarnog modula dospevaju najmanje vrednosti intenziteta Sunčevog zračenja, najniže su temperature solarnog modula i temperature ambijenta, zbog čega je veća efikasnost solarnog modula.

U aprilu, maju i junu, kada su najveće vrednosti intenziteta Sunčevog zračenja, temperature solarnog modula i temperature ambijenta, efikasnost solarnog modula je znatno manja.

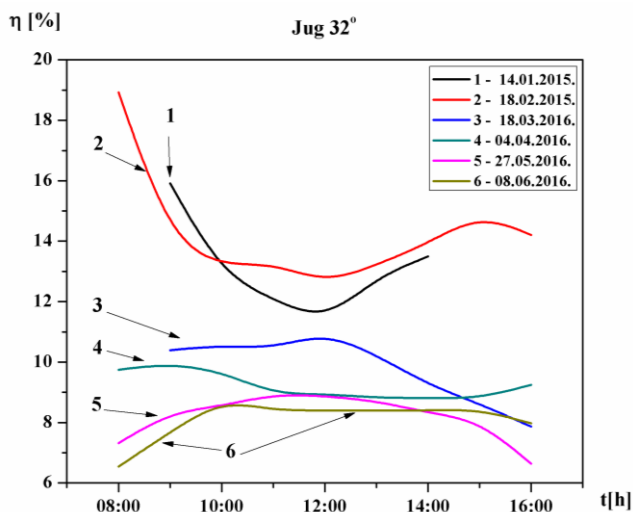
Na slici 3.176 vidi se da je efikasnost horizontalnog solarnog modula najmanja u avgustu, kada su izmerene najveće vrednosti temperature solarnog modula i temperature ambijenta. Sa porastom temperature solarnog modula dolazi do povećanja termalnih vibracija atoma kristalne rešetke materijala od kojeg su napravljene solarne ćelije, što dovodi do pada napona otvorenog kola i smanjenja snage, a time i do smanjenja efikasnosti solarnog modula.

Izuzetak je dan u decembru (kriva 12) kada promena efikasnosti odstupa od uobičajene dnevne promene, zbog specifičnih atmosferskih uslova. U zimskim mesecima grejna sezona je u toku zbog čega je povećana koncentracija polutanata u vazduhu kao i udeo difuznog Sunčevog zračenja (usled rasejanja Sunčevog zračenja na česticama polutanata). Takođe, usled niskih dnevnih temperatura i visoke vlaznosti vazduha u ovom periodu je prisutna i izmaglica. Zbog lokalnih atmosferskih uslova i činjenice da je u zimskim mesecima Sunce nisko na horizontu, izmerene vrednosti intenziteta Sunčevog zračenja su male (u

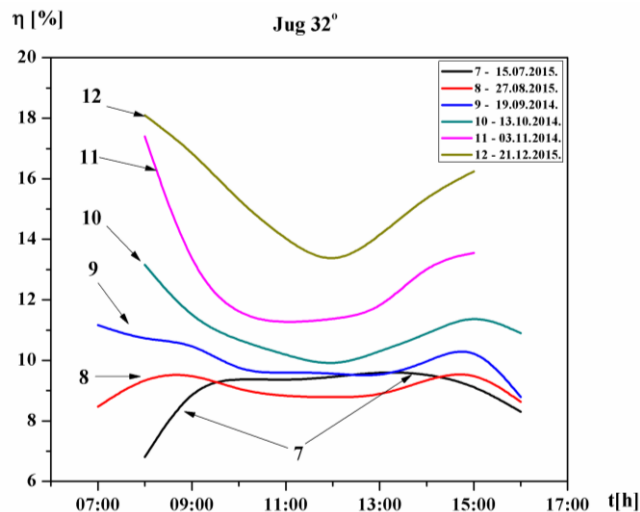
decembru ispod  $300 \text{ W/m}^2$ ). U ovakvim uslovima dnevna promena efikasnosti solarnog modula je teško predvidiva, i razlikuje se od dana do dana.

### 3.4.8.2. Optimalno orijentisan solarni modul

Dnevne promene efikasnosti  $\eta$  (%) optimalno orijentisanog solarnog modula u periodu od januara do juna i u periodu od jula do decembra date su na slikama 3.177 i 3.178.



**Slika 3.177.** Dnevna promena efikasnosti  $\eta$  (%) optimalno orijentisanog solarnog modula u periodu od januara do juna



**Slika 3.178.** Dnevna promena efikasnosti  $\eta$  (%) optimalno orijentisanog solarnog modula u periodu od jula do decembra

U januaru, februaru i aprilu dnevne vrednosti efikasnosti optimalno orijentisanog solarnog modula su najveće u ranim jutarnjim i kasnim popodnevničkim časovima a minimalne vrednosti odgovaraju sunčevom podnevu i maksimalnoj temperaturi solarnog modula. U martu, maju i junu dnevne vrednosti efikasnosti optimalno orijentisanog solarnog modula su najmanje u ranim jutarnjim i kasnim popodnevničkim časovima a maksimalne vrednosti odgovaraju sunčevom podnevu i najvećim vrednostima intenziteta Sunčevog zračenja koje dospeva na površinu solarnog modula u toku dana. Ovakva dnevna promena efikasnosti u martu, maju i junu može biti posledica ugla pod kojim sunčevo zračenje dospeva na površinu solarnog modula.

Na slici 3.177 vidi se da su najveće vrednosti efikasnosti optimalno orijentisanog solarnog modula u januaru i februaru, kada su izmerene najniže temperature solarnog modula i najniže temperature ambijenta. Najmanje vrednosti efikasnosti optimalno orijentisanog solarnog modula su maju i junu, kada su izmerene visoke temperature solarnog modula i visoke temperature ambijenta.

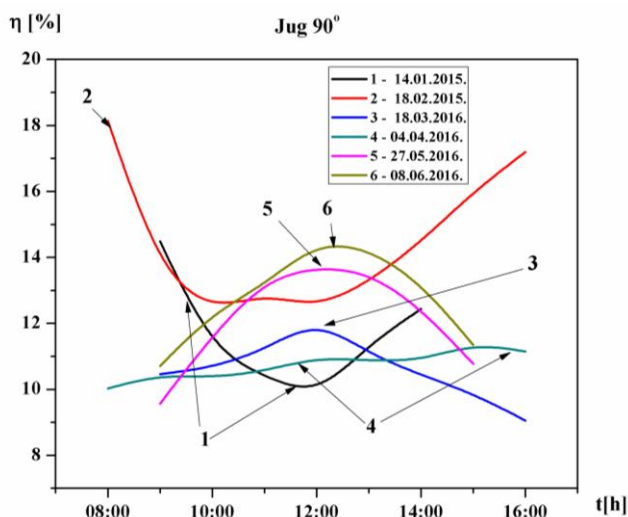
U julu su dnevne vrednosti efikasnosti optimalno orijentisanog solarnog modula najmanje u ranim jutarnjim i kasnim popodnevničkim časovima, a maksimalne vrednosti odgovaraju sunčevom podnevu (kriva 7). U avgustu, oko podneva, se može uočiti minimum efikasnosti solarnog modula koji odgovara najvećim vrednostima intenziteta Sunčevog zračenja koje dospeva na površinu solarnog modula i njegovoj najvećoj temperaturi (kriva 8).

Najveće dnevne vrednosti efikasnosti optimalno orijentisanog solarnog modula bile su u novembru i decembru.

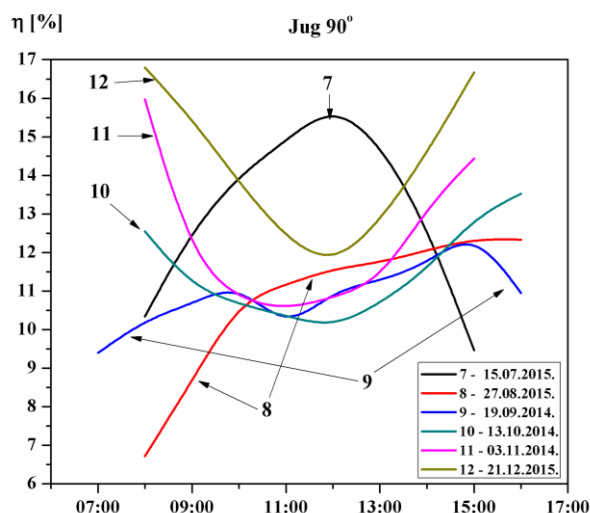
Na slici 3.178 vidi se da u periodu od jula do novembra u kasnim popodnevним časovima sa smanjenjem intenziteta Sunčevog zračenja koje dospeva na površinu solarnog modula dolazi do pada efikasnosti optimalno orijentisanog solarnog modula.

### 3.4.8.3. Vertikalni solarni modul orijentisan ka jugu

Dnevne promene efikasnosti  $\eta$  (%) vertikalnog solarnog modula orijentisanog ka jugu u periodu od januara do juna i u periodu od jula do decembra date su na slikama 3.179 i 3.180.



**Slika 3.179.** Dnevna promena efikasnosti  $\eta$  (%) vertikalnog solarnog modula orijentisanog ka jugu u periodu od januara do juna



**Slika 3.180.** Dnevna promena efikasnosti  $\eta$  (%) vertikalnog solarnog modula orijentisanog ka jugu u periodu od jula do decembra

U januaru i februaru dnevne vrednosti efikasnosti vertikalnog solarnog modula orijentisanog ka jugu su najveće u ranim jutarnjim i kasnim popodnevним časovima a minimalne vrednosti odgovaraju sunčevom podnevu i maksimalnoj temperaturi solarnog modula. U martu, maju i junu dnevne vrednosti efikasnosti su najmanje u ranim jutarnjim i kasnim popodnevним časovima, a maksimalne vrednosti odgovaraju sunčevom podnevu i najvećim vrednostima intenziteta Sunčevog zračenja koje dospeva na površinu solarnog modula u toku dana.

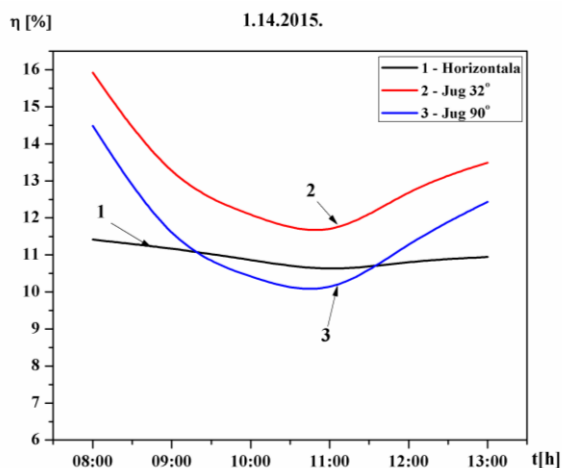
U januaru, kada na površinu vertikalnog solarnog modula orijentisanog ka jugu dospevaju najveće vrednosti intenziteta Sunčevog zračenja može se uočiti da je tada najmanja vrednost efikasnosti solarnog modula (u podne 9,8%). U junu kada na površinu datog solarnog modula dospevaju najmanje vrednosti intenziteta Sunčevog zračenja može se uočiti da je tada najveća vrednost efikasnosti solarnog modula (u podne 14,5%). Ovakva dnevna promena efikasnosti u može biti posledica ugla pod kojim sunčevo zračenje dospeva na površinu solarnog modula.

U julu su najmanje dnevne vrednosti efikasnosti vertikalnog solarnog modula orijentisanog ka jugu u ranim jutarnjim i kasnim popodnevним časovima, a maksimalne vrednosti odgovaraju sunčevom podnevu (kriva 7). Na površinu datog solarnog modula u julu dospevaju najmanje vrednosti intenziteta Sunčevog zračenja pri čemu je tada najveća vrednost efikasnosti solarnog modula (u podne 15,8%).

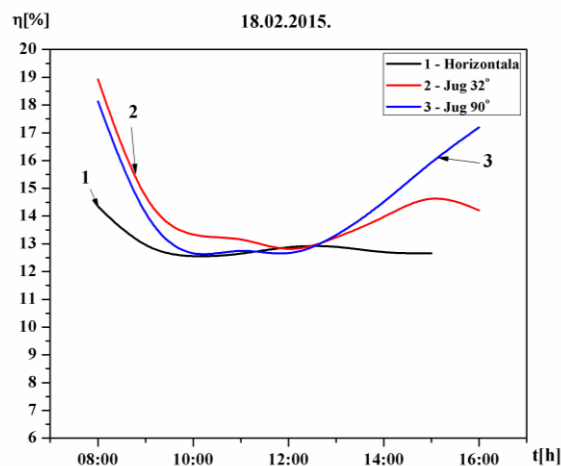
U oktobru, novembru i decembru vrednosti efikasnosti vertikalnog solarnog modula orijentisanog ka jugu su najveće u ranim jutarnjim i kasnim popodnevним časovima, a minimalne vrednosti odgovaraju sunčevom podnevu i maksimalnoj temperaturi solarnog modula.

### 3.4.8.4. Uporedni prikaz promene trenutne efikasnosti tri solarna modula u toku sunčanog dana

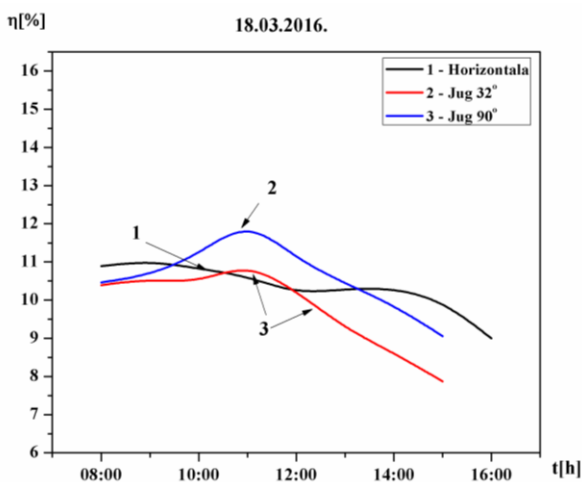
Uporedni prikaz promene trenutne efikasnosti horizontalnog, optimalno orijentisanog i vertikalnog solarnog modula orijentisanog ka jugu u toku sunčanog dana, u periodu od januara do juna dat je na slikama 3.181-3.186.



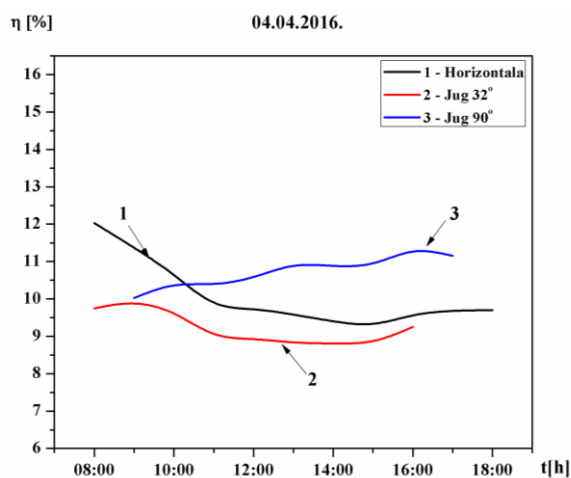
**Slika 3.181.** Uporedni prikaz promene trenutne efikasnosti tri solarna modula u toku dana u januaru



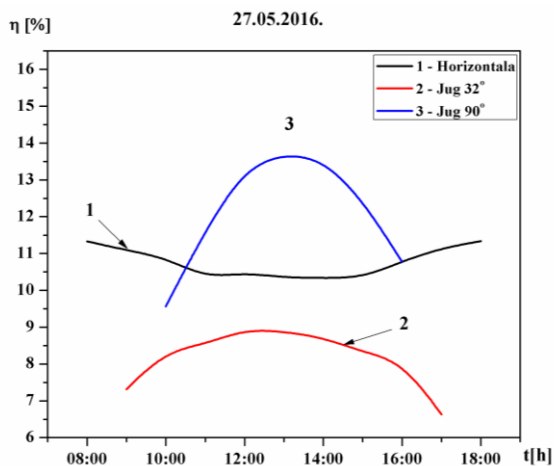
**Slika 3.182.** Uporedni prikaz promene trenutne efikasnosti tri solarna modula u toku dana u februaru



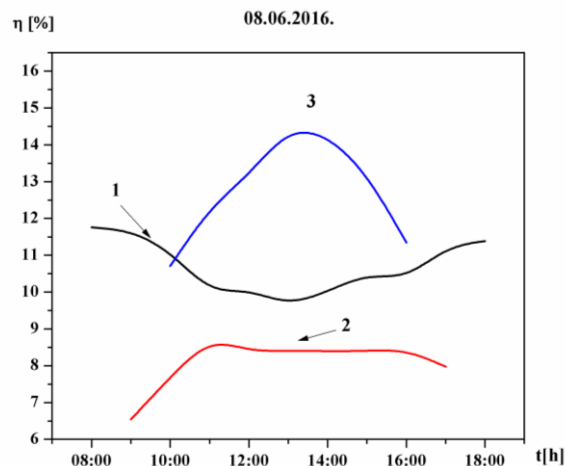
**Slika 3.183.** Uporedni prikaz promene trenutne efikasnosti tri solarna modula u toku dana u martu



**Slika 3.184.** Uporedni prikaz promene trenutne efikasnosti tri solarna modula u toku dana u aprilu

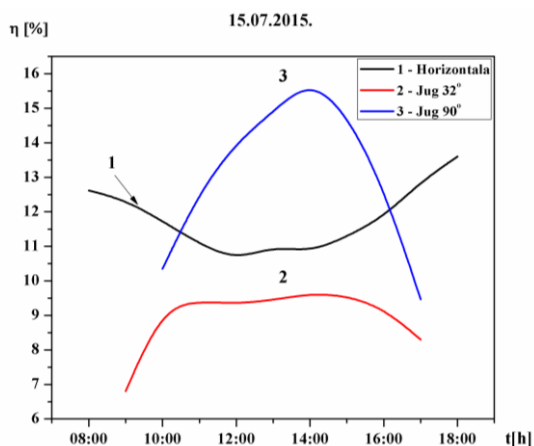


**Slika 3.185.** Uporedni prikaz promene trenutne efikasnosti tri solarna modula u toku dana u maju

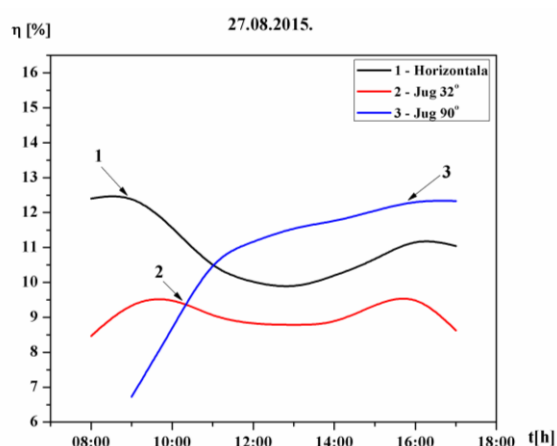


**Slika 3.186.** Uporedni prikaz promene trenutne efikasnosti tri solarna modula u toku dana u junu

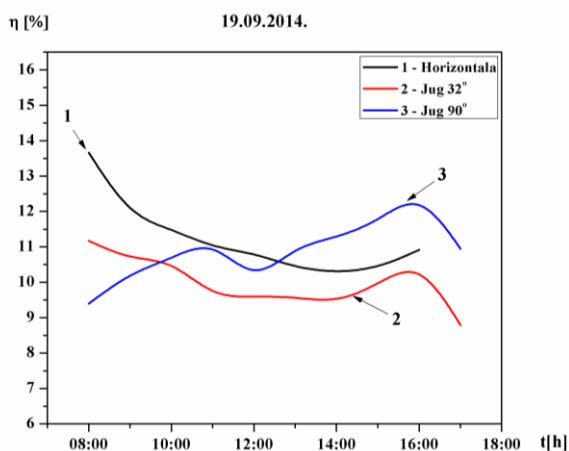
Uporedni prikaz promene trenutne efikasnosti horizontalnog, optimalno orijentisanog i vertikalnog solarnog modula orijentisanog ka jugu u toku sunčanog dana, u periodu od jula do decembra dat je na slikama 3.187-3.192.



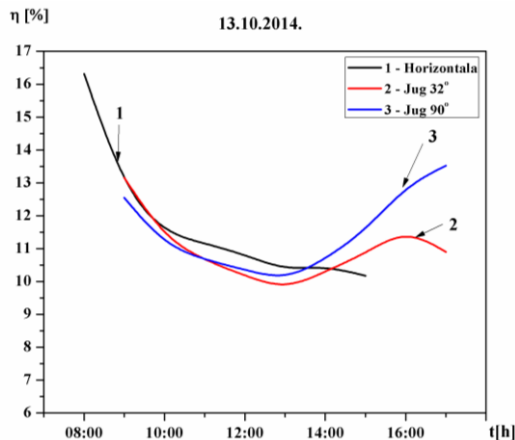
**Slika 3.187.** Uporedni prikaz promene trenutne efikasnosti tri solarna modula u toku dana u julu



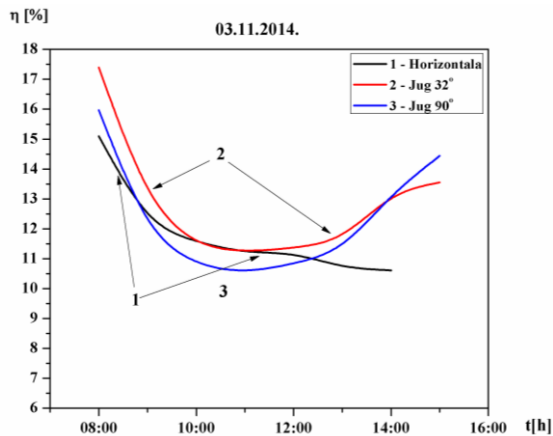
**Slika 3.188.** Uporedni prikaz promene trenutne efikasnosti tri solarna modula u toku dana u avgustu



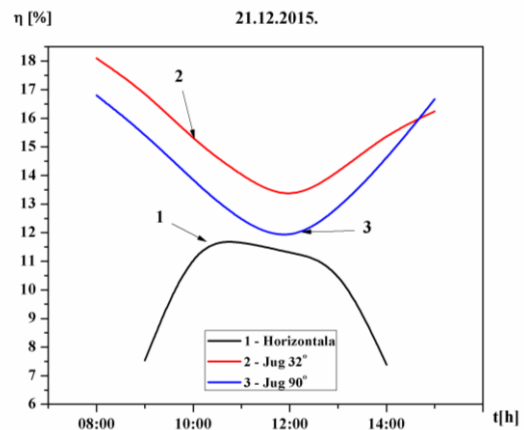
**Slika 3.189.** Uporedni prikaz promene trenutne efikasnosti tri solarna modula u toku dana u septembru



**Slika 3.190.** Uporedni prikaz promene trenutne efikasnosti tri solarna modula u toku dana u oktobru



**Slika 3.191.** Uporedni prikaz promene trenutne efikasnosti tri solarna modula u toku dana u novembru



**Slika 3.192.** Uporedni prikaz promene trenutne efikasnosti tri solarna modula u toku dana u decembru

U januaru, februaru, oktobru i novembru efikasnost solarnih modula menja se na isti način u toku dana. U toku sunčanog dana, efikasnost sva tri modula u jutarnjim i večernjim časovima ima visoke vrednosti, a minimum efikasnosti odgovara sunčevom podnevu.

U martu efikasnost optimalno orijentisanog i vertikalnog solarnog modula orijentisanog ka jugu se menja na isti način, efikasnost modula raste od jutarnjih časova do podneva kada ima maksimalnu vrednosti, a zatim neprestano opada. Efikasnost horizontalnog solarnog modula je najveća ujutru nakon čega opada sve do podneva, kada se vrlo malo menja, a onda u popodnevnom časova ponovo počinje da opada.

U aprilu i septembru efikasnost solarnih modula menja se na isti način u toku dana. Efikasnosti horizontalnog i vertikalnog solarnog modula u jutarnjim časovima su visoke nakon čega efikasnost modula opada do minimalne vrednosti koja odgovara sunčevom podnevu, a potom ponovo raste. Efikasnost optimalno orijentisanog solarnog modula ima najmanju vrednost u jutarnjim časovima nakon čega efikasnost počinje da raste sve do kraja dana.

U maju, junu, julu i avgustu efikasnost solarnih modula menja se na isti način u toku dana. Dnevna efikasnosti optimalno orijentisanog i vertikalnog solarnog modula orijentisanog ka jugu ima najmanje vrednosti u jutarnjim i kasnim popodnevnom časovima, a maksimalne vrednosti efikasnosti odgovaraju sunčevom podnevu. Efikasnost horizontalnog solarnog modula u toku ovih meseci menja se na suprotan način. U jutarnjim i kasnim popodnevnom časovima efikasnost ima najveće vrednosti, a najmanje vrednosti efikasnosti horizontalnog solarnog modula odgovaraju sunčevom podnevu.

U decembru na promenu efikasnosti solarnih modula znatno utiču specifični atmosferski i lokalni klimatski uslovi (povećana koncentracija polutanata i difuznog Sunčevog zračenja, izmaglica) tako da se ne može govoriti o jednoznačnoj promeni efikasnosti solarnih modula.

Srednje dnevne efikasnosti horizontalnog, optimalno orijentisanog i vertikalnog solarnog modula orijentisanog ka jugu za izabrane dane date su u tabeli 3.9.

**Tabela 3.9.** Srednje dnevne efikasnosti horizontalnog, optimalno orijentisanog i vertikalnog solarnog modula orijentisanog ka jugu za izabrane dane.

	$\eta$ horiz. (%)	$\eta$ jug 32° (%)	$\eta$ jug 90° (%)
14.01.2015.	10,8	13,1	11,6
18.02.2015.	12,9	14,3	14,5
18.03.2016.	10,2	9,8	10,6
04.04.2016.	10,1	9,2	10,7
27.05.2016.	10,8	8,2	12,1
08.06.2016.	10,7	8,1	12,8
15.07.2015.	11,8	9,0	13,1
27.08.2015.	11,0	9,1	10,8
19.09.2014.	11,2	10,1	10,9
13.10.2014.	11,7	11,0	11,5
03.11.2014.	11,8	12,8	12,3
21.12.2015.	10,1	15,4	14,3

Najmanje vrednosti srednje dnevne efikasnosti horizontalnog solarnog modula su u prolećnim i letnjim mesecima kada su najveće temperature solarnog modula i temperature ambijenta. Izuzetak je dan u junu kada je srednja dnevna efikasnost horizontalnog solarnog modula bila nešto veća. Najveća vrednost srednje dnevne efikasnosti horizontalnog solarnog modula bila je u februaru (12,9%), koji je bio najhladniji i dan.

Srednja dnevna efikasnosti optimalno orijentisanog solarnog modula opada od najveće vrednosti za dan u februaru (14,3%) do najmanjih vrednosti za dane u maju (8,2%) i junu (8,1%), nakon čega efikasnost ponovo raste do najveće vrednosti za dan u decembru (15,2%).

Najveća vrednost srednje dnevne efikasnosti vertikalnog solarnog modula orijentisanog ka jugu je u februaru (14,5%) i decembru (14,3%), a najmanje vrednosti srednje dnevne efikasnosti su u martu (10,6%) i aprilu (10,7%) [4].

### **3.5. Primer primene integrisanog PV sistema za dobijanje električne energije na porodičnoj kući u Nišu**

U daljem je razmatran primer primene pet različito orijentisanih integrisanih PV sistema (IPV sistema) snage 1,2 kWp za dobijanje električne energije na stambenoj kući za jednu porodicu u Nišu. Za projektovanje IPV sistema snage 1,2 kWp potrebno je povezati 20

solarnih modula (ISF-60) u niz površine 10,3 m<sup>2</sup>. IPV sistem koji je povezan na elektrodistributivnu mrežu sastoji se od solarnih modula, invertora jednosmerne u naizmeničnu struju, monitoring sistema, razvodne kutije, električnih kablova i prekidača, pri čemu su procenjeni energetske gubici za ovaj sistem 14%, na isti način na koji se gubici računavaju u PVGIS programu.

*Ukupne mesečne i godišnje vrednosti električne energije koje su eksperimentalno dobijene pomoću različito orijentisanih solarnih modula snage 60 Wp*

Ukupne mesečne i godišnje vrednosti električne energije koje su eksperimentalno dobijene pomoću različito orijentisanih solarnih modula snage 60 Wp u toku 2013. godine u Nišu date su u tabeli 3.10.

**Tabela 3.10.** Ukupne mesečne i godišnje eksperimentalne vrednosti električne energije dobijene pomoću različito orijentisanih solarnih modula snage 60 Wp u Nišu u toku 2013. godine

Ukupne mesečne vrednosti električne energije [Wh]					
	Orijentacija solarnog modula				
Mesec	Horizontala	Jug 32°	Jug 90°	Istok 90°	Zapad 90°
Januar	1822,8	3348	3177,5	892,8	688,2
Februar	2634,8	5062,4	4177,6	1610	1520,4
Mart	4690,3	6187,6	5211,1	2306,4	2095,6
April	6978	6675	4365	3057	2691
Maj	7043,2	5967,5	3131	2941,9	2377,7
Jun	8289	6555	2958	3309	2916
Jul	9083,4	6957,5	3080,8	3808,7	3549,5
Avgust	7241,6	6841,08	4433	3330,6	2889,2
Septembar	4878,2	5978,8	4716,5	1749	1690,2
Oktobar	3053,4	5299,6	4803,5	1336,0	1238,6
Novembar	1221,2	2179,8	1975,4	711	609
Decembar	1147	1829	1891	623,1	598,3
Ukupno godišnje	58082.8	62881.4	43920.2	25675.5	22863.7

*Ukupne mesečne i godišnje vrednosti električne energije koja može da se dobije pomoću različito orijentisanih IPV sistema snage 1,2 kWp bez računavanja gubitaka*

Ukupne mesečne vrednosti električne energija koja može da se dobije pomoću različito orijentisanih IPV sistema snage 1,2 kWp dobija se tako što se vrednosti električne energije iz tabele 5.1 pomnože sa brojem 20, odnosno brojem solarnih modula od 60 Wp koliko ulaze u sastav IPV sistema od 1,2 kWp (20 solarnih modula) (Tabela 3.11).



**Tabela 3.11.** Ukupne mesečne vrednosti električne energije koja može da se dobije pomoću različito orijentisanih IPV sistema snage 1,2 kWp

Ukupne mesečne vrednosti električne energije [kWh]					
Orijentacija solarnog modula					
Mesec	Horizontala	Jug 32°	Jug 90°	Istok 90°	Zapad 90°
Januar	36.5	67.0	63.6	17.9	13.8
Februar	52.7	101.2	83.6	32.2	30.4
Mart	93.8	123.8	104.2	46.1	41.9
April	139.6	133.5	87.3	61.1	53.8
Maj	140.9	119.4	62.6	58.8	47.6
Jun	165.8	131.1	59.2	66.2	58.3
Jul	181.7	139.2	61.6	76.2	71.0
Avgust	144.8	136.8	88.7	66.6	57.8
Septembar	97.6	119.6	94.3	35.0	33.8
Oktobar	61.1	106.0	96.1	26.7	24.8
Novembar	24.4	43.6	39.5	14.2	12.2
Decembar	22.9	36.6	37.8	12.5	12.0
Ukupno godišnje	1161.7	1257.6	878.4	513.5	457.3

*Uračunavanje gubitaka u IPV sistemu*

Ukupne mesečne vrednosti električne energije koja može da se dobije pomoću različito orijentisanih IPV sistema snage 1,2 kWp umanjene za 14% za energetske gubitke sistema date su u tabeli 3.12.

**Tabela 3.12.** Ukupne mesečne vrednosti električne energije koja može da se dobije pomoću različito orijentisanih IPV sistema snage 1,2 kWp sa uračunatim energetskim gubicima od 14%

Ukupne mesečne vrednosti električne energije [kWh]					
Orijentacija solarnog modula					
Mesec	Horizontala	Jug 32°	Jug 90°	Istok 90°	Zapad 90°
Januar	31.4	57.6	54.7	15.4	11.8
Februar	45.3	87.1	71.9	27.7	26.2
Mart	80.7	106.4	89.6	39.7	36.0
April	120.0	114.8	75.1	52.6	46.3
Maj	121.1	102.6	53.9	50.6	40.9
Jun	142.6	112.7	50.9	56.9	50.2
Jul	156.2	119.7	53.0	65.5	61.1
Avgust	124.6	117.7	76.2	57.3	49.7

Septembar	83.9	102.8	81.1	30.1	29.1
Oktobar	52.5	91.2	82.6	23.0	21.3
Novembar	21.0	37.5	34.0	12.2	10.5
Decembar	19.7	31.5	32.5	10.7	10.3
Ukupno godišnje	999.0	1081.6	755.4	441.6	393.3

U odnosu na optimalno orijentisani IPV sistem na godišnjem nivou pomoću horizontalnog IPV sistema i vertikalnih IPV sistema orijentisanih ka jugu, istoku i zapadu može se dobiti 7,6%, 30,1%, 59,2% i 63,4% manje električne energije, respektivno.

*Deo električne energije koji može da se zameni korišćenjem IPV sistema u odnosu na prosečnu potrošnju električne energije u jednom domaćinstvu*

Ukoliko se uzme da je prosečna potrošnja električne energije u jednoj porodičnoj stambenoj kući u Nišu 350 kWh/mesec može se izračunati deo električne energije koji se može zameniti primenom različito orijentisanih IPV sistema snage 1,2 kWp.

Deo električne energije u procentima koji se može zameniti primenom IPV sistema snage 1,2 kWp u odnosu na pretpostavljenu potrošnju električne energije od 350 kWh/mesec u datom stambenom objektu za pet različitih orijentacija sistema dat je u tabeli 3.13.

**Tabela 3.13.** Deo električne energije u procentima koji se može zameniti primenom različito orijentisanih IPV sistema snage 1,2 kWp u odnosu na pretpostavljenu potrošnju električne energije od 350 kWh/mesec u datom stambenom objektu za pet različitih orijentacija sistema

	%				
	Orijentacija integrisanih PV sistema snage 1,2 kWp				
	Horizontala	Jug 90°	Jug 32°	Istok 90°	Zapad 90°
Januar	9,0	15,6	16,5	4,4	3,4
Februar	12,9	20,5	24,9	7,9	7,5
Mart	23,0	25,6	30,4	11,3	10,3
April	34,3	21,5	32,8	15,0	13,2
Maj	34,6	15,4	29,3	14,5	11,7
Jun	40,7	14,5	32,2	16,3	14,3
Jul	44,6	15,1	34,2	18,7	17,4
Avgust	35,6	21,8	33,6	16,4	14,2
Septembar	24,0	23,2	29,4	8,6	8,3
Oktobar	15,0	23,6	26,0	6,6	6,1
Novembar	6,0	9,7	10,7	3,5	3,0
Decembar	5,6	9,3	9,0	3,1	2,9

Prosečno godišnje	23,8	18,0	25,8	10,5	9,4
----------------------	------	------	------	------	-----

Na osnovu podataka u tabeli 5.4 vidi se da horizontalni IPV sistem snage 1,2 kWp u julu može da zameni 44,6% mesečne potrošnje električne energije porodične stambene kuće.

Optimalno orijentisan IPV sistem može da zameni 25,8%, horizontalni IPV sistem 23,8%, a vertikalni IPV sistemi orijentisani ka jugu, istoku i zapadu 18,0%, 10,5% i 9,4% godišnje potrošnje električne energije porodične stambene kuće u Nišu, respektivno.

Navedeni podaci su korisni za planiranje i projektovanje integrisanih PV sistema za novoizgrađene objekate ili pri postavljanju PV sistema na već postojećim objektima u Srbiji.

### 3.5.1. Uticaj korišćenja IPV sistema snage 1,2 kWp na smanjenje emisije CO<sub>2</sub>

Prilikom sagorevanja nafte, prirodnog gasa i uglja u atmosferu se oslobađa ugljen-dioksid (CO<sub>2</sub>). U tabeli 3.14 dat je iznos oslobođenog ugljen-dioksida (faktor emisije CO<sub>2</sub>) prilikom dobijanja 1 kWh električne energije korišćenjem nafte, prirodnog gasa i uglja.

**Tabela 3.14.** Faktor emisije CO<sub>2</sub> prilikom dobijanja 1 kWh električne energije korišćenjem nafte, prirodnog gasa i uglja [5]

Energent	Faktor emisije ugljen-dioksida (g CO <sub>2</sub> /kWh)
Nafta	260
Prirodni gas	195
Ugalj	330

Kada se govori o IPV sistemima i njihovoj praktičnoj primeni postavlja se pitanje smanjenja gasove staklene bašte stvorenih sagorevanjem fosilnih goriva. Imajući prethodno u vidu, u daljem je data procena godišnjeg smanjenja emisije ugljen-dioksida za različito orijentisane IPV sisteme snage 1,2 kWp i za različite vrste energenata. Rezultati procene dati su tabelama 3.15-3.17.

**Tabela 3.15.** Godišnje smanjenje emitovanja CO<sub>2</sub> (kg) u atmosferu ukoliko bi se umesto nafte koristio IPV sistem od 1,2 kWp sa različitim orijentacijama

Orijentacija IPV sistema snage 1,2 kWp	Smanjenje CO <sub>2</sub> u kg u odnosu na korišćenje nafte
Jug 32°	281,2
Horizontala	259,7
Jug 90°	196,4
Istok 90°	114,8
Zapad 90°	102,3

**Tabela 3.16.** Godišnje smanjenje emitovanja CO<sub>2</sub> (kg) u atmosferu ukoliko bi se umesto prirodnog gasa koristio IPV sistem od 1,2 kWp sa različitim orijentacijama

Orijentacija IPV sistema snage 1,2 kWp	Smanjenje CO <sub>2</sub> u kg u odnosu na korišćenje prirodnog gasa
Jug 32°	210,9
Horizontala	194,8
Jug 90°	147,3
Istok 90°	86,1
Zapad 90°	76,7

**Tabela 3.17.** Godišnje smanjenje emitovanja CO<sub>2</sub> (kg) u atmosferu ukoliko bi se umesto uglja koristio IPV sistem od 1,2 kWp sa različitim orijentacijama

Orijentacija IPV sistema snage 1,2 kWp	Smanjenje CO <sub>2</sub> u kg u odnosu na korišćenje uglja
Jug 32°	356,9
Horizontala	329,6
Jug 90°	249,3
Istok 90°	145,7
Zapad 90°	129,8

Koršćenjem optimalno orijentisanog IPV sistema snage 1,2 kWp mesečno može da se smanji emisija ugljen-dioksida za 23,4 kg (energent nafta) ili 17,6 kg ugljen-dioksida (energent prirodni gas) ili 29,7 kg ugljen-dioksida (energent ugalj). Koršćenjem horizontalnog integrisanog PV sistema snage 1,2 kWp mesečno se smanji emisija ugljen-dioksida za 21,6 kg (energent nafta) ili 16,2 kg ugljen-dioksida (energent prirodni gas) ili 27,5 kg ugljen-dioksida (energent ugalj).

### 3.5.2. Primer primene IPV sistema snage 24 kWp za dobijanje električne energije na desetospratnoj sambenoj zgradi u Nišu

U daljem je razmatran primer primene pet različito orijentisanih IPV sistema snage 24 kWp za dobijanje električne energije na desetospratnoj sambenoj zgradi Nišu. Za projektovanje IPV sistema snage 24 kWp potrebno je povezati 400 solarnih modula (ISF-60) u niz površine 205,6 m<sup>2</sup>. Razmatran je IPV sistem koji je povezan na elektrodistributivnu mrežu, pri čemu su procenjeni energetske gubici za sistem 14%.

*Ukupne mesečne i godišnje vrednosti električne energije koja može da se dobije pomoću različito orijentisanih IPV sistema snage 24 kWp bez uračunavanja gubitaka*

Ukupne mesečne vrednosti električne energija koja može da se dobije pomoću različito orijentisanih IPV sistema snage 24 kWp dobija se tako što se vrednosti električne energije iz tabele 5.1 pomnože sa brojem 40, odnosno brojem solarnih modula od 60 Wp koliko ulazi u sastav IPV sistema od 24 kWp (20 solarnih modula) (Tabela 3.18).

**Tabela 3.18.** Ukupne mesečne vrednosti električne energije koja može da se dobije pomoću različito orijentisanih IPV sistema snage 24 kWp

Mesec	Ukupne mesečne vrednosti električne energije [kWh]				
	Orijentacija solarnog modula				
	Horizontala	Jug 32°	Jug 90°	Istok 90°	Zapad 90°
Januar	729,1	1339,2	1271,0	357,1	275,3
Februar	1053,9	2025,0	1671,0	644,0	608,2
Mart	1876,1	2475,0	2084,44	922,6	838,3
April	2791,2	2670,0	1746,0	1222,8	1076,4
Maj	2817,3	2387,0	1252,4	1176,8	951,1
Jun	3315,6	2622	1183,2	1323,6	1166,4
Jul	3633,3	2783,0	1232,3	1523,4	1419,8
Avgust	2896,6	2736,4	1773,2	1332,3	1155,7
Septembar	1951,3	2391,5	1886,6	699,6	676,1
Oktoabar	1221,4	2119,8	1921,4	534,4	495,4
Novembar	488,5	871,9	790,1	284,0	244,0
Decembar	458,8	731,6	756,4	249,2	239,3
Ukupno godišnje	23233,1	25152,5	17568,1	10269,8	9145,9

### *Uračunavanje gubitaka u IPV sistemu*

Ukupne mesečne vrednosti električne energije koja može da se dobije pomoću različito orijentisanih IPV sistema snage 24 kWp umanjene za 14% za energetske gubitke sistema date su u tabeli 3.19.

**Tabela 3.19.** Ukupne mesečne vrednosti električne energije koja može da se dobije pomoću različito orijentisanih IPV sistema snage 24 kWp sa uračunatim energetske gubicima od 14%

Ukupne mesečne vrednosti električne energije [kWh]					
Orijentacija solarnog modula					
Mesec	Horizontala	Jug 32°	Jug 90°	Istok 90°	Zapad 90°
Januar	627,0	1151,7	627,0	307,1	236,7
Februar	906,4	1741,5	906,4	553,8	523,0
Mart	1613,5	2128,5	1613,5	793,4	720,9
April	2400,4	2296,2	2400,4	1051,6	925,7
Maj	2422,9	2052,8	2422,9	1012,0	817,9
Jun	2851,4	2254,9	2851,4	1138,3	1003,1
Jul	3124,7	2393,4	3124,7	1310,2	1221,0
Avgust	2491,1	2353,3	2491,1	1145,7	993,9
Septembar	1678,1	2056,7	1678,1	601,7	581,4
Oktoibar	1050,4	1823,1	1050,4	459,6	426,1
Novembar	420,1	749,9	420,1	244,0	210,0
Decembar	394,6	629,2	394,6	214,3	205,8
Ukupno godišnje	19980,5	21631,2	19980,5	8831,8	7865,6

U odnosu na optimalno orijentisani IPV sistem na godišnjem nivou pomoću horizontalnog IPV sistema i vertikalnih IPV sistema orijentisanih ka jugu, istoku i zapadu može se dobiti 7,6%, 30,1%, 59,2% i 63,4% manje električne energije, respektivno.

### **3.5.3. Uticaj korišćenja IPV sistema snage 24 kWp na smanjenje emisije CO<sub>2</sub>**

Prilikom sagorevanja nafte, prirodnog gasa i uglja u atmosferu se oslobađa ugljen-dioksid (CO<sub>2</sub>). Rezultati procene procena godišnjeg smanjenja emisije ugljen-dioksida za različito orijentisane IPV sisteme snage 24 kWp i za različite vrste energenata dati su tabelama 3.20-3.22.

**Tabela 3.20.** Godišnje smanjenje emitovanja CO<sub>2</sub> (kg) u atmosferu ukoliko bi se umesto nafte koristio IPV sistem od 24 kWp sa različitim orijentacijama

Orijentacija IPV sistema snage 1,2 kWp	Smanjenje CO <sub>2</sub> u kg u odnosu na korišćenje nafte
Jug 32°	5624
Horizontala	5194
Jug 90°	3928
Istok 90°	2296
Zapad 90°	2046

**Tabela 3.21.** Godišnje smanjenje emitovanja CO<sub>2</sub> (kg) u atmosferu ukoliko bi se umesto prirodnog gasa koristio IPV sistem od 24 kWp sa različitim orijentacijama

Orijentacija IPV sistema snage 1,2 kWp	Smanjenje CO <sub>2</sub> u kg u odnosu na korišćenje prirodnog gasa
Jug 32°	4218
Horizontala	3896
Jug 90°	2946
Istok 90°	1722
Zapad 90°	1534

**Tabela 3.22.** Godišnje smanjenje emitovanja CO<sub>2</sub> (kg) u atmosferu ukoliko bi se umesto uglja koristio IPV sistem od 24 kWp sa različitim orijentacijama

Orijentacija IPV sistema snage 1,2 kWp	Smanjenje CO <sub>2</sub> u kg u odnosu na korišćenje uglja
Jug 32°	7138
Horizontala	6592
Jug 90°	4986
Istok 90°	2914
Zapad 90°	2596

Koršćenjem optimalno orijentisanog IPV sistema snage 24 kWp mesečno može da se smanji emisija ugljen-dioksida za 5624 kg (energent nafta) ili 4218 kg ugljen-dioksida (energent prirodni gas) ili 7138 kg ugljen-dioksida (energent ugalj). Koršćenjem horizontalnog IPV sistema snage 24 kWp mesečno se smanji emisija ugljen-dioksida za 5194

kg (energent nafta) ili 3896 kg ugljen-dioksida (energent prirodni gas) ili 6592 kg ugljen-dioksida (energent ugalj).

## **Literatura**

- [1] J. A. Duffie, W. A. Beckman, Solar Engineering and Thermal Processes, 2nd ed., John Willey and Sons, New York, USA 1991.
- [2] [http://www.hidmet.gov.rs/ciril/meteorologija/stanica\\_sr.php?moss\\_id=13388](http://www.hidmet.gov.rs/ciril/meteorologija/stanica_sr.php?moss_id=13388)
- [3] Lana P., Tomislav P., Dragana M., Dragoljub M., Ivana R., Miodrag R., **Electrical energy generation with differently oriented PV modules as façade elements. Thermal Science, 2015, doi:10.2298/TSCI150123157P**
- [4] Lana P., Tomislav P., **Determination of physical characteristics of horizontally positioned solar module in real climate conditions in Nis, Serbia, Facta Universitatis, Series Physics, Chemistry and Technology, 2016, in press**
- [5] R. Pode, B. Diouf, Solar Lighting, Green Energy and Technology, Springer London 2011, ISBN: 978-1-4471-2133-6





## Zaključak

Na osnovu iznetog mogu da se izvedu zaključci koji se odnose na opšti deo, teoriju, eksperiment i praktičnu primenu dobijenih rezultata.

### *Opšti deo*

- Intenzitet Sunčevog zračenja koje dospeva do Zemlje zavisi od apsorpcije i rasejanja Sunčevog zračenja u atmosferi, optičke vazdušne mase, lokalnih atmosferskih uslova, geografskog položaja mesta i trenutka u toku dana i godine u kome se posmatra sunčevo zračenje, itd;
- pretvaranje Sunčevog zračenja u električnu energiju odvija se na solarnim ćelijama koje mogu biti od monokristalnog, polikristalnog i amornog silicijuma i drugih materijala;
- solarne ćelije se karakterišu naponom otvorenog kola, strujom kratkog spoja, maksimalnom snagom, fil faktorom i energetsom efikasnošću;
- PVGIS-CMSAF program se koristi za izračunavanje intenziteta i energije globalnog i direktnog Sunčevog zračenja koje dospeva na horizontalnu površinu ili površinu nagnutu pod određenim uglom u odnosu na horizontalnu površinu, električne energije koja može da se dobije pomoću različito orijentisanih solarnih modula kao integrisanih solarnih modula ili PV elektrana, itd.

### *Teorija*

Na osnovu rezultata teorijske analize energetske efikasnosti solarnih modula u zavisnosti od njihove geografske orijentacije i ugla nagiba u Nišu pomoću PVGIS-CMSAF programa može se zaključiti sledeće:

#### Intenzitet i energija Sunčevog zračenja

- U periodu od januara do juna maksimalna vrednost srednjeg dnevnog intenziteta globalnog Sunčevog zračenja koje dospeva na horizontalnu površinu raste od 203  $\text{W/m}^2$  za mesec januar do 693  $\text{W/m}^2$  za mesec jun, a zatim opada od 741  $\text{W/m}^2$  za mesec jul, do 181  $\text{W/m}^2$  za mesec decembar;
- maksimalna vrednost srednjeg dnevnog intenziteta globalnog Sunčevog zračenja koje dospeva na optimalno orijentisanu površinu raste od 301  $\text{W/m}^2$  za mesec januar, do 818  $\text{W/m}^2$  za mesec avgust, zatim vrednost srednjeg dnevnog intenziteta globalnog Sunčevog zračenja opada do 273  $\text{W/m}^2$  za mesec decembar;

- najveća vrednost srednjeg dnevnog intenziteta globalnog Sunčevog zračenja koja dospeva na vertikalnu površinu orijentisanu ka jugu je u martu ( $444 \text{ W/m}^2$ ) i oktobru ( $487 \text{ W/m}^2$ );
- u periodu od januara do juna maksimalna vrednost srednjeg dnevnog intenziteta globalnog Sunčevog zračenja koje dospeva na vertikalnu površinu orijentisanu ka istoku raste od  $187 \text{ W/m}^2$  za mesec januar, do  $574 \text{ W/m}^2$  za mesec jun, a zatim opada od maksimalne vrednosti  $641 \text{ W/m}^2$  za mesec avgust, do vrednosti od  $163 \text{ W/m}^2$  za decembar;
- maksimalne vrednosti srednjeg dnevnog intenziteta globalnog Sunčevog zračenja koje dospeva na vertikalne površine orijentisane ka istoku i zapadu menjaju se na isti način u toku godine, pri čemu su maksimumi intenziteta globalnog Sunčevog zračenja koje dospeva na vertikalne površine orijentisane ka istoku i zapadu simetrično pomereni levo i desno u odnosu na Sunčevo podne;
- najveća vrednost srednje dnevne energije Sunčevog zračenja dospeva na horizontalnu površinu u julu ( $6790 \text{ Wh/m}^2$ ) i predstavlja najveću srednju dnevnu vrednost energije Sunčevog zračenja koje dospeva na neku od pet izabranih površina;
- najveća vrednost srednje dnevne energije Sunčevog zračenja na optimalno orijentisanu površinu dospeva u julu u iznosu od  $6590 \text{ Wh/m}^2$ . Od aprila do kraja septembra srednje dnevne vrednosti energije Sunčevog zračenja koje dospeva na optimalno orijentisanu površinu su veće od  $5000 \text{ Wh/m}^2$ ;
- srednje dnevne vrednosti energije globalnog Sunčevog zračenja koje dospeva na vertikalnu površinu orijentisanu ka jugu imaju dva maksimuma, jedan u martu ( $3440 \text{ Wh/m}^2$ ), a drugi u septembru i oktobru ( $3610 \text{ Wh/m}^2$ ). Najmanje vrednosti srednje dnevne energije Sunčevog zračenja koje dospeva na datu površinu su u januaru i decembru;
- na vertikalnu površinu orijentisanu ka istoku u julu dospeva najveća vrednost srednje dnevne energije Sunčevog zračenja  $3744,5 \text{ Wh/m}^2$ , a najmanja u decembru  $658,3 \text{ Wh/m}^2$ ;
- srednje dnevne vrednosti energije globalnog Sunčevog zračenja koje dospeva na vertikalne površine orijentisane ka istoku i zapadu su približno iste i menjaju se na isti način u toku godine. U januaru, aprilu, avgustu, novembru i decembru srednje dnevne vrednosti energije Sunčevog zračenja koje dospeva na vertikalnu površinu orijentisanu ka zapadu su nešto veće u odnosu na vrednosti srednje dnevne energije koja dospeva na vertikalnu površinu orijentisanu ka istoku. U februaru i oktobru više energije Sunčevog zračenja dospeva na vertikalnu površinu orijentisanu ka istoku nego na vertikalnu površinu orijentisanu ka zapadu.

## Električna energija

- Pomoću horizontalnog solarnog modula, snage 60 Wp u Nišu, najviše električne energije u toku dana može se dobiti u julu i avgustu, po 274 Wh, a najmanje u decembru 39 Wh;
- pomoću optimalno orijentisanog solarnog modula, snage 60 Wp u Nišu, najviše električne energije u toku dana može se dobiti u avgustu, 285 Wh, a najmanje u decembru 60 Wh. U periodu od aprila do kraja septembra vrednosti električne energije koja može da se dobije u toku dana pomoću optimalno orijentisanog solarnog modula su preko 200 Wh;
- pomoću vertikalnog solarnog modula orijentisanog ka jugu, snage 60 Wp u Nišu, najviše električne energije u toku dana može se dobiti u martu (136 Wh), avgustu i septembru (po 158 Wh). Najmanje električne energije pomoću vertikalnog solarnog modula orijentisanog ka jugu može da se dobije u toku dana u decembru (62 Wh);
- pomoću vertikalnih solarnih modula orijentisanih ka istoku i zapadu, snage 60 Wp u Nišu, najviše električne energije može se dobiti u toku dana u junu (103 Wh) i julu (105 Wh), a najmanje u decembru (16 Wh);
- godišnje najviše električne energije može se dobiti pomoću optimalno orijentisanog solarnog modula (66,8 kWh). U poređenju sa njim horizontalni modul generiše 12% manje, a vertikalni moduli orijentisani ka istoku, jugu i zapadu 66%, 31,4% i 66% manje električne energije, respektivno.

## Energetska efikasnost

- Horizontalni solarni modul ima najveću srednju dnevnu energetska efikasnost u avgustu (8,7%), a najmanju u decembru (6,8%);
- najveća srednja dnevna vrednost energetske efikasnosti optimalno orijentisanog solarnog modula je u novembru (8,8%), a najmanja je u decembru (6,9%);
- najveća srednja dnevna vrednost energetske efikasnosti vertikalnog solarnog modula orijentisanog ka jugu je u novembru (9,1%), a najmanja je u decembru (7,1%);
- srednje dnevne vrednosti energetske efikasnosti vertikalnih solarnih modula orijentisanih ka istoku i zapadu menjaju se na isti način u toku godine. Najveća srednja dnevna vrednost energetske efikasnosti vertikalnih solarnih modula orijentisanih ka istoku i zapadu je u junu i iznosi 5,6%, a najmanja u decembru i iznosi 4,7% i 4,5%, respektivno.

## *Eksperiment*

Na osnovu rezultata eksperimentalnog određivanja energetske efikasnosti solarnih modula u zavisnosti od njihove geografske orijentacije, ugla nagiba i njihove temperature u realnim klimatskim uslovima u Nišu može se zaključiti sledeće:

### Energija Sunčevog zračenja

- Najveća vrednost srednje dnevne energije Sunčevog zračenja u 2013. godini dospeva na horizontalnu površinu u julu ( $4984,2 \text{ Wh/m}^2$ ), a najmanja u decembru ( $781,7 \text{ Wh/m}^2$ ). U periodu od aprila do septembra srednje dnevne vrednosti energije Sunčevog zračenja koja dospeva na horizontalnu površinu su iznad  $4000 \text{ Wh/m}^2$ ;
- najveća srednja dnevna vrednost energije Sunčevog zračenja u 2013. godini na optimalno orijentisanu površinu dospeva u aprilu ( $5296,3 \text{ Wh/m}^2$ ) i junu ( $5300,2 \text{ Wh/m}^2$ ), a najmanja u januaru ( $1659,8 \text{ Wh/m}^2$ ) i februaru ( $1574,6 \text{ Wh/m}^2$ );
- srednje dnevne vrednosti energije globalnog Sunčevog zračenja koje dospeva na vertikalnu površinu orijentisanu ka jugu imaju dva maksimuma, jedan u aprilu ( $2954,4 \text{ Wh/m}^2$ ), a drugi u oktobru ( $3998,5 \text{ Wh/m}^2$ ). Najmanja vrednost srednje dnevne energije Sunčevog zračenja na datu površinu dospeva u februaru ( $1436,1 \text{ Wh/m}^2$ ) i junu ( $1587,5 \text{ Wh/m}^2$ ).

### Klimatski parametri

- Prosečne mesečne temperature okoline u Nišu u januaru, februaru, oktobru i novembru 2013. godine su bile manje od mesečnih vrednosti za 30-godišnji prosek za Niš. Prosečne mesečne temperature okoline u martu i julu bile su veće od mesečnih vrednosti za 30-godišnji prosek za Niš. Najveći broj vetrovitih dana registrovan je u prvoj polovini godine.

### Električna energija

- Pomoću horizontalnog solarnog modula najviše električne energije u 2013. godini u Nišu dobijeno je u toku dana u julu (293 Wh), a najmanje u toku dana u decembru (37 Wh);
- pomoću optimalno orijentisanog solarnog modula u 2013. godini u Nišu najviše električne energije u toku dana dobijeno je u julu (224 Wh), a najmanje u decembru (59 Wh). U periodu od aprila do kraja septembra vrednosti električne energije dobijene pomoću optimalno orijentisanog solarnog modula su malo iznad 200 Wh;
- pomoću vertikalnog solarnog modula orijentisanog ka jugu u 2013. godini u Nišu najviše električne energije u toku dana dobijeno je u martu (168,1 Wh) i septembru (157 Wh), a najmanje električne energije dobijeno je u decembru (61 Wh);

- pomoću vertikalnog solarnog modula orijentisanog ka istoku u 2013. godini u Nišu najviše električne energije dobijeno je u julu (122,9 Wh), a najmanje u decembru (20,1 Wh).
- pomoću vertikalnog solarnog modula orijentisanog ka zapadu u toku 2013. godine u Nišu najviše električne energije dobijeno je u julu (114,5 Wh), a najmanje u decembru (19,3 Wh). Srednje dnevne vrednosti električne enegije dobijene pomoću vertikalnih solarnih modula orijentisanih prema istoku i zapadu menjaju se na isti način u toku godine. U periodu od aprila do avgusta vrednosti električne energije dobijene pomoću vertikalnog solarnog modula orijentisanog ka istoku su veće od vrednosti električne energije dobijene pomoću vertikalnog solarnog modula orijentisanog ka zapadu.
- promene električne energije dobijene pomoću različito orijentisanih solarnih modula u 2013. godini su u skladu sa promenom energije Sunčevog zračenja koja je dospela na površine pomenutih solarnih modula.
- najviše električne energije u toku 2013. godine dobijeno je pomoću optimalno orijentisanog solarnog modula (62,9 kWh); u poređenju sa njim pomoću horizontalnog solarnog modula dobijeno je 7,6% manje električne energije, a pomoću vertikalnih solarnih modula orijentisanih ka jugu, istoku i zapadu dobijeno je 30,2%, 59,1% i 63,6%, respektivno, manje električne energije.

#### Energetska efikasnost

- Horizontalni solarni modul imao je najveću srednju dnevnu vrednost energetske efikasnosti u januaru (13,0%), a najmanju u avgustu (9,4%);
- najveća srednja dnevna vrednost energetske efikasnosti optimalno orijentisanog solarnog modula bila je u januaru (13,3%), a najmanja je bila u julu (7,4%);
- najveća srednja dnevna vrednost energetske efikasnosti vertikalnog solarnog modula orijentisanog ka jugu bila je u februaru i martu (12,2%), a najmanja u avgustu (8,2%);
- Najveće srednje dnevne vrednosti energetske efikasnosti horizontalnog, optimalno orijentisanog i vertikalnog solarnog modula orijentisanog ka jugu bile su u hladnim zimskim mesecima, a najmanje vrednosti u toplim letnjim mesecima. U novembru je uočen pad srednjih dnevnih vrednosti energetske efikasnosti sva tri solarna modula.

#### Upoređivanje teorijskih i eksperimentalnih rezultata za 2013. godinu

- Najveće odstupanje teorijskih i eksperimentalnih vrednosti energije Sunčevog zračenja za horizontalni, optimalno orijentisani i vertikalni solarni modul orijentisan ka jugu je u februaru i martu, a najbolje slaganje teorijskih i eksperimentalnih

vrednosti je u aprilu. Teorijski izračunate vrednosti energije Sunčevog zračenja pomoću PVGIS-CMSAF programa za horizontalnu, optimalno orijentisanu i vertikalnu površinu orijentisanu ka jugu su u proseku za 24%, 12,3% i 14,7%, respektivno, veće od eksperimentalno određenih vrednosti energije Sunčevog zračenja za tri različito orijentisane površine. Razlika između teorijskih i eksperimentalnih vrednosti energije Sunčevog zračenja može se objasniti činjenicom da teorijske vrednosti energije predstavljaju srednje vrednosti energije sučevog zračenja za period od 12 godina, a upoređene su sa eksperimentalnim vrednostima energije Sunčevog zračenja koje se odnose na samo jednu godinu (2013. godina);

- ukupna električna energija dobijena pomoću horizontalnog, optimalno orijentisanog i vertikalnog solarnog modula orijentisanog ka jugu u 2013. godini je za 1,2%, 6% i 0,5%, respektivno, manja u odnosu na ukupnu električnu energiju izračunatu pomoću PVGIS-CMSAF programa. Ukupna električna energija dobijena pomoću vertikalnih solarnih modula orijentisanih ka istoku i zapadu u 2013. godini je za 12% i 1% veća u odnosu na ukupnu električnu energiju izračunatu pomoću PVGIS-CMSAF programa. Na osnovu iznetog vidi se da postoji dobro slaganje između eksperimentalnih i teorijskih vrednosti električne energije koja se dobija pomoću različito orijentisanih solarnih modula;
- u periodu od januara do juna eksperimentalno određene vrednosti energetske efikasnosti horizontalnog solarnog modula su veće od teorijski izračunatih vrednosti. Najbolje slaganje između teorijskih i eksperimentalnih vrednosti energetske efikasnosti horizontalnog solarnog modula je u avgustu i novembru;
- najbolje slaganje između teorijskih i eksperimentalnih vrednosti energetske efikasnosti optimalno orijentisanog solarnog modula je u maju, junu, julu i avgustu. U ostalim mesecima eksperimentalno određene vrednosti energetske efikasnosti optimalno orijentisanog solarnog modula su znatno veće od teorijski izračunatih vrednosti energetske efikasnosti;
- najbolje slaganje između teorijskih i eksperimentalnih vrednosti energetske efikasnosti vertikalnog solarnog modula orijentisanog ka jugu je u maju, avgustu i novembru. U januaru, februaru, martu i decembru su eksperimentalno određene vrednosti energetske efikasnosti znatno veće od teorijski izračunatih vrednosti energetske efikasnosti vertikalnog solarnog modula orijentisanog ka jugu;
- eksperimentalno određene vrednosti energetske efikasnosti horizontalnog, optimalno orijentisanog i vertikalnog solarnog modula orijentisanog ka jugu se znatno menjaju sa promenom klimatskih parametara u toku godine, pri čemu se teorijski izračunate vrednosti energetske efikasnosti sva tri modula neznatno razlikuju i menjaju na isti način u toku godine.

Na osnovu rezultata eksperimentalnog određivanja  $U_{mpp}$ ,  $I_{mpp}$ ,  $P_{mpp}$ ,  $U_{ok}$ ,  $I_{ks}$ ,  $FF$  i  $\eta$  u periodu od 2014. do 2016. godine u realnim klimatskim uslovima u Nišu može se zaključiti sledeće:

- Sa porastom intenziteta Sunčevog zračenja koje dospeva na površinu različito orijentisanih solarnih modula i porastom njihove temperature smanjuju se vrednosti maksimalnog napona  $U_{mpp}$  solarnih modula. Najmanje vrednosti  $U_{mpp}$  solarnih modula odgovaraju najvećim vrednostima intenziteta Sunčevog zračenja koje dospeva na površinu modula i najvećim vrednostima temperature  $T_c$  solarnih modula;
- sa povećanjem intenziteta Sunčevog zračenja koje dospeva na površinu različito orijentisanih solarnih modula povećavaju se vrednosti maksimalne struje  $I_{mpp}$  solarnih modula. U toku sunčanog dana najveća vrednost  $I_{mpp}$  horizontalnog, optimalno orijentisanog i vertikalnog solarnog modula orijentisanog ka jugu odgovara Sunčevom podnevu. U toku sunčanog dana najveća vrednost  $I_{mpp}$  vertikalnog solarnog modula orijentisanog ka istoku je periodu od 8<sup>00</sup> do 9<sup>00</sup> časova, a vertikalnog solarnog modula orijentisanog ka zapadu je u periodu od 15<sup>00</sup> do 16<sup>00</sup> časova, u zavisnosti od meseca u godini;
- sa povećanjem intenziteta Sunčevog zračenja koje dospeva na površinu različito orijentisanih solarnih modula povećava se i maksimalna vrednost izlazne snage  $P_{mpp}$ . Najveće vrednosti izlazne snage solarnih modula odgovaraju najvećim vrednostima  $I_{mpp}$  solarnih modula. Maksimalna snaga horizontalnog solarnog modula i vertikalnih solarnih modula orijentisanih ka istoku i zapadu izmerena je u junu i iznosila je 48,63 W, 40,23 W i 40,40 W, respektivno. Maksimalna snaga optimalno orijentisanog solarnog modula izmerena je u martu (51,1 W), a vertikalnog solarnog modula orijentisanog ka jugu izmerena je u februaru (46,72 W);
- u jutarnjim časovima vrednosti napona otvorenog kola,  $U_{ok}$ , pet različito orijentisanih solarnih modula su veće od vrednosti  $U_{ok}$  solarnih modula u večernjim časovima, zbog više temperature ambijenta i temperature solarnih modula u popodnevnom časovima. Sa povećanjem intenziteta Sunčevog zračenja koje dospeva na površinu različito orijentisanih solarnih modula dolazi do povećanja njihove temperature i do porasta termalnih vibracija atoma kristalne rešetke materijala od koga su napravljene solarne ćelije, čime se sputava usmereno kretanje nosioca naelektrisanja što dovodi do smanjenja napona otvorenog kola;
- vrednosti struje kratkog spoja  $I_{ks}$  različito orijentisanih solarnih modula menjaju se na isti način kao i vrednosti  $I_{mpp}$  solarnih modula;
- najveće dnevne vrednosti fil faktora  $FF$  horizontalnog, optimalno orijentisanog i vertikalnog solarnog modula orijentisanog ka jugu izmerene su u jutarnjim i kasnim popodnevnom časovima, a najmanje vrednosti odgovaraju najvećim dnevnim vrednostima intenziteta Sunčevog zračenja koje dosepeva na površinu solarnih modula i



najvećim vrednostima temperature solarnih modula. Najveće srednje dnevne vrednosti fil faktora horizontalnog, optimalno orijentisanog i vertikalnih solarnih modula orijentisanih ka istoku i zapadu izmerene su u decembru (88,7%, 69,6%, 77,7% i 89,7%, respektivno). Najveća srednja dnevna vrednost fil faktora vertikalnog solarnog modula orijentisanog ka jugu izmerena je u maju (75,7%).

- dnevne vrednosti energetske efikasnosti horizontalnog i optimalno orijentisanog solarnog modula najveće su u ranim jutarnjim i kasnim popodnevним časovima, a najmanje vrednosti odgovaraju Sunčevom podnevu i najvećoj temperaturi solarnih modula. Najveće dnevne vrednosti energetske efikasnosti horizontalnog i optimalno orijentisanog solarnog modula izmerene su u februaru (najhladniji dan i najmanje temperature solarnih modula), a najmanje u avgustu kada su izmerene najveće temperature ambijenta i najveće temperature solarnih modula.
- u hladnim zimskim mesecima najveće dnevne vrednosti energetske efikasnosti vertikalnog solarnog modula orijentisanog ka jugu izmerene su u ranim jutarnjim i kasnim popodnevним časovima, a najmanje vrednosti odgovaraju Sunčevom podnevu. U toplim letnjim mesecima najveće dnevne vrednosti energetske efikasnosti vertikalnog solarnog modula orijentisanog ka jugu odgovaraju sunčevom podnevu, a najmanje vrednosti izmerene su u ranim jutarnjim i kasnim popodnevним časovima.
- Najveća vrednost srednje dnevne energetske efikasnosti horizontalnog, optimalnog i vertikalnog solarnog modula bila je u februaru 12,9%, 14,3% i 14,5%, respektivno.

#### Generalni zaključak

- U toku 2013. godine pomoću solarnih modula od monokristalnog silicijuma snage 60 Wp postavljenih pod optimalnim uglom, horizontalno i vertikalno prema jugu, istoku i zapadu dobijeno je 62,9 kWh, 58,1 kWh, 43,9 kWh, 25,7 kWh i 22,9 kWh električne energije, respektivno.
- U 2013. godini je pomoću horizontalnog i vertikalnih solarnih modula orijentisanih prema jugu, istoku i zapadu dobijeno 92,4%, 69,8%, 40,9% i 36,4% električne energije, respektivno, u odnosu na električnu energiju koja je dobijena pomoću optimalno orijentisanog solarnog modula.
- Najveću prosečnu vrednost energetske efikasnosti u toku 2013. godine imao je vertikalni solarni modul orijentisan ka jugu (10,9%), zatim horizontalni solarni modul (10,6%) i na kraju optimalno orijentisan solarni modul (10,2%).

#### *Primena dobijenih rezultata*

- Rezultati proučavanja energetske efikasnosti solarnih modula u zavisnosti od njihove geografske orijentacije, ugla nagiba i njihove temperature u realnim klimatskim uslovima u Srbiji mogu se primeniti za projektovanje krovnih i fasadnih PV sistema

na postojećim i novim stambenim i drugim građevinskim objektima u Srbiji, što je od velikog značaja za smanjenje opterećenja postojećih izvora električne energije.

- na osnovu eksperimentalnih rezultata može se izvršiti procena smanjenja emisije CO<sub>2</sub> gasova na godišnjem nivou i ekonomske isplativosti PV sistema u savremenoj arhitekturi.



## PUBLIKOVANI RADOVI KANDIDATA

### a) Radovi u vrhunskom međunarodnom časopisu M21a (10)

- a1. T. Pavlović, I. Radonjić, D. Milosavljević, L. Pantić, *A review of concentrating solar power plants in the world and their potential use in Serbia*, Renewable and Sustainable energy Review, Vol. 16 (2012), Issue 6, pp. 3891-3902, doi:10.1016/j.rser.2012.03.042.
- a2. T. Pavlović, D. Milosavljević, D. Mirjanić, L. Pantić, I. Radonjić, D. Piršl, *Assessments and perspectives of PV solar power engineering in the Republic of Srpska (Bosnia and Herzegovina)*, Renewable and Sustainable energy Review, Vol.18 (2013), pp.119-133, doi:10.1016/j.rser.2012.10.007.
- a3. T. Pavlović, D. Milosavljević, I. Radonjić, L. Pantić, A. Radivojević, M. Pavlović, *Possibility of electricity generation using PV solar plants in Serbia*, Renewable and Sustainable energy Review, Vol. 20 (2013), pp. 201-218, doi: 10.1016/j.rser.2012.11.070.

### b) Rad u vrhunskom međunarodnom časopisu M21 (8)

- b1. Lana S. Pantić, Tomislav M. Pavlović, Dragana D. Milosavljević, Ivana S. Radonjić, Miodrag K. Radović, Galina Sazhko, *The assessment of different models to predict solar module temperature, output power and efficiency for Nis, Serbia*, Energy, 109 (2016), pp. 38-48, DOI:10.1016/j.energy.2016.04.090.

### c) Radovi u međunarodnom časopisu M23 (3)

- c1. L. S. Pantić, T. M. Pavlović, D. D. Milosavljević, D. Lj. Mirjanić, I. S. Radonjić, Radović Miodrag K., *Electrical energy generation with differently oriented PV modules as façade elements*, Thermal Science, 20 (2016), 4, pp. 1377-1386, DOI:10.2298/TSCI150123157P.
- c2. I. S. Radonjić, T. M. Pavlović, D. Lj. Mirjanić, M. K. Radović, D. D. Milosavljević, L. S. Pantić, *Investigation of the impact of atmospheric pollutants on solar module energy efficiency*, Thermal Science, 2016, doi:10.2298/TSCI160408176R in press.
- c3. L. Pantić, T. Pavlović, D. Milosavljević, *A practical field study of performances of solar modules at various positions in Serbia*, Thermal Science (2015) Vol.19, Suppl.2, pp. 511-523, DOI:10.2298/TSCI140313081P.
- c4. A. Radivojević, T. M. Pavlović, D. D. Milosavljević, A. Djordjević, M. Pavlović, I. Filipović, L. S. Pantić, M. Radovanović, *Influence of climate and air pollution on solar energy development in Serbia*, Thermal Science, 2015, Vol. 19, Suppl. 2, pp. S311-S322, DOI:10.2298/TSCI150108032R, <http://www.doiserbia.nb.rs/Article.aspx?id=0354-98361500032R>.

- c5. T. Pavlović, I. Radonjić, D. Milosavljević, L. Pantić, D. Piršl, *Assessment and potential use of concentrating solar power plants in Serbia and Republic of Srpska*, Thermal Science, Vol. 16 (2012), No. 3, pp. 931-945, doi:10.2298/TSCII11027100P.

**d) Radovi u zbornicima sa međunarodnih naučnih skupova M33 (1)**

- d1. T. Pavlovic, Lj. Kostic, Z. Pavlovic, L. Pantic, *Physical Characteristics of PV/Thermal Collector*, Proceedings of 3<sup>rd</sup> International Workshop on teaching in photovoltaics, Prag, 2006, pp. 87-90.
- d2. T. Pavlovic, Lj. Kostic, Z. Pavlovic, L. Pantic, *Measurements of electrical characteristics of PV/Thermal Collector*, Proceedings of 3<sup>rd</sup> International Workshop on teaching in photovoltaics, Prag, 2006, pp.81-86.
- d3. I. Radonjić, T. Pavlović, D. Milosavljević, D. Mirjanić, L. Pantić, D. Piršl, *Influence of Different Types of Dust on PV Modules Energy Efficiency*, Proceedings of 1st Virtual International Conference on Science, Technology and Management in Energy “eNergetics 2015”, Research and Development Center “ALFATEC”, Niš, Serbia, pp. 94-99, 2015., ISBN: 978-86-80593-54-8.
- d4. T. Pavlović, L. Pantić, D. Mirjanić, D. Milosavljević, D. Piršl, *Energy efficiency of differently oriented solar modules in Serbia*, Proceedings of Scientific Conference UNITECH 2014, Gabrovo, 2014, 329-335.
- d5. L. S. Pantić, T. M. Pavlović D. D. Milosavljević, D. Lj. Mirjanić, D. S. Piršl, *Physical characteristics of geographically differently oriented solar modules in Niš (Republic of Serbia)*, Proceedings of International Conference, Energy efficient equipment and technology in housing and communal services, O.M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv, Kharkiv, 2014, 103-108.
- d6. D. Milosavljević, T. Pavlović, D. Mirjanić, L. Pantić, D. Piršl, *Solar energy in Serbia and Republic of Srpska*, Proceedings of International Conference, Energy efficient equipment and technology in housing and communal services, O.M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv, Kharkiv, 2014, 109-114.

**e) Monografska bibliografska publikacija M43 (3)**

- e1. T. Pavlović, Z. Pavlović, Lj. Kostić, S. Jovanović, L. Pantić, R. Stojiljković, *Obnovljivi izvori energije - Vodič za praktičnu primenu*, Regionalna privredna komora, Niš 2008, 70 str.

**f) Nacionalne monografije i tematski zbornici M44 (2)**

- f1. T. Pavlović, Z. Pavlović, Lj. Kostić, L. Pantić, *Nel Laboratorio di energia solare Dell' Università di Nis, 21-46, EFFICIENZA ENERGETICA E CONSAPEVOLEZZA AMBIENTALE TRA SERBIA E MOLISE*, Molise, Italia, (ISBN 987-88102-14-6), (p.168), 2008.

### **g) Radovi u časopisu *Contemporary Materials* M51 (2 boda)**

- g1. T. Pavlović, D. Milosavljević, D. Mirjanić, L. Pantić and D. Pirsl, *Assessment of the possibilities of building integrated PV systems of 1 kW electricity generation in Banja Luka*, *Contemporary Materials*, III-2, 2012, pp. 167-176, doi: 10.7251/COMEN1202167P, UDK 621.316.57:621.313.322(497.6).
- g2. T. Pavlović, D. Milosavljević, D. Mirjanić, I. Radonjić, L. Pantić and D. Pirsl, *Analyses of PV systems of 1 kW electricity generation in Bosnia and Herzegovina*, *Contemporary Materials (Renewable energy sources)*, II-2, 2011, pp. 123-138, doi:10.5767/anurs.cmat.110202.en.123P, UDK 620.92:621.313.5.025.4.
- g3. T. Pavlović, D. Milosavljević, I. Radonjić, L. Pantić and A. Radivojević, *Application of solar cells of different materials in PV solar plants of 1MW in Banjaluka*, *Contemporary Materials (Renewable energy sources)*, II-2, 2011, pp. 155-163, doi:10.5767/anurs.cmat.110202.en.155P, UDK 620.92:523.9(497.6 BANJA LUKA).
- g4. T. Pavlović, Z. Pavlovic, L. Pantic, Lj. Kostic, *Determining optimum tilt angles and orientations of photovoltaic panels in Nis, Serbia*, *Contemporary Materials I-2* (2010), pp. 151-156 (UDK 694:547.281:66.094).
- g5. Dragoljub Mirjanić, Siniša Maksimović, Darko Divnić, Tomislav Pavlović, Lana Pantić, Dragana Milosavljević, *Investigation of energy efficiency of polycrystalline silicon solar modules in relation to their geographical orientation and tilt angle*, *Contemporary Materials (Renewable energy sources)*, VI-2 (2015), pp 87-94, doi: 10.7251/COMEN1502087M.

### **h) Radovi u vodećem časopisu nacionalnog značaja M51 (2)**

- h1. Lana P., Tomislav P., *Determination of physical characteristics of horizontally positioned solar module in real climate conditions in Nis, Serbia*, *Facta Universitatis, Series Physics, Chemistry and Technology*, 2016, in press.
- h2. T. Pavlović, L. Pantić, Z. Pavlović, Lj. Kostic, R. Stojiljković, M. Utvić, *Fizičke karakteristike hibridnog kolektora sa solarnim ćelijama od monokristalnog silicijuma*, *Energetske tehnologije*, 2-3, 2007, pp. 10-12.
- h3. T. Pavlović, R. Stojiljković, Z. Pavlović, Lj. Kostic, L. Pantić, M. Utvić, *Toplotne karakteristike ravnog kolektora sa spektralno selektivnim apsorberom*, *Energetske tehnologije*, 2-3, 2007, pp. 7-9.

### **i) Saopštenja sa skupa nacionalnog značaja štampano u celini M63 (0,5)**

- i1. T. M. Pavlović, L. S. Pantić, D. Lj. Mirjanić, D. D. Milosavljević, *Proučavanje energetske efikasnosti solarnih modula od monokristalnog silicijuma u zavisnosti od njihove geografske orijentacije i ugla nagiba*, *Zbornik radova XII Kongresa fizičara Srbije, Društvo fizičara Srbije, Beograd*, 2013, str. 440-443, ISBN 978-86-86169-08-2.
- i2. T. M. Pavlović, D. D. Milosavljević, D. Lj. Mirjanić, L. S. Pantić, *Proučavanje energetske efikasnosti solarnih elektrana od 2kW na Prirodno-matematičkom fakultetu u Nišu i*

*Akademiji nauka i umjetnosti Republike Srpske u Banjoj Luci, Zbornik radova XII Kongresa fizičara Srbije, Društvo fizičara Srbije, Beograd, 2013, str. 436-439, ISBN 978-86-86169-08-2.*

## **UČEŠĆE NA PROJEKTIMA**

### **A) Projekti koje finansira Ministarstvo prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije**

A1. *Razvoj i ispitivanje toplotnog i hibridnog kolektora sa koncentrisanim sunčevim zračenjem*, EE-273009B, 2007-2008, Ministarstvo prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije, rukovodilac: prof. dr Tomislav M. Pavlović, istraživač: L. Pantić.

A2. *Ispitivanje energetske efikasnosti fotonaponske solarne elektrane od 2kW*, TR 33009, 2011-2014, Ministarstvo prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije, rukovodilac: prof. dr Tomislav M. Pavlović, istraživač: L. Pantić.

### **B) Međunarodni projekti**

B1. *Energetic efficiency and environmental awareness E.CO.LOC.. Experimentation and training for a selfsustainable local development*, Adriatic New Neighbourhood Programme INTERREG/CARDS-PHARE, European Agency for Reconstruction (Уговор бр. 04 SER 02/05/002). Rukovodilac projekta: prof. dr A. Tarozzi, Univerzitet u Molizi, Italija, istraživač: L. Pantić.

B2. *Ispitivanje energetske efikasnosti fotonaponske solarne elektrane od 2kW*, 2011-2015, Ministarstvo nauke i tehnologije Republike Srpske, rukovodilac projekta: akademik prof. dr Dragoljub Mirjanić, Akademija nauka i umjetnosti Republike Srpske, istraživač: L. Pantić.

## BIOGRAFIJA

### LANE S. PANTIĆ RANĐELOVIĆ

**asistenta na Prirodno-matematičkom fakultetu Univerziteta u Nišu**

Lana Pantić Ranđelović je rođena u Nišu, 4. oktobra 1980. godine, gde je završila osnovnu školu i prirodno-matematički smer gimnazije Stevan Sremac sa odličnim uspehom.

Studije fizike upisala je školske 1999/2000. godine na Odseku za fiziku (smer: primenjena fizika) Prirodno-matematičkog fakulteta u Nišu, gde je diplomirala 25. decembra 2005. godine sa prosečnom ocenom 8.87 i ocenom 10 na diplomskom ispitu.

Doktorske akademske studije fizike na Odseku za fiziku, na Prirodno-matematičkom fakultetu u Nišu, upisala je školske 2005/2006. godine. Na doktorskim studijama položila je sve ispite sa prosečnom ocenom 9.88.

U zvanje istraživač-pripravnik na Prirodno-matematičkom fakultetu u Nišu izabrana je decembra 2006. U zvanje asistent na Prirodno-matematičkom fakultetu u Nišu izabrana je aprila 2009. godine i reizabrana decembra 2013. godine.

L. Pantić Ranđelović je na Departmanu za fiziku Prirodno-matematičkog fakulteta u Nišu bila angažovana u nastavi za izvođenje vežbi iz predmeta Statistička Fizika, Fizika materijala, Metrologija i obrada rezultata merenja, Fizika atmosfere, Nastavna sredstva u fizici, Fizika na Studijskom programu Biologija, Fizika na Studijskom programu Geografija, Fizika na Studijskom programu Hemija.

L. Pantić Ranđelović je više puta učestvovala na Festivalu „Nauk nije bauk“ u organizaciji Gimnazije „Svetozar Marković“ iz Niša i na manifestaciji „Dani Sunca“ u organizaciji ETŠ „Nikola Tesla“ iz Niša sa ciljem promocije nauke i fizike.

L. Pantić Ranđelović je učestvovala u realizaciji jednog naučno-istraživačkog projekta koje je finansiralo Ministarstvo za nauku i zaštitu životne sredine Republike Srbije (EE273009B, 2007-2008). Sada učestvuje u realizaciji naučno-istraživačkog projekta (TR33009, 2011/2016) koji finansira Ministarstvo prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije. L. Pantić Ranđelović je učestvovala u realizaciji međunarodnog projekta (E.CO.LOC. 2007/2008) koji je finansiran od strane European Agency for Reconstruction i projekta pod nazivom *Ispitivanje energetske efikasnosti fotonaponske solarne elektrane od 2kW*, 2011-2015, koje je finansiralo Ministarstvo nauke i tehnologije Republike Srpske.



U sledećoj tabeli je dat pregled objavljenih radova i koeficijent naučne kompetentnosti Lane Pantić Randelović

**Koeficijent naučne kompetentnosti:**

<b>Kategorija</b>	<b>Broj publikacija</b>	<b>Broj poena</b>
M21a (10 poena)	3	30
M21 (8 poena)	1	8
M23 (3 poena)	5	15
M33 (1 poen)	6	6
M43 (3 poena)	1	3
M44 (2 poena)	1	2
M51 (2 poena)	8	16
M63 (0.5 poena)	2	1
<b>Ukupno</b>	<b>27</b>	<b>81</b>

Prema kriterijumima Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Lana Pantić Randelović ima koeficijent naučne kompetentnosti od **81** poena. Prema podacima iz baze podataka *Google Scholar* radovi Lane S. Pantić Randelović su citirani **195** puta do 30.12.2016.



Прилог 1.

### ИЗЈАВА О АУТОРСТВУ

Изјављујем да је докторска дисертација, под насловом  
ПРОУЧАВАЊЕ ЕНЕРГЕТСКЕ ЕФИКАСНОСТИ СОЛАРНИХ МОДУЛА У ЗАВИСНОСТИ ОД  
ЊИХОВЕ ГЕОГРАФСКЕ ОРИЈЕНТАЦИЈЕ, УГЛА НАГИБА И ЊИХОВЕ ТЕМПЕРАТУРЕ У  
РЕАЛНИМ КЛИМАТСКИМ УСЛОВИМА У НИШУ

- резултат сопственог истраживачког рада,
- да предложена дисертација, ни у целини, ни у деловима, није била предложена за добијање било које дипломе, према студијским програмима других високошколских установа,
- да су резултати коректно наведени и
- да нисам кршио/ла ауторска права, нити злоупотребио/ла интелектуалну својину других лица.

У Нишу, 17.01.2017.

Аутор дисертације:

ЛАНА ПАНТИЋ РАНЂЕЛОВИЋ

Потпис докторанда:

Lana Pantić Ranđelović



Прилог 2.

**ИЗЈАВА О ИСЛОВЕТНОСТИ ШТАМПАНЕ И ЕЛЕКТРОНСКЕ ВЕРЗИЈЕ ДОКТОРСКЕ  
ДИСЕРТАЦИЈЕ**

Име и презиме аутора:  
Лана Пантић Ранђеловић

Студијски програм:  
Физика

Наслов рада:  
ПРОУЧАВАЊЕ ЕНЕРГЕТСКЕ ЕФИКАСНОСТИ СОЛАРНИХ МОДУЛА У ЗАВИСНОСТИ ОД ЊИХОВЕ ГЕОГРАФСKE  
ОРИЈЕНТАЦИЈЕ, УГЛА НАГИБА И ЊИХОВЕ ТЕМПЕРАТУРЕ У РЕАЛНИМ КЛИМАТСКИМ УСЛОВИМА У НИШУ

Ментор:  
Проф. др Томислав М. Павловић

Изјављујем да је штампана верзија моје докторске дисертације истоветна електронској верзији, коју сам предао/ла за уношење у **Дигитални репозиторијум Универзитета у Нишу**.

Дозвољавам да се објаве моји лични подаци, који су у вези са добијањем академског звања доктора наука, као што су име и презиме, година и место рођења и датум одбране рада, и то у каталогу Библиотеке, Дигиталном репозиторијуму Универзитета у Нишу, као и у публикацијама Универзитета у Нишу.

у Нишу, 17.01.2017.

Аутор дисертације:  
ЛАНА ПАНТИЋ РАНЂЕЛОВИЋ

Потпис докторанда:

Лана Пантић Ранђеловић



**Прилог 3.**

**ИЗЈАВА О КОРИШЋЕЊУ**

Овлашћујем Универзитетску библиотеку „Никола Тесла“ да, у Дигитални репозиторијум Универзитета у Нишу, унесе моју докторску дисертацију, под насловом:

ПРОУЧАВАЊЕ ЕНЕРГЕТСКЕ ЕФИКАСНОСТИ СОЛАРНИХ МОДУЛА У ЗАВИСНОСТИ ОД ЊИХОВЕ ГЕОГРАФСKE ОРИЕНТАЦИЈЕ, УГЛА НАГИБА И ЊИХОВЕ ТЕМПЕРАТУРЕ У РЕАЛНИМ КЛИМАТСКИМ УСЛОВИМА У НИШУ

која је моје ауторско дело.

Дисертацију са свим прилозима предао/ла сам у електронском формату, погодном за трајно архивирање.

Моју докторску дисертацију, унету у Дигитални репозиторијум Универзитета у Нишу, могу користити сви који поштују одредбе садржане у одабраном типу лиценце Креативне заједнице (Creative Commons), за коју сам се одлучио/ла.

1. Ауторство
2. Ауторство – некомерцијално
- ③ Ауторство – некомерцијално – без прераде
4. Ауторство – некомерцијално – делити под истим условима
5. Ауторство – без прераде
6. Ауторство – делити под истим условима

(Молимо да подвучете само једну од шест понуђених лиценци; кратак опис лиценци је у наставку текста).

У Нишу, 17.01.2017

Аутор дисертације:

ЛАНА ПАНТИЋ ПАНЂЕЛОВИЋ

Потпис докторанда:

Lana Pantić Panđelović

## ТИПОВИ ЛИЦЕНЦИ

1. Ауторство. Дозвољавање умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, и прераде, ако се наведе име аутора, на начин одређен од аутора или даваоца лиценце, чак и у комерцијалне сврхе. Ово је најслободнија од свих лиценци (CC BY 3.0).

2. Ауторство – некомерцијално. Дозвољавање умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, и прераде, ако се наведе име аутора, на начин одређен од аутора или даваоца лиценце. Ова лиценца не дозвољава комерцијалну употребу дела (CC BY-NC 3.0).

3. Ауторство – некомерцијално – без прераде. Дозвољавање умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, без промена, преобликовања или употребе вашег дела у делима других аутора, ако се наведе име аутора, на начин одређен од аутора или даваоца лиценце. Ова лиценца не дозвољава комерцијалну употребу дела. У односу на све остале лиценце, овом лиценцом се ограничава највећи обим права коришћења дела (CC BY-NC-ND 3.0).

4. Ауторство – некомерцијално – делити под истим условима. Дозвољавање умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, и прераде, ако се наведе име аутора, на начин одређен од аутора или даваоца лиценце, и ако се прерада дистрибуира под истом или сличном лиценцом. Ова лиценца не дозвољава комерцијалну употребу дела и прераде (CC BY-NC-SA 3.0).

5. Ауторство – без прераде. Дозвољавање умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, без промена, преобликовања или употребе вашег дела у делима других аутора, ако се наведе име аутора, на начин одређен од аутора или даваоца лиценце. Ова лиценца дозвољава комерцијалну употребу дела (CC BY-ND 3.0).

6. Ауторство – делити под истим условима. Дозвољавање умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, и прераде, ако се наведе име аутора, на начин одређен од аутора или даваоца лиценце, и ако се прерада дистрибуира под истом или сличном лиценцом. Ова лиценца дозвољава комерцијалну употребу дела и прерада. Слична је софтверским лиценцама, односно лиценцама отвореног кода (CC BY-SA 3.0).