

UNIVERZITET U NIŠU
PRIRODNO – MATEMATIČKI FAKULTET
Departman za fiziku

Dragana D. Milosavljević

**PROUČAVANJE ENERGETSKE EFIKASNOSTI
SOLARNIH ELEKTRANA
U REPUBLICI SRBIJI I REPUBLICI SRPSKOJ**

– doktorska disertacija –

Mentor: Akademik Tomislav M. Pavlović

Niš, 2013. godina



**ПРИРОДНО - МАТЕМАТИЧКИ ФАКУЛТЕТ
НИШ**

КЉУЧНА ДОКУМЕНТАЦИЈСКА ИНФОРМАЦИЈА

Редни број, РБР:	
Идентификациони број, ИБР:	
Тип документације, ТД:	монографска
Тип записа, ТЗ:	текстуални / графички
Врста рада, ВР:	докторска дисертација
Аутор, АУ:	Драгана М. Милосављевић
Ментор, МН:	Томислав М. Павловић
Наслов рада, НР:	ПРОУЧАВАЊЕ ЕНЕРГЕТСКЕ ЕФИКАСНОСТИ СОЛАРНИХ ЕЛЕКТРАНА У РЕПУБЛИЦИ СРБИЈИ И РЕПУБЛИЦИ СРПСКОЈ
Језик публикације, ЈП:	српски
Језик извода, ЈИ:	енглески
Земља публикавања, ЗП:	Србија
Уже географско подручје, УГП:	Србија
Година, ГО:	2013.
Издавач, ИЗ:	ауторски репринт
Место и адреса, МА:	Ниш, Вишеградска 33.
Физички опис рада, ФО: (поглавља/страна/ цитата/табела/слика/графика/прилога)	245 стр., граф. прикази
Научна област, НО:	физика
Научна дисциплина, НД:	експериментална физика
Предметна одредница/Кључне речи, ПО:	Соларна енергетика, фотонапонска конверзија Сунчевог зрачења, соларне електране
УДК	502.21 : 523.9 : 621.311.243(497.11)(497.6)
Чува се, ЧУ:	библиотека
Важна напомена, ВН:	Мерења су извршена у Лабораторији за соларну енергетику ПМФ-а у Нишу и АНУРС-а у Бањој Луци
Извод, ИЗ:	У раду су дате основне информације о Сунчевом зрачењу, соларним ћелијама, соларним електранама и рачунарским софтверима за одређивање потенцијала Сунчевог зрачења и енергетске ефикасности соларних електрана. Поред овога дати су резултати теоријске анализе енергетске ефикасности различитих типова соларних електрана са соларним ћелијама од различитих материјала у 23 града на територији Републике Србије и 13 градова на територији Републике Српске. У раду су дати и резултати експерименталног одређивања енергетске ефикасности соларне електране од 2 kWp на ПМФ-у у Нишу и соларне електране од 2 kWp на крову Академије наука и умјетности Републике Српске у Бањој Луци у зависности од реалних климатских услова. У прилогу је дата законска регулатива у вези са коришћењем обновљивих извора енергије у Републици Србији и Републици Српској.

Датум прихватања теме, ДП:	08.04.2013. године
Датум одбране, ДО:	
Чланови комисије, КО:	Председник:
	Члан:
	Члан:
	Члан:
	Члан, ментор:

Образац Q4.09.13 - Издање 1



**ПРИРОДНО - МАТЕМАТИЧКИ ФАКУЛТЕТ
НИШ**

KEY WORDS DOCUMENTATION

Accession number, ANO :	
Identification number, INO :	
Document type, DT :	monograph
Type of record, TR :	textual / graphic
Contents code, CC :	doctoral dissertation
Author, AU :	Dragana D. Milosavljević
Mentor, MN :	Tomislav M. Pavlović
Title, TI :	THE STUDY OF ENERGY EFFICIENCY OF PV SOLAR POWER PLANTS IN THE REPUBLIC OF SERBIA AND THE REPUBLIC OF SRPSKA
Language of text, LT :	Serbian
Language of abstract, LA :	English
Country of publication, CP :	Serbia
Locality of publication, LP :	Serbia
Publication year, PY :	2013
Publisher, PB :	author's reprint
Publication place, PP :	Niš, Višegradska 33.
Physical description, PD : (chapters/pages/ref./tables/pictures/graphs/appendixes)	245 p. ; graphic representations
Scientific field, SF :	physics
Scientific discipline, SD :	experimental physics
Subject/Key words, S/KW :	Solar energy, photovoltaic conversion of solar radiation, PV solar power plants
UC	502.21 : 523.9 : 621.311.243(497.11)(497.6)
Holding data, HD :	library
Note, N :	Measurements were performed at Solar Energy Laboratory at the Faculty of Science and Mathematics in Niš and at the Academy of Sciences and Arts of the Republic of Srpska.
Abstract, AB :	Doctoral dissertation gives basic information on Solar radiation, solar cells, solar power plants and softwares for the determination of Solar radiation potential and solar power plants energy efficiency. In addition, dissertation also gives results of the theoretical analysis of the energy efficiency of different types of solar power plants with solar cells made of different materials in 23 towns on the territory of the Republic of Serbia and 13 towns on the territory of the Republic of Srpska. Dissertation also shows the results of the experimental determination of energy efficiency of the solar power plant of 2 kWp at the Faculty of Sciences and Mathematics and solar power plant of 2 kWp on the roof of the Academy of Sciences and Arts of the Republic of Srpska in Banja Luka depending on the real climate conditions. Enclosing one can find the legislature stipulating the use of renewable sources of energy in the Republic of Serbia and the Republic of Srpska.

Accepted by the Scientific Board on, ASB:	08.04.2013.
Defended on, DE:	
Defended Board, DB:	President:
	Member:
	Member:
	Member:
	Member, Mentor:

Образац Q4.09.13 - Издање 1

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

Posebno se zahvaljujem akademiku Dragoljubu Mirjaniću, akademiku Jovanu Šetrajčiću, prof. dr Draganu Gajiću i prof. dr Zoranu Stajiću na nesebičnoj pomoći, korisnim predlozima i savetima prilikom izrade doktorske disertacije.

Zahvaljujem se prof. dr Marku Petkoviću, doc. dr Mariji Milošević, doc. dr Danici Piršl i Nenadu Milojeviću na korisnim savetima i prijateljstvu.

Toplo se zahvaljujem Slavici Jovanović, stručnom saradniku u Laboratoriji za solarnu energetiku PMF-a u Nišu i saradnicima u IRC Alfatec u Nišu i Laboratoriji za solarnu energetiku ANURS-a u Banjoj Luci.

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 izradi doktorske disertacije.

Beskrajnu zahvalnost dugujem svojim roditeljima, Mirjani i Dragoslavu, na neizmernoj podršci, razumevanju i ljubavi koju su mi pružali tokom čitavog mog života i rada.

Neizmernu zahvalnost dugujem svom suprugu Stevanu Todoroviću na podršci, strpljenju, razumevanju i ljubavi.

SADRŽAJ

UVOD	1
PRVO POGLAVLJE	
FOTONAPONSKA KONVERZIJA SUNČEVOG ZRAČENJA	9
1.1 Sunčevo zračenje	11
1.1.1. Ekstraterestrično Sunčevo zračenje	12
1.1.2. Terestrično Sunčevo zračenje	13
1.2. Solarne ćelije	21
1.2.1. Solarne ćelije od monokristalnog silicijuma	25
1.2.2. CdTe solarne ćelije	28
1.2.3. CIS solarne ćelije	28
1.3. Solarne elektrane	30
1.3.1. Fiksna solarna elektrana	33
1.3.2. Jednoosno rotaciona solarna elektrana	34
1.3.3. Dvoosno rotaciona solarna elektrana	35
1.4. Računarski softveri za određivanje potencijala Sunčevog zračenja i energetske efikasnosti solarnih elektrana	37
1.4.1. PVGIS	37
1.4.2. RETScreen	39
1.4.3. Homer	40
1.5. Karakteristični parametri solarne elektrane	41
1.5.1. Energetska efikasnost solarne elektrane	41
1.5.2. Specifični prinos solarne elektrane	42
1.5.3. Odnos performansi sistema	42
1.5.4. Kapacitet solarne elektrane	43
Literatura	43
DRUGO POGLAVLJE	
TEORIJSKA ANALIZA ENERGETSKE EFIKASNOSTI SOLARNIH ELEKTRANA NA TERITORIJI REPUBLIKE SRBIJE I REPUBLIKE SRPSKE	49
2.1. Teorijska analiza energetske efikasnosti solarnih elektrana na teritoriji Republike Srbije	51
2.1.1. Geografski položaj i klima Republike Srbije	51
2.1.2. Potencijal Sunčevog zračenja u Republici Srbiji	54
2.1.3. Rezultati	54
2.1.3.1. Rezultati izračunavanja energije Sunčevog zračenja pomoću PVGIS programa	55

2.1.3.2.	Rezultati komparacije energije Sunčevog zračenja dobijenog pomoću PVGIS, RETScreen i Homer programa sa vrednostima energije Sunčevog zračenja iz Hidrometeorološkog Zavoda Republike Srbije.....	58
2.1.3.3.	Rezultati teorijskog određivanja iznosa električne energije koja se dobija pomoću solarnih elektrana na teritoriji Republike Srbije pomoću PVGIS programa.	65
2.1.3.4.	Rezultati teorijskog određivanja iznosa električne energije fiksnih solarnih elektrana od 1 kW pomoću Homer programa na teritoriji Republike Srbije korišćenjem različitih baza podataka za energiju Sunčevog zračenja	71
2.2.	Teorijska analiza energetske efikasnosti solarnih elektrana na teritoriji Republike Srpske	77
2.2.1.	Geografski položaj i klima Republike Srpske	77
2.2.2.	Rezultati	83
2.2.2.1.	Rezultati izračunavanja energije Sunčevog zračenja pomoću PVGIS programa.....	84
2.2.2.2.	Rezultati teorijskog određivanja iznosa električne energije koja se dobija pomoću solarnih elektrana na teritoriji Republike Srpske pomoću PVGIS programa	92
	Literatura	97

TREĆE POGLAVLJE

TEORIJSKO I EKSPERIMENTALNO ODREĐIVANJE ENERGETSKE EFIKASNOSTI SOLARNIH ELEKTRANA NA PMF-U U NIŠU I ANURS-U U BANJOJ LUCI

99

3.1.	Teorijsko i eksperimentalno određivanje energetske efikasnosti solarne elektrane od 2 kW na PMF-u u Nišu	101
3.1.1.	Rezultati teorijskog određivanja energetske efikasnosti solarne elektrane od 2 kW pomoću PVGIS programa	102
3.1.2.	Eksperiment	105
3.1.2.1.	Solarna elektrana od 2 kW na PMF-u u Nišu	105
3.1.2.2.	Merenje meteoroloških parametara	111
3.1.2.3.	Merenje električnih parametara solarne elektrane od 2 kW	111
3.1.3.	Rezultati eksperimentalnog određivanja energetske efikasnosti solarne elektrane od 2 kW	112
3.1.4.	Upoređivanje teorijskih i eksperimentalnih rezultata određivanja energetske efikasnosti solarne elektrane od 2 kW	120
3.1.5.	Ekološki značaj i ekonomska isplativost solarne elektrane od 2 kW na PMF-u u Nišu	124
3.2.	Teorijsko i eksperimentalno određivanje energetske efikasnosti solarne elektrane od 2 kW na ANURS-u u Banjoj Luci	124
3.2.1.	Rezultati teorijskog određivanja energetske efikasnosti solarne elektrane od 2 kW na ANURS-u u Banjoj Luci pomoću PVGIS programa	125
3.2.2.	Eksperiment	128
3.2.2.1.	Solarna elektrana od 2 kW na ANURS-u u Banjoj Luci	128

3.2.2.2.	Merenje meteoroloških i električnih parametara solarne elektrane od 2 kW na ANURS-u u Banjoj Luci	133
3.2.3.	Rezultati eksperimentalnog određivanja energetske efikasnosti solarne elektrane od 2 kW na ANURS-u u Banjoj Luci	133
3.2.4.	Upoređivanje teorijskih i eksperimentalnih rezultata određivanja energetske efikasnosti solarne elektrane od 2 kW na ANURS-u u Banjoj Luci	141
3.2.5.	Ekološki značaj i ekonomska isplativost solarne elektrane od 2 kW na ANURS-u u Banjoj Luci	144
3.3.	Upoređivanje eksperimentalnih rezultata određivanja energetske efikasnosti solarne elektrane od 2 kW na PMF-u u Nišu i ANURS-u u Banjoj Luci.....	144
	Literatura	146
	ZAKLJUČAK	147

PRILOG

ZAKONSKA REGULATIVA U VEZI SA KORIŠĆENJEM OBNOVLJIVIH IZVORA ENERGIJE U REPUBLICI SRBIJI I REPUBLICI SRPSKOJ

155

4.1.	Zakonska regulativa u vezi sa korišćenjem obnovljivih izvora energije u Republici Srbiji	157
4.2.	Zakonska regulativa u vezi sa korišćenjem obnovljivih izvora energije u Republici Srpskoj	167
	Literatura	170

	PUBLIKOVANI RADOVI KANDIDATA (A)	171
--	---	------------

BIOGRAFIJA DRAGANE D. MILOSAVLJEVIĆ

UVOD

U najznačajniji obnovljivi izvor energije spada Sunce koje skoro pet milijardi godina pokreće i održava život na Zemlji. Pored neposrednog zagrevanja Zemljine površine, Sunčevo zračenje dovodi do stalnog obnavljanja energije vetra, morskih struja i talasa, vodenih tokova i termalnog gradijenta u okeanima. Energija Sunčevog zračenja je više nego dovoljna da zadovolji sve energetske potrebe u svetu. Sunce predstavlja izvor energije sa kojim u manjoj ili većoj meri raspolaže svaka zemlja u svetu. Od izbijanja velike svetske energetske krize 1973. godine sve veća pažnja se poklanja korišćenju energije Sunčevog zračenja za proizvodnju toplotne i električne energije. Korišćenje Sunčevog zračenja doprinosi smanjenju emisije gasova staklene bašte, smanjenju korišćenja fosilnih goriva, razvoju lokalne industrije i otvaranju novih radnih mesta.

Poslednjih godina u svetu se povećavaju ulaganja u istraživanja u oblasti fotonaponske konverzije Sunčevog zračenja, u cilju dobijanja što kvalitetnijih i jeftinijih solarnih ćelija i drugih komponenata fotonaponskih sistema. U svetu je sve veći broj kompanija i organizacija koje učestvuju u promociji, razvoju i proizvodnji fotonaponskih sistema. Do sada je u svetu izgrađeno nekoliko hiljada solarnih elektrana snage od 1 kW do nekoliko stotina megavata [1-6].

U 2008. godini Evropski parlament je usvojio paket propisa o klimatskim promenama u cilju smanjenja emisije gasova sa efektom staklene bašte od 20%, unapređenja energetske efikasnosti od 20% i učešća obnovljive energije od 20 % u ukupnoj potrošnji energije u EU do 2020. godine, posmatrano u odnosu na 1990. godinu. Republika Srbija je 2009. godine postala članica i osnivač Međunarodne agencije za obnovljivu energiju (*IRENA-International Renewable Energy Agency*), kao prve međunarodne (međuvladine) organizacije koja se fokusira isključivo na obnovljivu energiju [7].

U radovima [8-16] razmatrani su zakonski propisi, pravni okviri i direktive, sadašnje stanje, mogućnosti i perspektive korišćenja obnovljivih izvora energije u Evropskoj Uniji, zemljama Jugoistočne Evrope i Zapadnog Balkana, u Republici Srbiji i Republici Srpskoj. U radovima [15-20] date su informacije o energetskej politici, energetskej efikasnosti i primeni Kjoto protokola i njegovog uticaja na razvoj energetskeg sektora i ekonomije u Republici Srbiji. U radovima [5, 6, 16, 21-25] dati su podaci o potencijalu Sunčevog zračenja i mogućnostima korišćenja Sunčevog zračenja i drugih obnovljivih izvora energije za dobijanje električne energije u Republici Srbiji. Više informacija o sadašnjem stanju i mogućnostima proizvodnje električne energije pomoću solarnih elektrana u Republici Srbiji mogu se

naći u radovima [21, 26-28]. U radu [16] date su detaljne informacije o sadašnjem stanju fotonaponske konverzije Sunčevog zračenja u Republici Srbiji i mogućnostima proizvodnje električne energije pomoću fiksnih, jednoosno i dvoosno rotacionih solarnih elektrana, sa solarnim ćelijama od monokristalnog silicijuma. Pored ovoga, u radu [16] su dati i rezultati ekonomske analize isplativosti proizvodnje električne energije pomoću solarnih elektrana u Republici Srbiji. U radu [28] dat je uvid u sadašnje stanje korišćenja obnovljivih izvora energije u svetu i proizvodnje električne energije pomoću solarnih elektrana u Evropi i Republici Srbiji. Pored toga, u radu je dat opis solarne elektrane od 8 kW na Fakultetu tehničkih nauka u Novom Sadu i dati su eksperimentalni rezultati merenja temperature ambijenta, energije Sunčevog zračenja koja pada na kvadratni metar elektrane i iznosa električne energije koja se dobija pomoću solarne elektrane.

U selu Matarova nadomak Merdara u opštini Kuršumlija 26. aprila 2012. godine je italijanska kompanija *Gascom* u saradnji sa našom kompanijom *Multienergy Consulting* počela izgradnju solarne elektrane od 2 MW [7]. U 2011. godini je u selu Velika Biljanica u blizini Leskovca, počela izgradnja dvoosno rotacione solarne elektrane od 950 kWp sa solarnim modulima od polikristalnog silicijuma. Krajem juna 2011. godine na Zlatiboru je počela izgradnja solarne elektrane od 1 MW. Glavni nosioci projekta i investitori izgradnje ove elektrane su kompanija *Dunav osiguranje* i *Elektroprivreda Srbije*, u saradnji sa Opštinom Čajetina.

U Republici Srbiji je instalirano više malih solarnih elektrana povezanih na elektrodistributivnu mrežu i to: na osnovnoj školi *Dušan Jerković* u Rumi (3 kW, 2004. god.), na srednjoj školi u Varvarinu (5 kW, 2010. God.), na Elektrotehničkoj školi *Rade Končar* u Beogradu (5 kW, 2010. god.), u srednjoj tehničkoj školi *Mihajlo Pupin* u Kuli (5 kW, 2010. god.), na Fakultetu tehničkih nauka u Novom Sadu (8 kW, 2011. god.), na Elektronskom fakultetu u Nišu (1,2 kW, 2011. god.), na Prirodno-matematičkom fakultetu u Nišu (2 kW, 2012. god.), na privatnoj kući u Blacu (10,44 kW, 2012. god.), na privatnim kompanijama u Leskovcu (30 kW, 2012. god.) i Čačku (55 kW, 2012. god.), na privatnim kućama u Merošini (10 kW i 20 kW, 2012. god.), u Zaječaru (10 kW, 2011. god.), Čačku (5 kW, 2012. god.), Zemunu (2,5 kW, 2012. god.), u selu Čortanovci (10 kW, 2012. god.), itd., što ukazuje na to da se u Srbiji sve više koriste solarne elektrane u komercijalne svrhe. Pored navedenog, u Republici Srbiji je instaliran veći broj solarnih elektrana koje nisu vezane za elektrodistributivnu mrežu.

U radovima [9, 29, 30] i *Strategiji razvoja energetike Republike Srpske do 2030. godine* [31] date su detaljne informacije o potencijalu

Sunčevog zračenja i mogućnostima proizvodnje električne energije pomoću solarnih elektrana u Republici Srpskoj.

U Republici Srpskoj je u Kozarskoj Dubici, na krovu privatne kuće 2012. godine puštena u rad solarna elektrana od 49 kW. Oktobra 2012. godine na krovu Akademije nauka i umjetnosti Republike Srpske puštena je u rad solarna elektrana od 2 kW sa solarnim ćelijama od monokristalnog silicijuma [9, 29, 30, 31].

Imajući u vidu da u literaturi ima veoma malo podataka o energetske efikasnosti solarnih elektrana u Republici Srbiji i Republici Srpskoj javila se potreba za detaljnom teorijskom i eksperimentalnom analizom energetske efikasnosti fiksnih i rotacionih solarnih elektrana sa solarnim ćelijama od različitih materijala u Republici Srbiji i Republici Srpskoj.

Naučna hipoteza doktorske disertacije sastoji se u pretpostavci da u Republici Srbiji i Republici Srpskoj postoje oblasti koje zadovoljavaju neophodne kriterijume za isplativu postavku i eksploataciju solarnih elektrana. Najvažniji kriterijumi koji moraju biti zadovoljeni su odgovarajući intenzitet i energija Sunčevog zračenja, broj sunčanih dana, itd., što je u disertaciji ispitivano i prikazano. U doktorskoj disertaciji su dati rezultati teorijske analize energetske efikasnosti različitih tipova solarnih elektrana sa solarnim ćelijama od različitih materijala u 23 grada na teritoriji Republike Srbije i 13 gradova na teritoriji Republike Srpske. U disertaciji su dati i rezultati eksperimentalnog određivanja energetske efikasnosti solarne elektrane od 2 kW na PMF-u u Nišu i solarne elektrane od 2 kW na krovu Akademije nauka i umjetnosti Republike Srpske u Banjoj Luci u zavisnosti od realnih klimatskih uslova.

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

U prvom poglavlju *Fotonaponska konverzija Sunčevog zračenja* date su osnovne informacije o Sunčevom zračenju (ekstraterestrično i terestrično), solarnim ćelijama od monokristalnog silicijuma, CdTe i CIS solarnim ćelijama, o fiksnim, jednoosno i dvoosno rotacionim solarnim elektranama, o računarskim softverima za određivanje potencijala Sunčevog zračenja i energetske efikasnosti solarnih elektrana (PVGIS, RETScreen i Homer) i karakterističnim parametrima solarne elektrane (energetska efikasnost, specifični prinos, odnos performansi sistema i kapacitet solarne elektrane).

Drugo poglavlje pod nazivom *Teorijska analiza energetske efikasnosti solarnih elektrana na teritoriji Republike Srbije i Republike Srpske*, sastoji se iz dva dela i to: *Teorijska analiza energetske efikasnosti solarnih elektrana na teritoriji Republike Srbije* i *Teorijska analiza energetske efikasnosti solarnih elektrana na teritoriji Republike Srpske*. U delu *Teorijska analiza energetske efikasnosti solarnih elektrana na teritoriji*

Republike Srbije date su informacije o geografskom položaju i klimi Republike Srbije i potencijalu Sunčevog zračenja u Republici Srbiji. U delu pod nazivom *Rezultati* dati su rezultati izračunavanja energije Sunčevog zračenja pomoću PVGIS programa na teritoriji Republike Srbije, rezultati komparacije energije Sunčevog zračenja dobijenog pomoću PVGIS, RETScreen i Homer programa sa vrednostima energije Sunčevog zračenja iz Hidrometeorološkog Zavoda Srbije, rezultati teorijskog određivanja energetske efikasnosti solarnih elektrana na teritoriji Republike Srbije pomoću PVGIS programa i rezultati određivanja energetske efikasnosti fiksnih solarnih elektrana od 1 kW pomoću Homer programa na teritoriji Republike Srbije korišćenjem različitih baza podataka za energiju Sunčevog zračenja. U delu *Teorijska analiza energetske efikasnosti solarnih elektrana na teritoriji Republike Srpske* je dat geografski položaj i klima Republike Srpske, rezultati izračunavanja energije Sunčevog zračenja pomoću PVGIS programa i rezultati teorijskog određivanja energetske efikasnosti solarnih elektrana na teritoriji Republike Srpske pomoću PVGIS programa.

Treće poglavlje pod nazivom ***Teorijsko i eksperimentalno određivanje energetske efikasnosti solarnih elektrana na PMF-u u Nišu i ANURS-u u Banjoj Luci*** sastoji se iz dva dela i to: *Teorijsko i eksperimentalno određivanje energetske efikasnosti solarne elektrane od 2 kW na PMF-u u Nišu* i *Teorijsko i eksperimentalno određivanje energetske efikasnosti solarne elektrane od 2 kW na ANURS-u u Banjoj Luci*. U delu *Teorijsko i eksperimentalno određivanje energetske efikasnosti solarne elektrane od 2 kW na PMF-u u Nišu* dati su rezultati teorijskog određivanja energetske efikasnosti solarne elektrane od 2 kW. Teorijsko određivanje energetske efikasnosti solarne elektrane od 2 kW je određeno pomoću PVGIS programa. Pored ovoga, dat je opis solarne elektrane od 2 kW na PMF-u u Nišu, način merenja meteoroloških i električnih parametara i energetske efikasnosti solarne elektrane. Na kraju su dati rezultati eksperimentalnog određivanja energetske efikasnosti, upoređivanje teorijskih i eksperimentalnih rezultata određivanja energetske efikasnosti solarne elektrane od 2 kW na PMF-u u Nišu i ekološki značaj i ekonomska isplativost solarne elektrane od 2 kW na PMF-u u Nišu. U delu *Teorijsko i eksperimentalno određivanje energetske efikasnosti solarne elektrane od 2 kW na ANURS-u u Banjoj Luci* su dati rezultati teorijskog određivanja energetske efikasnosti solarne elektrane od 2 kW. Teorijsko određivanje energetske efikasnosti solarne elektrane od 2 kW je određeno pomoću PVGIS programa. Pored ovoga, dat je opis solarne elektrane od 2 kW na ANURS-u u Banjoj Luci, način merenja meteoroloških i električnih parametara i energetske efikasnosti solarne elektrane. Na kraju su dati rezultati eksperimentalnog određivanja energetske efikasnosti, upoređivanje teorijskih i eksperimentalnih rezultata određivanja energetske efikasnosti

solarne elektrane od 2 kW na ANURS-u u Banjoj Luci i ekološki značaj i ekonomska isplativost solarne elektrane od 2 kW na ANURS-u u Banjoj Luci. Na kraju ovog poglavlja izvršeno je upoređivanje eksperimentalnih rezultata određivanja energetske efikasnosti solarne elektrane od 2 kW na PMF-u u Nišu i ANURS-u u Banjoj Luci od 01. aprila 2013. do 01. septembra 2013. godine.

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

U delu **Prilog** pod nazivom **Zakonska regulativa u vezi sa korišćenjem obnovljivih izvora energije u Republici Srbiji i Republici Srpskoj** date su osnovne informacije o zakonima i uredbama u vezi sa korišćenjem obnovljivih izvora energije u Republici Srbiji i Republici Srpskoj.

Na kraju uvoda, svakog poglavlja i priloga dat je spisak korišćene literature.

U delu **Publikovani radovi kandidata** dat je spisak objavljenih radova i fotokopije radova kandidata sa SCI liste koji su relevantni za doktorsku disertaciju.

Na kraju doktorske disertacije data je biografija kandidata.

Literatura

- [1] S. Mekhilef, R. Saidur, A. Safari, *A review on solar energy use in industries*, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 15 (2011), 4, pp. 1777-1790.
- [2] K. H. Solangi, M. R. Islam, R. Saidur, N. A. Rahim, H. Fayaz, *A review on global solar energy policy*, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 15 (2011), 4, pp. 2149-2163.
- [3] 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.
- [4] J. Radosavljević, T. Pavlović, M. Lambić, *Solarna energetika i održivi razvoj*, Građevinska knjiga, Beograd, 2004, 388 str.; drugo izmenjeno i dopunjeno izdanje 2010, 388 str., ISBN 978-86-395-0573-8.
- [5] Lj. Stamenić, *Korišćenje solarne fotonaponske energije u Srbiji*, Jefferson Institute, 2009, <http://solarna.unecopn.org/studija.pdf>
- [6] *Studija energetskog potencijala Srbije za korišćenje sunčevog zračenja i energije vetra*, NPPE, Evidencioni br. EE704-1052A, Ministarstvo nauke i zaštite životne sredine, Beograd, 2004.

- [7] D. Marković, B. Čeperković, A. Vlačić, S. Ressler, *Bela knjiga Elektroprivreda Srbije*, JP „Elektroprivreda Srbije“, Sektor za odnose s javnošću, Belgrade, 2011, 212 str.
- [8] R. Blinc., D. Najdovski, S. Bekteshi, S. Kabashi, I. Šlaus, A. Zidanšek, *How to achieve a sustainable future for Europe*, Thermal Science, 12 (2008), 4, pp. 19-25.
- [9] C. Karakosta, M. Flouri, S. Dimopoulou, J. Psarras, *Analysis of renewable energy progress in the western Balkan countries: Bosnia–Herzegovina and Serbia*, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 16 (2012), 7, pp. 5166–5175.
- [10] D. R. Schneider et al., *Mapping the potential for decentralized energy generation based on RES in Western Balkans*, Thermal Science, 11 (2007), 3, pp. 7-26.
- [11] D. Lalic, K. Popovski, V. Gecevska, S. Popovska Vasilevska, Z. Tesic, *Analysis of the opportunities and challenges for renewable energy market in the Western Balkan countries*, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 15 (2011), 6, pp. 3187–3195.
- [12] O. Munitlak Ivanović, M. Golušin, S. Dodić, J. Dodić, *Perspectives of sustainable development in countries of Southeastern Europe*, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 13 (2009), 8, pp. 2079-2087.
- [13] A. Mihajlov, *Opportunities and challenges for a sustainable energy policy in SE Europe: SE European Energy Community Treaty*, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 14 (2010), 2, pp. 872-875.
- [14] M. Tešić, F. Kiss, Z. Zavargo, *Renewable energy policy in the Republic of Serbia*, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 15 (2011), 1, pp. 752-758.
- [15] M. Golusin, Z. Tesić, A. Ostojić, *The analysis of the renewable energy production sector in Serbia*, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 14 (2010), 5, pp. 1477-1483.
- [16] D. Djurdjević, *Perspectives and assessments of solar PV power engineering in the Republic of Serbia*, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 15 (2011), 5, pp. 2431-2446.
- [17] S. Oka, A. Sedmak, M. Đurović-Petrović, *Energy efficiency in Serbia- Research and development activity*, Thermal Science, 10 (2006), 2, pp. 5-32.
- [18] S. Oka, A. Sedmak, M. Đurović-Petrović, *Energy efficiency in Serbia, National energy efficiency program-strategy and priorities for future*, Thermal Science, 10 (2006), 4, pp. 7-16.
- [19] D. Gvozdenac, T. Simić, *About the Serbian energy efficiency problems*, Thermal Science, 16 (2012), 1, S1-S15.

- [20] M. Golušin, O. Munitlak Ivanović, *Kyoto Protocol implementation in Serbia as precognition of sustainable energetic and economic development*, Energy Policy, 39 (2011), 5, pp. 2800-2807.
- [21] *Studija o proceni ukupnog solarnog potencijala – solarni atlas i mogućnosti "proizvodnje" i korišćenja solarne energije na teritoriji AP Vojvodine*, Pokrajinski Sekretarijat za energetiku i mineralne sirovine, Republika Srbija Autonomna Pokrajina Vojvodina, Novi Sad, 2011, 295 str., Ugovor broj: 115-401-2248/2010-04, Rukovodilac studije: prof. dr M. Lambić.
- [22] V. Gburcik, Final report of the technological development Project TD-7042B, *Atlas of solar and wind energy potential in Serbia*, Institute of Multidisciplinary Research of the University of Belgrade, Belgrade; 2008.
- [23] *LIBER PERPETUUM, knjiga o obnovljivim izvorima energije u SCG*, OEBS Misija u Srbiji i Crnoj Gori, Novi Sad, 2004, ISBN 86-903283-8-6.
- [24] D. Stojadinović, *Perspektive korišćenja energije vetra i Sunca u Srbiji*, Monografija Energetika i životna sredina, Srpska akademija nauka i umetnosti, Naučni skupovi, Knjiga CXLIII, Odeljenje hemijskih i bioloških nauka, Knjiga 4, Beograd, 2013, str. 301-323, ISBN 978-86-7025-607-1.
- [25] S. M. Dragičević and N. M. Vučković, *Evaluation of distributional solar radiation parameters of Čačak using long-term measured global solar radiation data*, Thermal Science, vol. 11 (2007), no. 4, pp. 125-134, doi:10.2298/tsci0704125d.
- [26] S. Stevanovic, M. Pucar, *Investment appraisal of a small, grid-connected photovoltaic plant under the Serbian feed-in tariff framework*, Renewable and Sustainable Energy Reviews 16 (2012) 1673– 1682.
- [27] M. Bojić, M. Blagojević, *Photovoltaic electricity production of a grid-connected urban house in Serbia*, Energy Policy, 34 (2006) 17, pp. 2941-2948.
- [28] V. Katić, Z. Čorba, D. Milićević, B. Dumnić, B. Popadić, Evgenije Adžić, *Overview of solar PV energy market in Serbia*, The 6th PSU-UNS International Conference on Engineering and Technology (ICET-2013), University of Novi Sad, Faculty of Technical Sciences, Novi Sad, Serbia, Paper No. IP-3.1, 2013, 1-6.
- [29] P. M. Gvero et al., *Renewable energy sources and their potential role in mitigation of climate changes and as a sustainable development driver in Bosnia and Herzegovina*, Thermal Science, 14 (2010), 3, pp. 641-654.

- [30] Trama TecnoAmbiental, Deliverable 1: Inception Mission, *Study on the possibilities use and development of solar energy in BiH*, EDU/0724/07, [<http://www.vladars.net/sr-sp-cyrl/vlada/ministarstva/mper/Documents/solarxenergyxstudyxeng.pdf>]
- [31] http://www.vladars.net/sr-SP-Cyrl/Vlada/Ministarstva/mper/std/Pages/Strategija_razvoja_energetike_RS_do_2030_godine.aspx

I POGLAVLJE

FOTONAPONSKA KONVERZIJA SUNČEVOG ZRAČENJA

1.1. Sunčevo zračenje

Poreklo Sunčeve energije otkrio je i objasnio Hans Bethe 1938. godine. On je pokazao da se na Suncu energija stvara u termonuklearnom procesu fuzije vodonika u helijum. Termonuklearne reakcije odvijaju se u jezgru Sunca. To je zona u kojoj se u fuzionim reakcijama lakših jezgara dobijaju teža atomska jezgra. Tom prilikom nukleoni prelaze iz stanja sa manjom u stanja sa većom energijom veze, što je praćeno emisijom dela energije veze.

Osnovne fuzione reakcije u jezgru Sunca odvijaju se tako, da u konačnom, četiri jezgra vodonika stvaraju jezgro helijuma. Takve termonuklearne reakcije su egzotermne i u njima se na račun defekta mase, oslobađa energija koju Sunce emituje u okolni prostor. Ove reakcije se odvijaju u tzv. *proton - protonskom ciklusu* (p-p ciklus) i to u više faza.

U prvoj fazi dolazi do sudara dva protona (vodonikova jezgra) tačno određenih energija i do njihovog sjedinjavanja u jedinstveno jezgro. Novonastalo jezgro sastavljeno od dva protona, je jako nestabilno i jedan proton iz njega prelazi u neutron otpuštajući pri tom neutrino (ν) i pozitron (β^+). Na ovaj način dva protona stvaraju deuteron, pozitron i neutrino uz oslobađanje energije od 1,44 MeV:

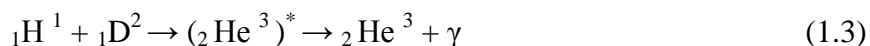


Veći deo oslobođene energije odnosi pozitron, a manji deo neutrino. Pozitron kasnije reaguje sa nekim slobodnim elektronom, anihilirajući se uz oslobađanje dva gama fotona.

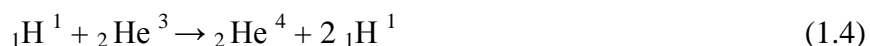
U drugoj fazi deuterijumovo jezgro, koje je nastalo u prvoj fazi, vrlo brzo reaguje sa još jednim protonom, gradeći jezgro jako retkog izotopa helijuma-3, koje se nalazi u pobuđenom stanju:



U trećoj fazi novonastalo jezgro izotopa helijuma-3 iz pobuđenog stanja prelazi u osnovno stanje otpuštajući gama foton:

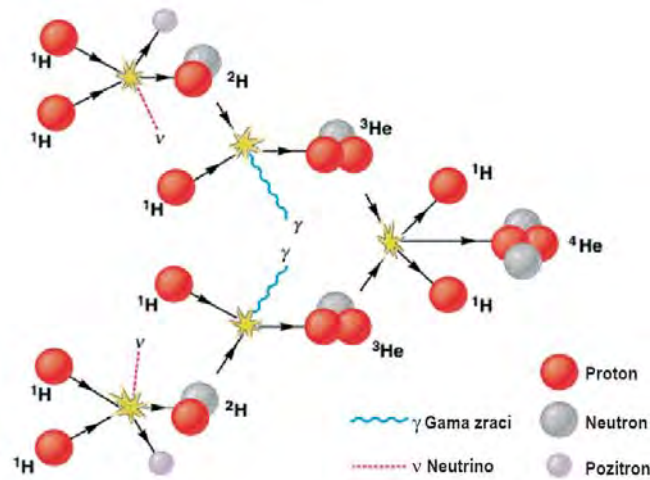


U poslednjoj fazi izotop helijum-3 se sudara sa još jednim identičnim izotopom helijumom-3 gradeći običan atom helijuma uz oslobađanje dva protona:



Dobijeni protoni započinju novu lokalnu reakciju, uz oslobađanje energije, i ovim se završava jedna varijanta p-p ciklusa.

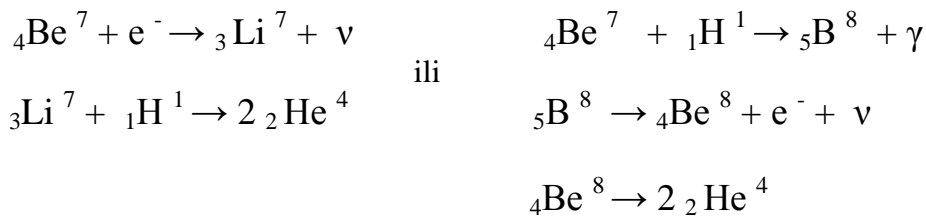
Šematski prikaz p-p ciklusa dat je na slici 1.1.



Sl. 1.1.
Šematski prikaz p-p ciklusa

Jezgro ${}^3_2\text{He}$ može da stupi i u reakciju: ${}^3_2\text{He} + {}^4_2\text{He} \rightarrow {}^7_4\text{Be} + \gamma$.

Lanac reakcija ove varijante p-p ciklusa završava se na sledeći način:

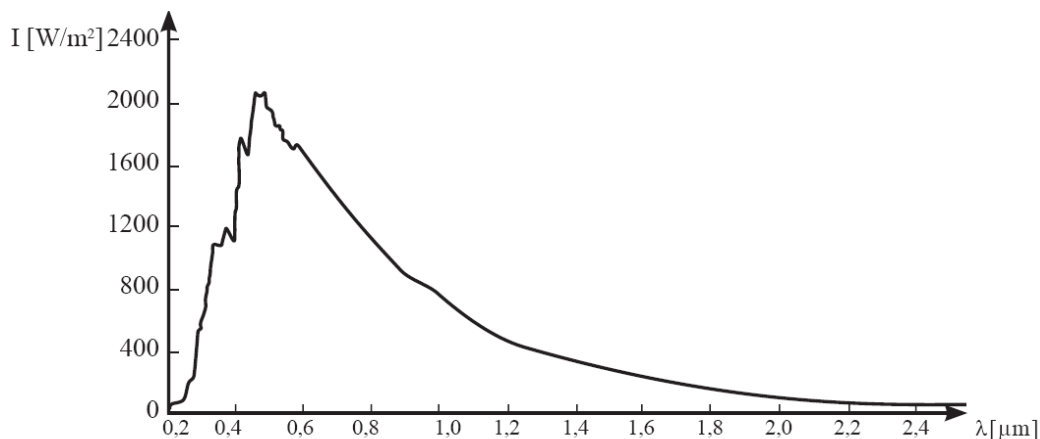


Osim p-p ciklusa, vodonik na Suncu može fuziono da sagoreva i uz učešće atoma težih elemenata: ugljenika, kiseonika, itd. Ova jezgra se u reakcijama pojavljuju kao katalizatori. Najvažniji lanac takvih fuzionih reakcija odvija se uz učešće jezgara izotopa ugljenika ${}^{12}_6\text{C}$. To je poznati *ugljenično-azotni (CN) ciklus*. Kod zvezda koje su masivnije od Sunca, ugljenično-azotni ciklus dominira. Kod Sunca manje od 10% oslobođene energije ostvareno je CN, a preko 90% p-p ciklusom.

U oba ciklusa fuzionih reakcija oslobađa se približno ista količina energije oko 26,72 MeV po formiranom jezgru ${}^4_2\text{He}$. Najveći deo ove energije nastale u jezgru Sunca otpada na elektromagnetno zračenje neprekidnog spektra, sa maksimumom u kratkotalasnoj gama i rendgenskoj oblasti talasnih dužina [1-5, A1].

1.1.1. Ekstraterestrično Sunčevo zračenje

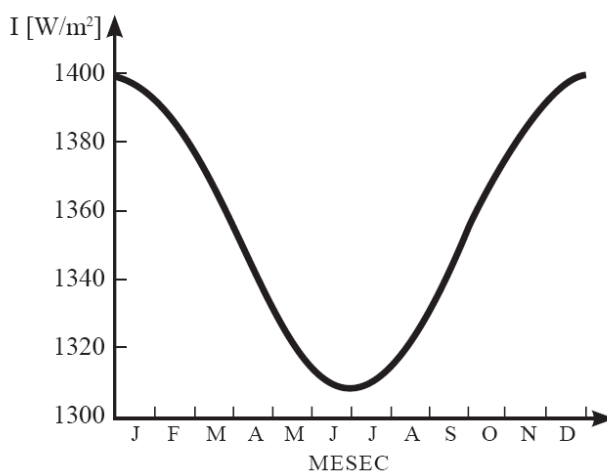
Energija stvorena u jezgru Sunca dospeva na Zemlju u vidu elektromagnetnih talasa. Sunčevo zračenje na ulazu u Zemljinu atmosferu poznato je pod nazivom *ekstraterestrično Sunčevo zračenje*. Zbog promena rastojanja Zemlje od Sunca i Sunčeve aktivnosti, intenzitet ekstraterestričnog zračenja se menja u granicama od 1307 do 1393 W/m².



Sl. 1.2.
Spektar ekstraterestričnog Sunčevog zračenja

Spektar Sunčevog zračenja pre ulaska u Zemljinu atmosferu nalazi se u oblasti talasnih dužina od 0,015 do 1000 μm .

Najveći deo ekstraterestričnog Sunčevog zračenja nalazi se u oblasti talasnih dužina od 0,704 do 1000 μm , nešto manje u oblasti od 0,405 do 0,904 μm , i najmanje u oblasti od 0,015 do 0,405 μm [1, 2, 6-10, A1].



Sl. 1.3.
Godišnja promena intenziteta ekstraterestričnog Sunčevog zračenja

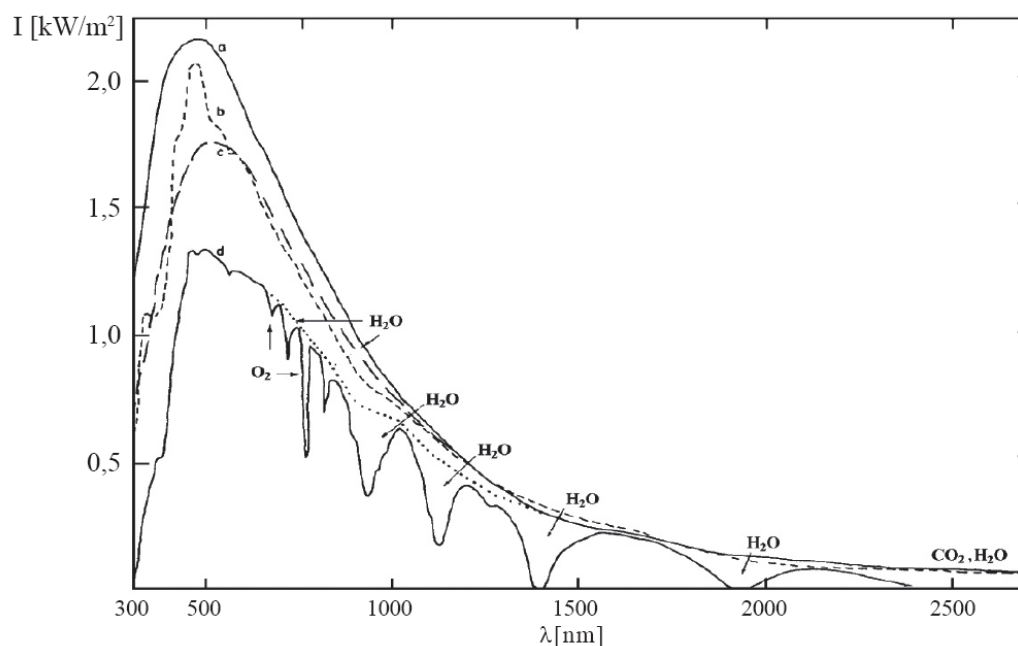
[1, 2, 6-9, A1, A19]

1.1.2. Terestrično Sunčevo zračenje

Pod *terestričnim Sunčevim zračenjem* podrazumeva se Sunčevo zračenje koje posle prolaska kroz Zemljinu atmosferu dospeva na Zemlju. Terestrično Sunčevo zračenje uglavnom se nalazi u intervalu talasnih dužina od 0,29 do 2,5 μm .

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. Na Zemlju dospeva oko 97% Sunčevog zračenja u oblasti talasnih dužina od 0,29 do 2,5 μm , a oko 3% sa talasnim dužinama većim od 2,5 μm .

Spektralna distribucija intenziteta ekstraterestričnog i terestričnog Sunčevog zračenja data je na slici 1.4.



Sl. 1.4.

Spektralna distribucija intenziteta Sunčevog zračenja: a) zračenje crnog tela na 5727 °C, b) ekstraterestrično Sunčevo zračenje, c) zračenje crnog tela na 5357 °C i d) terestrično Sunčevo zračenje

Zbog velike udaljenosti Zemlje i Sunca može se smatrati da se Sunčevo zračenje pre ulaska u atmosferu Zemlje sastoji od snopa paralelnih elektromagnetnih talasa. Sunčevo zračenje se može apsorbovati, odbiti (reflektovati) ili može manje ili više nesmetano proći kroz atmosferu (transmitovati se). U skladu sa tim, na Zemljinu površinu pada direktno i difuzno Sunčevo zračenje sa neba i reflektovano zračenje sa Zemlje i okolnih predmeta. Količina dozračene Sunčeve energije na neku površinu na Zemlji zavisi od lokacije prijemne površine, nagiba površine u odnosu na horizontalnu ravan, orijentacije površine u odnosu na strane sveta, doba godine, uslova atmosfere, veličine prijemne površine, karakteristika prijemne površine, vremena ozračenosti, itd [1, 2, 6-9, A1, A19].

Direktno Sunčevo zračenje

Direktno Sunčevo zračenje predstavlja komponentu ukupnog (globalnog) Sunčevog zračenja koje direktno dospeva na površinu Zemlje.

Za izračunavanje energije direktnog Sunčevog zračenja (I_{BC}) koje u jedinici vremena dospeva pod nekim uglom θ na kvadratni metar površine nagnute pod uglom Σ u odnosu na horizontalnu ravan na Zemlji pri jasnom i vedrom danu, u kompjuterskim simulacijama, pogodno je koristiti aproksimativni izraz:

$$I_{BC} = I_B \cos\theta, \quad (1.5)$$

gde je I_B - energija direktnog Sunčevog zračenja koje u jedinici vremena dospeva normalno na kvadratni metar površine, θ - upadni ugao Sunčevih zraka na kvadratni metar površine i Σ - ugao nagiba prijemne površine u odnosu na horizontalnu ravan na Zemlji.

Upadni ugao Sunčevih zraka (θ) koji dospevaju na jediničnu površinu nagnutu pod nekim uglom Σ u odnosu na horizontalnu ravan na Zemlji se može izraziti pomoću sledeće relacije:

$$\cos\theta = \cos\beta \cos(\phi_s - \phi_c) \sin\Sigma + \sin\beta \cos\Sigma \quad (1.6)$$

gde je β – visina Sunca, ϕ_s - azimut Sunca i ϕ_c -azimutni ugao jedinične površine.

Za izračunavanje energije direktnog Sunčevog zračenja (I_{BH}) koje u jedinici vremena dospeva na kvadratni metar horizontalne površine na Zemlji pri jasnom i vedrom danu, u kompjuterskim simulacijama, pogodno je koristiti aproksimativni izraz:

$$I_{BH} = I_B \sin\beta, \quad (1.7)$$

gde je β – visina Sunca, I_B - energija Sunčevog zračenja koja u jedinici vremena pada normalno na kvadratni metar površine Zemlje

Prilikom prolaska kroz Zemljinu atmosferu Sunčevo zračenje slabi usled rasejavanja i apsorpcije na atomima, molekulima i jonima prisutnih gasova. Stepenn slabljenja zavisi od dužine puta Sunčevog zračenja kroz Zemljinu atmosferu i njenih fizičkih i hemijskih karakteristika. Ovo smanjenje energije može se opisati pomoću Bouguer - Lambert - Berovog zakona:

$$I_B = A e^{-km} \quad (1.8)$$

gde je: I_B - energija Sunčevog zračenja koja u jedinici vremena pada normalno na kvadratni metar površine Zemlje (W/m^2),

$A = 1160 + 75 \cdot \sin\left[\frac{360 \cdot (n - 275)}{365}\right]$ - energija ekstraterestričnog zračenja koje u jedinici vremena pada normalno na kvadratni metar površine (W/m^2),

$k = 0,174 + 0,035 \cdot \left[\frac{360 \cdot (n - 100)}{365}\right]$ - koeficijent atenuacije Sunčevog zračenja u Zemljinoj atmosferi koji zavisi od sastava i promena u atmosferi,

m - optička vazдушna masa, koja zavisi od upadnog ugla Sunčevog zračenja i

n - redni broj dana u godini počevši od 1. januara.

U solarnoj energetici optička vazдушna masa predstavlja odnos dužine puta Sunčevih zraka kroz atmosferu i dužine puta Sunčevih zraka kroz Zemljinu atmosferu kada je Sunce u zenitu:

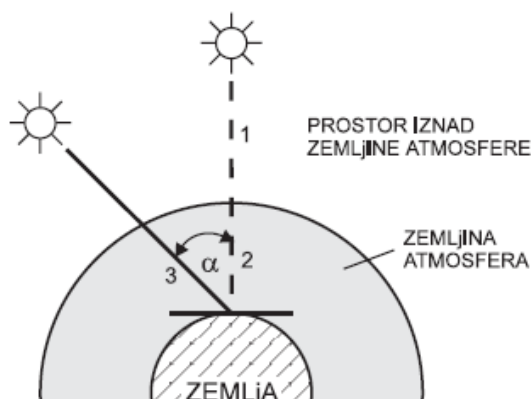
$$m = \frac{1}{\cos \alpha} \quad (1.9)$$

gde je α ugao između upadnih Sunčevih zraka i normale na površinu Zemlje.

Za Sunčevo zračenje iznad Zemljine atmosfere uzima se da je optička vazдушna masa jednaka nuli, pri čemu se spektralna distribucija energije tog zračenja označava sa $AM0$.

Ukoliko na nadmorskoj visini nula, Sunčevo zračenje pada vertikalno na Zemlju ($\alpha = 0$), optička vazдушna masa se obeležava sa $M = 1$, a spektralna distribucija energije Sunčevog zračenja sa $AM1$.

Kada Sunčevo zračenje zaklapa ugao $\alpha = 60^\circ$ sa normalom na površinu Zemlje, optička vazдушna masa je $M=2$, a spektralna distribucija energije Sunčevog zračenja označava se sa $AM2$, itd.



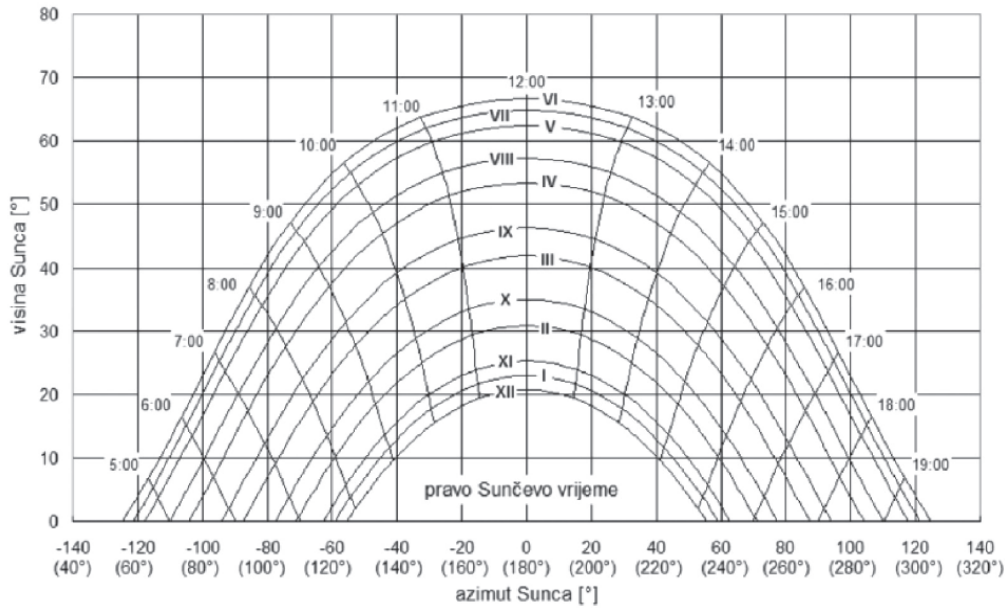
Sl. 1.5.

Uz objašnjenje spektralne distribucije energije Sunčevog zračenja u zavisnosti od upadnog ugla Sunčevog zračenja i optičke vazdušne mase: 1) $AM0$, 2) $\alpha = 0$, $AM1$ i 3) $\alpha = 60^\circ$, $AM2$

U zavisnosti od geografskog položaja datog mesta i položaja Sunca, odnosno optičke vazdušne mase, u literaturi se mogu naći različiti podaci za spektralnu distribuciju energije Sunčevog zračenja.

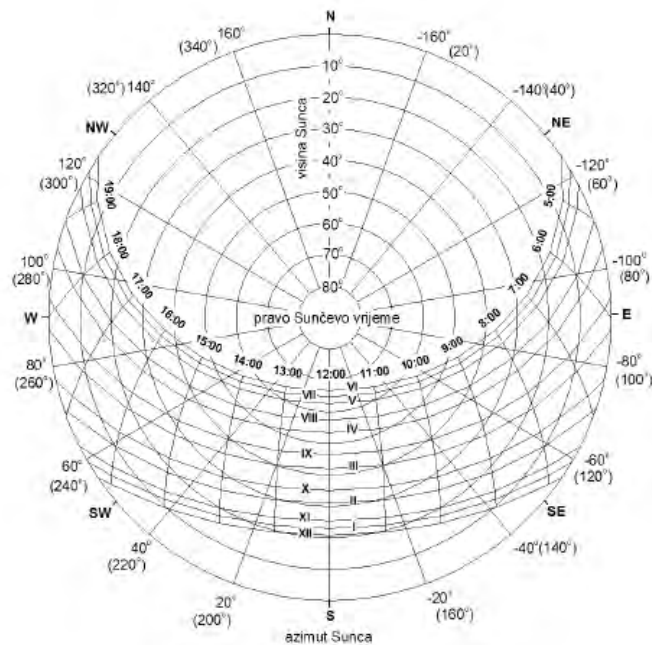
Položaj Sunca na nebu se u svakom trenutku može opisati visinom i azimutom Sunca. Jednostavan način prikazivanja kretanja Sunca po nebu je Sunčev dijagram koji se može prikazati u cilindričnom i polarnom koordinatnom sistemu [1, 2, 6-11, **A1**].

Na cilindričnom Sunčevom dijagramu se u pravougaonom koordinatnom sistemu prikazuje kretanje Sunca kako to izgleda posmatraču koji je okrenut prema jugu. Na ovom dijagramu mogu se, takođe, ucrtati konture okolnih prepreka kako bi se predvidelo kako će te prepreke zakloniti (zaseniti) Sunce tokom godine.



Sl. 1.6.
Cilindrični Sunčev dijagram bez ucrtanih kontura prepreka

Polarni Sunčev dijagram je projekcija Sunčevog kretanja na vodoravnu ravan sa posmatračem u centru ravni. U polarnom Sunčevom dijagramu je jednostavnije utvrditi kompasni smer Sunca.



Sl. 1.7.
Polarni Sunčev dijagram

[1, 2, 6-11, A1]

Difuzno Sunčevo zračenje

Difuzno Sunčevo zračenje nastaje rasejavanjem Sunčevog zračenja na atomima i molekulima gasova i česticama nečistoća u vazдушnom omotaču Zemlje. Sa povećanjem oblačnosti, koncentracije vodene pare i aerosola u vazduhu, povećava se udeo difuznog u globalnom Sunčevom zračenju.

S obzirom na stohastičku prirodu difuznog Sunčevog zračenja, analitički model difuznog zračenja je veoma komplikovan. Postoje različiti modeli funkcije raspodele difuznog Sunčevog zračenja. Najjednostavniji model je izotropni model koji su razvili Liu, Jordan i Klein. Po ovom modelu difuzna komponenta Sunčevog zračenja (I_{DH}), koje pada na horizontalnu površinu na Zemlji, ima isti intenzitet iz svih pravaca, proporcionalna je direktnoj komponenti Sunčevog zračenja, bez obzira na poziciju Sunca na nebu u tom trenutku i može se izračunati pomoću formule:

$$I_{DH} = C I_B \quad (1.10)$$

gde je I_{DH} - difuzna komponenta Sunčevog zračenja koje u jedinici vremena pada na jediničnu horizontalnu površinu na Zemlji, I_B - komponenta direktnog Sunčevog zračenja koje u jedinici vremena pada normalno na jediničnu površinu na Zemlji i C - difuzni faktor.

Difuzni faktor se može izračunati pomoću aproksimativnog izraza:

$$C = 0,095 + 0,04 \cdot \sin \left[\frac{360(n-100)}{365} \right] \quad (1.11)$$

gde je n - redni broj dana u godini počevši od 1. januara.

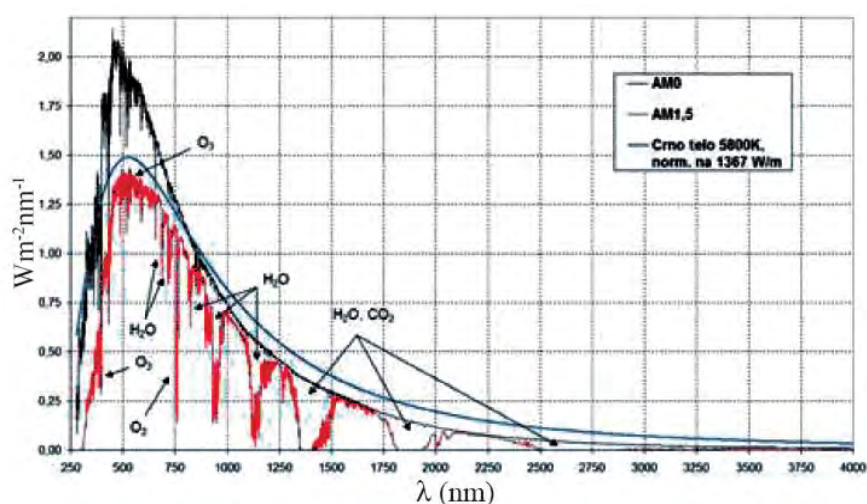
Za izračunavanje energije difuznog Sunčevog zračenja (I_{DC}) koje u jedinici vremena pada pod nekim uglom θ na kvadratni metar površine nagnute pod uglom Σ u odnosu na horizontalnu ravan na Zemlji pri jasnom i vedrom danu pogodno je koristiti aproksimativni izraz:

$$I_{DC} = I_{DH} \left(\frac{1 + \cos \Sigma}{2} \right) = C I_B \left(\frac{1 + \cos \Sigma}{2} \right) \quad (1.12)$$

Kada Sunčevo zračenje na svom putu dospe do molekula gasova i čestica, pobuđuje ih na oscilovanje i zračenje, čime oni postaju izvor elektromagnetnog zračenja određene talasne dužine. Na taj način, primljena energija predaje se nejednako u svim smerovima, u zavisnosti od svojstava gasova ili čestica. Energija se više ne širi u jednom smeru kao pre ulaska u atmosferu već na sve strane. Uticaj difuzije je dvojak: s jedne strane smanjuje jačinu direktnog Sunčevog zračenja, a sa druge strane uzrokuje raspršeno zračenje neba. Jedan deo Sunčevog zračenja se vraća u međuplanetarni prostor i on je izgubljen za procese u atmosferi. Pobuđeni molekuli ili čestice ne emituju elektromagnetnu energiju sa istom spektralnom raspodelom energije, već menjaju relativni udeo pojedinih talasnih dužina.

Difuzno Sunčevo zračenje sadrži više kratkotalasnu nego dugotalasnu energiju Sunčevog zračenja. Pri malim optičkim putevima zračenja, sredinom dana, difuzno zračenje sadrži najviše kratkotalasno zračenje dajući nebu plavu boju. Spuštanjem Sunca, rasejavanje kratkotalasnog zračenja se povećava, ono sve više slabi i njegov relativni udeo u ukupnom rasejanom zračenju se smanjuje [1, 2, 6-11, A1].

Od gasova koji čine atmosferu, kiseonik, ugljen-dioksid, ozon i azot značajnije apsorbiraju pojedine talasne dužine Sunčevog zračenja, dok oksidi azota, ugljen monoksid i metan to čine zanemarljivo malo. Azot apsorbiruje samo zračenje sa talasnom dužinom manjom od 0,2 mm, u delu spektra gde je intenzitet Sunčevog zračenja zanemarljiv. Kiseonik (O₂) značajnije apsorbiruje zračenje u dva područja, jedno između 0,76 i 9,80 μm gde apsorbiruje 8,9 % zračenja tog intervala i drugo područje sa maksimumom apsorpcije na 0,69 μm talasne dužine. Ugljen-dioksid (CO₂) apsorbiruje pojedine talasne dužine u infracrvenom delu spektra od 1,4 do 15 μm i zanemarljivo neke talasne dužine u vidljivom delu spektra. Ozon (O₃) apsorbiruje pojedine talasne dužine u ultraljubičastom (0,20 do 0,36 μm), vidljivom (0,43 do 0,75 μm) i infracrvenom (3 do 5 μm) delu spektra. Apsorpcija zavisi i od debljine sloja ozona koja se menja tokom godine. Atmosferski gasovi apsorbiruju, samo u strogo ograničenom području spektra, fotone određene talasne dužine pa se takva apsorpcija naziva *selektivna apsorpcija*.



Sl. 1.8.

Spektar zračenja AM0 i AM1,5 i spektar zračenja crnog tela temperature 5800K normalizovan na 1376 W/m² sa uticajem atmosferskih gasova, prema standardu ISO 9845-1:1992

[1,2,6-11, A1]

Reflektovano zračenje

Na nagnutu površinu u odnosu na Zemlju pada direktno i difuzno Sunčevo zračenje sa neba i *reflektovano zračenje* sa Zemlje i okolnih predmeta. Nakon prolaska kroz atmosferu, Sunčevo zračenje nailazi na tlo ili na vodene površine (mora, jezera, reke, itd.). U zavisnosti od svojstava podloge, veći ili manji deo zračenja će se reflektovati. Moguća su tri procesa refleksije. *Ogledalska (spekularna) refleksija* na ravnim površinama (u prirodi na mirnim vodama), kada je hrapavost površine manja od talasne dužine Sunčevog zračenja. Ako je hrapavost površine uporediva sa talasnom dužinom zračenja, moguća je *raspršujuća refleksija* koja se sastoji od više ogledalskih refleksija u svim elementarnim ravnima od koje se površina sastoji. *Zapreminska refleksija* se događa kada zračenje prodre kroz površinu i odbije se od različitih slojeva ispod površine. Ukupna refleksija predstavlja zbir ogledalske, difuzne i zapreminske refleksije.

Svojestvo podloge da odbije zračenje se može izraziti *koeficijentom refleksije* ili *albedom*. Albedo predstavlja odnos jačine reflektovanog zračenja prema ukupnom upadnom zračenju na posmatrano telo. Potpuno belo telo ima albedo 1,0 jer potpuno odbija zračenje, a potpuno crno telo ima albedo nula. Ako telo ima albedo 0,5 znači da odbija polovinu zračenja koje pada na njega. Tela u prirodi imaju vrlo različita albeda. Vegetacija, po pravilu, ima relativno nizak albedo, jer dobar deo zračenja apsorbiraju biljni pigmenti (hlorofil, karoten, ksantofil). Zbog svoje strukture koja se sastoji od retko raspoređenih malih kristala leda koji uzrokuju mnogobrojne refleksije na kontaktu leda i svetlosti, sveži sneg je jedna od prirodnih površina sa najmanjim albedom.

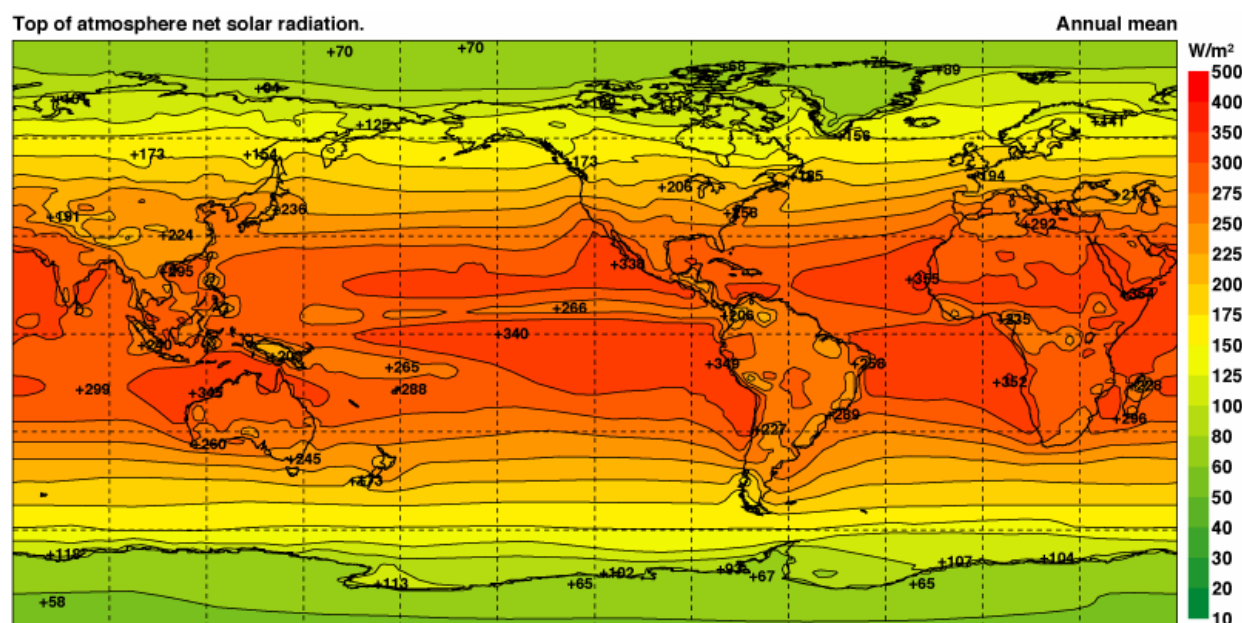
Reflektovano Sunčevo zračenje prema preporukama svetske meteorološke organizacije, WMO, meri se na visini od 1 do 2 m, po mogućnosti iznad pokošene travnate površine. Za područja gde se zimi zadržava sneg, potrebno je instrument ugraditi na mehanizam koji reguliše jednaku udaljenost od površine bez obzira na visinu snega. Sam nosač instrumenta ne sme uticati na merenje i treba ga postaviti sa severne strane instrumenta [1, 2, 6-10, A1].

Za izračunavanje energije reflektovanog Sunčevog zračenja (I_{RC}) koje u jedinici vremena pada na kvadratni metar površine nagnute pod uglom Σ u odnosu na horizontalnu ravan na Zemlji pri jasnom i vedrom danu pogodno je koristiti aproksimativni izraz:

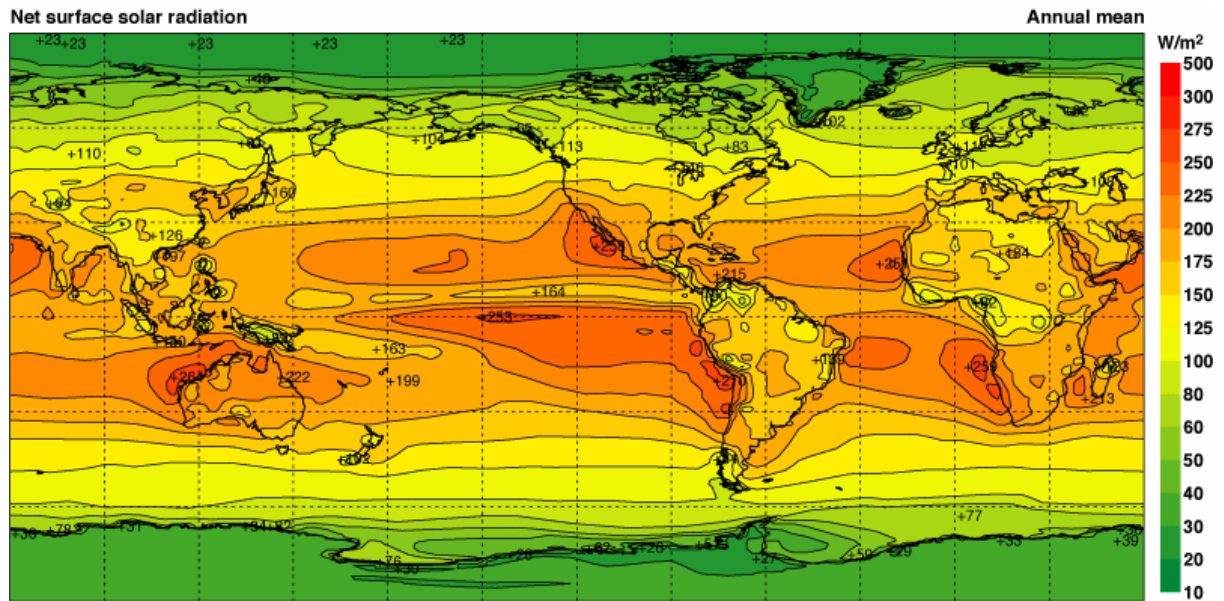
$$I_{RC} = \rho (I_{BH} + I_{DH}) \left(\frac{1 - \cos \Sigma}{2} \right) = \rho I_B (C + \sin \beta) \left(\frac{1 - \cos \Sigma}{2} \right) \quad (1.13)$$

gde je β – visina Sunca, Σ – ugao nagiba jedinične površine u odnosu na horizontalnu ravan na Zemlji i ρ – koeficijent refleksije (albedo).

Uporedni prikaz mapa ekstraterestričnog i terestričnog Sunčevog zračenja dat je na slikama 1.9. i 1.10, respektivno.



Sl. 1.9.
Mapa ekstraterestričnog Sunčevog zračenja



Sl. 1.10.
Mapa terestričnog Sunčevog zračenja

[1, 2, 6-12, A1]

1.2. Solarne ćelije

Pod fotonaponskom konverzijom Sunčevog zračenja podrazumeva se pretvaranje energije Sunčevog zračenja u električnu energiju. Fotonaponska konverzija Sunčevog zračenja vrši se na solarnim ćelijama koje se izrađuju od poluprovodničkih materijala, jednostavne su građe, nemaju pokretne delove, ne zagađuju okolinu i imaju dug vek trajanja.

Razvoj solarnih ćelija počinje 1839. godine kada je *Bekereel* primetio da se jačina struje između dve elektrode u elektrolitu povećava prilikom osvetljavanja elektroda. Isti efekat na čvrstom telu (selenu) prvi su primetili *Adams* i *Day* 1877. godine. Zahvaljujući ovome ubrzo je napravljen uređaj za merenje intenziteta svetlosti. Odmah zatim istraživači su se okrenuli rešavanju problema korišćenja solarnih ćelija kao komercijalnih izvora električne energije. Nagli razvoj solarnih ćelija počinje 1954. godine kada su *Pearson*, *Fuller* i *Chapin* napravili prvu solarnu ćeliju od monokristalnog silicijuma.

Počev od lansiranja prvog satelita 1958. godine solarne ćelije predstavljaju nezamenljiv izvor električne energije na satelitima, svemirskim brodovima i stanicama. U zemaljskim uslovima, od samog početka razvoja, solarne ćelije su našle primenu na usamljenim objektima, svetionicima, aerodromima, istraživačkim platformama na moru, stambenim i industrijskim objektima, itd.

Za direktno pretvaranje Sunčevog zračenja u električnu energiju koriste se solarne ćelije. Solarna ćelija se sastoji od p i n poluprovodnika, kod koga se, usled apsorpcije Sunčevog zračenja, u $p-n$ spoju javljaju parovi elektron-šupljina. Ukoliko su parovi formirani daleko od $p-n$ spoja, brzo se rekombinuju i ne doprinose pretvaranju Sunčevog zračenja u električnu energiju. 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. Izdvajanje električne struje, generisane u poluprovodniku, vrši se pomoću metalnih elektroda (kontakata) na prednjoj i zadnjoj strani solarne ćelije.

Uslov za apsorpciju upadnog Sunčevog zračenja u solarnoj ćeliji je:

$$h\nu \geq E_g \quad \text{odnosno} \quad \lambda \leq hc / E_g, \quad (1.14)$$

gde je h – Plankova konstanta, ν - frekvencija upadnih fotona, E_g – širina zabranjene zone poluprovodnika, λ – talasna dužina upadnog zračenja i c – brzina svetlosti.

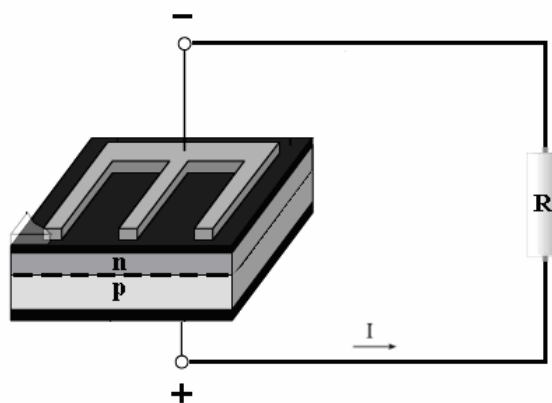
Prilikom apsorpcije fotona sa energijom $h\nu > E_g$, višak energije ($h\nu - E_g$) predaje se poluprovodniku, pri čemu se povećava njegova unutrašnja energija, dok se fotoni sa energijom $h\nu < E_g$ ne apsorbuju u solarnoj ćeliji.

Vrednost koeficijenta apsorpcije Sunčevog zračenja povećava se sa povećanjem širine zabranjene zone materijala od koga se mogu izrađivati solarne ćelije, a smanjuje sa porastom talasne dužine upadnog zračenja.

Spektralna osetljivost solarne ćelije zavisi od prirode poluprovodnika od koga je izrađena solarna ćelija, prisutnih primesa i tehnologije formiranja ćelije. Fotoni sa kratkim talasnim dužinama apsorbuju se na ulazu u solarnu ćeliju (daleko od $p - n$ spoja), pa ne utiču na struju solarne ćelije, dok fotoni sa velikim talasnim dužinama prolaze kroz $p - n$ spoj, apsorbuju se pri dnu solarne ćelije ili se reflektuju sa zadnje elektrode i ne doprinose povećanju struje solarne ćelije. Samo fotoni sa talasnim dužinama iz oblasti maksimuma osetljivosti solarne ćelije doprinose struji solarne ćelije [1,2,13-19, A1].

Izlazni parametri solarne ćelije

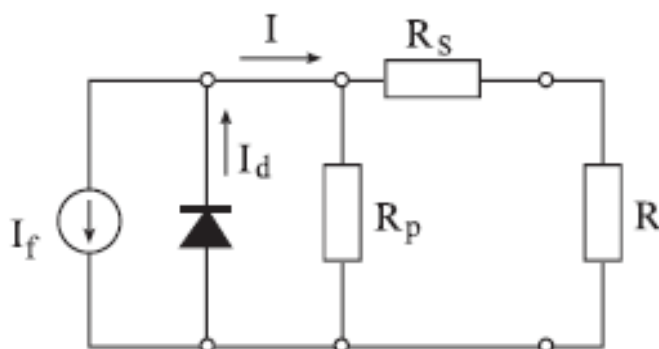
Solarna ćelija u električnom kolu predstavlja izvor jednosmerne električne struje.



Sl. 1.11.
Solarna ćelija u strujnom kolu

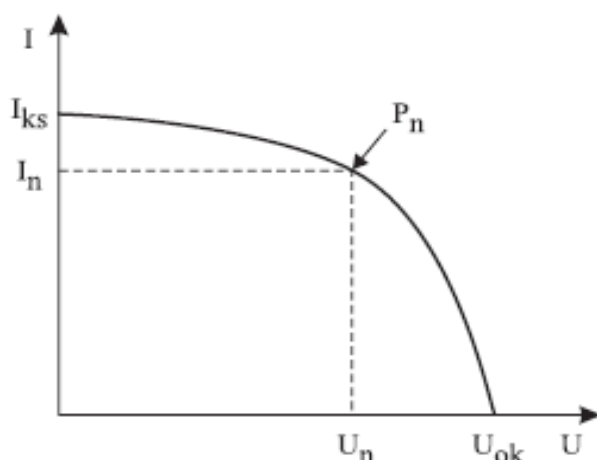
Izlazni parametri solarne ćelije su: struja kratkog spoja I_{ks} , napon otvorenog kola U_{ok} , nominalna struja I_n , nominalni napon U_n , maksimalna snaga P_n , faktor ispunje F i efikasnost η .

Solarna ćelija, kao izvor jednosmerne struje, poseduje serijsku otpornost R_s , koja potiče od otpornosti njenih slojeva i od otpornosti površinskih slojeva-elektroda. Postojanje mikrodefekata unutar solarne ćelije uslovljava postojanje njene paralelne otpornosti R_r .



Sl. 1.12.
Ekvivalentna šema solarne ćelije u strujnom kolu

Strujno-naponska karakteristika solarne ćelije obično se prikazuje u prvom kvadrantu, kao što je dato na slici 1.13.



Sl. 1.13.
Strujno-naponska karakteristika solarne ćelije

U važne karakteristike solarne ćelije spadaju napon otvorenog kola (U_{ok}) i struja kratkog spoja (I_{ks}). Napon otvorenog kola je maksimalni napon na krajevima solarne ćelije u otvorenom električnom kolu. Ukoliko je solarna ćelija kratko spojena, kroz kolo će proticati struja kratkog spoja I_{ks} , koja je srazmerna intenzitetu upadnog Sunčevog zračenja.

Pošto je električna snaga P jednaka proizvodu napona i struje, u primeni se radni otpor bira tako da ovaj proizvod dostigne maksimalnu vrednost. Proizvod UI u nekoj tački karakteristike solarne ćelije uvek je manji od proizvoda $U_{ok} I_{ks}$. Prema tome, za optimalnu radnu tačku, u kojoj je korisna snaga maksimalna, $P_n = U_n I_n$, odnosno $U_n I_n / U_{ok} I_{ks}$ je manji od jedinice. Taj odnos predstavlja faktor ispune (F) solarne ćelije:

$$P_n = U_n I_n = F U_{ok} I_{ks} \quad (1.15)$$

$$F = \frac{U_n I_n}{U_{ok} I_{ks}} \quad (1.16)$$

Faktor ispunje pokazuje koliko je data solarna ćelija bliska idealnoj, odnosno koliki je uticaj serijskog otpora na efikasnost solarne ćelije. Kod kvalitetnih solarnih ćelija faktor ispunje je od 0,7 do 0,9.

Efikasnost (stepen korisnog dejstva, η) solarne ćelije predstavlja odnos iskorišćene energije i ukupne energije Sunčevog zračenja koje pada na solarnu ćeliju. Efikasnost solarne ćelije se može izračunati na sledeći način:

$$\eta = \frac{I_n U_n}{I_s S} = \frac{F I_{ks} U_{ok}}{I_s S} \quad (1.17)$$

gde su U_n i I_n – napon i struja kratkog spoja, I_s – intenzitet Sunčevog zračenja i S – površina solarne ćelije.

Da bi efikasnost solarne ćelije bila veća, potrebno je da U_{ok} i I_{ks} budu veći i da je F približno jednako jedinici [1, 2, 13-21, **A1**].

Faktori koji utiču na efikasnost solarnih ćelija

Na efikasnost solarnih ćelija utiče više faktora, u koje spadaju: refleksija na površini solarne ćelije, gubici u infracrvenoj oblasti, gubici u ultraljubičastoj oblasti, gubici usled debljine solarne ćelije, gubici usled faktora napona, gubici usled rekombinacije i gubici na serijskom otporu.

Refleksija na površini solarne ćelije. Optička refleksija na solarnoj ćeliji zavisi od mikrohrapavosti njene površine. Sa povećanjem mikrohrapavosti prednje površine solarne ćelije dolazi do smanjenja refleksije sa nje. U cilju smanjenja refleksije na solarnu ćeliju se nanose odgovarajući antirefleksioni slojevi. Kod solarnih ćelija sa antirefleksionim slojevima optička refleksija može da se smanji na 3%.

Gubici u infracrvenoj oblasti. U Sunčevom spektru fotoni sa talasnim dužinama $\lambda > hc/E_g$, gde je E_g - energetski procep poluprovodničkog materijala od koga je napravljena solarna ćelija, ne generišu fotostruju, već dovode do porasta temperature solarne ćelije. Kod solarnih ćelija od monokristalnog i polikristalnog silicijuma na ovaj način se gubi oko 23% efikasnosti.

Gubici u ultraljubičastoj oblasti. Kod monokristalnih Si solarnih ćelija fotoni sa energijama iznad 1,1 eV generišu fotostruju i višak energije predaju monokristalu koji se pritom zagreva. Na ovaj način gubi se oko 33% efikasnosti solarne ćelije.

Gubici usled debljine solarne ćelije. Kod solarnih ćelija osetljivi deo nije dovoljno debeo da bi se apsorbovali svi upadni fotoni. Naime jedan deo fluksa prolazi kroz solarnu ćeliju i apsorbuje se na zadnjoj elektrodi. Gubici usled debljine solarne ćelije mogu da se smanje ispod 1% pomoću reflektujuće zadnje elektrode koja vraća u solarnu ćeliju fotone koji su došli do zadnje elektrode.

Gubici usled faktora napona. Prilikom apsorpcije Sunčevog zračenja elektroni ne primaju celokupan iznos apsorbovane energije u materijalu solarne ćelije. Usled toga je napon na krajevima solarne ćelije manji od očekivanog. Na ovaj način se gubi oko 17 % efikasnosti solarne ćelije.

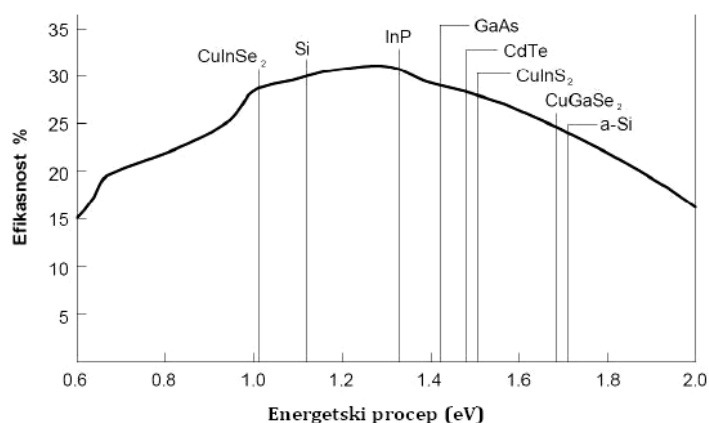
Gubici usled faktora ispune. Proizvod $I_n U_n$ na $I-U$ krivoj zbog njenog oblika nikada ne može biti jednak površini ispod krive. U najboljem slučaju faktor ispune može da dostigne vrednost 0,9. Usled ovoga gubi se oko 5% efikasnosti solarne ćelije.

Gubici usled rekombinacije. Generisani elektroni i šupljine u solarnoj ćeliji prilikom apsorpcije Sunčevog zračenja imaju određeni vek trajanja, nakon koga se rekombinuju, što dovodi do 4% gubitaka u njenoj efikasnosti.

Gubici na serijskom otporu. Na serijskom otporu solarne ćelije kao diodi gubi se oko 1% njene efikasnosti.

Neki od navedenih faktora gubitaka efikasnosti solarne ćelije uslovljeni su fundamentalnim fizičkim zakonima tako da se ne mogu smanjiti. Gubici efikasnosti koji zavise od tehnologije formiranja solarnih ćelija mogu da se smanje. Ukoliko bi se gubici koji zavise od tehnologije smanjili na minimum, maksimalna teorijska efikasnost monokristalnih solarnih ćelija iznosila bi 22%.

Zavisnost teorijske efikasnosti solarne ćelije od veličine energetskog procepa poluprovodničkog materijala od koga su napravljene data je na slici 1.14.



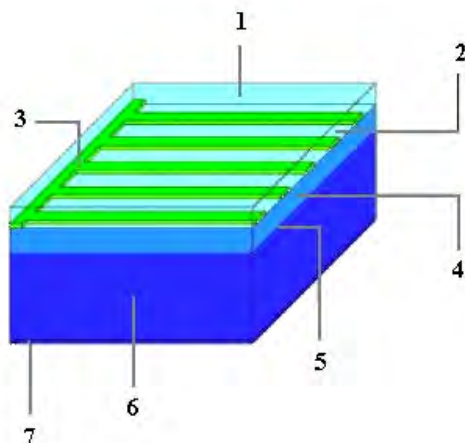
Sl. 1.14.

Zavisnost maksimalne teorijske efikasnosti solarne ćelije od veličine energetskog procepa poluprovodničkog materijala od koga su napravljene

Na kraju treba istaći da efikasnost solarnih ćelija u osnovi zavisi od energetskog procepa poluprovodničkog materijala od koga su napravljene [1, 2, 13-21, A1].

1.2.1. Solarne ćelije od monokristalnog silicijuma

Solarne ćelije od monokristalnog silicijuma sastoje se od poluprovodnika p tipa, debljine oko 300 μm , $p-n$ spoja i poluprovodnika n tipa, debljine oko 0,2 μm , metalnih kontakata (elektroda) i antirefleksionog sloja.



Sl. 1.15.

Šematski prikaz poprečnog preseka monokristalne Si solarne ćelije: 1) staklo, 2) antirefleksioni sloj, 3) prednja elektroda, 4) n sloj, 5) p-n spoj, 6) p sloj i 7) zadnja elektroda

Postupak izrade solarne ćelije od monokristalnog silicijuma sastoji se u pripremi pločice od monokristalnog silicijuma, dopiranju pločice, pripremi zadnje strane pločice, metalizaciji kontakata i nanošenju antirefleksionog sloja.

Od monokristala silicijuma iseku se pločice debljine 200–300 μm . Nakon sečenja, pločice se poliraju i čiste u razblaženom rastvoru hlorovodonične i azotne kiseline.

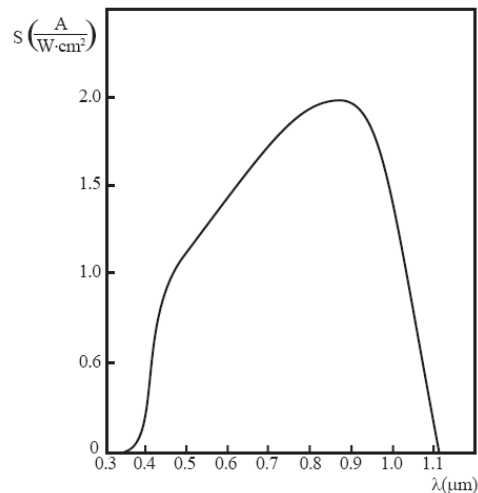
Za dobijanje poluprovodnika n tipa dopiranje silicijuma se vrši fosforom, a za dobijanje poluprovodnika p tipa dopiranje se vrši borom. Za dopiranje silicijuma i obrazovanje p - n spoja koriste se sledeće metode: *difuzija iz gasne faze, difuzija iz čvrstog stanja, epitaksijalni rast dopirajućeg sloja, jonska implantacija, itd.*

Prilikom formiranja monokristala silicijuma, postupkom difuzije iz gasne faze, rastopu silicijuma se dodaje bor, tako da je unutrašnji deo pločice od monokristalnog silicijuma poluprovodnik p tipa. Pločice silicijuma nalaze se u kvarcnoj cevi na temperaturi od 800 do 900°C. Pod dejstvom gasa koji se upušta u rastvor POCl_3 dolazi do isparavanja POCl_3 i prelaska fosfora u kvarcnu cev u kojoj se fosfor difuzijom ugrađuje u površinske delove pločica silicijuma. Posle dvadeset minuta koncentracija fosfora u površinskim delovima pločica od monokristalnog silicijuma znatno je veća od koncentracije bora, tako da se na površini pločica formira poluprovodnik n tipa. Uklanjanje n sloja sa zadnje strane i bočnih strana pločice vrši se hemijskim i mehaničkim putem.

Pošto je zadnja strana pločice od monokristalnog silicijuma udaljena od p - n spoja, a time i od uticaja unutrašnjeg električnog polja, javlja se problem prikupljanja naelektrisanja na njoj. Ovo se rešava tako što se zadnja strana pločice od monokristalnog silicijuma dopira jače od prednje strane. Ukoliko je osnovni materijal p tipa, zadnja strana će biti bogatije dopirana (p^+), tako da se dobije ćelija n^+pp^+ tipa, koja je poznata pod nazivom BSF ćelija ili ćelija sa poljem uz zadnju stranu.

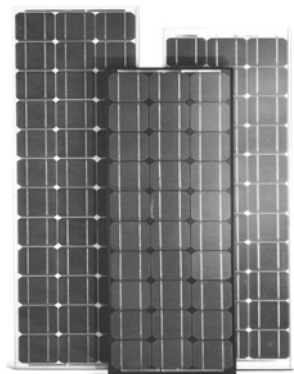
Metalni kontakti se formiraju vakuumskim napanjanjem odgovarajućih metala na pločicu od monokristalnog silicijuma. Za tu svrhu obično se koristi Ti/Pd/Ag prevlaka. Na silicijum se prvo nanosi Ti sloj koji ima dobru adheziju sa silicijumom, zatim se preko njega nanosi Pd sloj, a iznad ovoga Ag sloj. U cilju poboljšanja kontakta, između pločice od monokristalnog silicijuma i Ti/Pd/Ag i da bi metalni kontakt imao što manju kontaktnu otpornost, pločica sa metalnim kontaktom izvesno vreme se izlaže temperaturi od 500 do 600°C.

Antirefleksioni sloj se koristi za smanjenje refleksije i brzine površinske rekombinacije naelektrisanja. Zbog visokog indeksa prelamanja silicijuma (3–6), refleksija Sunčevog zračenja sa solarne ćelije od monokristalnog silicijuma iznosi 30 – 60%. Za antirefleksioni sloj mogu se koristiti materijali sa indeksom prelamanja od 1,5 do 2. U takve materijale spadaju: SiO, SiO₂, TiO, TiO₂, Ta₂O₃, itd. U zavisnosti od materijala od koga je napravljen antirefleksioni sloj mogu se proizvesti solarne ćelije od monokristalnog silicijuma u različitim bojama.



Sl. 1.16.
Spektralna osetljivost solarne ćelije od monokristalnog silicijuma

Solarne ćelije od monokristalnog silicijuma osetljive su u oblasti talasnih dužina od 0,4 do 1,1 μm, a maksimum njihove osetljivosti nalazi se na talasnim dužinama između 0,8-0,9 μm, koji se ne poklapa sa maksimumom spektralne distribucije Sunčevog zračenja. Iz tog razloga monokristalni silicijum nije idealan materijal za izradu solarnih ćelija.



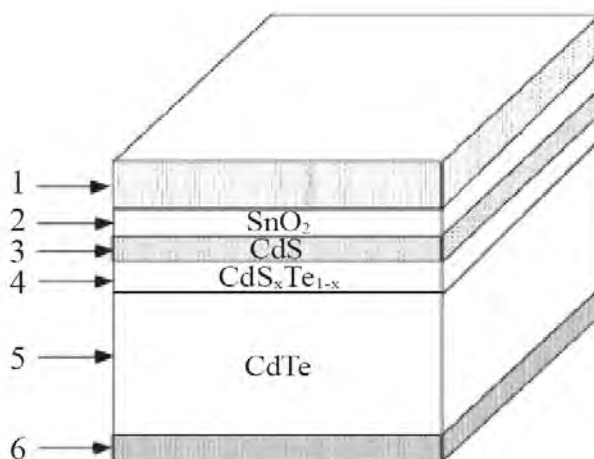
Sl. 1.17.
Solarni moduli od monokristalnog silicijuma

Komercijalne solarne ćelije od monokristalnog silicijuma imaju efikasnost 15%, a laboratorijske 24% [1, 2, 4, 6, 8, 9, 13-19, 22-26, **A1-A3, A5, A8, A9, A11-A20**].

1.2.2. CdTe solarne ćelije

Zahvaljujući širini zabranjene zone od $\sim 1,5$ eV (1,44eV) i koeficijentu apsorpcije od $\sim 10^5 \text{ cm}^{-1}$, CdTe predstavlja skoro idealan materijal za izradu solarnih ćelija.

CdTe solarne ćelije sastoje se od stakla, transparentne SnO_2 elektrode, n sloja (CdS), p - n spoja ($\text{CdS}_x\text{Te}_{1-x}$), p sloja (CdTe) i metalne elektrode. Šematski prikaz poprečnog preseka CdTe solarne ćelije dat je na slici 1.18.



Sl. 1.18.

Šematski prikaz poprečnog preseka CdTe solarne ćelije: 1) staklo, 2) transparentna SnO_2 elektroda, 3) n -sloj, 4) p - n spoj, 5) p -sloj i 6) metalna elektroda

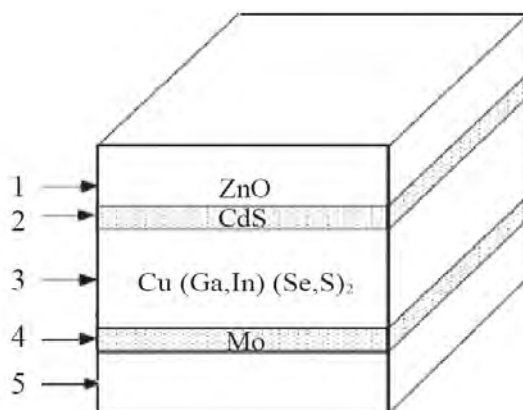
CdTe solarne ćelije su osjetljive u oblasti talasnih dužina od 0,3 do 0,95 μm , a maksimum njihove osjetljivosti nalazi se na talasnim dužinama između 0,7 – 0,8 μm .

Laboratorijske CdTe solarne ćelije imaju efikasnost oko 16%, dok komercijalne solarne ćelije imaju efikasnost oko 8%.

Velika toksičnost telura i ograničene prirodne rezerve su osnovni nedostaci u perspektivi razvoja ovih ćelija [1, 2, 4, 6, 8, 9, 13-19, 23-28, **A1-A3, A5, A8, A9, A11, A14-A19**].

1.2.3. CIS solarne ćelije

CIS solarne ćelije sastoje se od stakla, transparentne ZnO elektrode, n sloja (CdS), p - n spoja, p sloja (CuInSe_2) i metalne elektrode (Mo). Šematski prikaz poprečnog preseka CIS solarne ćelije dat je na slici 1.19.



Sl. 1.19.

Šematski prikaz poprečnog preseka CIS solarne ćelije: 1) transparentna ZnO elektroda, 2) *p*-sloj, 3) *n*-sloj, 4) metalna elektroda i 5) staklo

Zahvaljujući širini zabranjene zone od 0,95 do 1,2 eV i koeficijentu apsorpcije od $\sim 3 \cdot 10^4 \text{ cm}^{-1}$ na talasnim dužinama ispod 1000 nm, CuInSe₂ predstavlja skoro idealan materijal za izradu solarnih ćelija.

CIS solarne ćelije su osetljive u oblasti talasnih dužina od 0,4 do 1,2 μm , a maksimum njihove osetljivosti nalazi se na talasnim dužinama između 0,7 – 0,8 μm . Laboratorijske CIS solarne ćelije imaju efikasnost oko 19%, dok komercijalne solarne ćelije imaju efikasnost od 7,5 do 9,5 %.

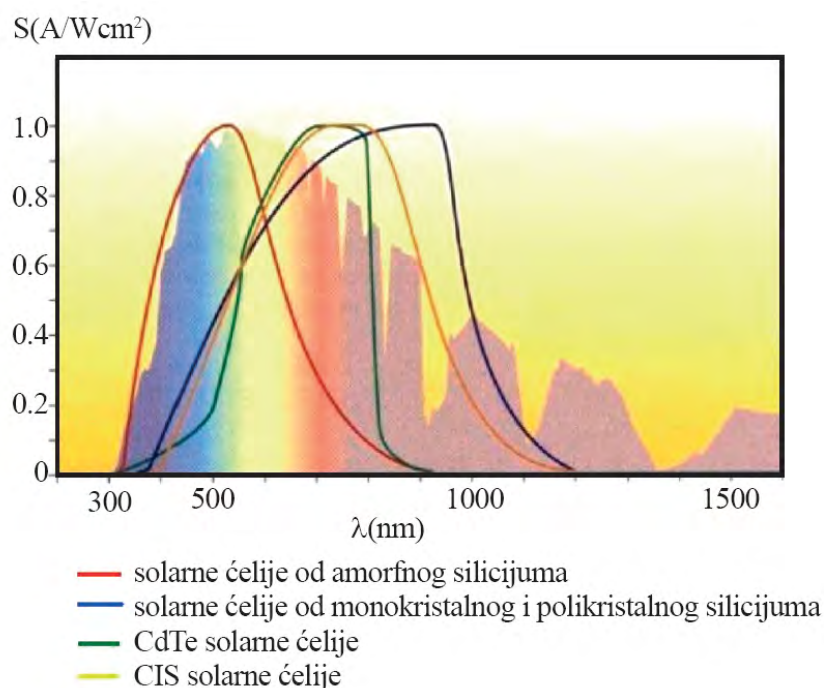
Uporedni prikaz osnovnih fizičkih karakteristika solarnih ćelija od monokristalnog silicijuma, CdTe i CIS solarnih ćelija dat je u tabeli 1.1.

Tab. 1.1. Uporedni prikaz osnovnih fizičkih karakteristika solarnih ćelija od monokristalnog silicijuma, CdTe i CIS solarnih ćelija

Materijal	Debljina/osnova	Efikasnost	Boja	Osnovne karakteristike
Solarna ćelija od monokristalnog silicijuma (c-Si solarna ćelija)	0,3 mm	15 – 18%	Tamno plava, crna sa sivim metalnim kontaktima	- dug proces proizvodnje, - najistraženiji materijal za izradu solarnih ćelija - najbolji odnos snaga/površina.
CdTe solarna ćelija	0,008 mm / staklo 3 mm	6 – 9% (modul)	Tamno zelena, crna	- toksičnost telura, - znatno smanjeni troškovi proizvodnje u budućnosti.
CIS solarna ćelija	0,003 mm / staklo 3 mm	7,5 – 9,5% (modul)	Crna	- limitirane rezerve indijuma u prirodi, - znatno smanjeni troškovi proizvodnje u budućnosti.

Efikasnost CIS solarnih ćelija se povećava dodavanjem male količine galijuma (Ga) u donji *p* sloj, čime se dobijaju CIGS (CuInGaSe₂) solarne ćelije.

Uparedni prikaz spektralne osetljivosti solarnih ćelija od monokristalnog silicijuma, amornog silicijuma, CdTe i CIS solarnih ćelija dat je na slici 1.20.



Sl. 1.20.

Uparedni prikaz spektralne osetljivosti solarnih ćelija od monokristalnog silicijuma, amornog silicijuma, CdTe i CIS solarnih ćelija

[1, 2, 4, 6, 8, 9, 13-19, 23-28, **A1-A3, A5, A8, A9, A11, A14-A19**]

1.3. Solarne elektrane

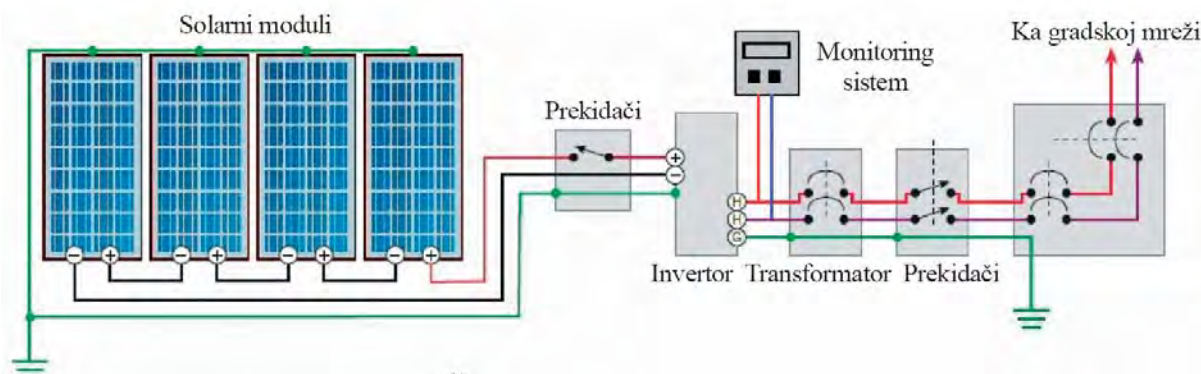
Pod fotonaponskim solarnim sistemom podrazumeva se sistem pomoću koga se Sunčevo zračenje pretvara u električnu energiju i vrši snabdevanje potrošača jednosmernom i/ili naizmeničnom strujom.

Fotonaponski solarni sistem može da radi nezavisno od elektrodistributivne mreže ili da bude priključen za nju. U zavisnosti od komponenata od kojih se sastoji, fotonaponski solarni sistem koji nije priključen za elektrodistributivnu mrežu potrošačima može da da jednosmernu ili naizmeničnu struju.

Fotonaponski solarni sistemi priključeni za elektrodistributivnu mrežu sastoje se od solarnih modula, invertora, strujomera i priključnih vodova za priključenje solarnog sistema za elektrodistributivnu mrežu. Kod ovih sistema se celokupan iznos proizvedene električne energije predaje elektrodistributivnoj mreži. U ove sisteme spadaju solarne elektrane velike snage i solarne elektrane male snage postavljene na privatnim kućama, stambenim i drugim objektima.

Pod solarnom elektranom (PV solarna elektrana) se podrazumeva elektrana koja pomoću solarnih ćelija pretvara Sunčevo zračenje u električnu energiju. Solarna elektrana se sastoji od solarnih ćelija grupisanih u solarne module, invertora koji pretvara jednosmerni u naizmenični napon i transformatora, preko koga se dobijena električna energija predaje elektrodistributivnoj mreži. Rad solarne elektrane je automatizovan i kontrolisan pomoću odgovarajućeg računarskog programa.

Šematski prikaz solarne elektrane dat je na slici 1.21.



Sl. 1.21.
Šematski prikaz PV elektrane

Kod solarnih elektrana se najčešće koriste solarni moduli od monokristalnog i polikristalnog silicijuma, a ređe od tankoslojnih materijala, kao što su amorfni silicijum i CdTe. Solarni moduli od monokristalnog i polikristalnog silicijuma su pogodniji za područja sa pretežno direktnim Sunčevim zračenjem, dok su solarni moduli sa solarnim ćelijama od tankoslojnih materijala pogodniji za područja sa pretežno difuznim sunčevim zračenjem.

Invertor

Pod invertorom se podrazumeva uređaj koji pretvara jednosmerni napon koji se dobija pomoću solarne elektrane od 12 V ili 24 V u trofazni nazmenični napon od 220 V. Pod efikasnošću invertora se podrazumeva odnos jednosmernog električnog signala na ulazu i naizmeničnog električnog signala na izlazu iz invertora. U zavisnosti od konstrukcije efikasnost invertora se kreće do 97%. Pri izboru invertora potrebno je da se vodi računa o naponu na izlazu iz polja solarnih modula, snazi polja solarnih modula, parametrima gradske mreže, izboru načina upravljanja solarnom elektranom, itd. Kod solarnih elektrana može da se koristi veći broj invertora manje snage ili jedan ili dva invertora veće snage.

Invertori, koji se koriste kod fotonaponskog sistema za snabdevanje potrošača naizmeničnom strujom, koriste MOSFET-ove (unipolarne tranzistore), čija je izlazna snaga od 100 W do 32 kW.

Izbor odgovarajućeg invertora za primenu kod fotonaponskih solarnih sistema zavisi od talasnog oblika izlaznog napona, zahteva opterećenja sistema, efikasnosti sistema itd. U zavisnosti od talasnog oblika izlaznog napona (izlaznog signala), invertori se mogu podeliti na: invertore pravougaonog izlaznog signala, invertore modifikovanog pravougaonog izlaznog signala, invertore modifikovanog sinusnog izlaznog signala i invertore impulsno-širinsko modulisanog izlaznog signala.

Invertori pravougaonog izlaznog signala spadaju u grupu najjednostavnijih i najjeftinijih invertora, efikasnosti od 70 do 98%. Invertori ovog tipa, jednosmerni napon na njegovom ulazu pretvaraju u naizmenični napon pravougaonog talasnog oblika na izlazu i obično se koriste kada potrošači nisu zahtevni u pogledu čistoće ulaznog signala, jer viši harmonici mogu izazvati probleme u motorima i fluorescentnim lampama. Proizvode se do nazivne snage od 1 MW, sa izrazito velikim kapacitetom udarnog opterećenja (do 20 puta). Primena invertora pravougaonog izlaznog signala je ograničena zbog prisustva viših harmonika koji dovode do izobličenja (distorzije) izlaznog signala i do 40%.

Invertori modifikovanog sinusnog izlaznog signala imaju izobličenje izlaznog signala oko 5% i efikasnost preko 90%. Slaba strana ovih invertora su male nazivne snage, od 300 do 2500 W.

Invertori impulsno-širinsko modulisanog izlaznog signala (napona) daju izlazni signal koji je po obliku najbliži sinusnom signalu. Rad ovog tipa invertora zasniva se na impulsno-širinskoj modulaciji napona (*PWM* signal). Invertor ovog tipa je složenije strukture, sa distorzijom manjom od 5% i efikasnosti preko 90%. Ovaj tip invertora ima dobre mogućnosti u pogledu nazivnih snaga koje idu i do 20 kW po jedinici i dosta se koristi u slučajevima gde je potrebna dobra preciznost sinusnog talasa.

Najkvalitetniji i najskuplji su invertori sa čistim sinusnim talasom koji se koriste za mrežne aplikacije fotonaponskih sistema i pripadaju grupi *mrežno komutiranih invertora*. Čistoća sinusnog talasa dobija se korišćenjem složenih filtera koji smanjuju efikasnost uređaja ispod 80%. Nazivne snage se kreću do 2 kW, dok je distorzija manja od 1% [1, 2, 6, 8, 9, 13, 15, 23-25, 29, 30, **A1-A3, A5, A8, A9, A11, A14, A15, A19**].

Monitoring sistem

Monitoring sistem solarne elektrane se sastoji od centralne merno-kontrolne jedinice za praćenje režima rada elektrane. Kod monitoring sistema se koriste odgovarajući senzori i softveri, pomoću kojih može da se dobije sledeći podaci: dnevna, mesečna i godišnja proizvodnja električne energije, redukcija CO₂, detaljna promena parametara sistema, snimanje događaja nakon kvara, praćenje meteoroloških parametara, alarm itd.

Kod solarnih elektrana se, u skladu sa važećim propisima elektrodistributivnih sistema, koriste transformatori preko kojih se električna energija, dobijena pomoću solarne elektrane, predaje elektrodistributivnoj mreži.

Praksa je pokazala da energetska efikasnost solarne elektrane godišnje opada od 0,5 do 1%. Vek trajanja solarnih modula zavisi od tehnologije izrade solarnih ćelija. Za solarne ćelije od monokristalnog i polikristalnog silicijuma proizvođači daju garanciju *10/90* i *25/80*, što znači da se daje desetogodišnja garancija da će solarni modul funkcionisati sa više od 90% nominalne snage i više od 25 godina sa 80% nominalne snage. Vek trajanja solarnih modula od monokristalnog i polikristalnog silicijuma je oko 30 godina.

Solarne elektrane predstavljaju ekološki čist izvor električne energije. Komponente solarne elektrane (solarni moduli, invertori, monitoring sistem, provodnici itd.) se proizvode po savremenim, ekološki prihvatljivim tehnologijama. Solarne elektrane rade bešumno, ne ispuštaju štetne materije i ne emituju štetno elektromagnetno zračenje u okolinu. Recikliranje solarne elektrane se vrši bez štetnog uticaja na okolinu. Za 1 kWh električne energije proizvedene pomoću solarne elektrane smanjuje se emisija 0,568 kg CO₂ u atmosferu.

U zavisnosti od klimatskih uslova lokacije, u svetu se danas instaliraju fiksne, jednoosno i dvoosno rotacione solarne elektrane. Fiksne solarne elektrane se najčešće instaliraju u regionima sa kontinentalnom i umereno-kontinentalnom klimom, a rotacione u regionima sa tropskom klimom [1, 2, 6, 8, 9, 13, 15, 23-25, 29, 30, **A1-A3, A5, A8, A9, A11, A14, A15, A19**].

1.3.1. Fiksna solarna elektrana

Pod fiksnom solarnom elektranom podrazumeva se elektrana kod koje su solarni moduli postavljeni na fiksne metalne nosače pod optimalnim uglom u odnosu na horizontalnu ravan sa orijentacijom prema jugu.



Sl. 1.22.
Fiksna solarna elektrana

Imajući u vidu da se ukupno Sunčevo zračenje (I_{CF}) sastoji od direktnog, difuznog i reflektovanog zračenja, za izračunavanje energije ukupnog Sunčevog zračenja koje u jedinici vremena pada pod nekim uglom θ na kvadratni metar površine solarnih modula fiksne solarne elektrane koji su postavljeni pod uglom Σ u odnosu na horizontalnu ravan na Zemlji pri jasnom i vedrom danu, u kompjuterskim simulacijama, se koristi aproksimativni izraz:

$$I_{CF} = Ae^{-km} \left[\cos \beta \cos(\phi_s - \phi_c) \sin \Sigma + \sin \beta \cos \Sigma + C \left(\frac{1 + \cos \Sigma}{2} \right) + \rho (\sin \beta + C) \left(\frac{1 - \cos \Sigma}{2} \right) \right] \quad (1.18)$$

gde je A - energija ekstraterestričnog Sunčevog zračenja koje u jedinici vremena pada normalno na kvadratni metar površine, k - koeficijent atenuacije Sunčevog zračenja u Zemljinoj atmosferi koji zavisi od sastava i promena u atmosferi, m - optička vazдушna masa, β - visina Sunca, ϕ_s - azimut Sunca, ϕ_c - azimutni ugao jedinične površine solarnih modula, Σ - ugao nagiba jedinične površine solarnih modula u odnosu na horizontalnu ravan na Zemlji, C - difuzni faktor i ρ - koeficijent refleksije (albedo).

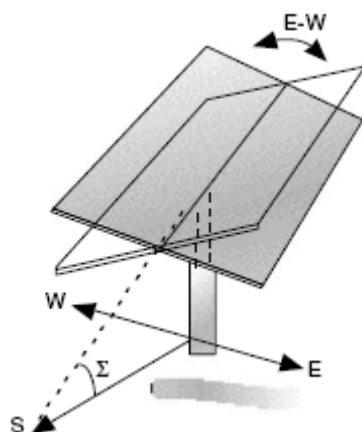
Za izgradnju fiksne solarne elektrane od 1 kW sa solarnim modulima od monokristalnog silicijuma je potrebno od 5 do 8 m² površine, sa CdTe solarnim modulima od 9 do 11 m² površine, a sa CIS solarnim modulima od 8 do 10 m² površine.

Cena izgradnje fiksle solarne elektrane u Republici Srbiji iznosi 1,5 eur/Wp. Troškovi održavanja fiksne solarne elektrane manji su u odnosu na troškove održavanja rotacionih solarnih elektrana.

Nedostatak fiksne solarne elektrane ogleda se u tome da solarni moduli ne prate Sunčevo zračenje, tako da se na godišnjem nivou ne dobija optimalni iznos električne energije [1, 2, 6, 8, 9, 13, 15, 23-25, 29-32, A1 - A3, A5, A8, A9, A11, A14, A19].

1.3.2. Jednoosno rotaciona solarna elektrana

Pod jednoosno rotacionom solarnom elektranom podrazumeva se elektrana kod koje su solarni moduli, postavljeni pod optimalnim uglom prema jugu i koji u toku dana prate dnevnu promenu položaja Sunca na nebu okretanjem oko vertikalne ose od istoka ka zapadu. Šematski prikaz položaja solarnih modula kod jednoosno rotacione solarne elektrane dat je na slici 1.23.



Sl. 1.23.

Šematski prikaz položaja solarnih modula kod jednoosno rotacione solarne elektrane

Za izračunavanje energije ukupnog Sunčevog zračenja (I_{C1a}) koje u jedinici vremena pada na kvadratni metar površine solarnih modula kod jednoosno rotacione solarne elektrane pri jasnom i vedrom danu, u kompjuterskim simulacijama, se koristi aproksimativni izraz:

$$I_{C1a} = Ae^{-km} \left[\cos \delta + C \left(\frac{1 + \cos(90^\circ - \beta + \delta)}{2} \right) + \rho(\sin \beta + C) \left(\frac{1 - \cos(90^\circ - \beta + \delta)}{2} \right) \right] \quad (1.19)$$

gde je A - energija ekstraterestričnog Sunčevog zračenja koje u jedinici vremena pada normalno na kvadratni metar površine, k - koeficijent atenuacije Sunčevog zračenja u Zemljinoj atmosferi koji zavisi od sastava i promena u atmosferi, m - optička vazдушna masa, β - visina Sunca, δ - deklinacija Sunca, C - difuzioni faktor i ρ - koeficijent refleksije (albedo).

Za okretanje solarnih modula koriste se elektromotori, za čiji je rad potrebna električna energija iz akumulatora ili gradske mreže. Za kontrolu okretanja rotora koristi se odgovarajući centralizovani računarski sistem. Ukoliko iz nekog razloga dođe do otkazivanja računarskog sistema, solarni moduli mogu ručno da se podešavaju prema Suncu. Takođe je moguće i ručno podešavanje nagiba solarnih modula u odnosu na horizontalnu ravan u koracima od 5° od 0 do 45° .

Kod jednoosno rotacione solarne elektrane javlja se efekat senke solarnih modula koji se nalaze na susednim rotorima, tako da je za izgradnju jednoosno rotacione solarne elektrane

od 1 MW potrebno oko 60 000 m² površine. Po literaturnim podacima, efikasnost jednoosno rotacione solarne elektrane je 20 – 25% veća od efikasnosti fiksne solarne elektrane.

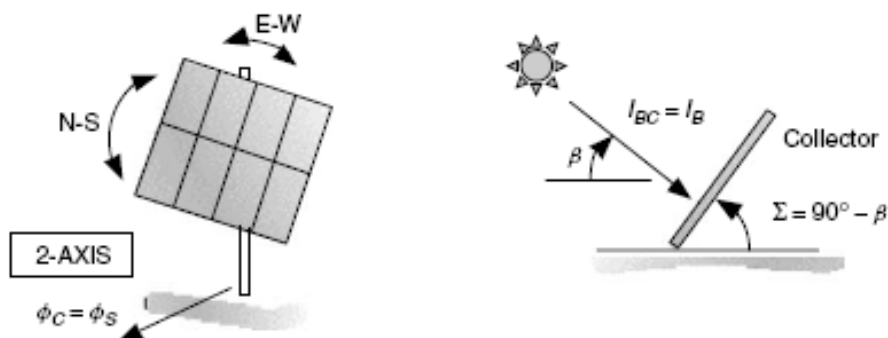


Sl. 1.24.
Jednoosno rotaciona solarna elektrana

Troškovi održavanja jednoosno rotacione solarne elektrane su veći od troškova za održavanje fiksne elektrane. Cena izgradnje jednoosno rotacione solarne elektrane je za 30% veća u odnosu na cenu izgradnje fiksne solarne elektrane. Pored ovoga, nedostatak jednoosno rotacione solarne elektrane ogleda se i u činjenici da u toku godine nema automatskog podešavanja nagiba solarnih modula u odnosu na visinu Sunca [1, 2, 6, 8, 9, 13, 15, 23-25, 29-36, **A1 - A3, A5, A8, A9, A11, A14, A19**].

1.3.3. Dvoosno rotaciona solarna elektrana

Pod dvoosno rotacionom solarnom elektranom podrazumeva se elektrana kod koje se položaj solarnih modula u toku godine podešava prema Suncu okretanjem oko vertikalne i horizontalne ose. Šematski prikaz položaja solarnih modula kod dvoosno rotacione solarne elektrane dat je na slici 1.25.



Sl. 1.25.
Šematski prikaz položaja solarnih modula kod dvoosno rotacione solarne elektrane

Kod ovih elektrana se solarni moduli orijentišu prema Suncu pomoću odgovarajućih elektromotora.



Sl. 1.26.
Dvoosno rotaciona solarna elektrana

Za izračunavanje energije ukupnog Sunčevog zračenja (I_{C2a}) koje u jedinici vremena pada na kvadratni metar površine solarnih modula kod dvoosno rotacione solarne elektrane pri jasnom i vedrom danu, u kompjuterskim simulacijama, koristi se aproksimativni izraz:

$$I_{C2a} = Ae^{-km} \left[C \left(\frac{1 + \cos(90^\circ - \beta)}{2} \right) + \rho(\sin \beta + C) \left(\frac{1 - \cos(90^\circ - \beta)}{2} \right) \right] \quad (1.20)$$

gde je A - energija ekstraterestričnog zračenja koje u jedinici vremena pada normalno na kvadratni metar površine, k - koeficijent atenuacije Sunčevog zračenja u Zemljinj atmosferi koji zavisi od sastava i promena u atmosferi, m - optička vazдушna masa, β - visina Sunca, C - difuzioni faktor i ρ - koeficijent refleksije (albedo).

Efikasnost dvoosno rotacione solarne elektrane je 25–30% veća od efikasnosti fiksne solarne elektrane.

Za izgradnju i rad dvoosno rotacione solarne elektrane potrebna je veća površina u odnosu na fiksnu elektranu.

Troškovi održavanja dvoosno rotacione solarne elektrane su veći od troškova održavanje jednoosno rotacione elektrane.

Cena izgradnje dvoosno rotacione solarne elektrane je za 47% veća u odnosu na cenu izgradnje fiksne elektrane [1, 2, 6, 8, 9, 13, 15, 23-25, 29-36, **A1 - A3, A5, A8, A9, A11, A14, A19**].

1.4. Računarski softveri za određivanje potencijala Sunčevog zračenja i energetske efikasnosti solarnih elektrana

Sa povećanjem broja instaliranih solarnih sistema u svetu povećava se i potražnja za softverima koji se mogu koristiti za analizu, procenu i simulaciju rada ovih sistema. Na svetskom tržištu prisutan je veliki broj računarskih softvera za tu namenu. Neki od njih su lako dostupni preko interneta dok su drugi komercijalni. Softveri za simulaciju rada solarnih elektrana se dizajniraju sa različitim ciljevima. Karakteristike tih softvera zavise od cilja njihove upotrebe i svaki od njih funkcioniše za specifičnu oblast primene solarnih sistema.

Najčešće korišćeni softveri za simulaciju rada solarnih sistema su: RETScreen, PV F-Chart, SolarDesignTool, INSEL, TRNSYS, NREL Solar Advisor Model, ESP-r 11.5, PVSYST 4.33, SolarPro, PV DesignPro-G, PV*SOL Expert, HOMER, dok se ređe koriste softveri poput: DDS-CAD PV, Polysun, APOS photovoltaic StatLab, PV Designer, SolarNexus, Valentin Software, PV Cost Simulation Tool, PV Potential Estimation Utility, SolmetricIPV, Solmetric Suneye, Blue Oak Energy and Solar Pro Magazine's Solar Select, Seneca Software & Solar, Inc., Sombbrero, Horizon, Panorama master, METEONORM, GOSOL, Shadows, Shadow Analyser, SPYCE, ECOTECT, Tetti FV, Kerychip, PV Professional, Pvcad, Meteocontrol, itd.

Većina računarskih softvera za analizu, procenu i simulaciju rada solarnih sistema koriste različite oblike ulaznih fajlova i njihovih formata, ali uglavnom svi zahtevaju slične vrste podataka kao što su: geografski položaj date lokacije, vrednosti energije Sunčevog zračenja, tehničke karakteristike komponenata solarnog sistema, itd [37-41, A1, A7].

1.4.1. PVGIS

Za izračunavanje energetske efikasnosti solarnih elektrana u Evropi, Africi i jugozapadnoj Aziji, najčešće se koristi PVGIS (Photovoltaic Geographical Information System) računski program, koji je nastao kao deo SOLAREC (Solar Electricity Action) programa, koji doprinosi implementaciji obnovljivih izvora energije u Evropskoj Uniji.

Pomoću PVGIS-a mogu da se dobiju sledeći podaci: srednje dnevne, mesečne i godišnje vrednosti energije globalnog Sunčevog zračenja koje padne na kvadratni metar horizontalne ili površine koja je nagnuta pod određenim uglom u odnosu na horizontalnu površinu, vrednosti energije direktnog Sunčevog zračenja, promena optimalnog ugla nagiba solarnih modula u toku godine, odnos difuznog i globalnog Sunčevog zračenja, srednja dnevna temperatura, dnevni, mesečni i godišnji iznos električne energije koja može da se dobije pomoću fiksne, jednoosno i dvoosno rotacione on-grid ili off-grid solarne elektrane sa solarnim modulima od monokristalnog silicijuma, CdTe i CIS solarnim modulima i integrisanih PV sistema u objektima sa solarnim modulima od monokristalnog silicijuma, CdTe i CIS solarnim modulima orijentisanim pod različitim uglovima u odnosu na horizontalnu ravan itd.

Prilikom izračunavanja mesečne i godišnje proizvodnje električne energije koja može da se dobije pomoću solarne elektrane, PVGIS koristi solarnu bazu koja sadrži podatke o energiji globalnog Sunčevog zračenja koje u toku dana dospe na kvadratni metar horizontalne površine, a koje su dobijene merenjima u 566 mernih stanica na Zemlji u periodu od jula 1981. do juna 1990. godine i koji su obrađeni interpolacionim metodama (*s.surf.rst* i *s.vol.rst*). PVGIS solarna baza je zasnovana na *r.sun* modelu Sunčevog zračenja. U *r.sun* modelu je razvijen algoritam koji koristi jednačine za izračunavanje energije Sunčevog zračenja koje su objavljene u *Evropskom atlasu sunčevog zračenja (European Solar Radiation*

Atlas). Detaljnije informacije o PVGIS solarnoj bazi i *r.sun* modelu mogu se naći u mnogim referentnim radovima M.Šúria, T.Cebecauera, T. Hulda i drugih [36-59, A1 - A3, A5, A7].

Za izračunavanje mesečne proizvodnje električne energije koja može da se dobije pomoću solarne elektrane, PVGIS koristi analitički model koji se zasniva na matematičkim formulama u kojima su uračunati efekti temperature modula, energije Sunčevog zračenja za datu lokaciju i tip solarnih modula. U skladu sa tim za izračunavanje električnih parametara solarne elektrane u PVGIS-u se koriste sledeći izrazi:

$$P = \frac{G}{G_0} P_{pk} eff_{rel}(G', T'_m) \quad (1.21)$$

- gde je
- P - izlazna snaga solarnih modula (W),
 - P_{pk} - nominalna snaga modula pri standardnim uslovima koju definiše proizvođač (W),
 - G_0 - 1000 W/m² - intenzitet Sunčevog zračenja,
 - G - intenzitet Sunčevog zračenja koje pada na kvadratni metar solarnih modula preuzet iz PVGIS solarne baze (W/m²) i
 - eff_{rel} - relativna efikasnost sistema (%).

Relativna efikasnost PV solarnih sistema (eff_{rel}) se izračunava pomoću izraza:

$$eff_{rel}(G', T'_m) = 1 + k_1 \ln(G') + k_2 \ln(G')^2 + k_3 T'_m + k_4 T'_m \ln(G') + k_5 T'_m \ln(G')^2 + k_6 T'^2_m \quad (1.22)$$

- gde je
- eff_{rel} - relativna efikasnost sistema (%),
 - G' = $G / 1000$ (W/m²),
 - T'_m = $T_{amb} + k_T G - 25^\circ\text{C}$ (°C) – temperatura solarnih modula,
 - k_i - koeficijenti koji zavise od izabranog tipa solarnih modula i određeni su na osnovu eksperimentalnih merenja i
 - k_T - koeficijent koji zavisi od načina instaliranja PV solarnih sistema:
 - $k_T = 0,035$ °C/(W/m²) - za PV sisteme instalirane na tlu (vrednost je dobijena na osnovu laboratorijskih merenja)
 - $k_T = 0,05$ °C/(W/m²) - za PV solarne sisteme instalirane na objektu (vrednost koeficijenta je uzeta iz literature)

Za izračunavanje godišnjeg iznosa električne energije (E) koja može da se dobije pomoću solarne elektrane, u PVGIS-u se koristi izraz:

$$E = 365 P_{pk} PR H_{h,i} \quad (1.23)$$

- gde je
- P_{pk} - nominalna snaga solarnih modula pri standardnim uslovima (W),
 - PR (*performance ratio*) = 0,75 - odnos performansi sistema za solarne module od monokristalnog i polikristalnog silicijuma,
 - $H_{h,i}$ - srednja dnevna energija Sunčevog zračenja koje dospe na kvadratni metar horizontalne površine ili površine orijentisane pod nekim uglom u odnosu na horizontalnu ravan.

[36-59, A1 - A3, A5, A7 A8, A9, A11]

1.4.2. RETScreen

RETScreen (*RETScreen Clean Energy Project Analysis softver*) je Excel program koji se koristi za procenu i tehno-ekonomsku analizu sistema koji koriste obnovljive izvore energije, energetske efikasnosti i projekata kogeneracije. Prva verzija ovog softvera napravljena je 1996. godine u Nacionalnom centru za obnovljivu energiju Kanade (*Natural Resources Canada (NRCan) CANMET Energy Technology Centre for renewable energy technologies analysis*).

RETScreen je dostupan preko interneta [<http://www.etscreen.net/>] i širom sveta se koristi za razvoj energetske industrije i u naučno-istraživačke i edukacione svrhe za procenu proizvodnje toplotne i/ili električne energije iz obnovljivih izvora energije, za procenu uštede primarne energije, troškova instalacije i održavanja sistema, smanjenja emisija gasova staklene bašte, finansijsku izvodljivost i rizika korišćenja različitih vrsta obnovljivih i energetski efikasnih tehnologija. Osnovna funkcija ovog programa je procena i poređenje rada konvencionalnih sistema za proizvodnju toplotne i električne energije sa predloženim, simuliranim sistemom koji proizvodi energiju iz obnovljivih izvora i procena i poredjenje troškova rada simuliranog sistema i ušteda emisije gasova staklene bašte sa radom konvencionalnih sistema. Poret toga, RETScreen softver obezbeđuje korisnicima klimatske podatke dobijene merenjima iz meteoroloških stanica na zemlji i sa NASA SEE satelita.

U RETScreen-u se izvršava petostepena standardna analiza za svaki predloženi model:

1. *Energetski model (The Energy Model)* u kome korisnik unosi lokaciju postavljanja energetskog sistema, tip i karakteristike sistema i opterećenje. RETScreen zatim izračunava godišnju proizvodnju energije kao i uštedu energije.
2. *Analiza troškova (Cost Analysis)*: Korisnik definiše početne, godišnje i periodične troškove za predloženi sistem, kao i inkrementalne troškove.
3. *Analiza smanjenja emisije gasova staklene bašte (Greenhouse Gas (GHG) Analysis (optional))*: Određuje godišnje smanjenje emisije gasova staklene bašte koji nastaju korišćenjem predloženih tehnologija i sistema.
4. *Finansijski rezime (Financial Summary)* u kome korisnik precizira niz finansijskih parametara koji se odnose na izbegnute troškove energije, proizvodnih kredita, kredita za smanjenje emisija gasova staklene bašte, podsticaja, inflacije, diskontnih stopa, duga i poreza. Na osnovu toga RETScreen računa niz finansijskih pokazatelja (npr. neto sadašnja vrednost, itd.) koji utiču na održivost projekta.
5. *Analiza osetljivosti i rizika (Sensitivity & Risk Analysis (optional))*: RETScreen određuje neizvesnost u procenama različitih ključnih parametara koji mogu da utiču na finansijsku održivost projekta.

Prilikom izračunavanja mesečne i godišnje proizvodnje električne energije koja može da se dobije pomoću solarne elektrane i njene energetske efikasnosti, RETScreen koristi meteorološke podatke (temperaturu ambijenta, vlažnost vazduha, atmosferski pritisak, brzinu vetra i vrednosti srednje dnevne energije Sunčevog zračenja koje u toku meseca dospeva na horizontalnu površinu ili površinu nagnutu pod nekim uglom u odnosu na horizontalnu ravan), dobijene merenjima na Zemlji u 6500 mernih stanica u svetu i na osnovu satelitskih merenja u periodu od jula 1982. do juna 2006. godine [37-41, 60, A1,A7].

1.4.3. HOMER

HOMER je kompjuterski program formiran 1992. godine u američkoj Laboratoriji za obnovljive izvore energije *NREL* (National Renewable Energy Laboratory, Kolorado, SAD). Pomoću Homer-a može da se vrši modeliranje i simulaciju rada, procena proizvodnje električne i toplotne energije i izračunavanje energetske efikasnosti PV sistema, vetrogeneratora, hidroelektrana itd. Pored ovoga, pomoću Homer programa može da se izvrši tehno-ekonomska analiza isplativosti obnovljivih izvora energije u toku njihovog životnog veka, kao i optimizacija i analiza osetljivosti sistema.

U Homer-u postoje posebno pripremljeni alati za jednostavno kreiranje šematskih blok dijagrama za određeni tip sistema koji koriste obnovljive izvore energije. Prilikom izračunavanja mesečne i godišnje proizvodnje električne ili toplotne energije koja može da se dobije pomoću sistema koji koriste obnovljive izvore energije, neophodno je napraviti konfiguraciju željenog sistema i tačno definisati konfiguraciju sistema i sve komponente i parametre potrebne za njegovu simulaciju u Homer-u.

Za simulaciju rada solarne elektrane u Homer-u među bitnim ulaznim parametrima su podaci o Sunčevom zračenju. Homer koristi NASA solarnu bazu koja sadrži statistički obrađene podatke o energiji globalnog Sunčevog zračenja koje u toku dana dospe na kvadratni metar horizontalne površine, a koje su dobijene satelitskim merenjima u periodu od jula 1983. do juna 2005. godine. Međutim, korisnik može sam da unese prosečne satne ili mesečne vrednosti energiji globalnog Sunčevog zračenja koja dospe na kvadratni metar horizontalne površine ili prosečne mesečne vrednosti indeksa prozračnosti. Ako korisnik unese mesečne prosečne vrednosti energije globalnog Sunčevog zračenja, Homer računa sintetiziranu (veštačku) satnu globalnu radijaciju koristeći poseban algoritam koji su razvili Graham i Holands.

Za simulaciju rada i izračunavanje mesečne proizvodnje električne energije koja može da se dobije pomoću solarne elektrane, Homer koristi analitički model koji se zasniva na matematičkim formulama u kojima su uračunate vrednosti energije Sunčevog zračenja za datu lokaciju, efekat temperature, karakteristike solarnih modula i ostalih komponenti elektrane. U skladu sa tim u Homer-u je razvijen algoritam koji se bazira na tzv. HDKR modelu. Ovaj model uzima u obzir trenutnu vrednost energije Sunčevog zračenja koja dospeva na kvadratni metar horizontalne površine, orijentaciju solarnih modula, lokaciju, vreme u godini i vreme dana. U toku svakog sata u godini Homer računa vrednosti energije Sunčevog zračenja koja dospeva na solarne module. Detaljnije informacije o HDKR modelu mogu se naći u poglavlju 2.16. knjige Duffie-a i Beckmann-a *Solar Engineering of Thermal Processes 2nd ed* [37-41, 61-68, **A1, A7**].

Za izračunavanje mesečne proizvodnje električne energije (P_{pv}) koja može da se dobije pomoću solarne elektrane sa uračunatim efektom temperature solarnih modula, u Homer-u se koristi sledeći izraz:

$$P_{pv} = f_{pv} Y_{pv} \frac{\overline{G}_T}{\overline{G}_{T,STC}} [1 + \alpha_p (T_c - T_{c,STC})] \quad (1.24)$$

gde je f_{pv} - faktor gubitaka (%), Y_{pv} - ukupna instalisana snaga solarnih modula (kW), \overline{G}_T - energija Sunčevog zračenja koja u jedinici vremena dospeva na kvadratni metar solarnih modula (kW/m²), $\overline{G}_{T,STC}$ - 1 kW/m², T_c - temperatura solarnih modula, $T_{c,STC}$ - temperatura solarnih modula pri standardnim uslovima i α_p - temperaturni koeficijent maksimalne snage solarnog modula (% / °C).

Za izračunavanje mesečne proizvodnje električne energije (P_{pv}) koja može da se dobije pomoću solarne elektrane bez uračunavanja efekta temperature solarnih modula, u Homer-u se koristi sledeći izraz:

$$P_{pv} = f_{pv} \cdot Y_{pv} \cdot \frac{\overline{G}_T}{\overline{G}_{T,STC}} \quad (1.25)$$

gde je f_{pv} - faktor gubitaka (%), Y_{pv} - ukupna instalisana snaga solarnih modula (kW), \overline{G}_T - energija Sunčevog zračenja koja u jedinici vremena dospeva na kvadratni metar solarnih modula (kW/m²) i $\overline{G}_{T,STC}$ - 1 kW/m².

[37-41, 61-68, A1, A7]

1.5. Karakteristični parametri solarne elektrane

U karakteristične parametre solarne elektrane spadaju energetska efikasnost (η), specifični prinos (Y_f), odnos performansi sistema (PR) i kapacitet (CF). Ovi parametri su definisani standardom IEC 61724:1998 [69-77].

1.5.1. Energetska efikasnost solarne elektrane

Pod energetsom efikasnošću (η) solarne elektrane podrazumeva se odnos električne energije koja se u određenom vremenskom intervalu dobija pomoću solarne elektrane i energije Sunčevog zračenja koje pada na solarne module elektrane u istom vremenskom intervalu i izračunava se pomoću izraza:

$$\eta = \frac{E_e}{S \cdot G_{opt}} \quad (1.26)$$

gde je E_e - iznos električne energije koja se u određenom vremenskom intervalu dobija pomoću solarne elektrane (Wh), G_{opt} - iznos energije globalnog Sunčevog zračenja koje je u određenom vremenskom intervalu dospelo na solarne module elektrane (Wh/m²) i S - ukupna površina solarnih modula elektrane (m²).

Imajući u vidu prethodno, može da se govori o satnoj, dnevnoj, mesečnoj i godišnjoj energetske efikasnosti solarne elektrane.

Dnevna energetska efikasnost (η_D) solarne elektrane se izračunava pomoću izraza:

$$\eta_D = \frac{E_D}{S \cdot G_{opt}} \quad (1.27)$$

gde je E_D - ukupan iznos električne energije koja se u toku dana dobije pomoću solarne elektrane (Wh), G_{opt} - ukupan iznos energije globalnog Sunčevog zračenja koje je u toku dana dospelo na solarne module (Wh/m²) i S - ukupna površina solarnih modula (m²).

Mesečna energetska efikasnost (η_M) solarne elektrane se izračunava pomoću izraza:

$$\eta_M = \frac{\sum_{i=1}^n (E_D)_i}{S \cdot \sum_{i=1}^n (G_{opt})_i} \quad (1.28)$$

gde je n - redni broj dana u mesecu.

Godišnja energetska efikasnost (η_G) solarne elektrane se izračunava pomoću izraza:

$$\eta_G = \frac{\sum_{i=1}^{365} (E_D)_i}{S \cdot \sum_{i=1}^{365} (G_{opt})_i} \quad (1.29)$$

gde je n - redni broj dana u godini.

1.5.2. Specifični prinos solarne elektrane

Pod specifičnim prinosom solarne elektrane (*Specific yield factor*, Y_f) podrazumeva se odnos električne energije koja se dobija pomoću solarne elektrane u određenom vremenskom intervalu i koja se predaje elektrodistributivnoj mreži i ukupne instalisane snage solarnih modula. Specifični prinos solarne elektrane (Y_f) se izračunava pomoću izraza:

$$Y_f = \frac{E_{AC\ out}}{P_{\max,STC}} \quad (1.30)$$

gde je $E_{AC\ out}$ - električna energija koja se dobija pomoću solarne elektrane i predaje elektrodistributivnoj mreži (kWh) i $P_{\max,STC}$ - ukupna instalisana snaga solarnih modula (kW_p).

U skladu sa tim, može da se govori o satnom, dnevnom, mesečnom i godišnjem specifičnom prinosu solarne elektrane.

1.5.3. Odnos performansi sistema

Pod odnosom performansi sistema (*Performance Ratio*, PR) podrazumeva se odnos specifičnog prinosa solarne elektrane i referentnog prinosa i izračunava se pomoću izraza:

$$PR = \frac{Y_f}{Y_R} \quad (1.31)$$

gde je Y_f - specifični prinos i Y_R – referentni prinos solarne elektrane.

Referentni prinos solarne elektrane (Y_r) se izračunava pomoću izraza:

$$Y_r = \frac{G_{opt} \text{ (kWh/m}^2\text{)}}{1 \text{ (kW/m}^2\text{)}} \quad (1.32)$$

gde je G_{opt} – ukupan iznos energije globalnog Sunčevog zračenja koje je dospelo na solarne module elektrane.

U fizičkom smislu, odnos performansi sistema predstavlja ukupne gubitke u sistemu usled degradacije i zaprljanosti modula tokom vremena, gubitke na provodnicima, invertoru i transformatoru kao i prilikom predaje električne energije elektrodistributivnoj mreži.

1.5.4. Kapacitet solarne elektrane

Pod kapacitetom solarne elektrane (*Capacity factor, CF*) podrazumeva se odnos realne godišnje proizvodnje električne energije i električne energije koja bi se dobila ukoliko bi elektrana radila sa ukupnom instalisanom (nominalnom) snagom 24 h dnevno za godinu dana. Kapacitet solarne elektrane se izračunava pomoću izraza:

$$CF = \frac{Y_f}{8760(h)} = \frac{E_{AC\ out}}{P_{\max,STC} \cdot 8760} = \frac{G_{opt} \cdot PR}{P_{\max,STC} \cdot 8760} \quad (1.33)$$

gde je Y_f - specifični prinos, $E_{AC\ out}$ - električne energije koja se dobija pomoću solarne elektrane i predaje elektrodistributivnoj mreži (kWh), $P_{\max,STC}$ – ukupna instalisana snaga solarnih modula (kW_p), G_{opt} – ukupan iznos energije globalnog Sunčevog zračenja koje je dospelo na solarne module elektrane i PR - odnos performansi sistema.

[69-77]

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] J. Radosavljević, T. Pavlović, M. Lambić, *Solarna energetika i održivi razvoj*, Građevinska knjiga, Beograd, 2004, 388 str; drugo izmenjeno i dopunjeno izdanje 2010, 388 str., ISBN 978-86-395-0573-8.
- [3] D. Gajić, *Fizika Sunca*, Prosveta, Niš, 2005, 270 str., ISBN 86-83481-29-8.
- [4] E. Jakupović, D. Mirjanić, *Obnovljivi izvori energije*, Panevropski „Apeiron“ Univerzitet, Banja Luka, Republika Srpska, 2009, 394 str., ISBN 978-99955-49-23-7.
- [5] <http://zebu.uoregon.edu/~soper/Sun/fusionsteps.html>
- [6] Gilbert M. Masters, *Renewable and Efficient Electric Power Systems*, John Wiley &

- Sons, Inc., Hoboken, New Jersey, 2004, 676 str., ISBN 0-471-28060-7.
- [7] <http://www.powerfromthesun.net/book.html>
- [8] D. Chiras, R. Aram, K. Nelson, *Power from the sun-achieving energy independence*, New society publishers, Canada, 2009.
- [9] R. Messenger, J. Ventre, *Photovoltaic systems engineering*, CEC Press, Taylor & Francis Group, USA, 2010.
- [10] http://www.eihp.hr/hrvatski/sunceva_energija8.htm
- [11] K. Scharmer, J. Greif, *The European Solar Radiation Atlas*, Vol.1: Fundamentals and maps, L'Ecole des Mines, Paris, 2000, ISBN: 2-911762-21-5.
- [12] www.sail.msk.ru/lectures/part_1.ppt
- [13] G. N. Tiwari and Swapnil Dubey, *Fundamentals of Photovoltaic Modules and Their Applications*, RSC Energy Series No. 2, 2009, 423 str., ISBN: 978 1 84973 020 4.
- [14] T. Markvart, L. Castaner, *Solar Cells*, Elsevier, Amsterdam, 2006.
- [15] *Handbook of Photovoltaic Science and Engineering*, Edited by A. Luque and S. Hegedus © 2003 John Wiley & Sons, Ltd, ISBN: 0-471-49196-9.
- [16] B. Parida, S. Iniyar, R. Goic, *A review of solar photovoltaic technologies*, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 15 (2011), 3, pp. 1625-1636.
- [17] G.N. Tiwari, R.K. Mishra, S.C. Solanki, *Photovoltaic modules and their applications: A review on thermal modelling*, Applied Energy, Vol. 88 (2011), pp. 2287–2304.
- [18] Martin Libra, Vladislav Poulek, *Solarni Energije, Fotovoltaika- perspektivni trend současnosti i blizke budoucnosti*, ČZU, 2005, 122 str., ISBN 8021313358.
- [19] <http://pveducation.org/>
- [20] M. E. Meral, F. Dincer, *A review of the factors affecting operation and efficiency of photovoltaic based electricity generation systems*, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 15 (2011), 5, pp. 2176-2184.
- [21] L. El Chaar, L. A. Iamont, N. El Zein, *Review of photovoltaic technologies*, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 15 (2011), 5, pp. 2165-2175.
- [22] Ignacio Tobias, Carlos del Canizo, Jesus Alonso, *Crystalline Silicon Solar Cells and Modules*, Handbook of Photovoltaic Science and Engineering. Edited by A. Luque and S. Hegedus © 2003 John Wiley & Sons, Ltd ISBN: 0-471-49196-9.
- [23] <http://photovoltaics.alldocs.info/?f=40200&l=2&n=Photovoltaics&>
- [24] *Technical Application Papers No.10, Photovoltaic plants*, ABB Library, [<http://search.abb.com/library/Download.aspx?DocumentID=1SDC007109G0202&LanguageCode=en&DocumentPartId=&Action=Launch>]
- [25] <http://photovoltaics.alldocs.info/?f=40212&l=2&d=14&n=Chapter%209.%20PHOTOVOLTAIC%20SYSTEMS%20-%20TU%20Delft%20OpenCourseWare&>
- [26] V.V. Tyagi, Nurul A.A. Rahim, N.A. Rahim, Jeyraj A./L. Selvaraj, *Progress in solar PV technology: Research and achievement*, Renewable and Sustainable Energy Reviews, Vo. 20, 2013, pp. 443-461.
- [27] H.S. Ullal, *Overview and Challenges of ThinFilm Solar Electric Technologies*, Conference Paper at the World Renewable Energy Congress X and Exhibition 2008. Available online at: <http://www.scribd.com/doc/58670014/NREL-Thin-Film-Overview-2008>.
- [28] M. Green, *Thin-film solar cells: Review of materials, technologies and commercial status*, Journal of Materials Science: Materials in Electronics, 18 (2007), 1, pp. 15-19.
- [29] M. A. Eltawil and Z. Zhao, *Grid-connected photovoltaic power systems: technical and potential problems-a review*, Renewable and Sustainable Energy Reviews, Vol. 14, no. 1, pp. 112–129, 2010.

- [30] Chetan Singh Solanki, *Solar photovoltaic technology and systems: A manual for technicians, trainers and engineers*, Asoke K. Ghosh, PHI Learning Private Limited, Rimjhim House, Delhi, India, 2013, pp.1-306, ISBN-978-81-203-4711-3.
- [31] Taher Maatallah, Souheil El Alimi, Sassi Ben Nassrallah, *Performance modeling and investigation of fixed, single and dual-axis tracking photovoltaic panel in Monastir city, Tunisia*, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15 (2011) 8, pp. 4053–4066.
- [32] Francisco Javier Gómez-Gil, Xiaoting Wang, Allen Barnett, *Energy production of photovoltaic systems: Fixed, tracking, and concentrating*, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16 (2012), 1, pp. 306-313.
- [33] Z. Li, X. Liu, R. Tang, *Optical performance of vertical single-axis tracked solar panels*, *Renewable Energy*, 36 (2011), 1, pp. 64-68.
- [34] H. Mousazadeh, A. Keyhani, A. Javadi, H. Mobli, K. Abrinia, A. Sharifi, *A review of principle and sun-tracking methods for maximizing solar systems output*, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 13 (2009), 8, pp. 1800-1818.
- [35] L. Narvarte, E. Lorenzo, *Tracking and Ground Cover Ratio*, *Progress in Photovoltaics: Research and Applications*, 16 (2008), 8, pp. 703–714.
- [36] D. Djurdjević, *Perspectives and assessments of solar PV power engineering in the Republic of Serbia*, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15 (2011), 5, pp. 2431-2446.
- [37] G. T. Klise, J. S. Stein, *Models Used to Assess the Performance of Photovoltaic Systems*, SANDIA REPORT, SAND2009-8258, 2009, [<http://www.osti.gov/bridge/>].
- [38] M. Lalwani, D.P. Kothari, M. Singh, *Investigation of Solar Photovoltaic Simulation Softwares*, *International Journal Of Applied Engineering Research*, DINDIGUL, 1 (2010), 3, pp. 585-601.
- [39] D. Markovic, D. Cvetkovic, B. Masic, *Survey of software tools for energy efficiency in a Community*, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15 (2011), pp. 4897-4909.
- [40] http://www.appropedia.org/Solar_photovoltaic_software.
- [41] <http://www.dconnolly.net/research/planning/tools/index.html>.
- [42] Marcel Šúri, *Solar resource data and tools for an assessment of photovoltaic systems*, Chapter 7, Status Report 2006, EUR 22752 EN, 2007, pp. 96-102, [<http://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/111111111/524>].
- [43] G. Panayiotou, S. Kalogirou, S. Tassou, *Design and simulation of a PV and PV-Wind standalone energy system to power a household application*, *Renewable Energy*, 37 (2012), pp. 355-363.
- [44] I. Pagola et al., *New methodology of solar radiation evaluation using free access databases in specific locations*, *Renewable Energy*, 35 (2010), 2792-2798.
- [45] <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps3/pvest.php>
- [46] J. Hofierka, M. Šúri, *The solar radiation model for Open source GIS: implementation and applications*, Proceedings of the Open source GIS - GRASS users conference, 2002, Trento, Italy, 2002.
- [47] Athanasios Angelis-Dimakis, Markus Biberacher, Javier Dominguez, Giulia Fiorese, Sabine Gadocha, Edgard Gnansounou, Giorgio Guariso, Avraam Kartalidis, Luis Panichelli, Irene Pinedo, Michela Robba, *Methods and tools to evaluate the availability of renewable energy sources*, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 15 (2011), pp. 1182–1200.
- [48] M. Šúri, T. A. Huld, E. D. Dunlop, *PV-GIS: A Web-based Solar Radiation Database for the Calculation of PV Potential in Europe*, *International Journal of Sustainable*

- Energy, 24 (2005), 2, pp. 55-67.
- [49] M. Šuri, J. Hofierka, *A New GIS-based solar radiation model and its application for photovoltaic assessments*, Transactions in GIS 2004; 8 (2):175-90.
- [50] Marcel Šuri, Thomas A. Huld, Ewan D. Dunlop, Heinz A. Ossenbrink, *Potential of solar electricity generation in the European Union member states and candidate countries*, Solar Energy 81 (2007) pp. 1295–1305.
- [51] M. Šuri, T.A. Huld, E.D. Dunlop, M. Albuissou, L. Wald, *Online data and tools for estimation of solar electricity in Africa: the PVGIS approach*, Proceedings from 21st European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, 2006, Germany.
- [52] V. N. Dike et al., *Optimal angles for harvesting solar electricity in some African cities*, Renewable Energy, 39 (2012), pp. 433-439.
- [53] J. Hofierka, J. Kanuk, *Assessment of photovoltaic potential in urban areas using open-source solar radiation tools*, Renewable Energy, 34 (2009), pp. 2206-2214.
- [54] http://grass.fbk.eu/gdp/html_grass64/r.sun.html
- [55] <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/solres/solrespvgis.htm>
- [56] http://grass.fbk.eu/gdp/html_grass64/v.surf.rst.html
- [57] <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/solres/solmod3.htm>
- [58] J. A. Carrion et al., *The electricity production capacity of photovoltaic power plants and the selection of solar energy sites in Andalusia (Spain)*, Renewable Energy, 33 (2008), pp. 545-552.
- [59] T. C. Chineke, *Equations for estimating global solar radiation in data sparse regions*, Renewable Energy, 33 (2008), pp. 827-831.
- [60] <http://www.retscreen.net/>
- [61] <http://www.homerenergy.com/>
- [62] www.pspb.org/e21/media/HOMERModelingInformation.pdf
- [63] N. Lopez, J. F. Espiritu, *An approach to hybrid power systems integration considering different renewable energy technologies*, Procedia Computer Science, 6 (2011), pp. 463–468.
- [64] Md. A. H. Mondal, M. Denich, *Assessment of renewable energy resources potential for electricity generation in Bangladesh*, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 14 (2010), pp. 2401–2413.
- [65] S. M. Shaahid, I. El-Amin, *Techno-economic evaluation of off-grid hybrid photovoltaic–diesel–battery power systems for rural electrification in Saudi Arabia—A way forward for sustainable development*, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 13 (2009), pp. 625–633.
- [66] <http://eosweb.larc.nasa.gov/sse/>
- [67] T. V. Ramachandra, R. Jain, G. Krishnadas, *Hotspots of solar potential in India*, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 15 (2011), pp. 3178– 3186.
- [68] V. A. Graham, K. G. T. Hollands, *A method to generate synthetic hourly solar radiation globally*, Solar Energy, 44 (1990), 6, 333-341.
- [69] Ulrike Jahn, Wolfgang Nasse, *Operational performance of grid-connected PV systems on buildings in Germany*, Progress in photovoltaics: Research and applications, Vol. 12,2004, pp. 441-448, doi:10.1002/pip.550.
- [70] Cristian P. Chioncel, Dieter Kohake, Ladislau Augustinov, Petru Chioncel, Gelu Ovidiu Tirian, *Yield factors of a photovoltaic plant*, Acta Technica Corviniensis – Bulletin of Engineering, 2010, pp. 63-66, ISSN: 1584-2665.
- [71] Mohamed A. Eltawil, Zhengming Zhao, *Grid-connected photovoltaic power systems: Technical and potential problems - A review*, Renewable and Sustainable Energy Reviews, Vol. 14, 2010, pp. 112–129.

- [72] Emmanuel Kymakis, Sofoklis Kalykakis, Thales M. Papazoglou, *Performance analysis of a grid connected photovoltaic park on the island of Crete*, Energy Conversion and Management, Vol. 50, 2009, pp. 433–438.
- [73] Jayanta Deb Mondol, Yigzaw G. Yohanis, Brian Norton, *Optimal sizing of array and inverter for grid-connected photovoltaic systems*, Solar Energy, Vol. 80, 2006, pp. 1517–1539.
- [74] www.nrel.gov/docs/fy05osti/37358.pdf
- [75] IEC-*Photovoltaic system performance monitoring—guidelines for measurement, data exchange and analysis*, Geneva, Switzerland; 1998.
- [76] www.irena.org/DocumentDownloads/.../4_System_Design_Guidelines.pdf.
- [77] www.cleanenergycouncil.org.au/.../Grid-Connect-PV...

II POGLAVLJE

**TEORIJSKA ANALIZA ENERGETSKE
EFIKASNOSTI SOLARNIH ELEKTRANA
NA TERITORIJI REPUBLIKE SRBIJE I
REPUBLIKE SRPSKE**

2.1. Teorijska analiza energetske efikasnosti solarnih elektrana na teritoriji Republike Srbije

2.1.1. Geografski položaj i klima Republike Srbije

Republika Srbija je kontinentalna država koja se nalazi u jugoistočnoj Evropi, a prostire se na Balkanskom poluostrvu i jednim delom u srednjoj Evropi (Panonskoj niziji). Republika Srbija se nalazi između 41°46'40" i 46°11'25" severne geografske širine i 18°06' i 23°01' istočne geografske dužine. Republika Srbija pripada kontinentalnoj klimatskoj oblasti, koja može da se podeli na oblasti sa kontinentalnom klimom u Panonskoj niziji, umereno-kontinentalnom klimom u nižim delovima planinskog predela i planinskom klimom na visokim planinama.

Reljef bitno utiče na klimu Republike Srbije. Paralelno sa obalom Jadranskog mora pruža se venac Dinarskih planina Crne Gore, koje sprečavaju intenzivnije prodiranje vazdušnih masa sa Jadranskog mora ka prostoru Republike Srbije. Sa druge strane teritorija Republike Srbije je, preko Panonske nizije, široko otvorena klimatskim uticajima sa severa i istoka. Dolinama Kolubare, Velike i Južne Morave olakšano je prodiranje vazdušnih masa u pravcu sever-jug i obratno.

Klima Republike Srbije nalazi se pod uticajem geografskih oblasti nad kojima se formiraju vazdušne mase određenih fizičkih osobina. Najveći uticaj na klimu u Republici Srbiji imaju vazdušne mase koje se formiraju nad Sibirom, Arktikom, Atlanskim okeanom, afričkim kopnom i Sredozemljem. Nad ovim oblastima formira se polje visokog vazdušnog pritiska. Na teritoriju Republike Srbije često prodire hladan vazduh sa prostora Sibira, a ređe sa Arktika [1-3, **A1, A2, A4**].

Kontinentalna (Panonska) klima

Severni deo Republike Srbije čini prostrana Panonska oblast koja je široko otvorena i izložena klimatskim uticajima sa severa i istoka. U Panonskoj niziji zastupljena je kontinentalna klima koja obuhvata Vojvodinu i njen obod do 800 m visine. Kontinentalna klima se odlikuje izrazito toplim letima sa nedovoljno vlage. Zime su duge i oštre, a jeseni i proleća umerena i kratka.

Srednje godišnje temperature vazduha u Panonskoj oblasti povećavaju se od zapada prema istoku i od severa prema jugu. Sombor na krajnjem zapadu ima srednju godišnju temperaturu od 11,1°C, a Jaša Tomić na istoku 14,4°C. Srednja godišnja temperatura Palića na krajnjem severu iznosi 10,6°C, a Beograda, na južnom obodu Panonske oblasti, 11,6°C. Najtopliji mesec u Panonskoj oblasti je juli. Međutim, i u tom pogledu na celom prostoru Panonske oblasti postoje izvesne razlike. Od zapada prema istoku letnje temperature rastu. Na primer, srednja julska temperatura u Somboru (Bačka) je 21,2°C, a u Vršcu (Banat) 23,3°C. Najviše letnje temperature su od 35 do 44,3°C (Stari Bečej), a u peščarama i do 60°C. Zima je u Panonskoj oblasti izuzetno hladna. Najniže zimske temperature su na istoku regije u Banatu i Bačkoj, dok je nešto toplije po obodu Panonskog basena. Januar je najhladniji mesec sa prosečnom temperaturom od -1,9°C na Paliću i 0,3°C u Smederevu.

Padavine su na prostoru Panonske nizije nedovoljne i neravnomerno raspoređene tokom godine. Takođe se razlikuje i teritorijalni raspored padavina. Najmanje padavina tokom godine na celom prostoru Panonske oblasti prima Vojvodina. Prosečno Banat i Bačka godišnje prime

oko 500–600 mm, a u nekim godinama ispod 400 mm padavina. Zbog toga je ovde česta pojava suša. Od centralnih delova Panonske nizije prema jugu, zapadu i istoku količina padavina se povećava. Oko Vršca godišnje ima oko 600–800 mm padavina. Prema jugu količina padavina se sporije povećava, tako da Požarevac godišnje primi 609 mm, a Smederevo 650 mm padavina [1-3, **A1, A2, A4**].

Umereno-kontinentalna (planinska) klima

Umereno-kontinentalna klima vlada u planinskom pojasu Republike Srbije od 800 do 1400 m nadmorske visine. Odlikuje se umereno toplim letima, jesenima koje su duže i toplije od proleća i hladnim zimama.

Planinska klima vlada u pojasu preko 1400 m nadmorske visine. Na teritoriji Republike Srbije je najizraženija na Šar-planini, Prokletijama, Kopaoniku, Staroj planini, itd. Ovaj klimatski tip se odlikuje dugim, hladnim i snežnim zimama i kratkim i svežim letima. U visokim kraškim poljima i kotlinama Planinske oblasti Republike Srbije klima se razlikuje od umereno-kontinentalne do planinske. Zbog temperaturne inverzije, zime su u njima oštrije. Leta su u kraškim poljima prijatna, a u višim čak i prohladna. Žege su tokom lete retke i kratko traju. U zatvorenim i od vetra zaštićenim kotlinama u Republici Srbiji vlada prava župna klima. Ove kotline su i leti i zimi toplije od svoje okoline. Srednje mesečne i srednje godišnje temperature vazduha u Planinskoj oblasti Republike Srbije se smanjuju sa porastom geografske širine i nadmorske visine. Najniže srednje mesečne i godišnje temperature vazduha u Republici Srbiji su na Šar planini, Staroj planini i Kopaoniku.

Planinsku oblast Republike Srbije karakteriše i župna varijanta umereno-kontinentalne klime koja je karakteristična za Aleksandrovačku, Metohijsku i Vranjsku kotlinu. Župna varijanta umereno-kontinentalne klime nastaje kao posledica veće zaštićenosti pomenutih kotlina od prodora hladnog vazduha sa severa. Za planinsku oblast Republike Srbije karakteristične su i temperaturne inverzije. Visoke kotline i kraška polja u Planinskoj oblasti u toku zime se jače rashlade od svoje okoline i to naročito noću, kada se sa okolnih planina spušta hladan vazduh koji se u kotlinama i kraškim poljima ujezeri i duže zadržava. Oblačnost u Planinskoj oblasti iznosi od 55 do 60% godišnje.

Dužina trajanja sijanja sunca u Planinskoj oblasti Republike Srbije iznosi 1500–2000 časova godišnje. Mala dužina trajanja sijanja Sunca je posledica velike oblačnosti, naročito u zimskom delu godine. Dužina trajanja sijanja Sunca je najmanja na planinama. Na Tari Sunce sija 1700 časova godišnje ili 4,9 časova dnevno. Na Kopaoniku godišnja dužina trajanja sijanja Sunca iznosi 1741 časova ili 5 časova dnevno. Padavine su na prostoru Planinske oblasti obilne. Prosečno Planinska oblast Srbije primi 1700 mm padavina godišnje [1-3, **A1, A2, A4**].

Merenja meteoroloških parametara u Republičkom hidrometeorološkom zavodu Srbije vršena su u skladu sa standardima Svetske Meteorološke Organizacije (World Meteorological Organization, WMO). Nažalost, za Požarevac, Čačak, Novu Varoš, Kosovsku Mitrovicu, Đakovicu i Prizren, za navedeni period, nije postajala mogućnost za kontinualnim merenjima meteoroloških podataka.

Srednje godišnje vrednosti meteoroloških podataka Republičkog hidrometeorološkog zavoda Srbije merenih u periodu od 1961-2010. godine za 23 grada u Republici Srbiji date su u tabeli 2.1 [3, **A2**].

Tab. 2.1. Srednje godišnje vrednosti meteoroloških podataka Republičkog hidrometeorološkog zavoda Srbije merenih u periodu od 1961-2010. godine za 23 grada u Republici Srbiji

Gradovi Srbije	Dužina trajanja sisanja Sunca (h)	Temperatura (°C)	Količina padavina (mm)	Vlažnost vazduha (%)	Oblačnost (%)
Subotica	2112,9	10,75	550,9	69,73	54,33
Sombor	2050,1	10,86	592,7	73,75	55,58
Novi Sad	2062,4	11,18	613,3	71,28	52,67
Vršac	2060,0	11,64	660,8	70,14	52,67
Beograd	2073,2	12,22	692,5	68,50	54,00
Negotin	2083,5	11,47	632,8	70,28	51,17
Požarevac	----	-----	-----	-----	-----
Valjevo	1957,9	11,15	783,2	74,38	58,42
Kragujevac	1988,6	10,99	646,3	73,36	55,50
Užice	1604,9	10,23	757,5	77,33	53,75
Zaječar	2014,1	10,70	597,3	73,25	56,67
Čačak	-----	-----	-----	-----	-----
Kruševac	1777,8	11,03	636,3	76,5	54,67
Nova Varoš	-----	-----	-----	-----	-----
Niš	1956,3	11,64	591,4	70,15	55,42
Kuršumlja	1776,0	10,17	639,2	76,68	52,00
Novi Pazar	1948,0	12,18	409,2	76,75	60,83
Pirot	2084,1	10,78	595,6	74,99	54,5
Leskovac	2002,0	10,49	618,0	76,75	55,58
Kosovska Mitrovica	-----	-----	-----	-----	-----
Vranje	2075,8	10,97	600,5	70,9	55,42
Đakovica	-----	-----	-----	-----	-----
Prizren	-----	-----	-----	-----	-----

Na osnovu podataka u tabeli 2.1. vidi se da se:

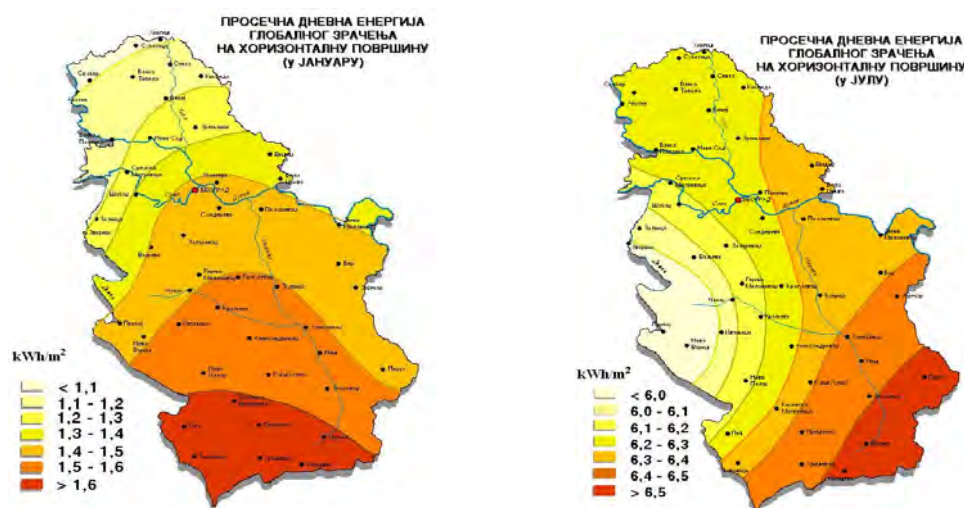
- srednje godišnje vrednosti dužine trajanja sisanja sunca nalaze u granicama između 1604,9 sati (Užice) i 2084,1 časova (Pirot);
- srednje godišnje vrednosti temperature nalaze u granicama između 10,17°C (Kuršumlja) i 12,22°C (Beograd);
- srednje godišnje vrednosti količine padavina nalaze u granicama između 409,2 mm (Novi Pazar) i 783,2 mm (Valjevo);
- srednje godišnje vrednosti vlažnosti vazduha nalaze u granicama između 68,50% (Beograd) i 77,33% (Užice) i
- srednje godišnje vrednosti oblačnosti nalaze u granicama od 51,17% (Negotin) do 60,83% (Novi Pazar).

Srednja dnevna dužina trajanja sisanja Sunca za navedene gradove iznosi 5,4h.

2.1.2. Potencijal Sunčevog zračenja u Republici Srbiji

Intenzitet Sunčevog zračenja u Republici Srbiji je među najvećima u Evropi, sa prosekom od 272 sunčana dana, odnosno godišnjim prosekom od 2300 sunčanih sati. Prosečan intenzitet Sunčevog zračenja na teritoriji Republike Srbije se kreće od 1,1 kWh/m²/dan na severu do 1,7 kWh/m²/dan na jugu – tokom januara, a od 5,9 do 6,6 kWh/m²/dan – tokom jula. Na godišnjem nivou, prosečna vrednost energije globalnog Sunčevog zračenja za teritoriju Republike Srbije iznosi od 1200 kWh/m²/godišnje u severozapadnoj Srbiji, do 1550 kWh/m²/godišnje u jugoistočnoj Srbiji, dok u srednjem delu iznosi oko 1400 kWh/m²/godišnje. Zahvaljujući ovome, u Republici Srbiji postoje veoma pogodni uslovi za korišćenje Sunčevog zračenja za dobijanje toplotne i električne energiju [4-9, A1, A2, A4].

Prosečna dnevna energija globalnog Sunčevog zračenja koje dospeva na kvadratni metar horizontalne površine u Republici Srbiji u januaru i julu prikazana je na slici 2.1.



Sl. 2.1.

Prosečna dnevna energija globalnog Sunčevog zračenja koje dospeva na kvadratni metar horizontalne površine u Republici Srbiji u januaru (levo) i julu (desno)

[4-9, A1, A2, A4]

2.1.3. Rezultati

U ovom delu doktorske disertacije dati su rezultati izračunavanja energije Sunčevog zračenja pomoću PVGIS programa na teritoriji Republike Srbije, rezultati komparacije energije Sunčevog zračenja dobijenog pomoću PVGIS, RETScreen i Homer programa sa vrednostima energije Sunčevog zračenja iz Hidrometeorološkog Zavoda Republike Srbije, rezultati teorijskog određivanja energije solarnih elektrana na teritoriji Republike Srbije pomoću PVGIS programa i rezultati određivanja energije fiksnih solarnih elektrana od 1 kW pomoću Homer programa na teritoriji Republike Srbije korišćenjem različitih baza podataka za energiju Sunčevog zračenja [A1, A2, A7].

2.1.3.1. Rezultati izračunavanja energije Sunčevog zračenja pomoću PVGIS programa

Geografski položaj i rezultati izračunavanja srednjih godišnjih vrednosti optimalnog ugla postavljanja solarnih modula, energije Sunčevog zračenja koja dospeva na kvadratni metar horizontalne, vertikalne i površine postavljene pod optimalnim uglom u odnosu na horizontalnu ravan, odnosa između difuznog i ukupnog Sunčevog zračenja i zamućenosti atmosfere, pomoću PVGIS programa, za 23 grada Republike Srbije dati su u tabeli 2.2.

Tab. 2.2. Geografski položaj i rezultati izračunavanja srednjih godišnjih vrednosti optimalnog ugla postavljanja solarnih modula, energije Sunčevog zračenja koja dospeva na kvadratni metar horizontalne, vertikalne i površine postavljene pod optimalnim uglom u odnosu na horizontalnu ravan, odnosa između difuznog i ukupnog Sunčevog zračenja i zamućenosti atmosfere, pomoću PVGIS programa, za 23 grada Republike Srbije [A1, A2]

Gradovi Srbije	Geografski položaj	Optimalni ugao postavljanja solarnih modula (°)	Energija Sunčevog zračenja koja dospeva na 1m ² horizontalne površine (Wh/m ² /god)	Energija Sunčevog zračenja koja dospeva na 1m ² vertikalne površine (Wh/m ² /god)	Energija Sunčevog zračenja koja dospeva na 1m ² površine postavljene pod optimalnim uglom u odnosu na horizontalnu ravan (Wh/m ² /god)	Odnos između difuznog i ukupnog Sunčevog zračenja (-)	Zamućenost atmosfere (-)
Subotica	46°4'23" N 19°38'36" E	34	3430	2620	3910	0,49	3,7
Sombor	45°46'30" N 19°6'58" E	34	3370	2530	3810	0,50	3,7
Novi Sad	45°14'38" N 19°50'28" E	34	3550	2690	4040	0,49	3,0
Vršac	45°6'44" N 21°18'8" E	35	3640	2790	4170	0,47	2,7
Beograd	44°47'36" N 20°27'23" E	35	3620	2750	4130	0,47	2,8
Negotin	44°14'14" N 22°34'56" E	32	3560	2600	3990	0,48	2,6
Požarevac	44°36'50" N 21°10'14" E	34	3640	2750	4150	0,47	2,7
Valjevo	44°16'7" N 19°53'6" E	34	3650	2780	4170	0,47	3,1
Kragujevac	44°0'31" N 20°55'24" E	34	3710	2790	4210	0,47	2,7
Užice	43°54'35" N 19°44'12" E	34	3700	2790	4210	0,47	3,0
Zaječar	43°53'52" N 22°15'29" E	32	3640	2640	4070	0,49	2,4

Čačak	43°53'9" N 20°21'7" E	34	3750	2850	4290	0,46	2,8
Kruševac	43°35'3" N 21°19'8" E	33	3770	2790	4260	0,47	2,5
Nova Varoš	43°27'24" N 19°48'30" E	33	3730	2750	4230	0,46	2,9
Niš	43°18'47" N 21°53'5" E	33	3700	2690	4140	0,48	2,5
Kuršumlja	43°8'42" N 21°16'39" E	34	3800	2840	4310	0,47	2,5
Novi Pazar	43°7'59" N 20°31'1" E	35	3890	2990	4470	0,46	2,7
Pirot	43°9'40" N 22°35'55" E	32	3590	2590	4000	0,51	2,5
Leskovac	43°0'2" N 21°56'42" E	33	3740	2720	4190	0,48	2,5
Kosovska Mitrovica	42°52'33" N 20°51'46" E	34	3890	2940	4440	0,45	2,7
Vranje	42°33'25" N 21°56'22" E	33	3670	2680	4120	0,48	3,3
Đakovica	42°22'29" N 20°26'4" E	34	4000	3010	4580	0,43	3,3
Prizren	42°12'29" N 20°43'12" E	34	3970	2950	4520	0,43	3,4

Na osnovu podataka u tabeli 2.2. vidi se da se

- srednje godišnje vrednosti optimalnog ugla postavljanja solarnih modula nalaze se u granicama od 32° (Negotin, Zajčar, Pirot) do 35° (Novi Pazar, Vršac, Beograd);
- srednje godišnje vrednosti energije Sunčevog zračenja koja dospeva na kvadratni metar horizontalne površine nalaze se u granicama od 3370 Wh/m² (Sombor) do 4000 Wh/m² (Đakovica);
- srednje godišnje vrednosti energije Sunčevog zračenja koja dospeva na kvadratni metar vertikalne površine nalaze se u granicama od 2530 Wh/m² (Sombor) do 3010 Wh/m² (Đakovica);
- srednje godišnje vrednosti energije Sunčevog zračenja koja dospeva na kvadratni metar površine postavljene pod optimalnim uglom u odnosu na horizontalnu ravan nalaze se u granicama od 3810 Wh/m² (Sombor) do 4580 Wh/m² (Đakovica);
- srednje godišnje vrednosti odnosa između difuznog i ukupnog Sunčevog zračenja nalaze se u granicama od 0,43 (Đakovica, Prizren) do 0,51 (Pirot) i
- srednje godišnje vrednosti zamućenosti atmosfere nalaze se u granicama od 2,4 (Zaječar) do 3,7 (Subotica, Sombor).

Rezultati izračunavanja iznosa energije ukupnog Sunčevog zračenja koja u toku godine dospeva na kvadratni metar solarnih modula postavljenih pod optimalnim uglom u odnosu na horizontalnu ravan kod fiksne, jednoosno i dvoosno rotacione solarne elektrane, pomoću PVGIS programa, za 23 grada Republike Srbije, dati su u tabeli 2.3.

Tab. 2.3. Rezultati izračunavanja iznosa energije ukupnog Sunčevog zračenja koja u toku godine dospeva na kvadratni metar solarnih modula postavljenih pod optimalnim uglom u odnosu na horizontalnu ravan kod fiksne, jednoosno i dvoosno rotacione PV solarne elektrane, pomoću PVGIS programa, za 23 grada Republike Srbije [A1, A2]

Gradovi Srbije	Energija ukupnog Sunčevog zračenja koja u toku godine dospeva na kvadratni metar solarnih modula postavljenih pod optimalnim uglom u odnosu na horizontalnu ravan kod fiksne solarne elektrane (kWh/god)	Energija ukupnog Sunčevog zračenja koja u toku godine dospeva na kvadratni metar solarnih modula postavljenih pod optimalnim uglom u odnosu na horizontalnu ravan kod jednoosno rotacione solarne elektrane (kWh/god)	Energija ukupnog Sunčevog zračenja koja u toku godine dospeva na kvadratni metar solarnih modula kod dvoosno rotacione solarne elektrane (kWh/god)
Subotica	1430	1800	1840
Sombor	1390	1750	1790
Novi Sad	1470	1890	1930
Vršac	1520	1980	2030
Beograd	1510	1950	2000
Negotin	1460	1900	1940
Požarevac	1510	1970	2020
Valjevo	1520	1950	2000
Kragujevac	1540	2000	2060
Užice	1540	1960	2010
Zaječar	1490	1940	1990
Čačak	1490	1940	1990
Kruševac	1550	2040	2090
Nova Varoš	1540	1900	1950
Niš	1510	1970	2020
Kuršumlija	1570	2040	2100
Novi Pazar	1630	2110	2170
Pirot	1460	1860	1900
Leskovac	1530	1990	2040
Kosovska Mitrovica	1620	2110	2170
Vranje	1500	1900	1950
Đakovica	1670	2170	2230
Prizren	1650	2110	2170

Na osnovu podataka u tabeli 2.3. vidi se da se

- ukupan iznos energije Sunčevog zračenja koja u toku godine dospeva na kvadratni metar solarnih modula postavljenih pod optimalnim uglom u odnosu na horizontalnu ravan kod fiksne solarne elektrane nalazi u granicama od 1390 kWh (Sombor) do 1670 kWh (Đakovica);

- ukupan iznos energije Sunčevog zračenja koja u toku godine dospeva na kvadratni metar solarnih modula postavljenih pod optimalnim uglom u odnosu na horizontalnu ravan kod jednoosno rotacione solarne elektrane nalazi u granicama od 1750 kWh (Sombor) do 2170 kWh (Đakovica);
- ukupan iznos energije Sunčevog zračenja koja u toku godine dospeva na kvadratni metar solarnih modula kod dvoosno rotacione solarne elektrane nalazi u granicama od 1790 kWh (Sombor) do 2230 kWh (Đakovica);
- u Somboru na kvadratni metar solarnih modula postavljenih pod optimalnim uglom u odnosu na horizontalnu ravan kod jednoosno rotacione solarne elektrane od 1 MW dospe 25,9 % više energije Sunčevog zračenja u odnosu na fiksnu solarnu elektranu od 1 MW, na kvadratni metar solarnih modula kod dvoosno rotacione solarne elektrane od 1 MW dospe 28,78 % više energije Sunčevog zračenja u odnosu na fiksnu solarnu elektranu od 1 MW i na kvadratni metar solarnih modula kod dvoosno rotacione solarne elektrane od 1 MW dospe 2,29 % više energije Sunčevog zračenja u odnosu na jednoosno rotacionu solarnu elektranu 1 MW i
- u Đakovici na kvadratni metar solarnih modula postavljenih pod optimalnim uglom u odnosu na horizontalnu ravan kod jednoosno rotacione solarne elektrane od 1 MW dospe 29,94 % više energije Sunčevog zračenja u odnosu na fiksnu solarnu elektranu od 1 MW, na kvadratni metar solarnih modula kod dvoosno rotacione solarne elektrane od 1 MW dospe 33,54 % više energije Sunčevog zračenja u odnosu na fiksnu solarnu elektranu od 1 MW i na kvadratni metar solarnih modula kod dvoosno rotacione solarne elektrane od 1 MW dospe 2,77 % više energije Sunčevog zračenja u odnosu na jednoosno rotacionu solarnu elektranu 1 MW.

[A1,A2]

2.1.3.2. Rezultati komparacije energije Sunčevog zračenja dobijenog pomoću NASA, RETScreen i PVGIS solarnih baza sa vrednostima energije Sunčevog zračenja iz Hidrometeorološkog Zavoda Republike Srbije

Podaci o Sunčevom zračenju su neophodni u svim fazama razvoja fotonaponske (PV) industrije i primene PV solarnih sistema. Pouzdani statistički podaci o Sunčevom zračenju su neophodni za tehno-ekonomsku analizu i procenu rada PV solarnih sistema. U većini slučajeva dovoljno je imati podatke o srednjim mesečnim vrednostima energije Sunčevog zračenja za tipične meteorološke godine (*Typical Meteorological Years -TMY*). Te informacije su dovoljne kako za proizvođače tako i za razvoj vladinih programa podrške za korišćenje Sunčevog zračenja. Merenjem Sunčevog zračenja bavi se posebna grana meteorologije poznata pod nazivom *aktinometrija*. Za praktično korišćenje Sunčeve energije važni su sledeći aktinometrijski podaci: vreme trajanja sijanja Sunca (insolacije) i energija ukupnog i difuznog Sunčevog zračenja koja dospeva na horizontalnu površinu. Za merenje vremena trajanja sijanja Sunca koriste se heliografi (Campbell-Stokesov, Jordanov, Maurerov itd). Za merenje energije

Sunčevog zračenja koriste se radiometri u koje spadaju: pirheliometri, piranometri, solarimetri itd. Za merenje intenziteta direktnog Sunčevog zračenja koriste se pirheliometri (Abotov, Smitsonov itd). Za merenje intenziteta ukupnog (globalnog) Sunčevog zračenja koriste se piranometri sa termoćelijama i piranometri sa solarnim ćelijama. Merenje Sunčevog zračenja odvija se u mernim stanicama na Zemlji, ali i pomoću satelita i vrši se dugi niz godina. Sakupljeni podaci se statistički obrađuju i grupišu u tzv. solarne baze podataka. Neke od solarnih baza podataka su NASA – Surface meteorology and solar energy database, RETScreen, PVGIS, HelioClim-1, Metenorm, European Solar Radiation Atlas, SoDa Service, Solar and Wind Energy Resource Assessment (SWERA), itd [7-9, A1, A7].

Organizovana merenja energije Sunčevog zračenja započeta su na teritoriji bivše Jugoslavije 1957. godine, sa mrežom od 13 mernih stanica koje su bile opremljene piranometrima za registrovanje globalnog Sunčevog zračenja. Vrednosti i podaci dobijeni za energiju globalnog, difuznog i reflektovanog Sunčevog zračenja su mereni piranometrom Moll-Gorczyński, klasa II. Direktno Sunčevo zračenje je mereno pirheliometrom Linke Feussner, klasa II, a za merenje dužine trajanja Sunčevog zračenja se koristio Campbell-Stokes heliograf. Odlukom Svetske Meteorološke Organizacije (WMO), Jugoslavija se 1967. godine uključila u program svetskog monitoringa i redovno je dostavljala podatke Svetskom centru za podatke o sunčevom zračenju u St. Petersburgu, gde su podaci smeštani u bazu podataka, koja je danas dostupna putem Interneta [*World Radiation Data Centre, World Radiation Data Centre Online Archive, World Meteorological Organization, <http://wrdc-mgo.nrel.gov/>*]. Ukidanjem Jugoslovenskog Nacionalnog Centra za solarnu radijaciju 1988. godine, mreža mernih stanica se postepeno gasila da bi 1991. godine u potpunosti prestala merenja Sunčevog zračenja. Sa aktivnim merenjima energije Sunčevog zračenja u Hidrometeorološkom zavodu Republike Srbije se ponovo počelo krajem 2009. godine [7-11, A7].

Imajući u vidu da se u Srbiji, u malom broju meteoroloških stanica vrše merenja energije globalnog Sunčevog zračenja koje u toku godine dospeva na kvadratni metar horizontalne površine na Zemlji, za praktično korišćenje Sunčevog zračenja za dobijanje toplotne i električne energije, često se koriste podaci o Sunčevom zračenju iz različitih solarnih baza podataka (NASA- Surface meteorology and solar energy, RETScreen, PVGIS, itd.). Budući da se podaci za energiju Sunčevog zračenja razlikuju u različitim solarnim bazama, postavlja se pitanje koji izvor podataka o energiji Sunčevog zračenja je najpouzdaniji i koji podaci iz solarnih baza su najpribližniji izmerenim vrednostima energije Sunčevog zračenja u lokalnim meteorološkim stanicama? Pored ovoga, značajno je i poznavanje indeksa prozračnosti atmosfere za određene lokacije.

U daljem su predstavljene i upoređivane izmerene vrednosti energije globalnog Sunčevog zračenja koja u toku dana dospe na kvadratni metar horizontalne površine, koje je prikupio Jugoslovenski Nacionalni Centar za Sunčevo zračenja u periodu od 1964-1991. godine, sa podacima iz NASA, RETScreen i PVGIS solarnih baza.

NASA solarna baza sadrži statistički obrađene podatke o energiji globalnog Sunčevog zračenja koja u toku dana dospe na kvadratni metar horizontalne površine, dobijene satelitskim merenjima u periodu od jula 1983. do juna 2005. godine [12, A7].

RETScreen solarna baza sadrži statistički obrađene podatke o energiji globalnog Sunčevog zračenja koja u toku dana dospe na kvadratni metar horizontalne površine, dobijene merenjima na Zemlji u 6500 mernih stanica u svetu u periodu od jula 1982. do juna 2006. godine [13, A7].

PVGIS solarna baza sadrži podatke o energiji globalnog Sunčevog zračenja koja u toku dana dospe na kvadratni metar horizontalne površine koje su dobijene merenjima u 566 mernih stanica na Zemlji u periodu od jula 1981. do juna 1990. godine i koji su obrađeni interpolacionim metodama (*s.surf.rst* i *s.vol.rst*) [14,15, A7].

Srednje dnevne vrednosti energije globalnog Sunčevog zračenja koja u toku godine dospe na kvadratni metar horizontalne površine na Zemlji iz različitih solarnih baza podataka i izračunate srednje dnevne vrednosti indeksa prozračnosti za Beograd, Negotin i Zlatibor, date su u tabelama 2.4, 2.5 i 2.6, respektivno [12-14, 16, A7].

Tab. 2.4. Srednje dnevne vrednosti energije globalnog Sunčevog zračenja koja u toku godine dospe na kvadratni metar horizontalne površine na Zemlji iz različitih solarnih baza podataka i izračunate srednje dnevne vrednosti indeksa prozračnosti za Beograd

Lokacija	Mesec	Srednje dnevne vrednosti energije globalnog Sunčevog zračenja koja dospe na kvadratni metar horizontalne površine na Zemlji [kWhm ⁻² dan ⁻¹]				Indeks prozračnosti			
		NASA solarna baza	RETScreen solarna baza	PVGIS solarna baza	HMIRS solarna baza	NASA solarna baza	RETScreen solarna baza	PVGIS solarna baza	HMIRS solarna baza
44°47'36" N 20°27'23" E	Januar	1,42	1,39	1,25	1,49	0,415	0,407	0,366	0,436
	Februar	2,27	2,15	2,00	2,24	0,467	0,442	0,412	0,461
	Mart	3,34	3,38	3,17	3,47	0,478	0,484	0,454	0,497
	April	4,25	4,50	4,36	4,72	0,460	0,487	0,472	0,511
	Maj	5,30	5,59	5,53	5,80	0,487	0,513	0,508	0,533
	Jun	5,81	6,12	5,98	6,19	0,501	0,528	0,516	0,534
	Jul	5,97	6,29	6,30	6,27	0,532	0,561	0,561	0,559
	Avgust	5,38	5,53	5,55	5,59	0,547	0,562	0,564	0,569
	Septembar	3,87	4,19	4,14	4,26	0,500	0,541	0,535	0,550
	Oktobar	2,61	2,88	2,71	2,92	0,476	0,526	0,495	0,533
	Novembar	1,50	1,54	1,50	1,74	0,402	0,412	0,402	0,466
	Decembar	1,17	1,10	1,06	1,06	0,391	0,391	0,367	0,354
Srednje god.	3,58	3,73	3,64	3,82	0,488	0,509	0,496	0,520	

Na osnovu podataka u tabeli 2.4. izračunato je da na teritoriji Beograda, u toku godine na kvadratni metar horizontalne površine na Zemlji dospe 1306,7 kWh/m² energije globalnog Sunčevog zračenja korišćenjem NASA solarne baze; 1361,45 kWh/m² korišćenjem RETScreen solarne baze; 1328,6 kWh/m² korišćenjem PVGIS solarne baze i 1394,3 kWh/m² korišćenjem HMIRS solarne baze.

Pored toga, na osnovu tabele 2.4. vidi se da se na teritoriji Beograda srednje mesečne vrednosti energije globalnog Sunčevog zračenja koja dospe na kvadratni metar horizontalne

površine na Zemlji u toku dana iz NASA solarne baze nalaze u granicama od 1,17 kW/m²/dan (decembar) do 5,97 kW/m²/dan (jul); iz RETScreen solarne baze u granicama od 1,10 kW/m²/dan (decembar) do 6,29 kW/m²/dan (jul); iz PVGIS solarne baze u granicama od 1,06 kW/m²/dan (decembar) do 6,30 kW/m²/dan (jul) i iz HMIRS solarne baze u granicama od 1,06 kW/m²/dan (decembar) do 6,27 kW/m²/dan (jul).

Tab. 2.5. Srednje dnevne vrednosti energije globalnog Sunčevog zračenja koja u toku godine dospe na kvadratni metar horizontalne površine na Zemlji iz različitih solarnih baza podataka i izračunate srednje dnevne vrednosti indeksa prozračnosti za Negotin

Lokacija	Mesec	Srednje dnevne vrednosti energije globalnog Sunčevog zračenja koja dospe na jedan kvadratni metar horizontalne površine na Zemlji [kWhm ⁻² dan ⁻¹]				Indeks prozračnosti			
		NASA solarna baza	RETScreen solarna baza	PVGIS solarna baza	HMIRS solarna baza	NASA solarna baza	RETScreen solarna baza	PVGIS solarna baza	HMIRS solarna baza
44°13' N 22°31' E	Januar	1,44	1,35	1,26	1,45	0,409	0,384	0,358	0,412
	Februar	2,24	2,00	1,90	2,11	0,452	0,404	0,383	0,426
	Mart	3,28	3,25	2,94	3,65	0,464	0,460	0,416	0,516
	April	4,09	4,55	4,30	4,86	0,440	0,490	0,463	0,523
	Maj	5,14	5,66	5,39	6,47	0,471	0,519	0,494	0,593
	Jun	5,79	6,38	6,09	6,83	0,499	0,550	0,525	0,589
	Jul	6,06	6,62	6,18	7,07	0,540	0,589	0,550	0,629
	Avgust	5,36	5,66	5,53	6,11	0,543	0,573	0,560	0,619
	Septembar	3,85	4,38	4,16	4,74	0,493	0,561	0,533	0,607
	Oktobar	2,49	2,74	2,56	3,23	0,447	0,492	0,460	0,580
	Novembar	1,50	1,48	1,45	1,60	0,391	0,386	0,378	0,417
	Decembar	1,15	1,12	0,994	1,24	0,372	0,362	0,321	0,401
Srednje god.	3,54	3,78	3,57	4,13	0,478	0,510	0,482	0,557	

Na osnovu podataka u tabeli 2.5. izračunato je da na teritoriji Negotina, u toku godine na kvadratni metar horizontalne površine na Zemlji dospe 1292,1 kWh/m² energije globalnog Sunčevog zračenja korišćenjem NASA solarne baze; 1379,7 kWh/m² korišćenjem RETScreen solarne baze; 1303,05 kWh/m² korišćenjem PVGIS solarne baze i 1507,45 kWh/m² korišćenjem HMIRS solarne baze.

Pored toga, na osnovu tabele 2.5. vidi se da se na teritoriji Negotina srednje mesečne vrednosti energije globalnog Sunčevog zračenja koja dospe na kvadratni metar horizontalne površine na Zemlji u toku dana iz NASA solarne baze nalaze u granicama od 1,15 kW/m²/dan (decembar) do 6,06 kW/m²/dan (jul); iz RETScreen solarne baze u granicama od 1,12 kW/m²/dan (decembar) do 6,62 kW/m²/dan (jul); iz PVGIS solarne baze u granicama od 0,994 kW/m²/dan (decembar) do 6,18 kW/m²/dan (jul) i iz HMIRS solarne baze u granicama od 1,24 kW/m²/dan (decembar) do 7,07 kW/m²/dan (jul).

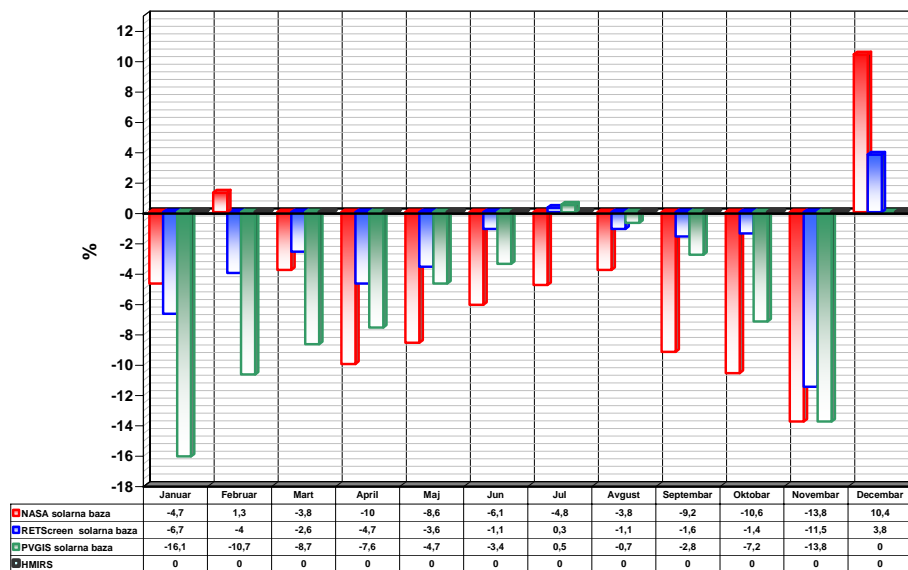
Tab. 2.6. Srednje dnevne vrednosti energije globalnog Sunčevog zračenja koja u toku godine dospe na jedan kvadratni metar horizontalne površine na Zemlji iz različitih solarnih baza podataka i izračunate srednje dnevne vrednosti indeksa prozračnosti za Zlatibor

Lokacija	Mesec	Srednje dnevne vrednosti energije globalnog Sunčevog zračenja koja pada na jedan kvadratni metar horizontalne površine na Zemlji [kWhm ⁻² dan ⁻¹]				Indeks prozračnosti			
		NASA solarna baza	RETScreen solarna baza	PVGIS solarna baza	HMIRS solarna baza	NASA solarna baza	RETScreen solarna baza	PVGIS solarna baza	HMIRS solarna baza
Zlatibor 43°43' N 19°41' E	Januar	1,64	1,68	1,66	1,53	0,455	0,466	0,461	0,425
	Februar	2,43	2,48	2,38	2,35	0,482	0,492	0,473	0,467
	Mart	3,43	3,49	3,50	3,36	0,481	0,489	0,491	0,471
	April	4,12	4,40	4,64	4,37	0,442	0,472	0,497	0,468
	Maj	4,94	5,29	5,50	5,31	0,452	0,484	0,503	0,486
	Jun	5,67	5,79	6,04	5,58	0,489	0,499	0,521	0,481
	Jul	5,97	6,00	6,52	5,80	0,531	0,534	0,580	0,516
	Avgust	5,28	5,42	5,68	5,34	0,533	0,547	0,574	0,539
	Septembar	3,90	4,22	4,31	4,08	0,496	0,536	0,548	0,518
	Oktobar	2,62	3,04	2,97	2,98	0,464	0,538	0,526	0,528
	Novembar	1,58	1,88	1,74	1,98	0,403	0,480	0,444	0,505
	Decembar	1,33	1,39	1,35	1,34	0,418	0,418	0,425	0,422
Srednje god.	3,58	3,76	3,87	3,68	0,480	0,504	0,518	0,493	

Na osnovu podataka u tabeli 2.6. izračunato je da na teritoriji Zlatibora, u toku godine na kvadratni metar horizontalne površine na Zemlji dospe 1306,7 kWh/m² energije globalnog Sunčevog zračenja korišćenjem NASA solarne baze; 1372,4 kWh/m² korišćenjem RETScreen solarne baze; 1412,55 kWh/m² korišćenjem PVGIS solarne baze i 1343,2 kWh/m² korišćenjem HMIRS solarne baze.

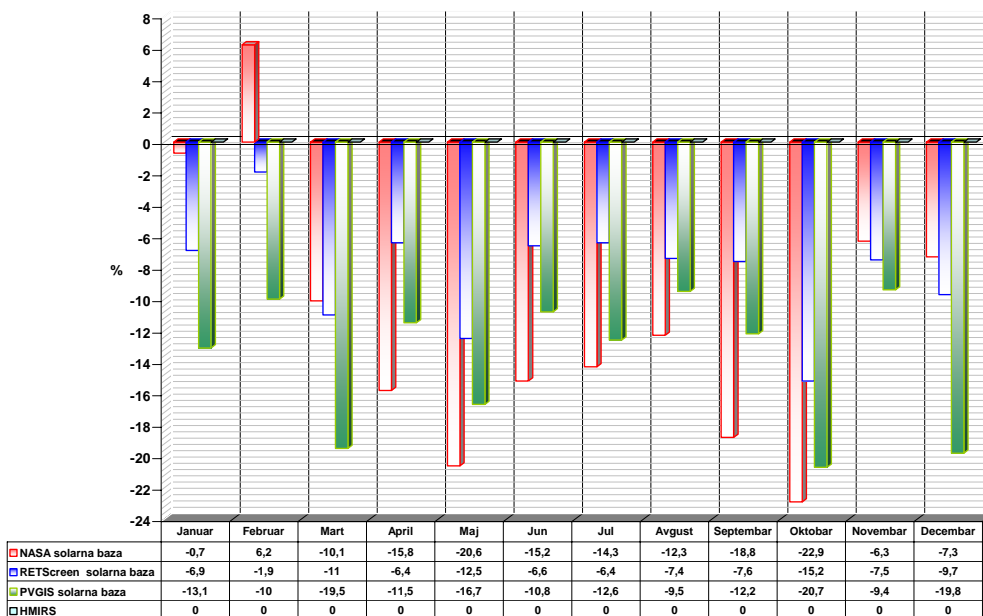
Pored toga, na osnovu tabele 2.6. vidi se da se na teritoriji Zlatibora srednje mesečne vrednosti energije globalnog Sunčevog zračenja koja dospe na kvadratni metar horizontalne površine na Zemlji u toku dana iz NASA solarne baze nalaze u granicama od 1,33 kW/m²/dan (decembar) do 5,97 kW/m²/dan (u jul); iz RETScreen solarne baze u granicama od 1,39 kW/m²/dan (decembru) do 6,00 kW/m²/dan (jul); iz PVGIS solarne baze u granicama od 1,35 kW/m²/dan (decembar) do 6,52 kW/m²/dan (jul) i iz HMIRS solarne baze nalaze u granicama od 1,34 kW/m²/dan (decembar) do 5,80 kW/m²/dan (jul).

Relativna odstupanja srednjih dnevnih vrednosti energije globalnog Sunčevog zračenja koja dospe na kvadratni metar horizontalne površine na Zemlji u toku godine iz različitih solarnih baza podataka sa izmerenim srednjim dnevnim vrednostima energije globalnog Sunčevog zračenja koja dospe na kvadratni metar horizontalne površine na Zemlji u toku godine iz HMIRS solarne baze za Beograd, Negotin i Zlatibor data su na slikama 2.2, 2.3. i 2.4, respektivno.



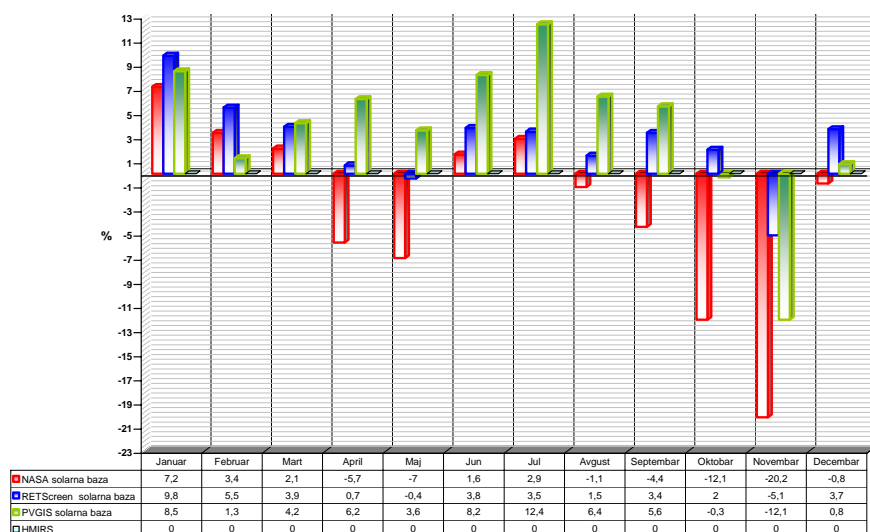
Sl. 2.2.

Grafički prikaz relativnog odstupanja srednjih dnevnih vrednosti energije globalnog Sunčevog zračenja koja dospe na kvadratni metar horizontalne površine na Zemlji u toku godine iz različitih solarnih baza podataka sa izmerenim srednjim dnevnim vrednostima energije globalnog Sunčevog zračenja koja dospe na kvadratni metar horizontalne površine na Zemlji u toku godine iz HMIRS solarne baze za Beograd



Sl. 2.3.

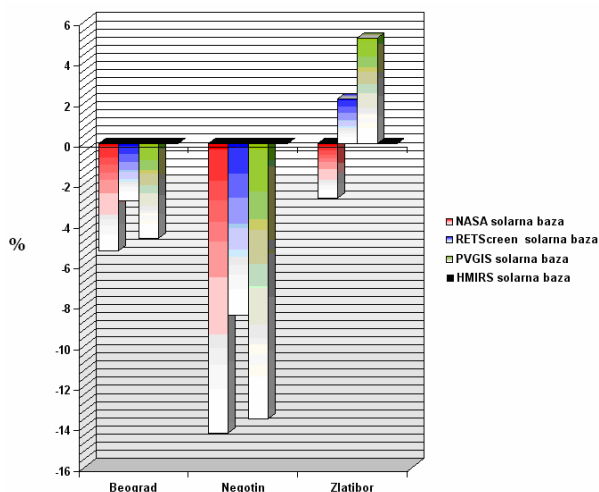
Grafički prikaz relativnog odstupanja srednjih dnevnih vrednosti energije globalnog Sunčevog zračenja koja dospe na kvadratni metar horizontalne površine na Zemlji u toku godine iz različitih solarnih baza podataka sa izmerenim srednjim dnevnim vrednostima energije globalnog Sunčevog zračenja koja dospe na kvadratni metar horizontalne površine na Zemlji u toku godine iz HMIRS solarne baze za Negotin



Sl. 2.4.

Grafički prikaz relativnog odstupanja srednjih dnevnih vrednosti energije globalnog Sunčevog zračenja koja dospe na kvadratni metar horizontalne površine na Zemlji u toku godine iz različitih solarnih baza podataka sa izmerenim srednjim dnevnim vrednostima energije globalnog Sunčevog zračenja koja dospe na kvadratni metar horizontalne površine na Zemlji u toku godine iz HMIRS solarne baze za Zlatibor

Uporedni prikaz relativnog odstupanja srednjih dnevnih vrednosti energije globalnog Sunčevog zračenja koja dospe na kvadratni metar horizontalne površine na Zemlji u toku godine iz različitih solarnih baza podataka sa izmerenim srednjim dnevnim vrednostima energije globalnog Sunčevog zračenja koja dospe na kvadratni metar horizontalne površine na Zemlji u toku godine iz HMIRS solarne baze za Beograd, Negotin и Zlatibor dat je na slici 2.5.



Sl. 2.5.

Uporedni prikaz relativnog odstupanja srednjih dnevnih vrednosti energije globalnog Sunčevog zračenja koja dospe na kvadratni metar horizontalne površine na Zemlji u toku godine iz različitih solarnih baza podataka sa izmerenim srednjim dnevnim vrednostima energije globalnog Sunčevog zračenja koja dospe na kvadratni metar horizontalne površine na Zemlji u toku godine iz HMIRS solarne baze za Beograd, Negotin и Zlatibor

Na slici 2.5. se vidi da su

- za Beograd srednje godišnje vrednosti energije globalnog Sunčevog zračenja koja u toku dana dospe na kvadratni metar horizontalne površine na Zemlji iz NASA, RETScreen i PVGIS solarne baze za 5,3%, 2,85% i 4,7% manje u odnosu na realne srednje godišnje vrednosti energije globalnog Sunčevog zračenja koja u toku dana dospe na kvadratni metar horizontalne površine na Zemlji iz HMIRS solarne baze;
- za Negotin srednje godišnje vrednosti energije globalnog Sunčevog zračenja koja u toku dana dospe na kvadratni metar horizontalne površine na Zemlji iz NASA, RETScreen i PVGIS solarne baze za 14,3%, 8,5% i 13,6% manje u odnosu na realne srednje godišnje vrednosti energije globalnog Sunčevog zračenja koja u toku dana dospe na kvadratni metar horizontalne površine na Zemlji iz HMIRS solarne baze i
- za Zlatibor srednje godišnje vrednosti energije globalnog Sunčevog zračenja koja u toku dana dospe na kvadratni metar horizontalne površine na Zemlji iz NASA solarne baze za 2,7% manje ali iz RETScreen i PVGIS solarne baze za 2,2% i 5,2% više u odnosu na realne srednje godišnje vrednosti energije globalnog Sunčevog zračenja koja u toku dana dospe na kvadratni metar horizontalne površine na Zemlji iz HMIRS solarne baze.

Na osnovu prethodnih rezultata se može zaključiti da srednje godišnje vrednosti energije globalnog Sunčevog zračenja koja u toku dana dospe na kvadratni metar horizontalne površine na Zemlji iz RETScreen solarne baze najmanje odstupaju od vrednosti iz HMIRS solarne baze. To verovatno potiče od činjenice da postoji najbolje poklapanje u dužini merenja energije Sunčevog zračenja između HMIRS (27 god.) i RETScreen (24 god.) solarne baze [A7].

[12-14, 16, A7]

2.1.3.3. Rezultati teorijskog određivanja iznosa električne energije koja se dobija pomoću solarnih elektrana na teritoriji Republike Srbije pomoću PVGIS programa

Rezultati izračunavanja ukupnog godišnjeg iznosa električne energije koja se dobija pomoću različitih tipova solarnih elektrana od 1 MW sa solarnim modulima od monokristalnog silicijuma, CdTe i CIS modulima, pomoću PVGIS programa, za 23 grada u Republici Srbiji dati su u tabeli 2.7.

Tab. 2.7. Ukupan godišnji iznos električne energije koja se dobija pomoću različitih tipova solarnih elektrana od 1 MW sa solarnim modulima od monokristalnog silicijuma, CdTe i CIS modulima, dobijen pomoću PVGIS programa, za 23 grada u Republici Srbiji

GRADOVI SRBIJE	Ukupan godišnji iznos električne energije koja se dobija pomoću fiksne PV solarne elektrane od 1MW sa različitim vrstama solarnih modula postavljenih pod optimalnim uglom u odnosu na horizontalnu ravan (MWh)			Ukupan godišnji iznos električne energije koja se dobija pomoću jednoosno rotacione PV solarne elektrane od 1MW sa različitim vrstama optimalno postavljenih solarnih modula (MWh)			Ukupan godišnji iznos električne energije koja se dobija pomoću dvoosno rotacione PV solarne elektrane od 1MW sa različitim vrstama solarnih modula (MWh)		
	c-Si solarni modul	CdTe solarni modul	CIS solarni modul	c-Si solarni modul	CdTe solarni modul	CIS solarni modul	c-Si solarni modul	CdTe solarni modul	CIS solarni modul
Subotica	1080	1200	1100	1380	1510	1400	1400	1540	1430
Sombor	1050	1170	1070	1330	1460	1360	1360	1490	1390
Novi Sad	1110	1230	1130	1430	1560	1460	1460	1590	1490
Vršac	1140	1260	1160	1490	1630	1520	1520	1660	1560
Beograd	1130	1250	1150	1470	1610	1500	1500	1640	1540
Negotin	1090	1210	1110	1420	1550	1450	1450	1580	1490
Požarevac	1130	1250	1160	1480	1620	1520	1520	1660	1550
Valjevo	1150	1270	1170	1480	1610	1510	1510	1650	1550
Kragujevac	1150	1270	1180	1510	1650	1540	1540	1680	1580
Užice	1170	1280	1190	1490	1620	1530	1530	1650	1560
Zaječar	1110	1230	1130	1450	1580	1480	1480	1610	1520
Čačak	1130	1300	1200	1480	1680	1570	1520	1720	1610
Kruševac	1160	1280	1180	1530	1670	1560	1560	1700	1600
Nova Varoš	1170	1290	1200	1440	1570	1480	1470	1600	1510
Niš	1130	1250	1150	1470	1610	1510	1500	1640	1540
Kuršumlija	1180	1300	1210	1540	1680	1580	1580	1710	1610
Novi Pazar	1240	1360	1260	1600	1740	1640	1640	1780	1680
Pirot	1090	1200	1110	1390	1510	1420	1410	1540	1450
Leskovac	1140	1260	1170	1490	1630	1530	1520	1660	1560
Kosovska Mitrovica	1220	1350	1250	1600	1730	1630	1630	1770	1670
Vranje	1140	1250	1160	1440	1570	1480	1470	1600	1510
Đakovica	1260	1390	1290	1650	1800	1680	1680	1840	1720
Prizren	1240	1380	1270	1600	1750	1630	1630	1790	1670

Na osnovu podataka u tabeli 2.7. vidi se da se:

- nezavisno od tipa solarne elektrane, najviše električne energije dobija se ukoliko se koriste CdTe solarne ćelije;
- ukupan godišnji iznos električne energije koja se dobija pomoću fiksne solarne elektrane od 1 MW sa solarnim modulima postavljenim pod optimalnim uglom u odnosu na horizontalnu ravan od monokristalnog silicijuma kreće se u granicama od 1050 MWh (Sombor) do 1260 MWh (Đakovica), sa CdTe solarnim modulima postavljenim pod optimalnim uglom u odnosu na horizontalnu ravan od 1170 MWh (Sombor) do 1390 MWh (Đakovica) i sa CIS solarnim modulima postavljenim pod optimalnim uglom u odnosu na horizontalnu ravan od 1070 MWh (Sombor) do 1290 MWh (Đakovica);

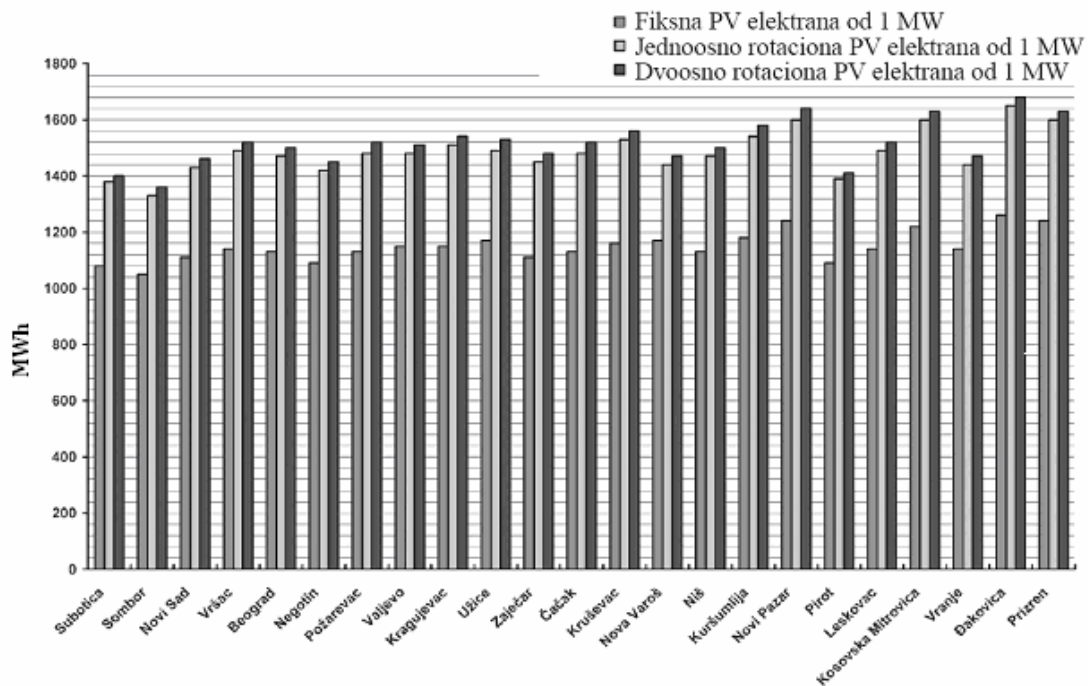
- ukupan godišnji iznos električne energije koja se dobija pomoću jednoosno rotacione solarne elektrane od 1 MW sa optimalno postavljenim solarnim modulima od monokristalnog silicijuma kreće se u granicama od 1330 MWh (Sombor) do 1650 MWh (Đakovica), sa CdTe solarnim modulima od 1460 MWh (Sombor) do 1800 MWh (Đakovica) i sa CIS solarnim modulima od 1360 MWh (Sombor) do 1680 MWh (Đakovica);
- ukupan godišnji iznos električne energije koja se dobija pomoću dvoosno rotacione solarne elektrane od 1 MW sa solarnim modulima od monokristalnog silicijuma kreće se u granicama od 1360 MWh (Sombor) do 1680 MWh (Đakovica), sa CdTe solarnim modulima od 1490 MWh (Sombor) do 1840 MWh (Đakovica) i sa CIS solarnim modulima od 1390 MWh (Sombor) do 1720 MWh (Đakovica).

Gubici na solarnoj elektrani od 1 MW, izračunati pomoću PVGIS programa, dati su u tabeli 2.8.

Tab. 2.8. Gubici na solarnoj elektrani od 1 MW, izračunati pomoću PVGIS programa

GRADOVI SRBIJE	Gubici solarne elektrane koji potiču od temperature lokalnog ambijenta na:			Gubici solarne elektrane koji potiču od refleksije sunčevog zračenja na:			Ostali gubici (na provodnicima, invertorima, itd.)
	c-Si solarnim modulima	CdTe solarnim modulima	CIS solarnim modulima	c-Si solarnim modulima	CdTe solarnim modulima	CIS solarnim modulima	
Subotica	9,0 %	- 0,3 %	7,5 %	2,8 %	2,8 %	2,8 %	14 %
Sombor	9,1 %	- 0,3 %	7,6 %	2,9 %	2,9 %	2,9 %	14 %
Novi Sad	9,7 %	0,3 %	8,1 %	2,9 %	2,9 %	2,9 %	14 %
Vršac	9,9 %	0,7 %	8,2 %	2,9 %	2,9 %	2,9 %	14 %
Beograd	9,9 %	0,6 %	8,2 %	2,9 %	2,9 %	2,8 %	14 %
Negotin	10,2 %	0,9 %	8,6 %	3,0 %	3,0 %	3,0 %	14 %
Požarevac	10,0 %	0,7 %	8,3 %	2,9 %	2,9 %	2,9 %	14 %
Valjevo	9,3 %	0,3 %	7,7 %	2,8 %	2,8 %	2,8 %	14 %
Kragujevac	9,8 %	0,7 %	8,2 %	2,9 %	2,9 %	2,9 %	14 %
Užice	8,7 %	0,2 %	6,9 %	2,8 %	2,8 %	2,8 %	14 %
Zaječar	10,5 %	1,2 %	8,8 %	3,0 %	3,0 %	3,0 %	14 %
Čačak	8,8 %	0,6 %	8,0 %	3,0 %	2,8 %	2,8 %	14 %
Kruševac	10,2 %	1,0 %	8,5 %	2,9 %	2,9 %	2,9 %	14 %
Nova Varoš	9,0 %	0,3 %	6,9 %	2,7 %	2,7 %	2,7 %	14 %
Niš	10,3 %	1,0 %	8,5 %	2,9 %	2,9 %	2,9 %	14 %
Kuršumlija	9,6 %	0,8 %	7,9 %	2,9 %	2,9 %	2,9 %	14 %
Novi Pazar	8,9 %	0,5 %	7,3 %	2,8 %	2,8 %	2,8 %	14 %
Pirot	10,0 %	1,0 %	8,4 %	3,0 %	3,0 %	3,0 %	14 %
Leskovac	10,2 %	1,0 %	8,5 %	3,0 %	3,0 %	3,0 %	14 %
Kosovska Mitrovica	9,4 %	0,8 %	7,8 %	2,8 %	2,8 %	2,8 %	14 %
Vranje	9,1 %	0,2 %	7,5 %	2,9 %	2,9 %	2,9 %	14 %
Đakovica	9,5 %	0,4 %	7,9 %	2,7 %	2,7 %	2,7 %	14 %
Prizren	9,7 %	- 0,4 %	8,0 %	2,7 %	2,7 %	2,7 %	14 %

Uporedni prikaz ukupnih godišnjih iznosa električne energije koja se dobija pomoću različitih tipova PV solarnih elektrana od 1 MW sa solarnim modulima od monokristalnog silicijuma za 23 grada u Republici Srbiji dat je na slici 2.6.



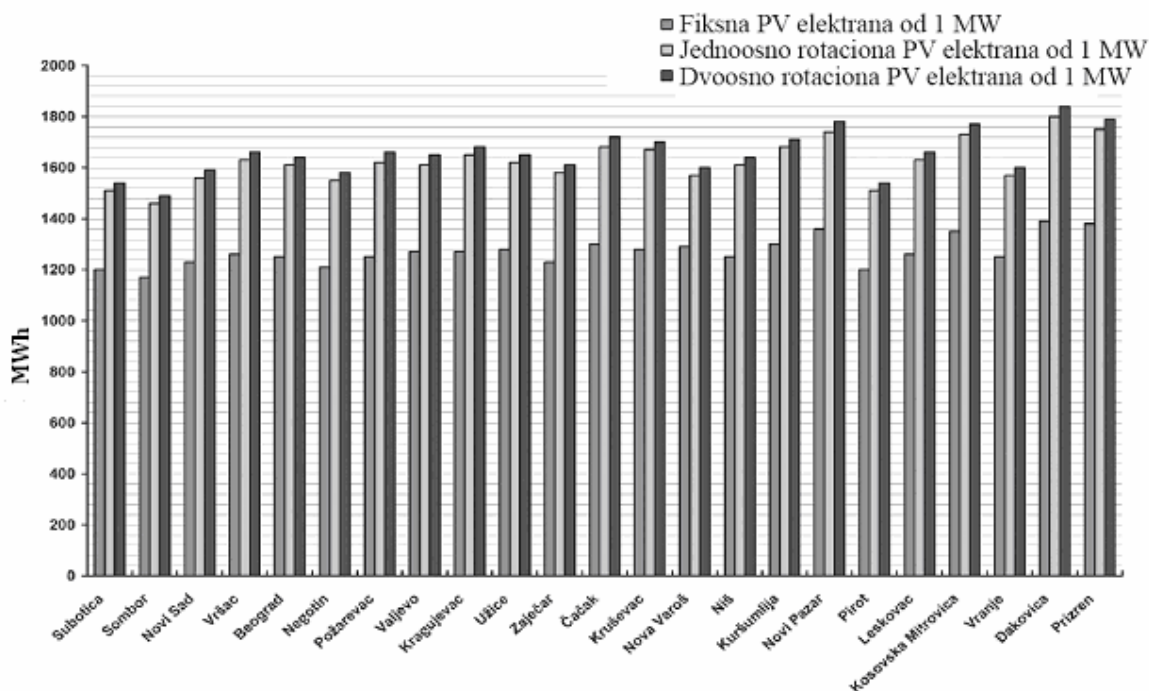
Sl. 2.6.

Uporedni prikaz ukupnih godišnjih iznosa električne energije koja se dobija pomoću različitih tipova PV solarnih elektrana od 1 MW sa solarnim modulima od monokristalnog silicijuma za 23 grada u Republici Srbiji

Na osnovu podataka na slici 2.6. vidi se

- da se u Somboru pomoću dvoosno rotacione solarne elektrane od 1 MW sa solarnim modulima od monokristalnog silicijuma za 29,53% dobija više električne energije u odnosu na fiksnu solarnu elektranu od 1 MW sa solarnim modulima od monokristalnog silicijuma postavljenim pod optimalnim uglom u odnosu na horizontalnu ravan i za 2,26% dobija više električne energije u odnosu na jednoosno rotacionu solarnu elektranu od 1 MW sa solarnim modulima od monokristalnog silicijuma koji su postavljeni pod optimalnim uglom u odnosu na horizontalnu ravan u pravcu sever-jug;
- da se u Đakovici pomoću dvoosno rotacione solarne elektrane od 1 MW sa solarnim modulima od monokristalnog silicijuma za 33,34% dobija više električne energije u odnosu na fiksnu solarnu elektranu od 1 MW sa solarnim modulima od monokristalnog silicijuma postavljenim pod optimalnim uglom u odnosu na horizontalnu ravan i za 1,82% dobija više električne energije u odnosu na jednoosno rotacionu solarnu elektranu od 1 MW sa solarnim modulima od monokristalnog silicijuma koji su postavljeni pod optimalnim uglom u odnosu na horizontalnu ravan u pravcu sever-jug.

Uporedni prikaz ukupnih godišnjih iznosa električne energije koja se dobija pomoću različitih tipova PV solarnih elektrana od 1 MW sa CdTe solarnim modulima za 23 grada u Republici Srbiji dat je na slici 2.7.



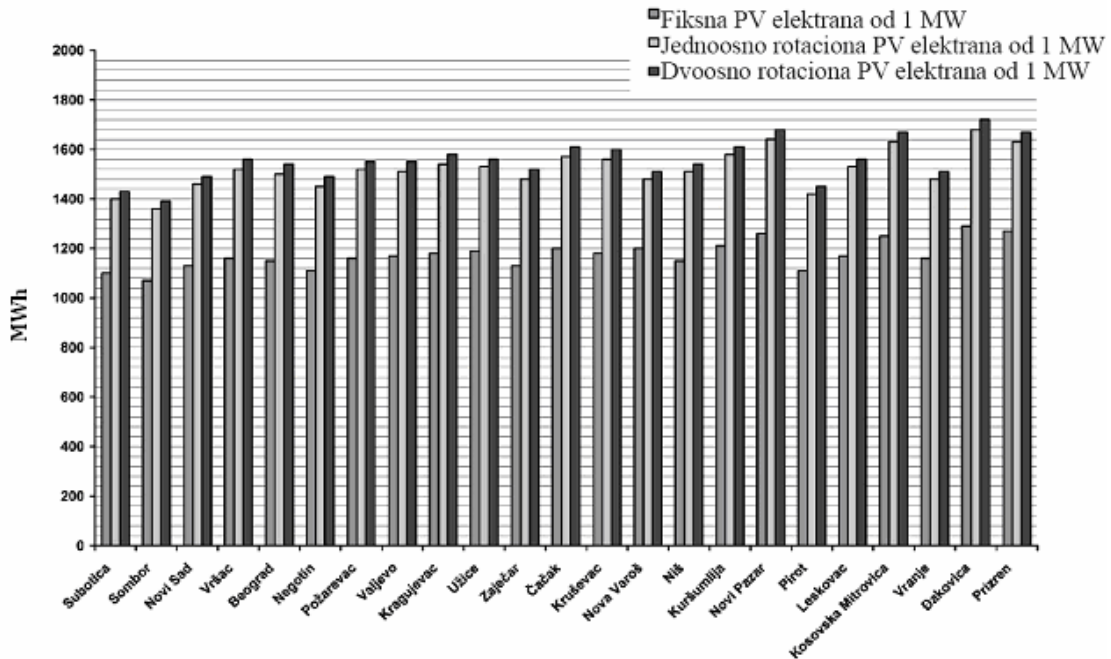
Sl. 2.7.

Uporedni prikaz ukupnih godišnjih iznosa električne energije koja se dobija pomoću različitih tipova PV solarnih elektrana od 1 MW sa CdTe solarnim modulima za 23 grada u Republici Srbiji

Na osnovu podataka na slici 2.7. vidi se

- da se u Somboru pomoću dvoosno rotacione solarne elektrane od 1 MW sa CdTe solarnim modulima za 27,35% dobija više električne energije u odnosu na fiksnu solarnu elektranu od 1 MW sa CdTe solarnim modulima postavljenim pod optimalnim uglom u odnosu na horizontalnu ravan i za 2,06% dobija više električne energije u odnosu na jednoosno rotacionu solarnu elektranu od 1 MW sa CdTe solarnim modulima koji su postavljeni pod optimalnim uglom u odnosu na horizontalnu ravan u pravcu sever-jug;
- da se u Đakovici pomoću dvoosno rotacione solarne elektrane od 1 MW sa CdTe solarnim modulima za 32,38% dobija više električne energije u odnosu na fiksnu solarnu elektranu od 1 MW sa CdTe solarnim modulima postavljenim pod optimalnim uglom u odnosu na horizontalnu ravan i za 2,23% dobija više električne energije u odnosu na jednoosno rotacionu solarnu elektranu od 1 MW sa CdTe solarnim modulima koji su postavljeni pod optimalnim uglom u odnosu na horizontalnu ravan u pravcu sever-jug.

Uporedni prikaz ukupnih godišnjih iznosa električne energije koja se dobija pomoću različitih tipova PV solarnih elektrana od 1 MW sa CIS solarnim modulima za 23 grada u Republici Srbiji dat je na slici 2.8.



Sl. 2.8.

Uporedni prikaz ukupnih godišnjih iznosa električne energije koja se dobija pomoću različitih tipova PV solarnih elektrana od 1 MW sa CIS solarnim modulima za 23 grada u Republici Srbiji

Na osnovu podataka na slici 2.8. vidi se

- da se u Somboru pomoću pomoću dvoosno rotacione solarne elektrane od 1 MW sa CIS solarnim modulima za 29,91% dobija više električne energije u odnosu na fiksnu solarnu elektranu od 1 MW sa CIS solarnim modulima postavljenim pod optimalnim uglom u odnosu na horizontalnu ravan i za 2,21% dobija više električne energije u odnosu na jednoosno rotacionu solarnu elektranu od 1 MW sa CIS solarnim modulima koji su postavljeni pod optimalnim uglom u odnosu na horizontalnu ravan u pravcu sever-jug;
- da se u Đakovici pomoću pomoću dvoosno rotacione solarne elektrane od 1 MW sa CIS solarnim modulima za 33,34% dobija više električne energije u odnosu na fiksnu solarnu elektranu od 1 MW sa CIS solarnim modulima postavljenim pod optimalnim uglom u odnosu na horizontalnu ravan i za 2,38% dobija više električne energije u odnosu na jednoosno rotacionu solarnu elektranu od 1 MW sa CIS solarnim modulima koji su postavljeni pod optimalnim uglom u odnosu na horizontalnu ravan u pravcu sever-jug.

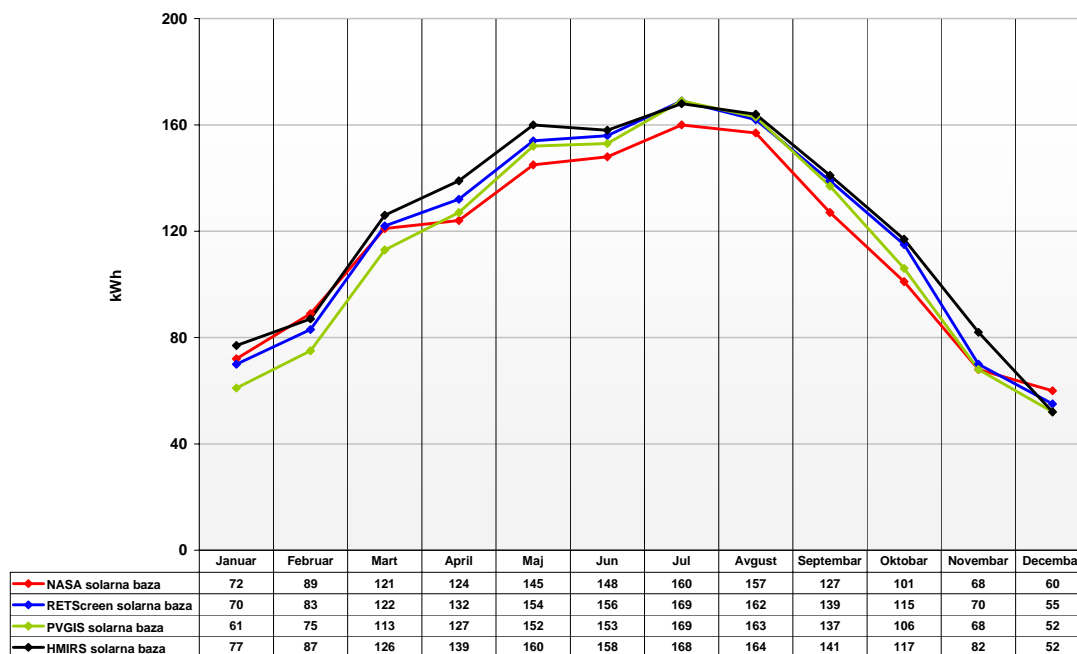
[A1, A2]

2.1.3.4. Rezultati teorijskog odredjivanja iznosa električne energije fiksnih solarnih elektrana od 1 kW pomoću Homer programa na teritoriji Republike Srbije korišćenjem različitih baza podataka za energiju Sunčevog zračenja

U ovom delu doktorske disertacije je razmatran i upoređivan mesečni iznos električne energije koja se dobija pomoću fiksne on-grid solarne elektrane od 1 kW sa solarnim modulima orijentisanim prema jugu pod optimalnim uglom za tri reprezentativne lokacije u Republici Srbiji (Beograd, Negotin i Zlatibor).

Izračunavanja mesečnih iznosa električne energije izvršena su pomoću Homer programa [16,17]. U Homer programu su definisane komponente i parametri koji utiču na rad solarne elektrane. Za simulaciju rada on-grid solarne elektrane u Homeru uzeto je da su solarni moduli, ukupne snage od 1 kW i faktorom gubitaka od 5%, orijentisani prema jugu pod uglom od 34° za Beograd, 32° za Negotin i 36° za Zlatibor; da albedo iznosi 0,2; da inverter, snage od 1 kW, ima efikasnost od 95% i da su srednje mesečne vrednosti za energiju globalnog Sunčevog zračenja koja u toku dana dospe na kvadratni metar horizontalne površine na Zemlji preuzete iz četiri različite solarne baze: NASA, RETScreen, PVGIS i HMIRS [A7].

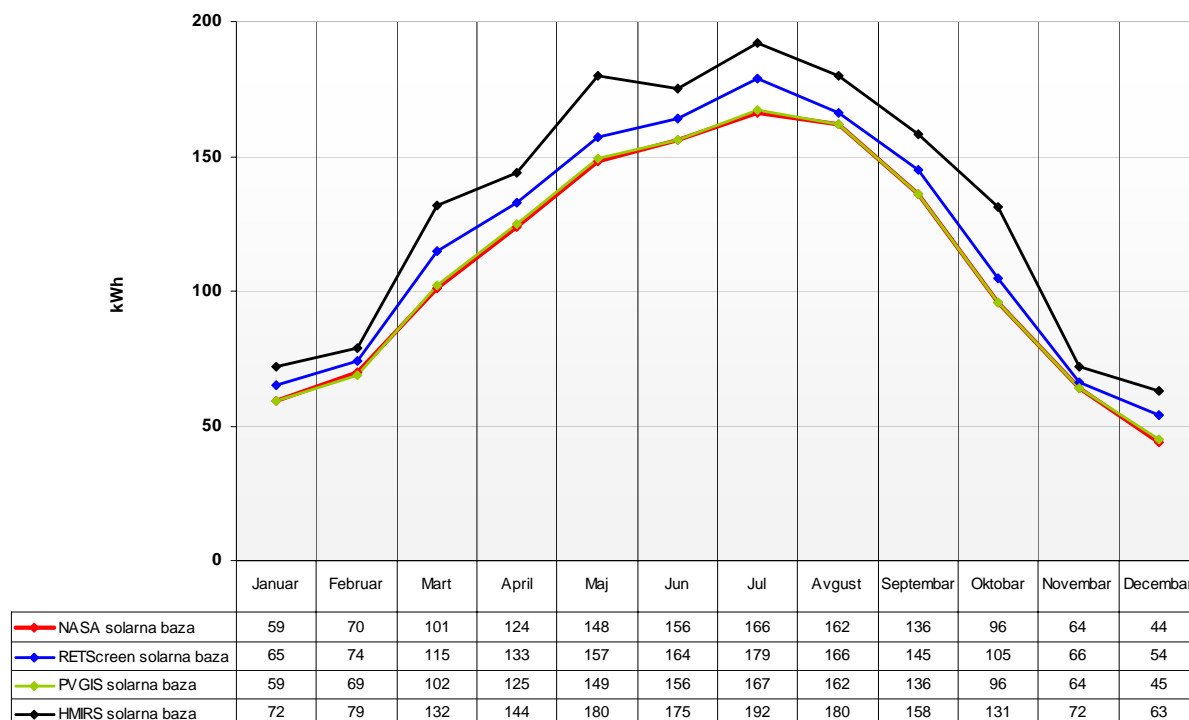
Rezultati izračunavanja srednjih mesečnih vrednosti električne energije koja u toku godine može da se dobije pomoću fiksne on-grid solarne elektrane od 1 kW za Beograd, Negotin i Zlatibor, date su na slikama 2.9, 2.10. i 2.11, respektivno, pri čemu su izračunavanja su izvršena pomoću Homer programa korišćenjem različitih solarnih baza [A7].



Sl. 2.9.

Rezultati izračunavanja srednjih mesečnih vrednosti električne energije koja u toku godine može da se dobije pomoću fiksne on-grid solarne elektrane od 1 kW za Beograd, pri čemu su izračunavanja su izvršena pomoću Homer programa korišćenjem različitih solarnih baza

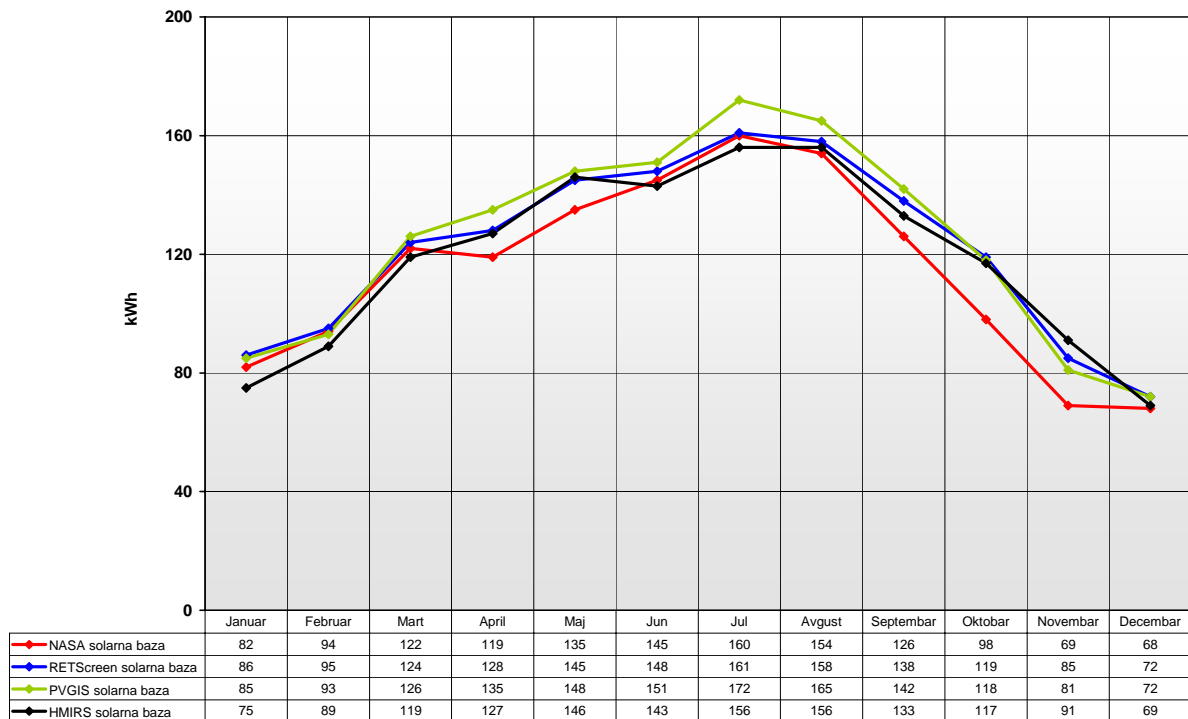
Na osnovu podataka na slici 2.9. vidi se da za Beograd u toku godine srednje mesečne vrednosti električne energije koja se u toku godine dobija pomoću fiksne on-grid solarne elektrane od 1 kW pomoću Homer programa, korišćenjem NASA solarne baze se kreću od 60 do 160 kWh; korišćenjem RETScreen solarne baze se kreću od 55 do 169 kWh; korišćenjem PVGIS solarne baze se kreću od 52 do 169 kWh i korišćenjem HMIRS solarne baze se kreću od 52 do 168 kWh.



Sl. 2.10.

Rezultati izračunavanja srednjih mesečnih vrednosti električne energije koja u toku godine može da se dobije pomoću fiksne on-grid solarne elektrane od 1 kW za Negotin, pri čemu su izračunavanja su izvršena pomoću Homer programa korišćenjem različitih solarnih baza.

Na osnovu podataka na slici 2.10. vidi se da za Negotin u toku godine srednje mesečne vrednosti električne energije koja se u toku godine dobija pomoću fiksne on-grid solarne elektrane od 1 kW pomoću Homer programa, korišćenjem NASA solarne baze se kreću od 44 do 166 kWh; korišćenjem RETScreen solarne baze se kreću od 54 do 179 kWh; korišćenjem PVGIS solarne baze se kreću od 45 do 167 kWh i korišćenjem HMIRS solarne baze se kreću od 63 do 192 kWh.

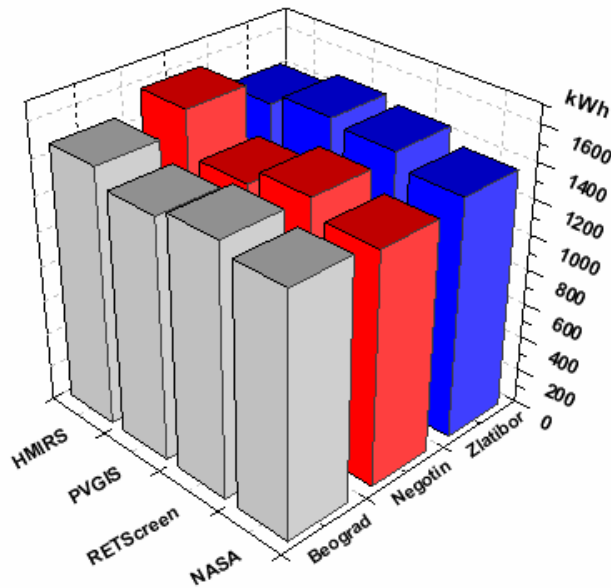


Sl. 2.11.

Rezultati izračunavanja srednjih mesečnih vrednosti električne energije koja u toku godine može da se dobije pomoću fiksne on-grid solarne elektrane od 1 kW za Zlatibor, pri čemu su izračunavanja su izvršena pomoću Homer programa korišćenjem različitih solarnih baza.

Na osnovu podataka na slici 2.11. vidi se da za Zlatibor u toku godine srednje mesečne vrednosti električne energije koja se u toku godine dobija pomoću fiksne on-grid solarne elektrane od 1 kW pomoću Homer programa, korišćenjem NASA solarne baze se kreću od 68 do 160 kWh; korišćenjem RETScreen solarne baze se kreću od 72 do 161 kWh; korišćenjem PVGIS solarne baze se kreću od 72 do 172 kWh i korišćenjem HMIRS solarne baze se kreću od 69 do 156 kWh.

Uporedni prikaz ukupnih godišnjih iznosa električne energije koja se dobija pomoću fiksne on-grid solarne elektrane od 1 kW, pomoću Homer programa korišćenjem različitih solarnih baza, za Beograd, Negotin i Zlatibor dat je na slici 2.12.



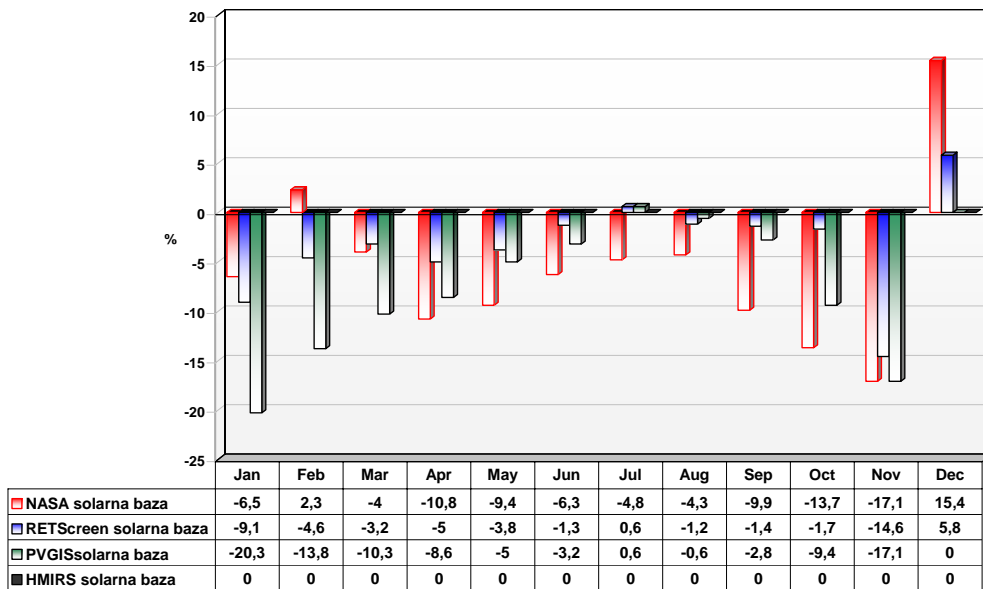
Sl. 2.12.

Uporedni prikaz ukupnih godišnjih iznosa električne energije koja se dobija pomoću fiksne on-grid solarne elektrane od 1 kW, pomoću Homer programa korišćenjem različitih solarnih baza za Beograd, Negotin i Zlatibor

Na slici 2.12. se vidi da je ukupni godišnji iznos električne energije koja se dobija pomoću fiksne on-grid solarne elektrane od 1 kW pomoću Homer programa:

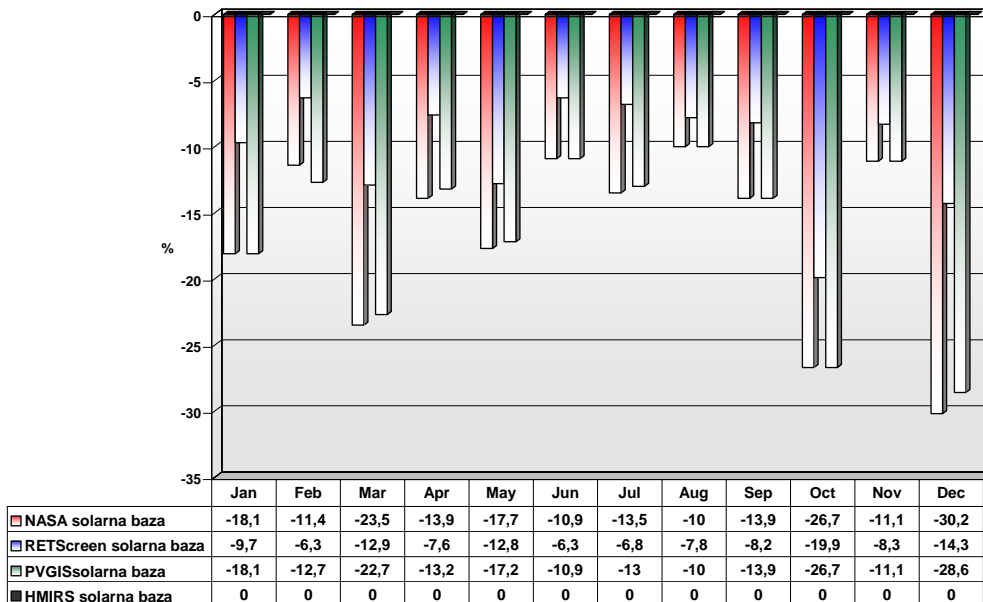
- korišćenjem NASA solarne baze 1372 kWh, korišćenjem RETScreen solarne baze 1428 kWh, korišćenjem PVGIS solarne baze 1377 kWh i korišćenjem HMIRS solarne baze 1472 kWh, za Beograd;
- korišćenjem NASA solarne baze 1326 kWh, korišćenjem RETScreen solarne baze 1423 kWh, korišćenjem PVGIS solarne baze 1330 kWh i korišćenjem HMIRS solarne baze 1578 kWh, za Negotin i
- korišćenjem NASA solarne baze 1372 kWh, korišćenjem RETScreen solarne baze 1459 kWh, korišćenjem PVGIS solarne baze 1488 kWh i korišćenjem HMIRS solarne baze 1421 kWh, za Zlatibor.

Relativna odstupanja srednjih mesečnih iznosa električne energije koja se dobija pomoću fiksne on-grid solarne elektrane od 1 kW pomoću Homer programa korišćenjem NASA, RETScreen i PVGIS solarnih baza u odnosu na srednje mesečne iznose električne energije koja se dobija pomoću fiksne on-grid solarne elektrane od 1 kW pomoću Homer programa korišćenjem HMIRS solarne baze za Beograd, Negotin i Zlatibor data su na slikama 2.13, 2.14. i 2.15, respektivno.



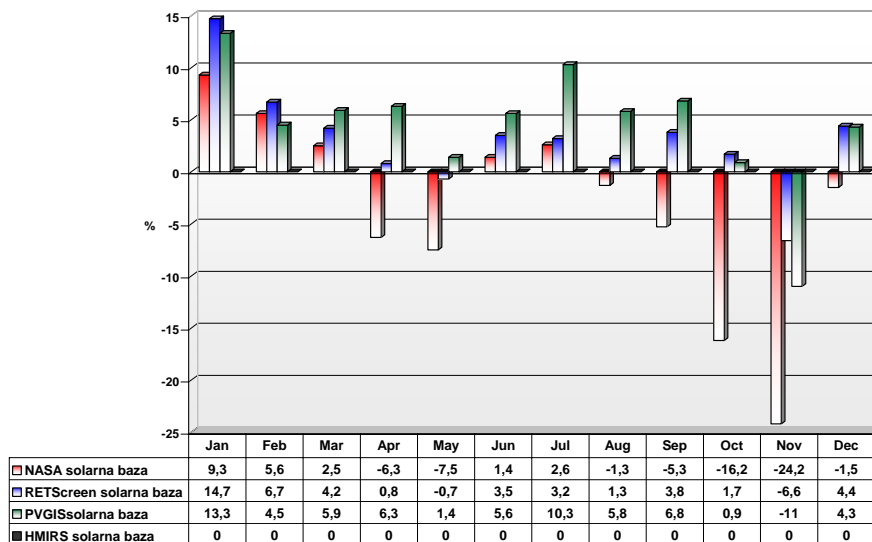
Sl. 2.13.

Relativna odstupanja srednjih mesečnih iznosa električne energije koja se dobija pomoću fiksne on-grid solarne elektrane od 1 kW pomoću Homer programa korišćenjem NASA, RETScreen i PVGIS solarnih baza u odnosu na srednje mesečne iznose električne energije koja se dobija pomoću fiksne on-grid solarne elektrane od 1 kW pomoću Homer programa korišćenjem HMIRS solarne baze za Beograd



Sl. 2.14.

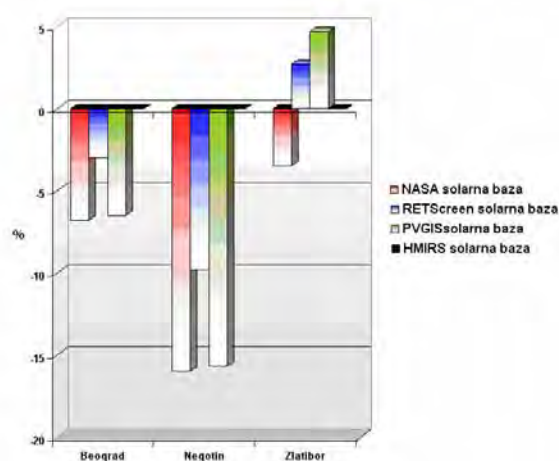
Relativna odstupanja srednjih mesečnih iznosa električne energije koja se dobija pomoću fiksne on-grid solarne elektrane od 1 kW pomoću Homer programa korišćenjem NASA, RETScreen i PVGIS solarnih baza u odnosu na srednje mesečne iznose električne energije koja se dobija pomoću fiksne on-grid solarne elektrane od 1 kW pomoću Homer programa korišćenjem HMIRS solarne baze za Negotin



Sl. 2.15.

Relativna odstupanja srednjih mesečnih iznosa električne energije koja se dobija pomoću fiksne on-grid solarne elektrane od 1 kW pomoću Homer programa korišćenjem NASA, RETScreen i PVGIS solarnih baza u odnosu na srednje mesečne iznose električne energije koja se dobija pomoću fiksne on-grid solarne elektrane od 1 kW pomoću Homer programa korišćenjem HMIRS solarne baze za Zlatibor

Uporedni prikaz relativnog odstupanja srednjih godišnjih iznosa električne energije koja se dobija pomoću fiksne on-grid solarne elektrane od 1 kW pomoću Homer programa korišćenjem NASA, RETScreen i PVGIS solarnih baza u odnosu na srednji godišnji iznos električne energije koja se dobija pomoću fiksne on-grid solarne elektrane od 1 kW pomoću Homer programa korišćenjem HMIRS solarne baze za Beograd, Negotin i Zlatibor dat je na slici 2.16.



Sl. 2.16.

Uporedni prikaz relativnog odstupanja srednjih godišnjih iznosa električne energije koja se dobija pomoću fiksne on-grid solarne elektrane od 1 kW pomoću Homer programa korišćenjem NASA, RETScreen i PVGIS solarnih baza u odnosu na srednji godišnji iznos električne energije koja se dobija pomoću fiksne on-grid solarne elektrane od 1 kW pomoću Homer programa korišćenjem HMIRS solarne baze za Beograd, Negotin i Zlatibor

Na osnovu podataka na slici 2.16. vidi se da je

- za Beograd ukupan godišnje iznos električne energije koja se dobija pomoću fiksne on-grid solarne elektrane od 1 kW pomoću Homer programa korišćenjem NASA, RETScreen i PVGIS solarnih baza za 6,8%, 3% i 6,5%, respektivno, manji u odnosu na iznos električne energije koja se dobija pomoću fiksne on-grid solarne elektrane od 1 kW pomoću Homer programa korišćenjem HMIRS solarne baze
- za Negotin ukupan godišnje iznos električne energije koja se dobija pomoću fiksne on-grid solarne elektrane od 1 kW pomoću Homer programa korišćenjem NASA, RETScreen i PVGIS solarnih baza za 16%, 9,8% i 15,7%, respektivno, manji u odnosu na iznos električne energije koja se dobija pomoću fiksne on-grid solarne elektrane od 1 kW pomoću Homer programa korišćenjem HMIRS solarne baze i
- za Zlatibor ukupan godišnje iznos električne energije koja se dobija pomoću fiksne on-grid solarne elektrane od 1 kW pomoću Homer programa korišćenjem NASA solarne baze za 3,5% manji, a korišćenjem RETScreen i PVGIS solarnih baza za 2,7% and 4,7%, respektivno, viši u odnosu na iznos električne energije koja se dobija pomoću fiksne on-grid solarne elektrane od 1 kW pomoću Homer programa korišćenjem HMIRS solarne baze.

Imajući u vidu da je u poglavlju 2.1.3.2. pokazano da srednje godišnje vrednosti energije globalnog Sunčevog zračenja koja u toku dana dospe na kvadratni metar horizontalne površine na Zemlji iz RETScreen solarne baze najmanje odstupaju od vrednosti iz HMIRS solarne baze u ovom poglavlju je pokazano da i ukupan godišnje iznos električne energije koja se dobija pomoću fiksne on-grid solarne elektrane od 1 kW pomoću Homer programa korišćenjem RETScreen solarne baze najmanje odstupaju od ukupnog godišnjeg iznosa električne energije koja se dobija pomoću fiksne on-grid solarne elektrane od 1 kW pomoću Homer programa korišćenjem HMIRS solarne baze.

[A7, 12-17]

2.2. Teorijska analiza energetske efikasnosti solarnih elektrana na teritoriji Republike Srpske

2.2.1. Geografski položaj i klimatske karakteristike Republike Srpske

Republika Srpska je osnovana 9. januara 1992. godine i jedan je od dva entiteta u Bosni i Hercegovini (pored Federacije Bosne i Hercegovine) zauzimajući 49% njene teritorije (25053 km²). Ukupna dužina granice Republike Srpske iznosi oko 2170 km. Republika Srpska ima atipičan oblik državne teritorije čiji je severni deo izdužen u pravcu zapad-istok, a istočni u pravcu sever-jug.



Sl. 2.17.
Mapa Republike Srpske

Republika Srpska se nalazi između $42^{\circ}33'$ i $45^{\circ}16'$ severne geografske širine i $16^{\circ}11'$ i $19^{\circ}37'$ istočne geografske dužine i zahvata severni i istočni deo geoprostora Bosne i Hercegovine. Različiti klimatski uticaji, koji deluju na prostoru Republike Srpske su rezultat prirodnih faktora i zakonitosti opšte cirkulacije vazdušnih masa ovog prostora. Shodno tome, na teritoriji Republike Srpske mogu se izdvojiti tri klimatska tipa i to: severni peripanonski prostor, koji ima umereno kontinentalnu klimu; planinska i planinsko-kotlinska klima i izmenjena varijanta mediteranske-jadranske klime [18, 19, A1, A3, A6, A14].

Klimatske karakteristike peripanonskog prostora Republike Srpske

Peripanonski prostor se odlikuje umereno hladnim zimama i toplim letima. Vrednost srednje godišnje temperature vazduha kreću se od 12°C do 19°C . Srednja mesečna temperatura vazduha najtoplijeg meseca (jul) ima vrednosti od 21°C do 23°C , dok se srednja mesečna temperatura najhladnijeg meseca (januar) kreće od $-0,2^{\circ}\text{C}$ do $-0,9^{\circ}\text{C}$. Apsolutna maksimalna temperatura vazduha dostiže vrednost do 41°C , dok apsolutna minimalna i do -30°C , na osnovu čega se može zaključiti da su godišnje temperaturne amplitude visoke i imaju vrednosti i do 71°C .

U proseku godišnja količina padavina ima vrednost od 1050 l/m^2 na zapadu do 750 l/m^2 na istoku. Najveće količine padavina se javljaju u periodu maj-jun. Idući od zapada prema istoku količina padavina opada zbog uticaja zapadnih vazdušnih strujanja, ali su u toku godine padavine uglavnom ravnomerno raspoređene.

Ovaj prostor u toku godine ima oko 1900 Sunčanih časova. Na krajnjem istoku peripanonskog prostora u zimskom periodu duva košava, hladan i slapovit vetar. Ostali vetrovi, koji duvaju u ovom podneblju, nastaju kao posledica trenutne cirkulacije vazdušnih masa [18, A1, A3, A6, A14].

Karakteristike planinske i planinsko-kotlinske klime Republike Srpske

Planinska i planinsko-kotlinska (pretplaninska) varijanta klimatskog uticaja oseća se u najvećem delu Republike Srpske. Planinski masivi odlikuju se kratkim i svežim letima i hladnim i snežnim zimama, gde su visine snežnog pokrivača visoke, a snežni pokrivač se dugo zadržava. Srednja godišnja temperatura vazduha je između 5°C и 7°C, srednja mesečna temperatura vazduha najhladnijeg meseca-januara ima vrednosti od 2,5°C do -3°C, apsolutne minimalne temperature dostižu vrednosti preko -30°C, a apsolutne maksimalne temperature vazduha se penju i do 35°C. Na osnovu toga se može zaključiti da su temperaturne amplitude visoke.

Godišnja suma padavina je iznad 1200 l/m². Broj Sunčanih časova je oko 1850 na godišnjem nivou. Za razliku od planinske klime ovih prostora, brežuljkasta područja, kotline i doline imaju nešto blažu klimu. Prostori koji imaju obeležja planinsko-kotlinske klime imaju srednju godišnju temperaturu vazduha oko 10°C, količina padavina na godišnjem nivou kreće se od 700 do 1000 l/m², a zime su umereno hladne sa snegom, sa čestim temperaturnim inverzijama i maglama, dok su leta umereno topla [18, A1, A3, A6, A14].

Izmenjena varijanta Jadranske klime Republike Srpske

Južni deo Republike Srpske odnosno prostor niske Hercegovine (ovaj prostor se naziva Humine) ima izmenjenu varijantu jadranske klime, za razliku od prostora Rudina, koji zahvata više planinske delove Hercegovine i koji se u klimatskom pogledu odlikuje prelaznom varijantom između klime Humina i planinske klime.

Klima Humina i Rudina se odlikuje oslabljenim uticajem Jadranskog mora. Leta su vrlo topla sa oko 2400 časova trajanja sijanja Sunca. Srednja godišnja temperatura vazduha je između 14°C i 14,7°C. Apsolutna maksimalna temperatura vazduha dostiže vrednost od 41°C, dok apsolutna minimalna temperatura dostiže vrednost od -8°C.

Suma padavina kreće se od 1500 do 2000 l/m², raspored padavina je nepovoljan, jesen i zima imaju najveću, a leto najmanju količinu padavina, kada se javljaju suše. Za ove prostore karakteristični su vetrovi bura i jugo.

Bura je slapovit vetar severnog i severoistočnog pravca, duva u zimskom delu godine i često dostiže olujnu jačinu. Jugo duva kada se nad Afrikom javi visok, a nad Jadranskim morem nizak vazdušni pritisak, duva tokom čitave godine i obično donosi kišu. U ovom klimatskom prostoru smešten je najtopliji grad Republike Srpske, Trebinje.

Za razliku od klime Humina, klimatske karakteristike klime Rudina odlikuju se nižim letnjim i zimskim temperaturama, a u zimskom periodu snežne padavine su redovna pojava.

Geografski položaj i rezultati izračunavanja srednjih mesečnih i godišnjih vrednosti zamućenosti atmosfere, dnevne temperature vazduha u toku svetlog dela dana i dnevne dvadesetčetvoročasovne temperature vazduha, dobijeni pomoću PVGIS programa, za 13 gradova Republike Srpske, dati su u tabeli 2.9 [18, A1, A3, A6, A14].

Tab. 2.9. Geografski položaj i rezultati izračunavanja srednjih mesečnih i godišnjih vrednosti zamućenosti atmosfere, dnevne temperature vazduha u toku svetlog dela dana i dnevne dvadesetčetvoročasovne temperature vazduha, dobijeni pomoću PVGIS programa, za 13 gradova Republike Srpske

GRADOVI REPUBLIKE SRPSKE	Mesec	Zamućenost atmosfere	Dnevna temperatura vazduha u toku svetlog dela dana (°C)	Dnevna dvadesetčetvoročasovna temperatura vazduha (°C)
Novi Grad 45°2'43" severne geografske širine i 16°23'4" istočne geografske dužine	Januar	2,6	2,1	1,2
	Februar	3,2	4,4	3,1
	Mart	3,4	8,9	7,5
	April	4,1	13,2	11,9
	Maj	4,3	18,4	16,7
	Jun	4,5	21,9	20,1
	Jul	4,6	23,5	21,9
	Avgust	4,0	23,3	21,7
	Septembar	4,4	18,5	17,0
	Oktobar	3,4	14,8	13,3
	Novembar	3,6	8,6	7,5
	Decembar	2,9	3,1	2,3
	God.	3,8	13,4	12,0
Derventa 44°58'51" severne geografske širine i 17°54'34" istočne geografske dužine	Januar	2,2	1,5	0,8
	Februar	2,8	4,2	3,1
	Mart	3,3	8,9	7,6
	April	3,8	13,5	12,2
	Maj	4,3	18,6	17,0
	Jun	4,4	21,9	20,1
	Jul	4,6	23,5	22,0
	Avgust	4,1	23,3	21,8
	Septembar	4,1	18,6	17,2
	Oktobar	3,3	14,9	13,5
	Novembar	3,2	8,4	7,4
	Decembar	2,5	2,5	1,9
	God.	3,5	13,3	12,0
Prijedor 44°58'44" severne geografske širine i 16°42'13" istočne geografske dužine	Januar	2,5	2,3	1,4
	Februar	3,1	4,6	3,3
	Mart	3,4	9,2	7,7
	April	4,1	13,5	12,2
	Maj	4,2	18,6	16,9
	Jun	4,6	22,1	20,3
	Jul	4,6	23,7	22,2
	Avgust	4,0	23,5	21,9
	Septembar	4,3	18,8	17,3
	Oktobar	3,5	15,0	13,6
	Novembar	3,5	8,8	7,7
	Decembar	2,9	3,2	2,5
	God.	3,7	13,6	12,3

Brčko 44°52'11" severne geografske širine i 18°48'35" istočne geografske dužine	Januar	2,1	1,3	0,7
	Februar	2,6	4,1	3,1
	Mart	3,0	8,7	7,4
	April	3,5	13,5	12,2
	Maj	4,0	18,8	17,2
	Jun	4,0	21,9	20,2
	Jul	4,0	23,5	22,1
	Avgust	3,9	23,4	21,9
	Septembar	3,8	18,7	17,2
	Oktobar	3,0	14,9	13,5
	Novembar	2,7	8,3	7,4
	Decembar	2,2	2,4	1,9
	God.	3,2	13,3	12,1
Bijeljina 44°45'0" severne geografske širine i 19°13'0" istočne geografske dužine	Januar	2,1	1,3	0,8
	Februar	2,5	4,2	3,1
	Mart	2,9	8,6	7,4
	April	3,4	13,6	12,2
	Maj	3,9	18,9	17,3
	Jun	3,9	22,0	20,4
	Jul	3,8	23,6	22,2
	Avgust	3,9	23,5	22,0
	Septembar	3,7	18,7	17,3
	Oktobar	3,0	14,9	13,5
	Novembar	2,5	8,4	7,5
	Decembar	2,1	2,5	2,0
	God.	3,1	13,4	12,1
Banja Luka 44°46'0" severne geografske širine i 17°10'59" istočne geografske dužine	Januar	2,5	1,7	0,7
	Februar	3,1	4,1	2,9
	Mart	3,5	8,7	7,3
	April	3,9	13,0	11,8
	Maj	4,3	18,0	16,4
	Jun	4,5	21,4	19,5
	Jul	4,6	23,2	21,6
	Avgust	4,0	23,0	21,4
	Septembar	4,2	18,3	16,9
	Oktobar	3,3	14,6	13,3
	Novembar	3,2	8,3	7,3
	Decembar	2,8	2,6	2,0
	God.	3,7	13,1	11,8
Doboj 44°44'26" severne geografske širine i 18°5'34" istočne geografske dužine	Januar	2,3	1,2	0,4
	Februar	2,8	3,9	2,8
	Mart	3,2	8,5	7,3
	April	3,6	13,1	11,8
	Maj	4,2	18,1	16,5
	Jun	4,3	21,3	19,5
	Jul	4,4	23,0	21,6
	Avgust	3,9	22,8	21,3
	Septembar	4,0	18,2	16,9
	Oktobar	3,2	14,6	13,3
	Novembar	2,9	8,0	7,2
	Decembar	2,5	2,2	1,7
	God.	3,4	12,9	11,7

Zvornik 44°23'30" severne geografske širine i 19°6'20" istočne geografske dužine	Januar	2,1	1,3	0,7
	Februar	2,6	4,1	3,1
	Mart	3,1	8,4	7,1
	April	3,4	13,1	11,8
	Maj	4,0	18,3	16,8
	Jun	4,1	21,5	19,9
	Jul	4,1	23,2	21,8
	Avgust	3,9	23,0	21,6
	Septembar	3,8	18,3	17,0
	Oktobar	3,1	14,5	13,3
	Novembar	2,7	8,2	7,4
	Decembar	2,2	2,4	2,0
	God.	3,3	13,0	11,9
Pale 43°49'0" severne geografske širine i 18°34'0" istočne geografske dužine	Januar	2,4	-0,4	-1,5
	Februar	2,8	1,2	0,3
	Mart	3,3	4,7	3,6
	April	3,6	9,1	8,0
	Maj	4,0	14,3	13,1
	Jun	4,2	17,7	16,3
	Jul	4,2	19,7	18,5
	Avgust	3,8	19,4	18,2
	Septembar	3,9	14,9	13,8
	Oktobar	3,2	11,6	10,5
	Novembar	2,9	5,7	4,8
	Decembar	2,5	0,4	0,1
	God.	3,4	9,8	8,8
Sarajevo 43°50'51" severne geografske širine i 18°21'23" istočne geografske dužine	Januar	2,6	1,5	0,4
	Februar	2,8	3,6	2,5
	Mart	3,6	7,4	6,2
	April	3,6	11,7	10,5
	Maj	4,1	16,7	15,3
	Jun	4,4	20,1	18,5
	Jul	4,4	22,2	20,8
	Avgust	3,8	21,9	20,5
	Septembar	4,0	17,4	16,2
	Oktobar	3,2	13,8	12,8
	Novembar	2,9	7,7	6,9
	Decembar	2,6	2,4	2,1
	God.	3,5	12,2	11,1
Višegrad 43°47'7" severne geografske širine i 19°17'35" istočne geografske dužine	Januar	2,2	1,2	0,5
	Februar	2,7	3,6	2,6
	Mart	3,1	7,5	6,3
	April	3,5	12,1	10,8
	Maj	4,2	17,2	15,9
	Jun	4,1	20,6	19,2
	Jul	4,1	22,5	21,2
	Avgust	3,9	22,2	20,9
	Septembar	3,8	17,6	16,4
	Oktobar	3,2	13,8	12,7
	Novembar	2,9	7,7	6,9
	Decembar	2,3	2,3	1,8
	God.	3,3	12,4	11,3

Foča 43°30'14" severne geografske širine i 18°46'41" istočne geografske dužine	Januar	2,5	1,0	0,0
	Februar	2,9	2,7	1,7
	Mart	3,3	6,2	5,1
	April	3,6	10,6	9,4
	Maj	4,2	15,7	14,5
	Jun	4,3	19,3	17,9
	Jul	4,2	21,4	20,1
	Avgust	3,9	21,0	19,8
	Septembar	4,1	16,5	15,3
	Oktobar	3,4	13,0	11,9
	Novembar	3,0	7,1	6,2
	Decembar	2,6	2,0	1,6
	God.	3,5	11,4	10,3
Trebinje 42°42'40" severne geografske širine i 18°20'33" istočne geografske dužine	Januar	2,7	5,0	4,0
	Februar	2,9	5,8	4,7
	Mart	3,0	8,5	7,4
	April	3,4	12,2	11,1
	Maj	3,9	17,6	16,3
	Jun	3,8	21,6	20,2
	Jul	4,3	24,1	22,7
	Avgust	3,7	23,6	22,3
	Septembar	3,8	19,1	17,7
	Oktobar	3,3	15,6	14,3
	Novembar	2,9	10,3	9,2
	Decembar	2,6	6,2	5,5
	God.	3,4	14,1	12,9

Na osnovu podataka u tabeli 2.9. vidi se da se na teritoriji Republike Srpske

- srednje godišnje vrednosti zamućenosti atmosfere nalaze u granicama od 3,1 (Bijeljina) do 3,8 (Novi Grad);
- srednje godišnje vrednosti dnevne temperature vazduha u toku svetlog dela dana nalaze u granicama od 9,8°C (Pale) do 14,1°C (Trebinje) i
- srednje godišnje vrednosti dnevne dvadesetčetvoročasovne temperature vazduha nalaze u granicama od 8,8°C (Pale) do 12,9°C (Trebinje).

[A1, A3, A6]

2.2.2. Rezultati

Cilj ovog dela doktorske disertacije jeste da se da uvid u solarni potencijal Bosne i Hercegovine, a posebno Republike Srpske, kao i mogućnost korišćenja Sunčevog zračenja za dobijanje električne energije.

2.2.2.1. Rezultati izračunavanja energije Sunčevog zračenja pomoću PVGIS programa

U pogledu solarnog potencijala Bosna i Hercegovina spada u povoljnije lokacije u Evropi, sa intenzitetom Sunčevog zračenja koje dospeva na horizontalnu površinu od 1240 kWh/m² na severu do 1600 kWh/m² na jugu zemlje. Bosna i Hercegovina ima u proseku 1840,9 h sunčanih sati na godišnjem nivou, dok na jugu taj broj dostiže godišnje vrednosti od 2352,5 h.

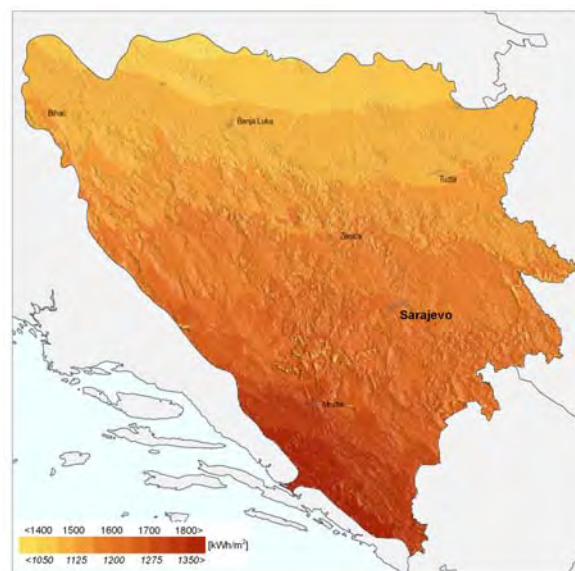
Teorijski potencijal Sunčevog zračenja za Bosnu i Hercegovinu je procenjena na oko 74,65 PWh, a tehnički potencijal na oko 1903 TWh, što je znatno više nego energetske potrebe zemlje [19-21, A1, A3, A14].

Ukupni godišnji iznosi energije Sunčevog zračenja koja dospeva na kvadratni metar horizontalne površine i površine postavljene pod optimalnim uglom u odnosu na horizontalnu ravan, na teritoriji Bosne i Hercegovine, dati su na slikama 2.18 i 2.19, respektivno.



Sl. 2.18.

Ukupan godišnji iznos energije Sunčevog zračenja koja dospeva na kvadratni metar horizontalne površine na teritoriji Bosne i Hercegovine (PVGIS©European Communities, 2001-2008, <http://re.ec.europa.eu/pvgis/>.)



Sl. 2.19

Ukupan godišnji iznos energije Sunčevog zračenja koja dospeva na kvadratni metar površine postavljene pod optimalnim uglom u odnosu na horizontalnu ravan, na teritoriji Bosne i Hercegovine (PVGIS©European Communities, 2001-2008, <http://re.ec.europa.eu/pvgis/>.)

Na slikama 2.18. i 2.19. se vidi da prosečna vrednost energije Sunčevog zračenja ne zavisi samo od geografske širine da već postoje i regionalne razlike u energiji Sunčevog zračenja zbog terenskih karakteristika i klimatskih uslova u Republici Srpskoj.

Sunčevo zračenje u Republici Srpskoj

Geografski položaj i rezultati izračunavanja srednjih mesečnih i godišnjih vrednosti optimalnog ugla postavljanja solarnih modula, energije Sunčevog zračenja koja dospeva na kvadratni metar površine postavljene pod uglom od 0° i 90° i pod optimalnim uglom u odnosu na horizontalnu ravan i odnosa između difuznog i ukupnog Sunčevog zračenja, dobijeni pomoću PVGIS programa, za 13 gradova Republike Srpske, dati su u tabeli 2.10.

Tab. 2.10. Rezultati izračunavanja srednjih mesečnih i godišnjih vrednosti optimalnog ugla postavljanja solarnih modula, energije Sunčevog zračenja koja dospeva na kvadratni metar horizontalne, vertikalne i površine postavljene pod optimalnim uglom u odnosu na horizontalnu ravan i odnosa između difuznog i ukupnog Sunčevog zračenja, dobijeni pomoću PVGIS programa, za 13 gradova Republike Srpske

GRADOVI REPUBLIKE SRPSKE	Mesec	Optimalni ugao postavljanja solarnih modula (°)	Energija Sunčevog zračenja koja dospeva na kvadratni metar			Odnos između difuznog i ukupnog Sunčevog zračenja
			horizontalne površine (Wh/m ²)	površine postavljene pod optimalnim uglom u odnosu na horizontalnu ravan (Wh/m ²)	vertikalne površine (Wh/m ²)	
Novi Grad	Januar	62	1230	1930	1930	0,61
	Februar	55	1960	2780	2520	0,57
	Mart	43	3080	3790	2900	0,55
	April	29	4210	4590	2840	0,52
	Maj	16	5240	5220	2700	0,51
	Jun	11	5800	5550	2600	0,50
	Jul	15	6280	6170	2930	0,43
	Avgust	25	5310	5650	3210	0,44
	Septembar	41	3950	4820	3460	0,44
	Oktobar	52	2450	3370	2900	0,53
	Novembar	59	1390	2040	1950	0,63
	Decembar	62	982	1500	1500	0,68
God.	34	3500	3960	2620	0,50	
Derventa	Januar	62	1190	1830	1840	0,64
	Februar	54	1870	2580	2330	0,60
	Mart	43	3020	3700	2830	0,55
	April	29	4240	4610	2850	0,52
	Maj	16	5270	5260	2700	0,50
	Jun	11	5630	5410	2520	0,50
	Jul	15	6070	5970	2830	0,44
	Avgust	25	5250	5590	3160	0,44
	Septembar	40	3960	4810	3460	0,44
	Oktobar	53	2490	3420	2980	0,52
	Novembar	59	1370	2000	1930	0,63
	Decembar	63	975	1500	1520	0,68
God.	33	3450	3900	2580	0,50	
Prijedor	Januar	63	1230	1970	2010	0,61
	Februar	56	1970	2800	2550	0,57
	Mart	43	3080	3810	2920	0,54
	April	29	4220	4590	2840	0,52
	Maj	16	5290	5270	2710	0,50
	Jun	11	5750	5500	2570	0,49
	Jul	15	6270	6150	2910	0,42
	Avgust	25	5310	5650	3200	0,44
	Septembar	41	3970	4850	3480	0,44
	Oktobar	52	2460	3390	2940	0,52
	Novembar	60	1400	2090	2020	0,63
	Decembar	63	984	1550	1570	0,67
God.	34	3500	3980	2640	0,49	

Brčko	Januar	62	1210	1880	1880	0,64
	Februar	55	1890	2630	2370	0,60
	Mart	43	3060	3770	2870	0,55
	April	29	4270	4640	2860	0,51
	Maj	16	5350	5320	2730	0,50
	Jun	11	5760	5490	2550	0,49
	Jul	15	6150	6010	2850	0,43
	Avgust	25	5340	5680	3210	0,43
	Septembar	41	4030	4920	3530	0,43
	Oktober	53	2590	3630	3170	0,50
	Novembar	60	1430	2170	2110	0,62
	Decembar	64	1010	1610	1650	0,67
God.	34	3520	3990	2650	0,49	
Bijeljina	Januar	62	1240	1930	1940	0,63
	Februar	55	1930	2710	2440	0,59
	Mart	43	3100	3830	2930	0,54
	April	29	4280	4650	2860	0,51
	Maj	16	5400	5370	2740	0,49
	Jun	11	5820	5540	2560	0,49
	Jul	15	6200	6040	2850	0,43
	Avgust	25	5380	5730	3220	0,42
	Septembar	41	4080	4990	3580	0,43
	Oktober	53	2640	3710	3250	0,49
	Novembar	61	1460	2240	2200	0,60
	Decembar	64	1050	1680	1740	0,65
God.	34	3560	4040	2690	0,49	
Banja Luka	Januar	62	1260	1980	1990	0,62
	Februar	55	1970	2760	2480	0,58
	Mart	43	3100	3820	2910	0,54
	April	29	4290	4670	2880	0,52
	Maj	16	5320	5290	2720	0,50
	Jun	11	5770	5510	2570	0,50
	Jul	15	6280	6150	2900	0,42
	Avgust	25	5340	5670	3200	0,44
	Septembar	40	4050	4930	3540	0,43
	Oktober	52	2540	3500	3020	0,51
	Novembar	60	1460	2180	2110	0,62
	Decembar	63	1030	1610	1620	0,67
God.	34	3540	4010	2660	0,50	
Doboj	Januar	62	1240	1930	1920	0,63
	Februar	54	1920	2660	2370	0,59
	Mart	43	3110	3820	2910	0,55
	April	29	4320	4690	2890	0,52
	Maj	16	5330	5300	2720	0,50
	Jun	10	5710	5450	2540	0,50
	Jul	15	6180	6050	2860	0,43
	Avgust	25	5350	5690	3210	0,44
	Septembar	40	4040	4920	3520	0,44
	Oktober	52	2580	3560	3080	0,51
	Novembar	59	1460	2170	2090	0,62
	Decembar	63	1030	1620	1640	0,66
God.	34	3530	4000	2650	0,50	
Zvornik	Januar	60	1280	1920	1870	0,63
	Februar	52	1930	2610	2270	0,59
	Mart	41	2990	3610	2680	0,56
	April	28	4170	4530	2780	0,53
	Maj	17	5280	5310	2730	0,50
	Jun	12	5670	5490	2540	0,49
	Jul	15	6030	5980	2830	0,43
	Avgust	26	5240	5610	3180	0,43
	Septembar	39	3910	4710	3330	0,44
	Oktober	51	2560	3460	2930	0,50
	Novembar	58	1480	2170	2070	0,60
	Decembar	61	1080	1640	1620	0,65
God.	33	3480	3930	2570	0,50	

Pale	Januar	64	1530	2550	2590	0,55
	Februar	56	2230	3230	2920	0,53
	Mart	43	3330	4160	3160	0,50
	April	28	4500	4890	2970	0,49
	Maj	15	5440	5360	2700	0,50
	Jun	10	5930	5600	2550	0,47
	Jul	14	6470	6250	2870	0,40
	Avgust	25	5640	5970	3300	0,41
	Septembar	40	4270	5220	3690	0,41
	Oktober	53	2870	4070	3520	0,46
	Novembar	61	1700	2700	2660	0,54
	Decembar	65	1260	2100	2160	0,59
God.	35	3770	4350	2920	0,46	
Sarajevo	Januar	63	1470	2430	2470	0,55
	Februar	56	2200	3180	2860	0,53
	Mart	44	3290	4110	3120	0,50
	April	29	4570	4970	3020	0,48
	Maj	16	5590	5520	2750	0,47
	Jun	10	6010	5680	2560	0,45
	Jul	14	6560	6350	2890	0,38
	Avgust	25	5730	6080	3350	0,39
	Septembar	40	4350	5340	3780	0,39
	Oktober	53	2860	4070	3530	0,45
	Novembar	61	1680	2670	2610	0,54
	Decembar	65	1230	2080	2160	0,59
God.	35	3800	4380	2930	0,45	
Višegrad	Januar	62	1460	2300	2280	0,58
	Februar	54	2140	3020	2700	0,54
	Mart	43	3280	4060	3060	0,51
	April	28	4450	4850	2940	0,49
	Maj	16	5500	5460	2720	0,48
	Jun	10	5960	5670	2540	0,46
	Jul	13	6430	6260	2850	0,39
	Avgust	25	5610	5970	3290	0,39
	Septembar	40	4290	5240	3710	0,40
	Oktober	52	2800	3920	3370	0,46
	Novembar	60	1610	2470	2390	0,56
	Decembar	63	1220	1970	2000	0,61
God.	34	3740	4270	2820	0,46	
Foča	Januar	63	1560	2570	2590	0,55
	Februar	55	2280	3280	2940	0,53
	Mart	43	3400	4220	3180	0,51
	April	29	4590	4990	3030	0,49
	Maj	16	5570	5500	2750	0,49
	Jun	10	6060	5740	2580	0,46
	Jul	14	6590	6390	2900	0,39
	Avgust	25	5730	6090	3340	0,39
	Septembar	40	4330	5290	3730	0,40
	Oktober	53	2910	4110	3540	0,45
	Novembar	61	1730	2720	2640	0,54
	Decembar	64	1290	2130	2180	0,59
God.	35	3850	4430	2950	0,46	
Trebinje	Januar	63	1720	2890	2930	0,52
	Februar	56	2480	3620	3260	0,50
	Mart	44	3720	4660	3520	0,47
	April	29	5020	5480	3270	0,45
	Maj	16	6120	6030	2920	0,44
	Jun	9	6680	6280	2690	0,41
	Jul	13	7060	6810	2950	0,34
	Avgust	25	6230	6590	3530	0,35
	Septembar	40	4800	5900	4120	0,36
	Oktober	53	3190	4570	3940	0,42
	Novembar	62	1990	3240	3200	0,49
	Decembar	65	1470	2530	2630	0,55
God.	35	4220	4890	3240	0,41	

Na osnovu podataka u tabeli 2.10. vidi se da se na teritoriji Republike Srpske

- srednje godišnje vrednosti optimalnog ugla postavljanja solarnih modula nalaze u granicama od 33° (Derventa, Zvornik) do 35° (Pale, Sarajevo, Foča, Trebinje);
- srednje godišnje vrednosti energije Sunčevog zračenja koja dospe na kvadratni metar horizontalno postavljene površine nalaze u granicama od 3450 Wh/m² (Derventa) do 4220 Wh/m² (Trebinje);
- srednje godišnje vrednosti energije Sunčevog zračenja koja dospe na kvadratni metar površine postavljene pod optimalnim uglom u odnosu na horizontalnu ravan nalaze u granicama od 3930 Wh/m² (Zvornik) do 4890 Wh/m² (Trebinje);
- srednje godišnje vrednosti energije Sunčevog zračenja koja dospe na kvadratni metar vertikalno postavljene površine nalaze u granicama od 2570 Wh/m² (Zvornik) do 3240 Wh/m² (Trebinje) i
- srednje godišnje vrednosti odnosa između difuznog i ukupnog Sunčevog zračenja nalaze u granicama od 0,41 (Trebinje) do 0,50 (Novi Grad, Derventa, Banja Luka, Doboj, Zvornik).

Rezultati izračunavanja srednjih godišnjih i mesečnih vrednosti energije ukupnog Sunčevog zračenja koje u toku godine dospe na kvadratni metar solarnih modula postavljenih pod optimalnim uglom u odnosu na horizontalnu ravan kod fiksne, jednoosno i dvoosno rotacione solarne elektrane, pomoću PVGIS programa, za 13 gradova Republike Srpske, dati su u tabeli 2.11.

Tab. 2.11. Rezultati izračunavanja srednjih godišnjih i mesečnih vrednosti energije ukupnog Sunčevog zračenja koja u toku godine dospe na kvadratni metar solarnih modula postavljenih pod optimalnim uglom u odnosu na horizontalnu ravan kod fiksne, jednoosno i dvoosno rotacione solarne elektrane, pomoću PVGIS programa, za 13 gradova Republike Srpske

GRADOVI	Mesec	Srednje vrednosti energije ukupnog Sunčevog zračenja koje u toku godine dospe na kvadratni metar solarnih modula postavljenih pod optimalnim uglom u odnosu na horizontalnu ravan kod fiksne solarne elektrane (kWh/m ²)	Srednje vrednosti energije ukupnog Sunčevog zračenja koje u toku godine dospe na kvadratni metar solarnih modula postavljenih pod optimalnim uglom u odnosu na horizontalnu ravan kod jednoosno rotacione solarne elektrane (kWh/m ²)	Srednje vrednosti energije ukupnog Sunčevog zračenja koje u toku godine dospe na kvadratni metar solarnih modula kod dvoosno rotacione solarne elektrane (kWh/m ²)
Novi Grad	Januar	59,4	67,7	72,3
	Februar	77,4	90,9	93,7
	Mart	117	142	143
	April	138	170	170
	Maj	162	204	210
	Jun	167	212	221
	Jul	192	252	260
	Avgust	175	227	230
	Septembar	144	181	182
	Oktobar	104	125	128
	Novembar	60,9	68,9	72,2
	Decembar	46,2	51,2	54,5
	Srednje god.	120	149	153
Ukupno god.	1440	1790	1840	

Derventa	Januar	56,8	65,9	69,9
	Februar	72,3	85,6	87,8
	Mart	115	140	141
	April	138	174	175
	Maj	163	208	213
	Jun	162	206	216
	Jul	185	243	251
	Avgust	173	226	229
	Septembar	144	184	184
	Oktober	106	130	133
	Novembar	60,1	69,1	72,2
	Decembar	46,4	52,6	56,0
	Srednje god.	119	149	152
Ukupno god.	1420	1780	1830	
Prijedor	Januar	61,2	71,6	76,6
	Februar	78,5	93,6	96,6
	Mart	118	145	145
	April	138	172	173
	Maj	163	209	215
	Jun	165	211	221
	Jul	191	253	261
	Avgust	175	231	233
	Septembar	145	184	185
	Oktober	105	128	130
	Novembar	62,8	72,1	75,7
	Decembar	47,9	54,3	58,1
	Srednje god.	121	152	156
Ukupno god.	1450	1820	1870	
Brčko	Januar	57,8	67,8	72,0
	Februar	73,4	87,7	89,9
	Mart	116	144	144
	April	139	177	178
	Maj	166	213	219
	Jun	166	214	224
	Jul	187	250	259
	Avgust	176	233	235
	Septembar	147	189	190
	Oktober	112	139	142
	Novembar	64,6	75,9	79,8
	Decembar	49,5	57,2	61,2
	Srednje god.	121	154	158
Ukupno god.	1450	1850	1890	
Bijeljina	Januar	59,9	70,1	74,5
	Februar	75,8	90,9	93,3
	Mart	119	148	148
	April	140	178	179
	Maj	166	216	222
	Jun	166	218	228
	Jul	187	254	263
	Avgust	178	236	239
	Septembar	150	193	194
	Oktober	115	143	146
	Novembar	67,2	79,3	83,6
	Decembar	52,2	60,2	64,8
	Srednje god.	123	157	161
Ukupno god.	1480	1890	1930	

Banja Luka	Januar	61,5	70,6	75,3
	Februar	77,3	90,8	93,3
	Mart	118	143	144
	April	140	175	176
	Maj	164	209	215
	Jun	165	211	221
	Jul	191	252	261
	Avgust	176	230	232
	Septembar	148	187	188
	Oktobar	109	131	134
	Novembar	65,5	75,2	78,9
	Decembar	49,8	55,8	59,6
	Srednje god.	122	153	156
Ukupno god.	1460	1830	1880	
Doboj	Januar	59,3	68,3	72,6
	Februar	74,1	86,2	88,4
	Mart	118	144	144
	April	141	176	177
	Maj	165	207	213
	Jun	164	207	216
	Jul	188	245	253
	Avgust	177	228	230
	Septembar	147	185	186
	Oktobar	110	133	136
	Novembar	64,7	74,4	78,1
	Decembar	49,8	56,7	60,6
	Srednje god.	122	151	155
Ukupno god.	1460	1810	1860	
Zvornik	Januar	59,0	64,9	68,7
	Februar	72,7	80,6	82,4
	Mart	112	127	127
	April	136	158	159
	Maj	165	196	201
	Jun	165	197	206
	Jul	186	227	235
	Avgust	174	211	213
	Septembar	141	166	167
	Oktobar	107	121	124
	Novembar	64,8	72,2	75,8
	Decembar	50,3	54,7	58,3
	Srednje god.	119	140	143
Ukupno god.	1430	1670	1720	
Pale	Januar	79,1	92,0	98,3
	Februar	90,5	108	111
	Mart	129	160	160
	April	147	186	187
	Maj	166	213	220
	Jun	168	219	231
	Jul	194	262	273
	Avgust	185	246	249
	Septembar	156	200	201
	Oktobar	126	156	158
	Novembar	81,0	95,6	101
	Decembar	65,1	74,1	79,6
	Srednje god.	132	168	172
Ukupno god.	1590	2010	2070	

Sarajevo	Januar	75,5	87,5	93,3
	Februar	88,9	106	109
	Mart	127	157	158
	April	149	192	193
	Maj	171	222	230
	Jun	171	224	236
	Jul	197	268	278
	Avgust	188	254	257
	Septembar	160	207	207
	Oktober	126	155	158
	Novembar	80,0	93,6	98,5
	Decembar	64,6	74,1	79,7
	Srednje god.	133	170	175
Ukupno god.	1600	2040	2100	
Višegrad	Januar	71,3	79,9	85,0
	Februar	84,6	98,0	101
	Mart	126	151	151
	April	145	181	182
	Maj	169	214	220
	Jun	170	218	228
	Jul	194	258	268
	Avgust	185	242	245
	Septembar	157	201	201
	Oktober	121	145	148
	Novembar	74,1	83,9	88,3
	Decembar	61,0	67,8	72,8
	Srednje god.	130	162	166
Ukupno god.	1560	1940	1990	
Foča	Januar	79,7	91,3	97,7
	Februar	91,8	108	111
	Mart	131	158	158
	April	150	184	185
	Maj	171	214	220
	Jun	172	220	231
	Jul	198	261	271
	Avgust	189	244	246
	Septembar	159	200	200
	Oktober	127	155	158
	Novembar	81,7	93,7	98,8
	Decembar	66,2	74,2	80,0
	Srednje god.	135	167	171
Ukupno god.	1620	2000	2060	
Trebinje	Januar	89,5	105	112
	Februar	101	122	125
	Mart	144	183	183
	April	164	213	215
	Maj	187	244	253
	Jun	188	251	265
	Jul	211	285	297
	Avgust	204	276	280
	Septembar	177	231	232
	Oktober	142	177	180
	Novembar	97,3	115	121
	Decembar	78,3	91,0	98,1
	Srednje god.	149	191	197
Ukupno god.	1780	2290	2360	

Na osnovu podataka u tabeli 2.11. vidi se da se na teritoriji Republike Srpske

- ukupan iznos energije Sunčevog zračenja koja u toku godine dospe na kvadratni metar solarnih modula postavljenih pod optimalnim uglom u odnosu na horizontalnu ravan kod fiksne solarne elektrane, nalazi u granicama od 1420 kWh (Derвента) do 1780 kWh (Trebinje);
- ukupan iznos energije Sunčevog zračenja koja u toku godine dospe na kvadratni metar solarnih modula postavljenih pod optimalnim uglom u odnosu na horizontalnu ravan kod jednoosno rotacione solarne elektrane nalazi u granicama od 1670 kWh (Zvornik) do 2290 kWh (Trebinje);
- ukupan iznos energije Sunčevog zračenja koja u toku godine dospe na kvadratni metar solarnih modula kod dvoosno rotacione solarne elektrane nalazi u granicama od 1720 kWh (Zvornik) do 2360 kWh (Trebinje);
- u Zvorniku na kvadratni metar solarnih modula postavljenih pod optimalnim uglom u odnosu na horizontalnu ravan kod jednoosno rotacione solarne elektrane od 1 kW dospe 16,78% više energije Sunčevog zračenja u odnosu na fiksnu solarnu elektranu od 1 kW, na kvadratni metar solarnih modula kod dvoosno rotacione solarne elektrane od 1 kW dospe 20,28% više energije Sunčevog zračenja u odnosu na fiksnu solarnu elektranu od 1 kW i na kvadratni metar solarnih modula kod dvoosno rotacione solarne elektrane od 1 kW dospe 2,99% više energije Sunčevog zračenja u odnosu na jednoosno rotacionu solarnu elektranu od 1 kW i
- u Trebinju na kvadratni metar solarnih modula postavljenih pod optimalnim uglom u odnosu na horizontalnu ravan kod jednoosno rotacione solarne elektrane od 1 kW dospe 28,65% više energije Sunčevog zračenja u odnosu na fiksnu solarnu elektranu od 1 kW, na kvadratni metar solarnih modula kod dvoosno rotacione solarne elektrane od 1 kW dospe 32,58% više energije Sunčevog zračenja u odnosu na fiksnu solarnu elektranu od 1 kW i na kvadratni metar solarnih modula kod dvoosno rotacione solarne elektrane od 1 kW dospe 3,06% više energije Sunčevog zračenja u odnosu na jednoosno rotacionu solarnu elektranu od 1 kW.

[A1, A3, A14]

2.2.2.2. Rezultati teorijskog odredjivanja iznosa električne energije koja se dobija pomoću solarnih elektrana na teritoriji Republike Srpske pomoću PVGIS programa

Rezultati izračunavanja ukupnog godišnjeg iznosa električne energije koja se dobija pomoću različitih tipova solarnih elektrana od 1 kW sa solarnim modulima od monokristalnog silicijuma, CdTe i CIS solarnim modulima, pomoću PVGIS programa, za 13 gradova Republike Srpske, dati su u tabeli 2.12.

Tab. 2.12. Rezultati izračunavanja ukupnog godišnjeg iznosa električne energije koja se dobija pomoću različitih tipova solarnih elektrana od 1 kW sa solarnim modulima od monokristalnog silicijuma, CdTe i CIS solarnim modulima, pomoću PVGIS programa, za 13 gradova Republike Srpske

Gradovi Republike Srpske	Ukupan godišnji iznos električne energije koja se dobija pomoću fiksne PV solarne elektrane od 1kW sa različitim vrstama solarnih modula orijentisanih pod optimalnim uglom u odnosu na horizontalnu ravan (kWh)			Ukupan godišnji iznos električne energije koja se dobija pomoću jednoosno rotacione PV solarne elektrane od 1kW sa različitim vrstama solarnih modula orijentisanih pod optimalnim uglom u odnosu na horizontalnu ravan (kWh)			Ukupan godišnji iznos električne energije koja se dobija pomoću dvoosno rotacione PV solarne elektrane od 1kW sa različitim vrstama solarnih modula (kWh)		
	c-Si solarni moduli	CdTe solarni moduli	CIS solarni moduli	c-Si solarni moduli	CdTe solarni moduli	CIS solarni moduli	c-Si solarni moduli	CdTe solarni moduli	CIS solarni moduli
Novi Grad	1090	1210	1110	1360	1490	1390	1390	1530	1420
Derventa	1070	1190	1090	1360	1490	1390	1380	1520	1420
Prijedor	1100	1220	1120	1390	1520	1420	1420	1560	1450
Brčko	1100	1200	1120	1400	1510	1430	1430	1540	1460
Bijeljina	1110	1230	1130	1430	1560	1460	1460	1600	1490
Banja Luka	1110	1230	1130	1400	1530	1420	1430	1560	1460
Doboj	1100	1220	1120	1370	1500	1410	1400	1540	1440
Zvornik	1070	1200	1100	1250	1380	1290	1280	1410	1310
Pale	1220	1330	1240	1550	1670	1580	1590	1710	1620
Sarajevo	1220	1340	1240	1560	1700	1590	1600	1740	1630
Višegrad	1180	1300	1200	1470	1610	1500	1500	1640	1540
Foča	1240	1350	1260	1530	1670	1560	1570	1710	1600
Trebinje	1350	1490	1370	1740	1900	1780	1780	1950	1820

Na osnovu podataka u tabeli 2.12. vidi se da

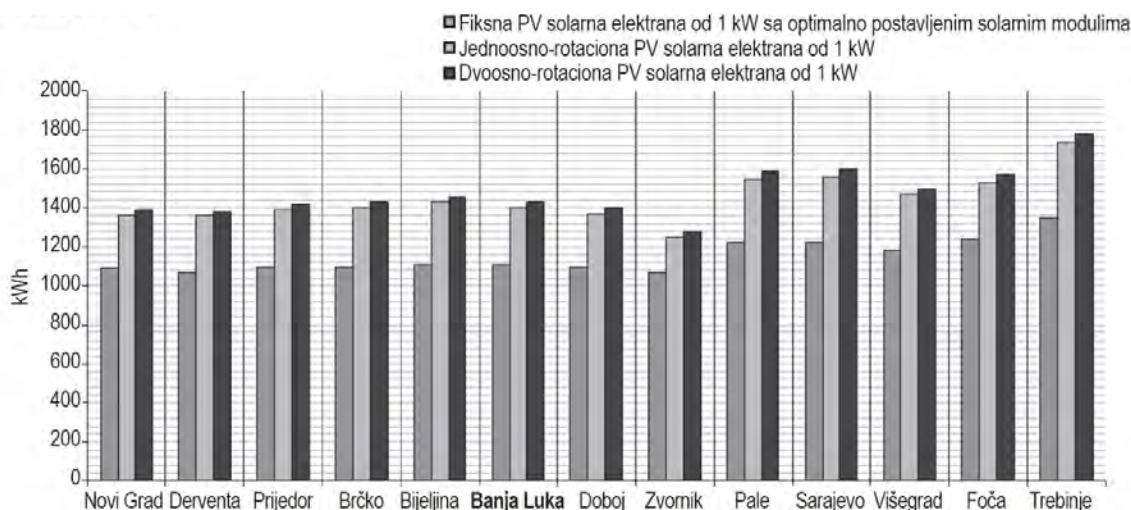
- nezavisno od tipa solarne elektrane, najviše električne energije se dobija ukoliko se koriste CdTe solarne ćelije;
- ukupan godišnji iznos električne energije koja se dobija pomoću fiksne solarne elektrane od 1 kW sa solarnim modulima od monokristalnog silicijuma postavljenim pod optimalnim uglom u odnosu na horizontalnu ravan se kreće u granicama od 1070 kWh (Derventa, Zvornik) do 1350 kWh (Trebinje), sa CdTe solarnim modulima postavljenim pod optimalnim uglom u odnosu na horizontalnu ravan od 1190 kWh (Derventa) do 1490 kWh (Trebinje) i sa CIS solarnim modulima postavljenim pod optimalnim uglom u odnosu na horizontalnu ravan od 1090 kWh (Derventa) do 1370 kWh (Trebinje);
- ukupan godišnji iznos električne energije koja se dobija pomoću jednoosno rotacione solarne elektrane od 1 kW sa optimalno orijentisanim solarnim modulima od monokristalnog silicijuma se kreće u granicama od 1250 kWh (Zvornik) do 1740 kWh (Trebinje), sa CdTe solarnim modulima od 1380 kWh (Zvornik) do 1900 kWh (Trebinje) i sa CIS solarnim modulima od 1290 kWh (Zvornik) do 1780 kWh (Trebinje) i
- ukupan godišnji iznos električne energije koja se dobija pomoću dvoosno rotacione solarne elektrane od 1 kW sa solarnim modulima od monokristalnog silicijuma se kreće u granicama od 1280 kWh (Zvornik) do 1780 kWh (Trebinje), sa CdTe solarnim modulima od 1410 kWh (Zvornik) do 1950 kWh (Trebinje) i sa CIS solarnim modulima od 1310 kWh (Zvornik) do 1820 kWh (Trebinje).

Gubici na solarnoj elektrani od 1 kW, izračunati pomoću PVGIS programa, za 13 gradova Republike Srpske, dati su u tabeli 2.13.

Tab. 2.13. Gubici na solarnoj elektrani od 1 kW, izračunati pomoću PVGIS programa, za 13 gradova Republike Srpske

GRADOVI REPUBLIKE SRPSKE	Gubici PV solarne elektrane koji potiču od temperature lokalnog ambijenta na:			Gubici PV solarne elektrane koji potiču od refleksije sunčevog zračenja na:			Ostali gubici (na provodnicima, invertorima itd.)
	c-Si solarni moduli	CdTe solarni moduli	CIS solarni moduli	c-Si solarni moduli	CdTe solarni moduli	CIS solarni moduli	
Novi Grad	9,2 %	- 0,3 %	7,7 %	2,8 %	2,8 %	2,8 %	14 %
Derвента	9,3 %	- 0,1 %	7,8 %	2,9 %	2,9 %	2,9 %	14 %
Brčko	9,4 %	1,2 %	7,9 %	2,9 %	2,9 %	2,9 %	14 %
Bijeljina	9,5 %	0,2 %	8,0 %	2,9 %	2,9 %	2,9 %	14 %
Banja Luka	9,1 %	- 0,2 %	7,6 %	2,8 %	2,8 %	2,8 %	14 %
Doboj	9,2 %	- 0,1 %	7,7 %	2,8 %	2,8 %	2,8 %	14 %
Zvornik	10,3 %	0,4 %	8,4 %	2,6 %	2,6 %	2,5 %	14 %
Pale	7,9 %	- 0,1 %	6,4 %	2,7 %	2,7 %	2,7 %	14 %
Sarajevo	8,8 %	0,0 %	7,3 %	2,7 %	2,7 %	2,7 %	14 %
Višegrad	9,2 %	0,1 %	7,5 %	2,7 %	2,7 %	2,7 %	14 %
Foča	8,4 %	- 0,2 %	6,9 %	2,7 %	2,7 %	2,7 %	14 %
Trebinje	9,5 %	0,3 %	7,8 %	2,7 %	2,7 %	2,7 %	14 %

Uporedni prikaz ukupnih godišnjih iznosa električne energije koja se dobija pomoću različitih tipova PV solarnih elektrana od 1 kW sa solarnim modulima od monokristalnog silicijuma za 13 gradova Republike Srpske dat je na slici 2.20.



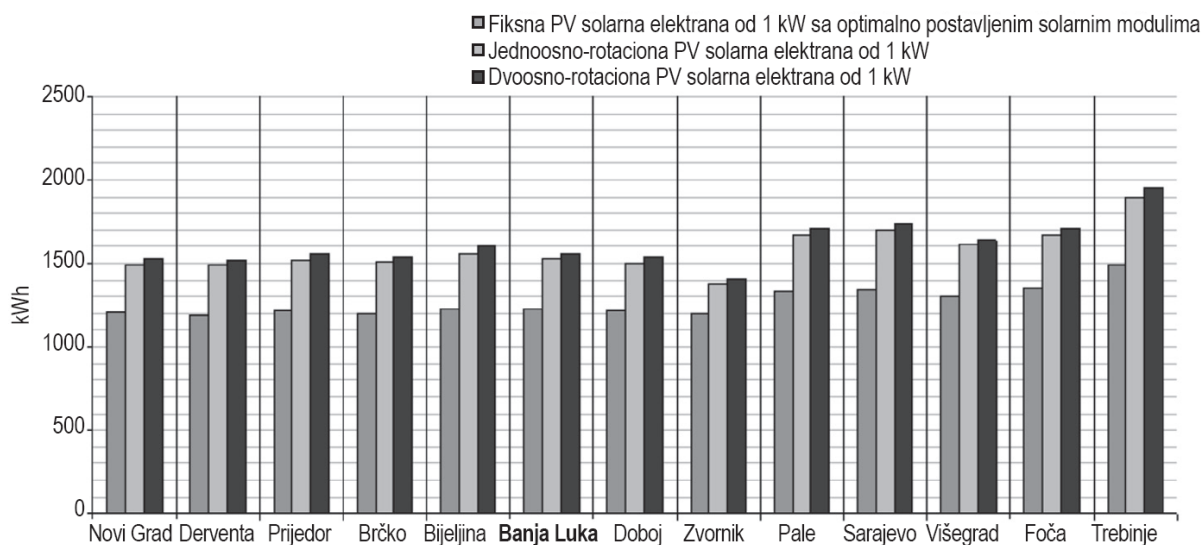
Sl. 2.20.

Uporedni prikaz ukupnih godišnjih iznosa električne energije koja se dobija pomoću različitih tipova PV solarnih elektrana od 1 kW sa solarnim modulima od monokristalnog silicijuma za 13 gradova Republike Srpske

Na slici 2.20. se vidi da se

- u Zvorniku pomoću dvoosno rotacione solarne elektrane od 1 kW sa solarnim modulima od monokristalnog silicijuma za 19,63% dobija više električne energije u odnosu na fiksnu solarnu elektranu od 1 kW sa solarnim modulima od monokristalnog silicijuma postavljenim pod optimalnim uglom u odnosu na horizontalnu ravan i za 2,4% dobija više električne energije u odnosu na jednoosno rotacionu solarnu elektranu od 1 kW sa optimalno postavljenim solarnim modulima od monokristalnog silicijuma i
- u Trebinju pomoću dvoosno rotacione solarne elektrane od 1 kW sa solarnim modulima od monokristalnog silicijuma za 31,85% dobija više električne energije u odnosu na fiksnu solarnu elektranu od 1 kW sa solarnim modulima od monokristalnog silicijuma postavljenim pod optimalnim uglom u odnosu na horizontalnu ravan i za 2,29% dobija više električne energije u odnosu na jednoosno rotacionu solarnu elektranu od 1 kW sa optimalno postavljenim solarnim modulima od monokristalnog silicijuma.

Uporedni prikaz ukupnih godišnjih iznosa električne energije koja se dobija pomoću različitih tipova PV solarnih elektrana od 1 kW sa CdTe solarnim modulima za 13 gradova Republike Srpske dat je na slici 2.21.



Sl. 2.21.

Uporedni prikaz ukupnih godišnjih iznosa električne energije koja se dobija pomoću različitih tipova PV solarnih elektrana od 1 kW sa CdTe solarnim modulima za 13 gradova Republike Srpske

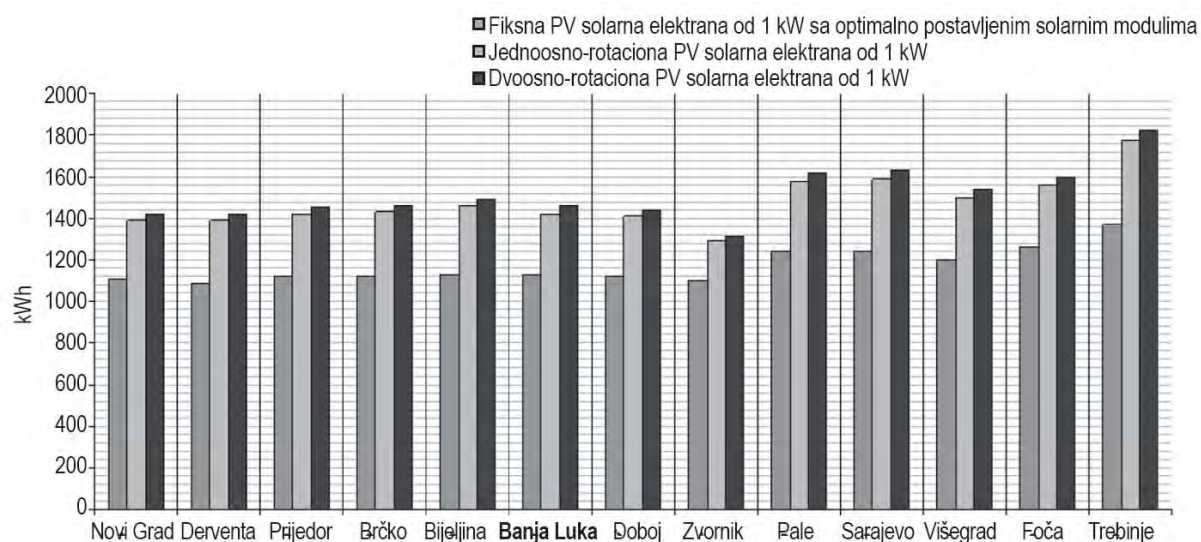
Na slici 2.21. se vidi da se

- u Zvorniku pomoću dvoosno rotacione solarne elektrane od 1 kW sa CdTe solarnim modulima za 17,5% dobija više električne energije u odnosu na fiksnu solarnu elektranu

od 1 kW sa CdTe solarnim modulima postavljenim pod optimalnim uglom u odnosu na horizontalnu ravan i za 2,17% dobija više električne energije u odnosu na jednoosno rotacionu PV solarnu elektranu od 1 kW sa optimalno postavljenim CdTe solarnim modulima i

- u Trebinju pomoću dvoosno rotacione solarne elektrane od 1 kW sa CdTe solarnim modulima za 30,87% dobija više električne energije u odnosu na fiksnu solarnu elektranu od 1 kW sa CdTe solarnim modulima postavljenim pod optimalnim uglom u odnosu na horizontalnu ravan i za 2,63% dobija više električne energije u odnosu na jednoosno rotacionu solarnu elektranu od 1 kW sa optimalno postavljenim CdTe solarnim modulima.

Uporedni prikaz ukupnih godišnjih iznosa električne energije koja se dobija pomoću različitih tipova PV solarnih elektrana od 1 kW sa CIS solarnim modulima za 13 gradova Republike Srpske dat je na slici 2.22.



Sl. 2.22.

Uporedni prikaz ukupnih godišnjih iznosa električne energije koja se dobija pomoću različitih tipova PV solarnih elektrana od 1 kW sa CIS solarnim modulima za 13 gradova Republike Srpske

Na slici 2.22. se vidi da se

- u Zvorniku pomoću dvoosno rotacione solarne elektrane od 1 kW sa CIS solarnim modulima za 19,09% dobija više električne energije u odnosu na fiksnu solarnu elektranu od 1 kW sa CIS solarnim modulima postavljenim pod optimalnim uglom u odnosu na horizontalnu ravan i za 1,55% dobija više električne energije u odnosu na jednoosno rotacionu solarnu elektranu od 1 kW sa optimalno postavljenim CIS solarnim modulima i

- u Trebinju pomoću dvoosno rotacione solarne elektrane od 1 kW sa CIS solarnim modulima za 32,85% dobija više električne energije u odnosu na fiksnu PV solarnu elektranu od 1 kW sa CIS solarnim modulima postavljenim pod optimalnim uglom u odnosu na horizontalnu ravan i za 2,25% dobija više električne energije u odnosu na jednoosno rotacionu PV solarnu elektranu od 1 kW sa optimalno postavljenim CIS solarnim modulima.

[A1, A3, A14]

Literatura

- [1] M. Pavlovic, *Geographic regions of Serbia*, University textbook, Savremena Administracija, Belgrade, 2000.
- [2] http://www.hidmet.gov.rs/latin/meteorologija/klimatologija_srbije.php
- [3] Republic hydrometeorological Institute, archive for 1961-2010, Belgrade, Serbia.
- [4] D. Djurdjević, *Perspectives and assessments of solar PV power engineering in the Republic of Serbia*, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 15 (2011), 2431-2446.
- [5] *Uredba o izmenama i dopunama Uredbe o utvrđivanju Programa ostvarivanja Strategije razvoja energetike Republike Srbije do 2015. godine za period od 2007. do 2012. godine* (Službeni glasnik RS, 99/2009)
- [6] Zakonu o energetici (Službeni glasnik RS, 84/04)
- [7] *Studija energetskeg potencijala Srbije za korišćenje sunčevog zračenja i energije vetra*, NPPE, Evidencioni br. EE704-1052A, Ministarstvo nauke i zaštite životne sredine, Beograd, 2004.
- [8] V. Gburcik, Final report of the technological development Project TD-7042B, *Atlas of solar and wind energy potential in Serbia*, Institute of Multidisciplinary Research of the University of Belgrade, Belgrade; 2008.
- [9] *LIBER PERPETUUM, knjiga o obnovljivim izvorima energije u SCG*, OEBS Misija u Srbiji i Crnoj Gori, Novi Sad, 2004, ISBN 86-903283-8-6.
- [10] S. Stevanovic, M. Pucar, *Investment appraisal of a small, grid-connected photovoltaic plant under the Serbian feed-in tariff framework*, Renewable and Sustainable Energy Reviews 16 (2012) 1673– 1682.
- [11] U. Pešović, I. Milanković, D. Jagodić, S. Randić, *Model of global solar radiation on horizontal surface*, Proceedings of XI International scientific symposium INFOTEH 2012, Jahorina, Bosnia and Herzegovina, 2012, Vol. 11, pp. 204-207, ISBN 978-99938-624-8-2.
- [12] <http://eosweb.larc.nasa.gov/sse/>
- [13] <http://www.retscreen.net/>
- [14] <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps4/pvest.php>
- [15] M. Šúri, T. A. Huld, E. D. Dunlop, *PV-GIS: A Web-based Solar Radiation Database for the Calculation of PV Potential in Europe*, International Journal of Sustainable Energy, 24 (2005), 2, pp. 55-67.

- [16] <http://www.homerenergy.com/>
- [17] www.pspb.org/e21/media/HOMERModelingInformation.pdf
- [18] <http://meteo.meteo-rs.com/klimars.php>
- [19] Trama TecnoAmbiental, Deliverable 1: Inception Mission, *Study on the possibilities use and development of solar energy in BiH*, EDU/0724/07, [<http://www.vladars.net/sr-sp-cyrl/vlada/ministarstva/mper/Documents/solarxenergyxstudyxeng.pdf>]
- [20] C. Karakosta, M. Flouri, S. Dimopoulou, J. Psarras, *Analysis of renewable energy progress in the western Balkan countries: Bosnia–Herzegovina and Serbia*, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16 (2012), 7, pp. 5166–5175.
- [21] http://www.vladars.net/sr-SP-Cyrl/Vlada/Ministarstva/mper/std/Pages/Strategija_razvoja_energetike_RS_do_2030_godine.aspx

III POGLAVLJE

**TEORIJSKA I EKSPERIMENTALNA ANALIZA
ENERGETSKE EFIKASNOSTI SOLARNIH
ELEKTRANA NA PMF-U U NIŠU I ANURS-U
U BANJOJ LUCI**

3.1. Teorijsko i eksperimentalno određivanje energetske efikasnosti solarne elektrane od 2 kW na PMF-u u Nišu

Teorijsko određivanje energetske efikasnosti solarne elektrane

Mesečna energetska efikasnost solarne elektrane se izračunava pomoću izraza:

$$\eta_M = \frac{\sum_{i=1}^n (E_D)_i}{S \cdot \sum_{i=1}^n (G_{opt})_i} \quad (3.1)$$

gde je n – redni broj dana u mesecu, E_D – ukupan iznos električne energije koja se u toku dana dobije pomoću solarne elektrane (Wh), G_{opt} – ukupan iznos energije globalnog Sunčevog zračenja koje je u toku dana dospelo na solarne module (Wh/m²) i S – ukupna površina solarnih modula (m²).

Za teorijsko određivanje energetske efikasnosti solarne elektrane korišćeni su podaci koji su dobijeni pomoću PVGIS-CMSAF programa.

Eksperimentalno određivanje energetske efikasnosti solarne elektrane

Eksperimentalno određivanje energetske efikasnosti PV solarne elektrane vršeno je unošenjem u izraz (3.1) izmerenih podataka o dnevnom iznosu električne energije koja se dobija pomoću PV solarne elektrane i izmerenih vrednosti energije Sunčevog zračenja koje pada na solarnu elektranu.

Imajući u vidu da se pomoću meteorološke stanice *Davis Vantage Pro* vrši merenje energije globalnog Sunčevog zračenja koje pada na kvadratni metar horizontalne površine, za izračunavanje energije globalnog Sunčevog zračenja koje je dospelo u toku dana na kvadratni metar solarnih modula koji su orijentisani pod optimalnim uglom u odnosu na horizontalnu ravan koristi se izraz [1]:

$$G(\beta) = \frac{G(0^0)}{1 - 4,46 \cdot 10^{-4} \cdot \beta - 1,19 \cdot 10^{-4} \cdot \beta^2} \quad (3.2)$$

- gde je
- β - optimalni ugao postavljanja solarnih modula (°),
 - $G(\beta)$ - iznos energije globalnog Sunčevog zračenja koje je dospelo u toku dana na jedan kvadratni metar solarnih modula orijentisanih pod optimalnim uglom u odnosu na horizontalnu ravan i
 - $G(0^0)$ - iznos energije globalnog Sunčevog zračenja koje je dospelo u toku dana na kvadratni metar horizontalne površine.

U skladu sa prethodnim, vrednosti energije globalnog Sunčevog zračenja koje pada na solarnu elektranu dobijene su pomoću izraza (3.2), pri čemu su vrednosti energije globalnog Sunčevog zračenja koje pada na kvadratni metar horizontalne površine dobijene merenjima pomoću meteorološke stanice *Davis Vantage Pro*.

3.1.1. Rezultati teorijskog određivanja energetske efikasnosti solarne elektrane od 2 kW na PMF-u u Nišu

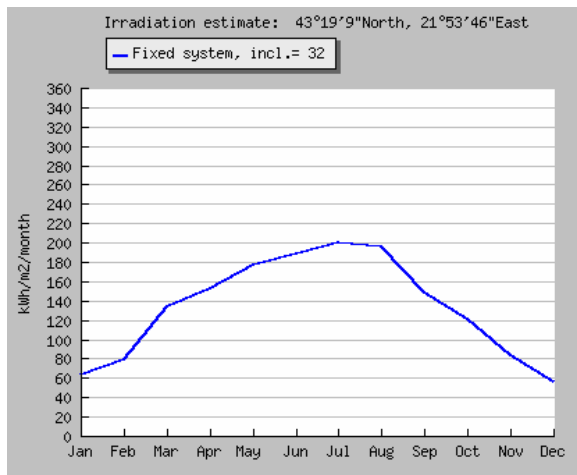
Rezultati izračunavanja pomoću PVGIS - CMSAF programa srednjeg dnevnog i mesečnog iznosa električne energije koja se dobija pomoću solarne elektrane od 2 kW na PMF-u u Nišu i srednje dnevne i mesečne vrednosti energije Sunčevog zračenja koje dospeva na kvadratni metar površine orijentisane prema jugu pod uglom od 32° u odnosu na horizontalnu ravan na teritoriji Niša, dati su u tabeli 3.1.

Tab. 3.1. Rezultati izračunavanja pomoću PVGIS – CMSAF programa srednjeg dnevnog i mesečnog iznosa električne energije koja se dobija pomoću solarne elektrane od 2 kW na PMF-u u Nišu i srednje dnevne i mesečne vrednosti energije Sunčevog zračenja koje dospeva na kvadratni metar površine orijentisane prema jugu pod uglom od 32° u odnosu na horizontalnu ravan na teritoriji Niša

Mesec	Srednji dnevni iznos električne energije (kWh)	Srednji mesečni iznos električne energije (kWh)	Srednja dnevna vrednost energije Sunčevog zračenja koja dospeva na kvadratni metar površine orijentisane prema jugu pod uglom od 32° u odnosu na horizontalnu ravan (kWh/m ²)	Srednja mesečna vrednost energije Sunčevog zračenja koja dospeva na kvadratni metar površine orijentisane prema jugu pod uglom od 32° u odnosu na horizontalnu ravan (kWh/m ²)
Januar	3,22	99,7	2,05	63,6
Februar	4,36	122	2,85	79,7
Mart	6,30	195	4,31	134
April	7,18	215	5,08	152
Maj	7,89	245	5,71	177
Jun	8,47	254	6,26	188
Jul	8,68	269	6,47	200
Avgust	8,50	263	6,33	196
Septembar	6,86	206	4,93	148
Oktobar	5,60	174	3,90	121
Novembar	4,17	125	2,77	83,0
Decembar	2,84	88,0	1,81	56,1
Srednji godišnji iznos	6,18	188	4,38	133
Ukupan godišnji iznos		2260		1600

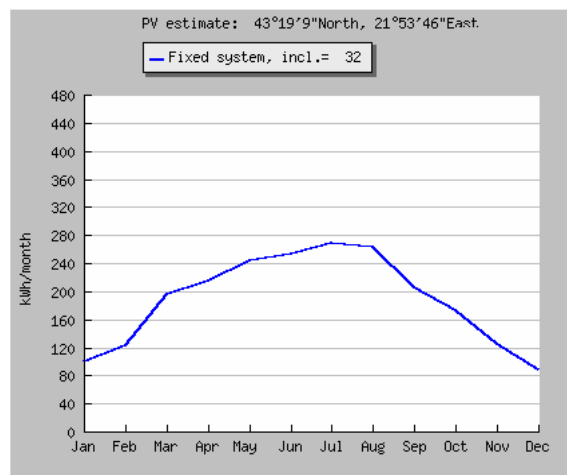
U ovim izračunavanjima je uzeto da su gubici na solarnoj elektrani koji potiču od temperature okoline i niskog intenziteta Sunčevog zračenja, refleksije na solarnim modulima, na provodnicima i invertoru, oko 31%.

Grafički prikazi teorijskih vrednosti energije Sunčevog zračenja koje dospeva na kvadratni metar površine orijentisane prema jugu pod uglom od 32° u odnosu na horizontalnu ravan na teritoriji Niša i iznosa električne energije koja se dobija pomoću solarne elektrane od 2 kW na PMF-u u Nišu u toku godine (PVGIS – CMSAF program), dati su na slikama 3.1. i 3.2, respektivno.



Sl. 3.1.

Grafički prikaz teorijskih vrednosti energije Sunčevog zračenja koje dospeva na kvadratni metar površine orijentisane prema jugu pod uglom od 32° u odnosu na horizontalnu ravan na teritoriji Niša u toku godine (PVGIS – CMSAF program)



Sl. 3.2.

Grafički prikaz teorijskog iznosa električne energije koja se dobija pomoću solarne elektrane od 2 kW na PMF-u u Nišu u toku godine (PVGIS – CMSAF program)

Neki od karakterističnih parametara u solarnoj energetici koji su dobijeni pomoću PVGIS – CMSAF programa za teritoriju Niša dati su u tabeli 3.2.

Tab. 3.2. Neki od karakterističnih parametara u solarnoj energetici koji su dobijeni pomoću PVGIS – CMSAF programa za teritoriju Niša

Mesec	E_{sh} (Wh/m ² /dan)	$E_{s_{opt}}$ (Wh/m ² /dan)	$E_{s_{90^\circ}}$ (Wh/m ² /dan)	DNI (Wh/m ² /day)	I_{opt} (°)	T_L (-)	D/G (-)	T_D (°C)	T_{24h} (°C)
Januar	1340	2070	2070	1640	62	2,0	0,61	1,2	0,6
Februar	2060	2860	2560	2200	54	2,6	0,57	3,7	2,8
Mart	3460	4320	3290	3540	44	2,4	0,48	7,9	6,8
April	4650	5080	3030	4380	28	2,7	0,44	13,1	11,8
Maj	5730	5690	2710	5160	15	3,3	0,41	18,7	17,2
Jun	6600	6230	2600	6240	10	3,0	0,37	22,2	20,6
Jul	6650	6440	2790	6650	13	3,1	0,34	24,2	22,6
Avgust	5940	6320	3360	6520	25	2,9	0,32	23,9	22,3
Septembar	4100	4930	3460	4350	39	2,9	0,42	18,7	17,2
Oktobar	2780	3920	3430	3500	53	2,3	0,44	14,3	12,8
Novembar	1720	2790	2830	2510	63	1,9	0,50	8,1	7,0
Decembar	1230	1820	1800	1250	61	2,2	0,70	2,4	1,8
Srednji godišnji iznos	3870	4380	2830	4010	33	2,6	0,42	13,2	11,9

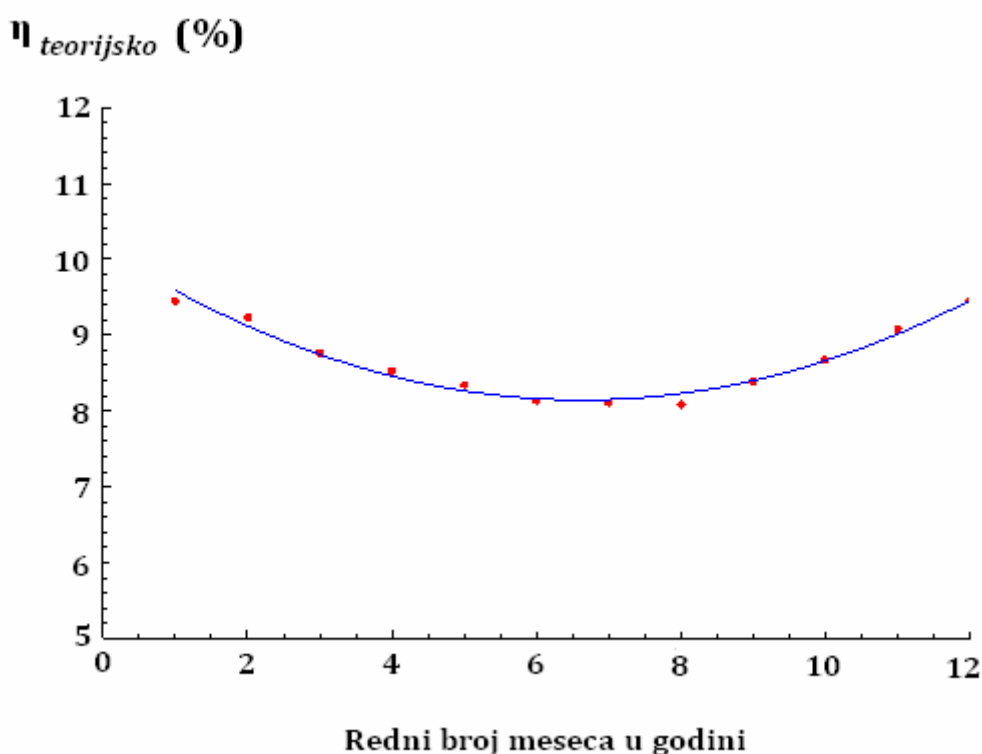
Oznake u tabeli 3.2. imaju sledeća značenja:

E_{sh} - srednja dnevna energije Sunčevog zračenja koja dospeva na jedan kvadratni metar horizontalne površine (Wh/m²/dan)

$E_{s_{opt}}$ - srednja dnevna energije Sunčevog zračenja koja dospeva na jedan kvadratni metar površine postavljene pod optimalnim uglom u odnosu na horizontalnu ravan (Wh/m²/dan)

- E_{S90° - srednja dnevna energije Sunčevog zračenja koja dospeva na jedan kvadratni metar vertikalne površine. (Wh/m²/dan)
- DNI - srednja dnevna energija direktnog Sunčevog zračenja (Wh/m²/dan)
- I_{opt} - optimalni ugao postavljanja solarnih modula (°)
- T_L - zamućenost atmosfere (-)
- D/G - odnos između difuznog i ukupnog Sunčevog zračenja (-)
- T_D - srednja temperatura od izlaska do zalaska Sunca (°C)
- T_{24h} - srednja 24-časovna temperatura (°C)

Grafički prikaz promene teorijske energetske efikasnosti solarne elektrane od 2 kW na PMF-u u Nišu u toku godine dat je na slici 3.3.

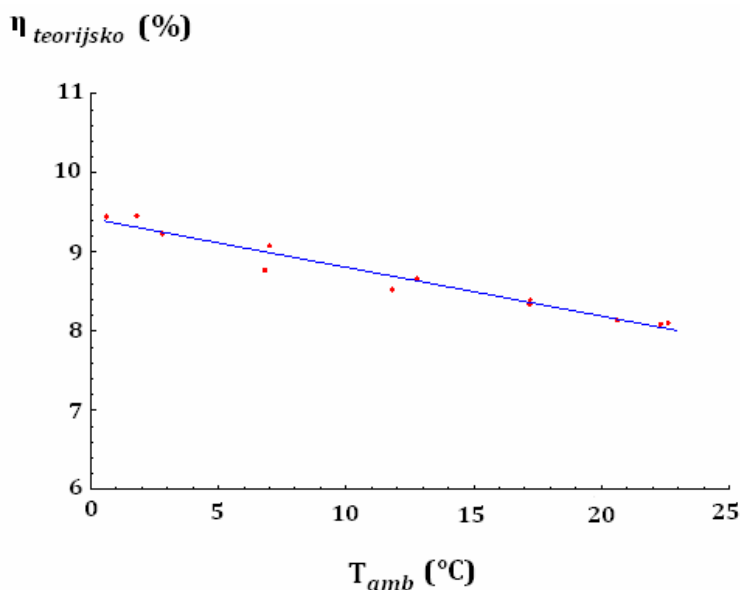


Sl. 3.3.

Grafički prikaz promene teorijske energetske efikasnosti solarne elektrane od 2 kW na PMF-u u Nišu u toku godine

Na slici 3.3. se vidi da se teorijska energetska efikasnost solarne elektrane na PMF-u u Nišu u toku godine kreće u granicama od 8,088% (avgust) do 9,455% (decembar). Pored toga, prosečna godišnja teorijska efikasnost solarne elektrane na PMF-u u Nišu iznosi 8,52%.

Grafički prikaz zavisnosti teorijske energetske efikasnosti solarne elektrane od 2 kW na PMF-u u Nišu od prosečne temperature ambijenta dobijene pomoću PVGIS-CMSAF programa u toku godine dat je na slici 3.4.



Sl. 3.4.

Grafički prikaz zavisnosti teorijske energetske efikasnosti solarne elektrane od 2 kW na PMF-u u Nišu od prosečne temperature ambijenta u toku godine

Na slici 3.4. se vidi da se sa porastom temperature ambijenta smanjuje teorijska energetska efikasnost solarne elektrane od 2 kW na PMF-u u Nišu. Sa porastom temperature ambijenta dolazi do povećanja termalnih vibracija atoma kristalne rešetke materijala od kojih su napravljene solarne ćelije što ometa usmereno kretanje slobodnih nosilaca naelektrisanja, a to dovodi do pada napona otvorenog kola i smanjenja snage solarnih ćelija.

3.1.2. Eksperiment

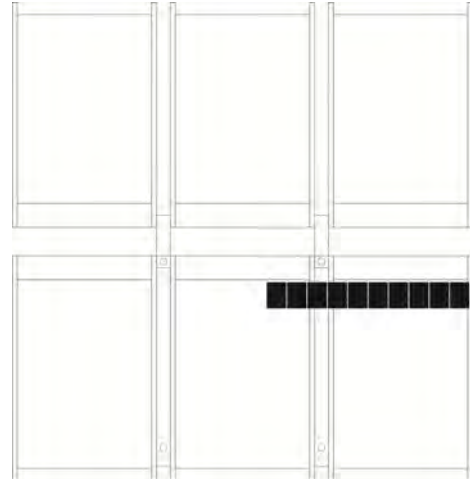
Oktobra 2012. godine na krovu PMF-a u Nišu *IRC Alfatec Co.* iz Niša instalirala je fiksnu on-grid solarnu elektranu od 2 kW. Solarna elektrana od 2 kW na PMF-u u Nišu puštena u rad 15. oktobra 2012. godine. U periodu od 15. oktobra do 31. decembra 2012. godine vršena su probna merenja električnih parametara solarne elektrane. Eksperimentalno određivanje energetske efikasnosti solarne elektrane od 2 kW na PMF-u u Nišu vršeno je u periodu od 01. januara do 01. septembra 2013. godine.

3.1.2.1. Solarna elektrana na PMF-u u Nišu

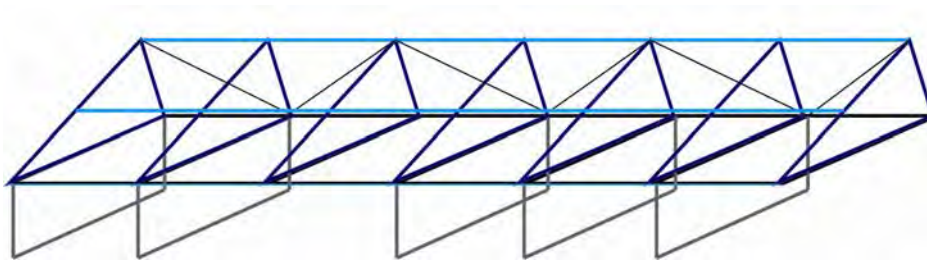
Solarna elektrana od 2 kW na PMF-u u Nišu se sastoji od 10 solarnih modula od monokristalnog silicijuma pojedinačne snage od 200 W (SST-200WM, Shenzhen Sunco Solar Technology Co.). Solarni moduli se nalaze na metalnoj osnovi od čeličnog lima sa nagibom od 32° prema jugu. Solarni moduli su međusobno povezani redno u *string*-nizu. Pomoću odgovarajućih provodnika solarni moduli su povezani sa DC razvodnim ormanom (RO-DC), monofaznim invertorom (Sunny Boy 2000 HF-30, snage 2 kW), AC razvodnim ormanom (RO-AC) i gradskom mrežom. U DC i AC razvodnim ormanima nalaze se zaštitne komponente koje obezbeđuju stabilno funkcionisanje solarne elektrane. Na izlazu iz AC razvodnog ormana je jednofazni naizmenični napon 230V, 50Hz. Izgled krova i orijentacija objekta, položaj solarnih modula na krovu, izgled noseće konstrukcije i bočna projekcija solarne elektrane od 2 kW na PMF-u u Nišu prikazani su na slikama 3.5.-3.8, respektivno.



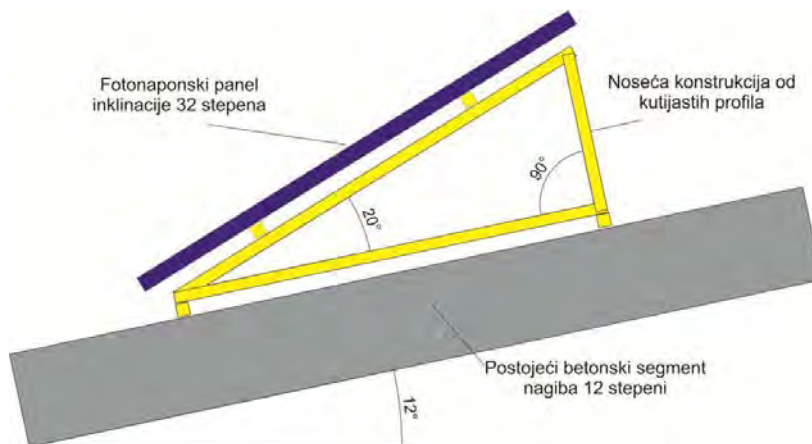
Sl. 3.5.
Izgled krova i orijentacija objekta



Sl. 3.6.
Položaj solarnih modula na krovu

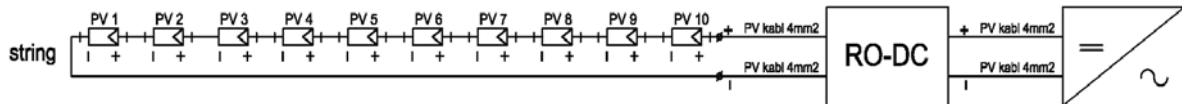


Sl. 3.7.
Izgled noseće konstrukcije



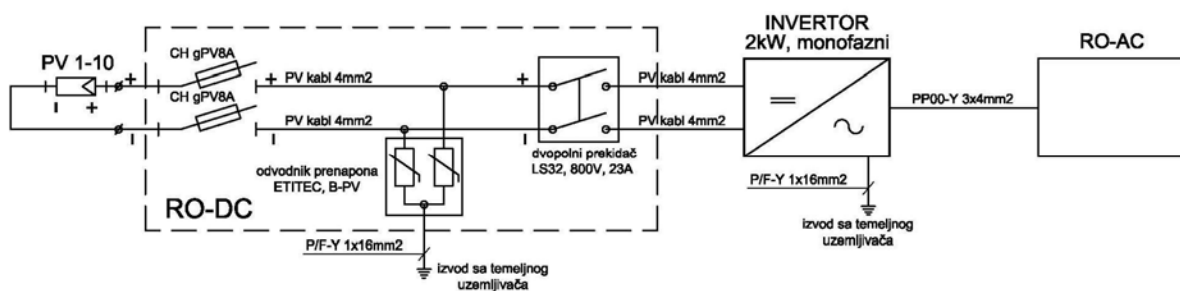
Sl. 3.8.
Bočna projekcija konstrukcije

Šematski prikaz povezivanja solarnih modula i šematski prikaz RO-DC i RO-AC veza kod solarne elektrane od 2 kW na PMF-u u Nišu dati su na slikama 3.9, 3.10. i 3.11, respektivno.



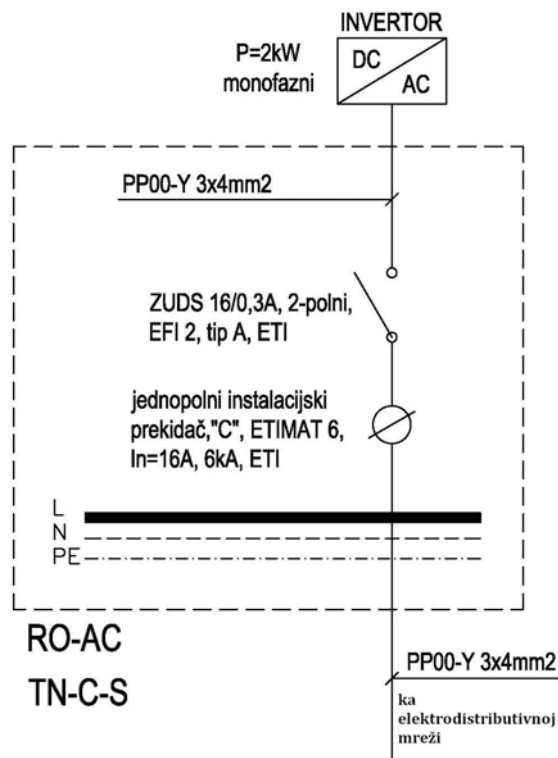
Sl. 3.9.

Šematski prikaz povezivanja solarnih modula kod solarne elektrane od 2 kW na PMF-u u Nišu



Sl. 3.10.

Šematski prikaz RO-DC veze kod solarne elektrane od 2 kW na PMF-u u Nišu



Sl. 3.11.

Šematski prikaz RO-AC veze kod solarne elektrane od 2 kW na PMF-u u Nišu

Izgled instalirane solarne elektrane snage 2 kW na krovu PMF-a u Nišu dat je na slici 3.12.



Sl. 3.12.
Izgled instalirane solarne elektrane snage 2kW na krovu PMF-a u Nišu

Za monitoring solarne elektrane, daljinsku dijagnostiku, akviziciju podataka i njihovu vizualizaciju, kao centralni komunikacioni interfejs, koristi se *Sunny WEBBox*, koji je preko *Bluetooth*-a povezan sa invertorom i senzorom *Sunny SensorBox*-om koji je postavljen pod uglom od 32° u odnosu na horizontalnu ravan.

Izgled DC razvodnog ormana i deo unutrašnjosti *Laboratorije za solarnu energetiku* na PMF-u u Nišu sa postavljenim invertorom, *WEBBOX*-om i AC razvodnim ormanom prikazani su na slikama 3.13. i 3.14., respektivno.



Sl. 3.13.
Izgled DC razvodnog ormana



Sl. 3.14.
Unutrašnjost *Laboratorije za solarnu energetiku* na PMF-u u Nišu sa postavljenim invertorom, *WEBBOX*-om i AC razvodnim ormanom

Fizičke karakteristike solarnog modula SST-200WM

Fizičke karakteristike solarnog modula *SST-200WM*, čije su dimenzije 1580x1050x50 mm i površina 1,659 m², pri standardnim uslovima (T = 25°C, I = 1000W/m² i AM 1,5) date su u tabeli 3.3 [2].

Tab. 3.3. Fizičke karakteristike solarnog modula *SST-200WM* pri standardnim uslovima

Solarni modul	<i>SST-200WM</i>
Maksimalna snaga	200 W
Napon otvorenog kola	57,12 V
Struja kratkog spoja	4,65 A
Napon u tački maksimalne snage	46,46 V
Struja u tački maksimalne snage	4,3 A
Temperaturni koeficijent napona otvorenog kola	-0,38 % / °C
Temperaturni koeficijent struje kratkog spoja	0,04 % / °C
Temperaturni koeficijent napona u tački maksimalne snage	-0,38 % / °C
Temperaturni koeficijent struje u tački maksimalne snage	0,04 % / °C
Temperaturni koeficijent maksimalne snage	-0,47 % / °C
FF	70 – 76%

Fizičke karakteristike invertora SunnyBoy 2000HF-30

Invertor SunnyBoy 2000 HF-30 je monofazni invertor sa transformatorom snage 2000W. Efikasnost ovog invertora je 96,3 %. Testiran je za rad na temperaturama ambijenta od -25°C do 60°C. Na izlazu invertora se dobija jednofazni naizmenični napon od 230 V, 50 Hz [3]. Na prednjoj strani invertora se nalazi displej sa koga može u svakom trenutku da se očitaju vrednosti jednosmernog napona i jednosmerne struje koju proizvode solarni moduli i koja se predaje invertoru i vrednosti naizmeničnog napona i struje koja se predaje elektrodistributivnoj mreži. Pored toga, na displeju invertora se vide vrednosti izlazne snage i dnevnog i ukupnog iznosa električne energije koju proizvodni solarna elektrana (sl. 3.15).



Sl. 3.15.

Izgled *SunnyBoy 2000HF-30* invertora i izgled njegovog displeja

Sunny WEBBox with Bluetooth

Za monitoring rada solarne elektrane na PMF-u u Nišu korišćen je *Sunny WEBBox* (sl. 3.16) komunikacioni uređaj sa integrisanim *webserverom*. Ovaj uređaj omogućava kontinuirani zapis električnih parametara solarne elektrane u internu memoriju od 12.5 MB. *Sunny WEBBox* je kompatibilan sa svim invertorima kompanije *SMA* iz Nemačke i može istovremeno da prati rad do 50 različitih invertora [4].



Sl. 3.16.
Sunny WEBBOX

Sunny SENSORBox

Sunny SENSORBox je senzorski uređaj nemačke kompanije *SMA* za merenje intenziteta Sunčevog zračenja (W/m^2), temperature solarnih modula ($^{\circ}\text{C}$), temperature ambijenta ($^{\circ}\text{C}$) i brzine vetra (m/s) koji se sa *Sunny WEBBox*-om može povezati preko serijskog interfejsa RS 485 ili preko *SMA Power Injector*-a sa integrisanim *Bluetooth*-om.



Sl. 3.17.
Sunny SENSORBox

Merenje parametara, pamćenje i obrada merenih podataka kao i njihova vizualizacija se vrši pomoću *Sunny Portal*-a. Merene vrednosti pamte se tabelarno u *CSV* ili *XML* formatu tako da je moguća njihova dalja numerička i grafička obrada [5].

3.1.2.2. Merenje meteoroloških parametara

Za merenje meteoroloških parametara (intenziteta Sunčevog zračenja, energije Sunčevog zračenja, temperature i brzine vetra) na PMF-u u Nišu, korišćena je automatska meteorološka stanica *DAVIS Vantage PRO* (USA).

DAVIS Vantage PRO meteorološka stanica sastoji se iz centralne jedinice sa mikroprocesorskom kontrolom i senzorske jedinice za merenje intenziteta i energije Sunčevog zračenja koje pada na kvadratni metar horizontalne površine, brzine i pravca vetra, vlažnosti vazduha, temperature okoline, pritiska, UV indeksa, i drugih. Za merenje intenziteta i energije Sunčevog zračenja kod *DAVIS Vantage PRO* meteorološke stanice korišćen je piranometar sa termočelijama. Izgled senzorske i centralne jedinice automatske meteorološke stanice *DAVIS Vantage PRO* za merenje meteoroloških parametara na PMF-u u Nišu prikazane su na slici 3.18.



Sl. 3.18.

Izgled senzorske (levo) i centralne jedinice (desno) automatske meteorološke stanice *DAVIS Vantage PRO* za merenje meteoroloških parametara na PMF-u u Nišu

Komunikacija centralne sa senzorskom jedinicom je bežična, a veza sa računarom se ostvaruje preko interfejsa RS-232. Merenje meteoroloških parametara, pamćenje i obrada merenih podataka vrši se pomoću odgovarajućeg softvera. Akvizicija meteoroloških podataka vrši se na svakih 10 minuta u toku celog dana. Meteorološki parametri se dobijaju tabelarno u *ASCE* formatu koji omogućava njihovu dalju numeričku i grafičku obradu [6].

Sa merenjima meteoroloških parametara u *Laboratoriji za solarnu energetiku* PMF-a u Nišu počelo se jula 2005. godine. Nažalost, zbog rekonstrukcije postolja meteorološke stanice nije bilo moguće merenje meteoroloških parametara u oktobru i novembru 2012. godine.

3.1.2.3. Merenje električnih parametara solarne elektrane od 2 kW na PMF-u u Nišu

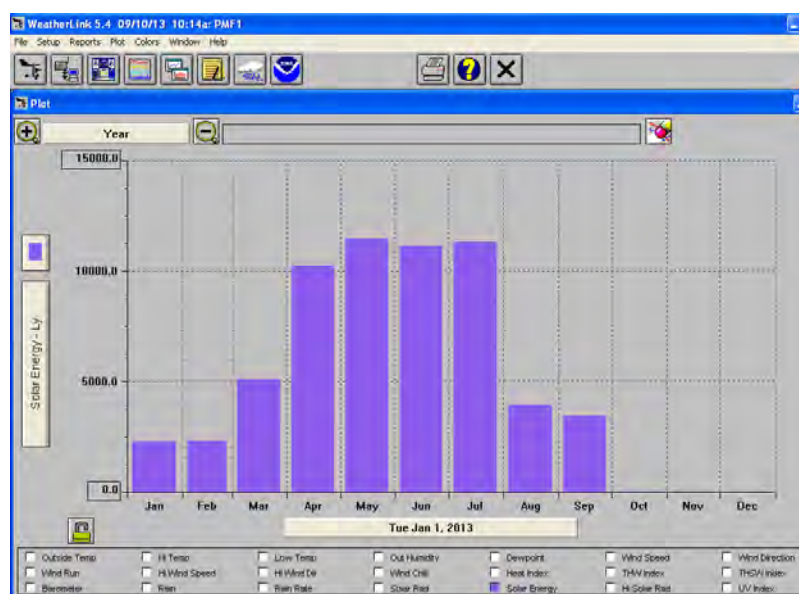
Informacije o iznosu električne energije koju proizvodi solarne elektrane dobijaju se preko *WEBBOX*-a koji je priključen na internet i koji preko *Bluetooth*-a komunicira sa invertorom. *WEBBOX* može biti povezan sa invertorom i preko serijskog interfejsa RS 485. Podaci iz solarne elektrane se na svakih 5 minuta snimaju u *WEBBOX* - u i pomoću internet

konekcije šalju računskom centru SMA kompanije u Nemačkoj, u kome se vrši njihova akvizicija i obrada. Merenje parametara, pamćenje i obrada merenih podataka vrši se pomoću softvera *Sunny Portal*-a. Pored toga, numeričke vrednosti iznosa električne energije koja se dobija pomoću solarne elektrane moguće je direktno snimiti na *SD* memorijsku karticu njenim postavljanjem u *WEBBOX* ili putem *FTP* servera. Merene vrednosti pamte se tabelarno u *CSV* ili *XML* formatu tako da je moguća njihova dalja numerička i grafička obrada. Na računaru se dobijaju numerički podaci o dnevnom, mesečnom i godišnjem iznosu električne energije (kWh), specifičnom prinosu (kWh/kWp), minimalnoj, maksimalnoj i prosečnoj snazi (kW) u toku dana, iznosu sredstava koji može da se dobije prodajom električne energije (eur), redukciji emisije CO₂ (kg) korišćenjem solarne elektrane, itd. Pored ovoga, na računaru može da se dobije dnevni, mesečni i godišnji grafički prikaz promene specifičnog prinosa, snage i iznosa proizvedene električne energije pomoću date solarne elektrane [7].

3.1.3. Rezultati eksperimentalnog određivanja energetske efikasnosti solarne elektrane od 2 kW na PMF-u u Nišu

Energija Sunčevog zračenja

Grafički prikaz eksperimentalnih rezultata merenja energije Sunčevog zračenja koja pada na kvadratni metar horizontalne površine na PMF-u u Nišu od 01. januara 2013. do 01. septembra 2013. godine dat je na slici 3.19.



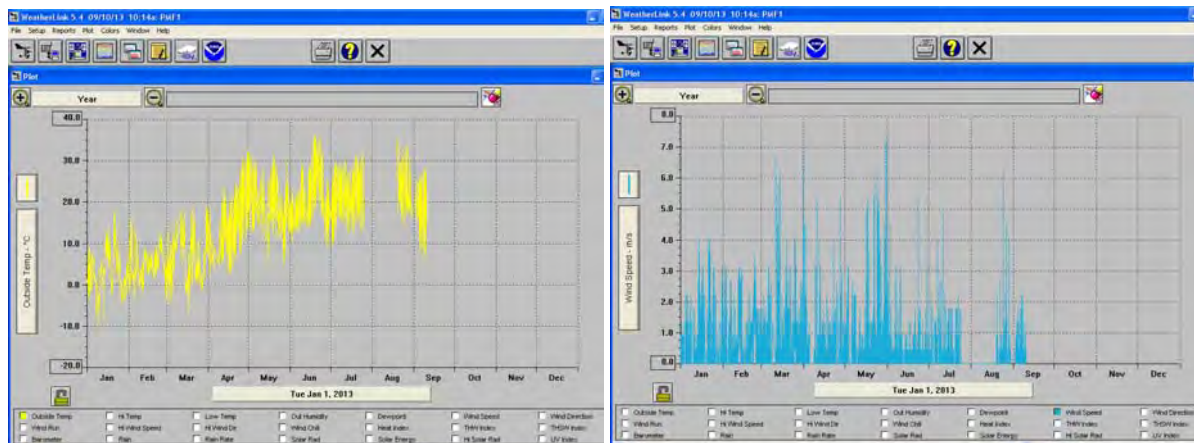
Sl. 3.19.

Grafički prikaz eksperimentalnih rezultata merenja energije Sunčevog zračenja na PMF-u u Nišu od 01. januara 2013. do 01. septembra 2013. godine

Na slici 3.19. se vidi da se od 01. januara 2013. do 01. septembra 2013. godine mesečne vrednosti energije Sunčevog zračenja koja pada na kvadratni metar horizontalne površine kreću u granicama od 26,52 kWh/m² (januar) do 169,2 kWh/m² (avgust). Na grafičkom prikazu, energija Sunčevog zračenja je data u jedinici Ly koja iznosi 1Ly = 11,622 Wh/m².

Temperatura okoline i brzina vetra

Grafički prikaz eksperimentalnih rezultata merenja temperature okoline i brzine vetra na PMF-u u Nišu od 01. januara 2013. do 01. septembra 2013. godine dat je na slici 3.20.



Sl. 3.20.

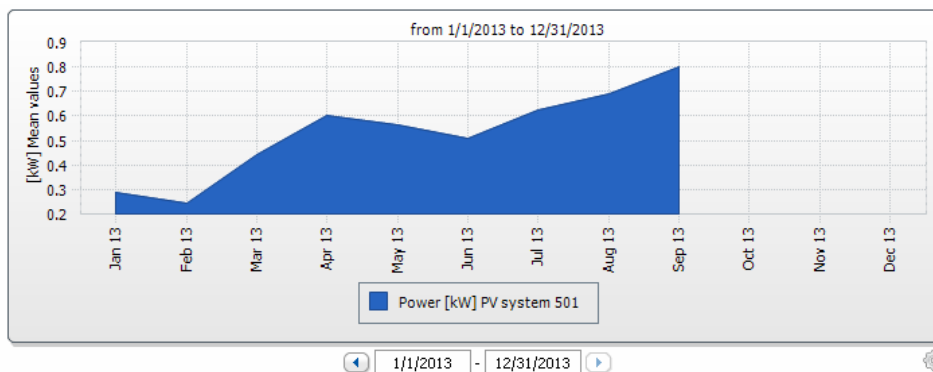
Grafički prikaz eksperimentalnih rezultata merenja temperature okoline (levo) i brzine vetra (desno) na PMF-u u Nišu od 01. januara 2013. do 01. jula 2013. godine

Na slici 3.20. se vidi da se od 01. januara 2013. do 01. septembra 2013. godine prosečne mesečne vrednosti temperatura ambijenta i brzine vetra kreću u granicama od 2,77°C (januar) do 26,1°C (avgust) i od 0,14 m/s (jun) do 0,97 m/s (avgust), respektivno.

Na slikama 3.19. i 3.20. se vidi da postoji prekid u merenjima meteoroloških parametara zbog kvara na meteorološkoj stanici od 25. jula do 20. avgusta 2013. godine. Vrednosti meteoroloških parametara za ovaj period uzeti su iz Sunny SENSORBox-a, koji je u toku eksperimenta paralelno sa meteorološkom stanicom vršio merenje navedenih parametara.

Izlazna snaga solarne elektrane od 2 kW na PMF-u u Nišu

Grafički prikaz eksperimentalnih rezultata merenja izlazne snage solarne elektrane od 2 kW na PMF-u u Nišu od 01. januara 2013. do 01. septembra 2013. godine dat je na slici 3.21.



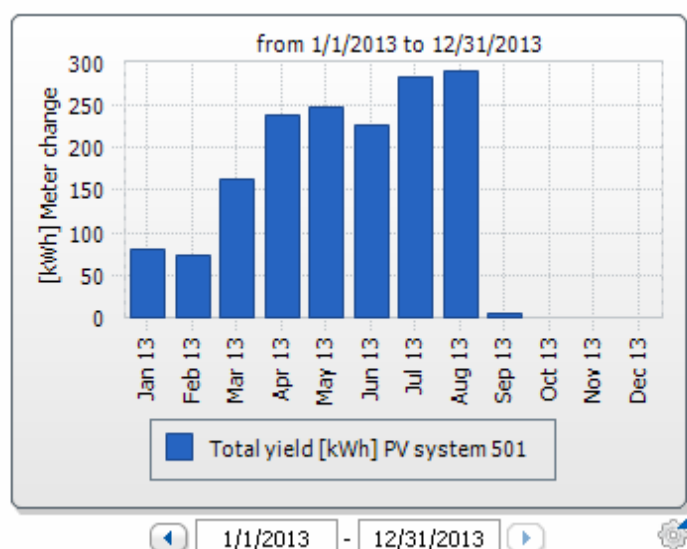
Sl. 3.21.

Grafički prikaz eksperimentalnih rezultata merenja izlazne snage solarne elektrane od 2 kW na PMF-u u Nišu od 01. januara 2013. do 01. septembra 2013. godine

Na slici 3.21. se vidi da se prosečni mesečni iznos izlazne snage solarne elektrane od 2 kW na PMF-u u Nišu u periodu od 01. januara 2013. do 01. septembra 2013. godine kreće u granicama od 0,243 kW (februar) do 0,801 kW (avgust).

Električna energija koja se dobija pomoću solarne elektrane od 2 kW na PMF-u u Nišu

Grafički prikaz eksperimentalnih rezultata merenja mesečnog iznosa električne energije koja se dobija pomoću solarne elektrane od 2 kW na PMF-u u Nišu od 01. januara 2013. do 01. septembra 2013. godine dat je na slici 3.22.



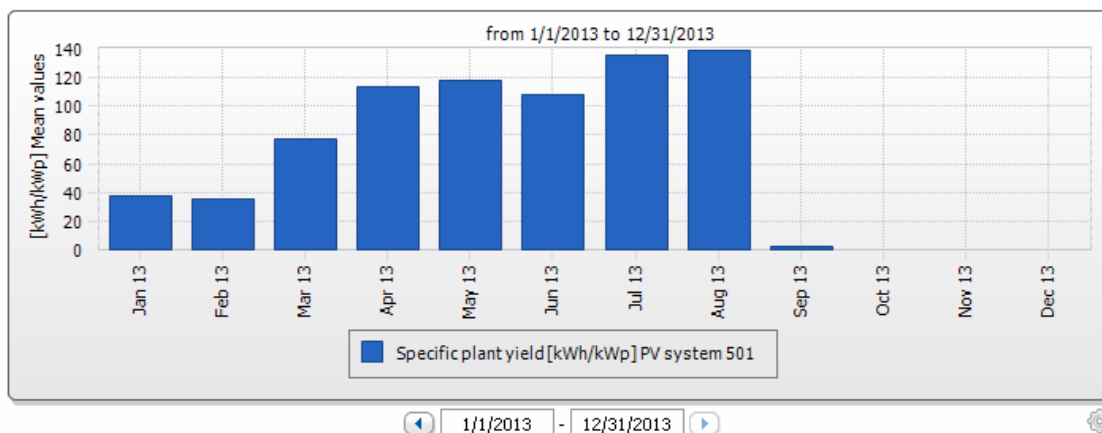
Sl. 3.22.

Grafički prikaz eksperimentalnih rezultata merenja mesečnog iznosa električne energije koja se dobija pomoću solarne elektrane od 2 kW na PMF-u u Nišu od 01. januara 2013. do 01. septembra 2013. godine

Na slici 3.22. se vidi da se ukupni mesečni iznos električne energije koja se dobija pomoću solarne elektrane od 2 kW na PMF-u u Nišu u periodu od 01. januara 2013. do 01. septembra 2013. godine kreće u granicama od 73,862 kWh (februar) do 291,469 kWh (avgust).

Specifični prinos (Y_f) solarne elektrane od 2 kW na PMF-u u Nišu

Grafički prikaz rezultata izračunavanja specifičnog prinosa (Y_f) solarne elektrane od 2 kW na PMF-u u Nišu od 01. januara 2013. do 01. septembra 2013. godine dat je na slici 3.23.



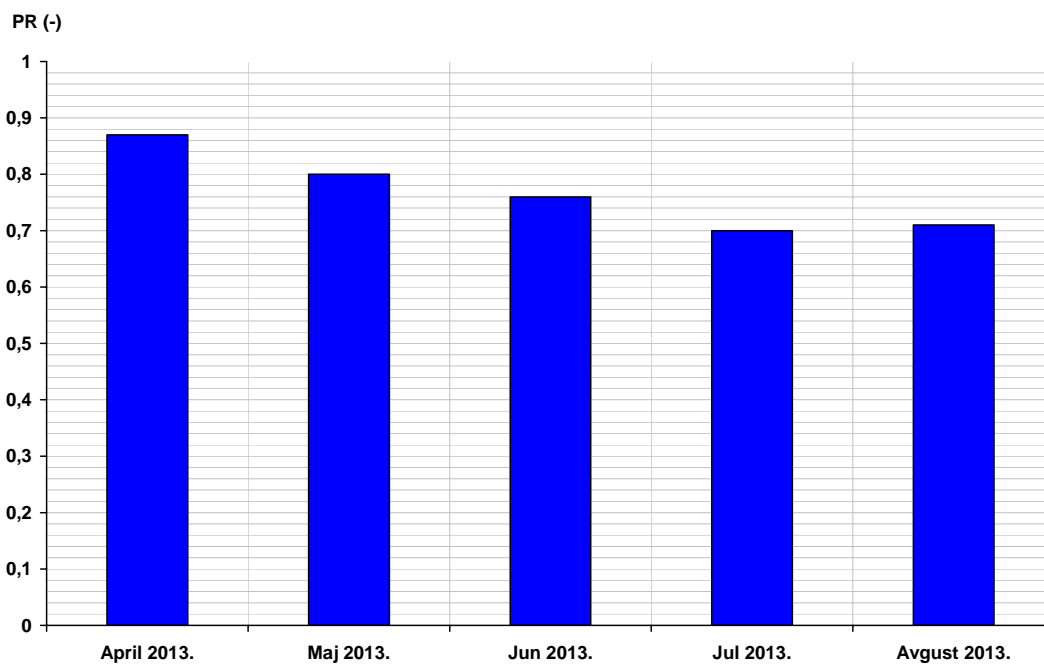
Sl. 3.23.

Grafički prikaz rezultata izračunavanja specifičnog prinosa (Y_p) solarne elektrane od 2 kW na PMF-u u Nišu od 01. januara 2013. do 01. septembra 2013. godine

Na slici 3.23. se vidi da se mesečne vrednosti specifičnog prinosa solarne elektrane od 2 kW na PMF-u u Nišu od 01. januara 2013. do 01. septembra 2013. godine kreću u granicama od 35,172 kWh/kW_p (februar) do 138,795 kWh/kW_p (avgust).

Odnos performansi (PR) solarne elektrane od 2 kW na PMF-u u Nišu

Grafički prikaz rezultata izračunavanja odnosa performansi (PR) solarne elektrane od 2 kW na PMF-u u Nišu u toku proleća i leta (od 01. aprila do 01. septembra) 2013. godine dat je na slici 3.24.



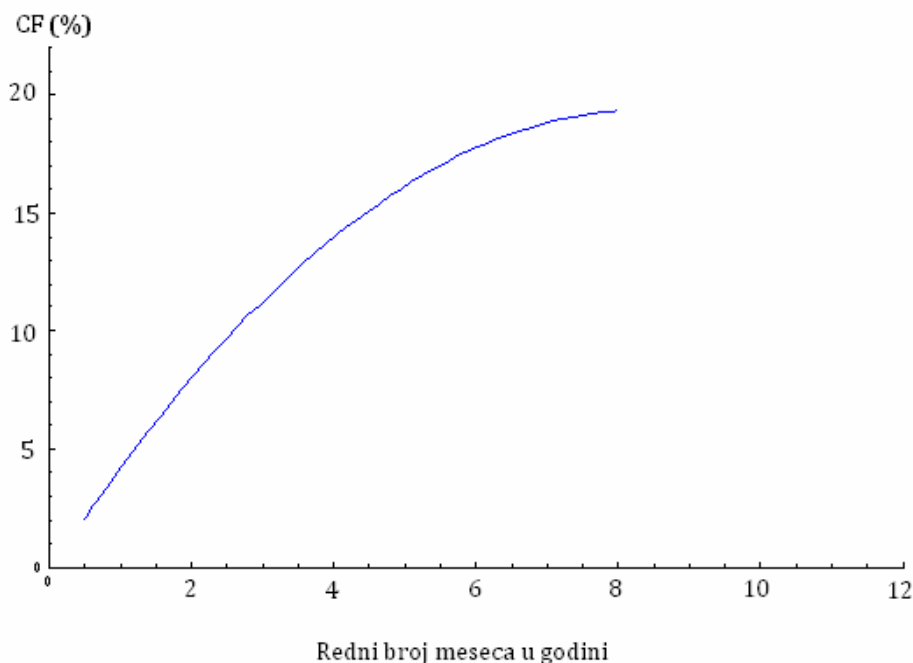
Sl. 3.24.

Grafički prikaz rezultata izračunavanja odnosa performansi (PR) solarne elektrane od 2 kW na PMF-u u Nišu od 01. aprila do 01. septembra 2013. godine

Na slici 3.24. se vidi da se mesečne vrednosti odnosa performansi solarne elektrane od 2 kW na PMF-u u Nišu od 01. aprila do 01. septembra 2013. godine kreću u granicama od 0,7 (jun) do 0,87 (avgust).

Kapacitet (CF) solarne elektrane od 2 kW na PMF-u u Nišu

Grafički prikaz rezultata izračunavanja kapaciteta (CF) solarne elektrane od 2 kW na PMF-u u Nišu od 01. januara 2013. do 01. septembra 2013. godine dat je na slici 3.25.

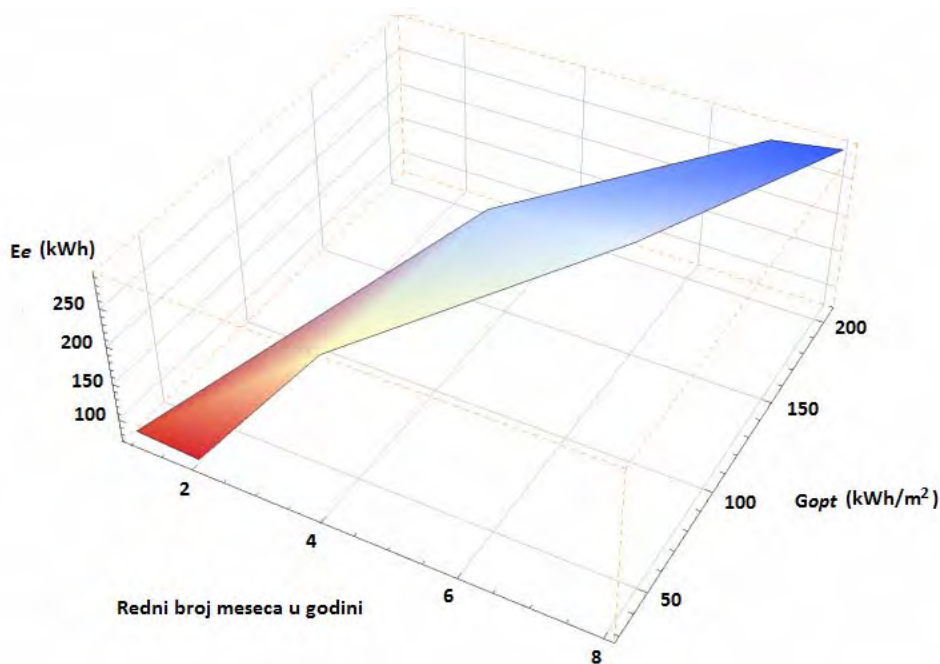


Sl. 3.25

Grafički prikaz rezultata izračunavanja kapaciteta (CF) solarne elektrane od 2 kW na PMF-u u Nišu od 01. januara 2013. do 01. septembra 2013. godine

Na slici 3.25. se vidi da se mesečne vrednosti kapaciteta solarne elektrane od 2 kW na PMF-u u Nišu od 01. januara 2013. do 01. septembra 2013. godine kreću u granicama od 5,4% (januar) do 19,6% (avgust). Pored toga, može da se zaključi da u letnjem periodu dolazi do povećanja kapacitet solarne elektrane.

Grafički prikaz promene eksperimentalnih vrednosti električne energije koja se dobija pomoću solarne elektrane od 2 kW na PMF-u u Nišu u zavisnosti od energije Sunčevog zračenja od 01. januara do 01. septembra 2013. godine dat je na slici 3.26.

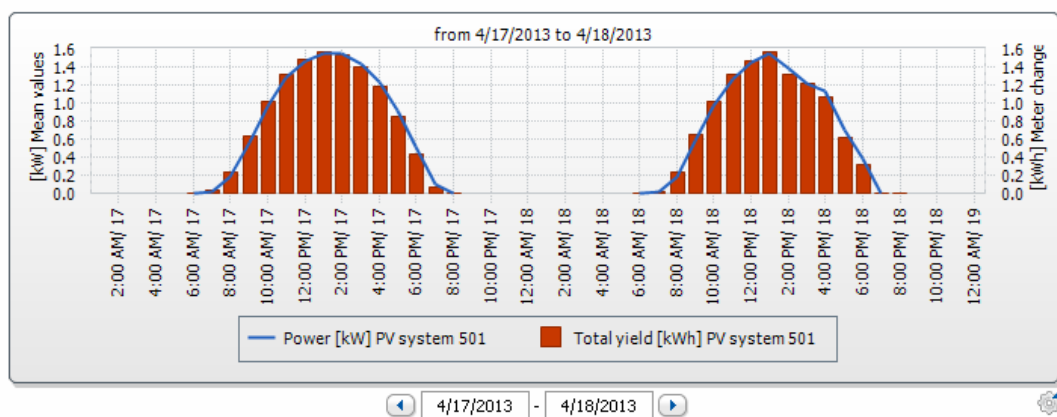


Sl. 3.26.

Grafički prikaz promene eksperimentalnih vrednosti električne energije koja se dobija pomoću solarne elektrane od 2 kW na PMF-u u Nišu u zavisnosti od energije Sunčevog zračenja od 01. januara do 01. septembra 2013. godine

U periodu od 01. januara do 01. septembra 2013. godine, solarne elektrane na PMF-u u Nišu je proizvela 1604,27 kWh električne energije. Najviše električne energije (291,47 kWh) elektrane je proizvela u toku avgusta meseca kada je energija Sunčevog zračenja iznosila 206,19 kWh/m². Međutim, u istom periodu najviše električne energije (11,787 kWh/dan) je proizvedeno 17. aprila 2013. godine.

Grafički prikaz promene izlazne snage i električne energije koja se dobija pomoću solarne elektrane od 2 kW na PMF-u u Nišu u toku 17. aprila 2013. godine dat je na slici 3.27.



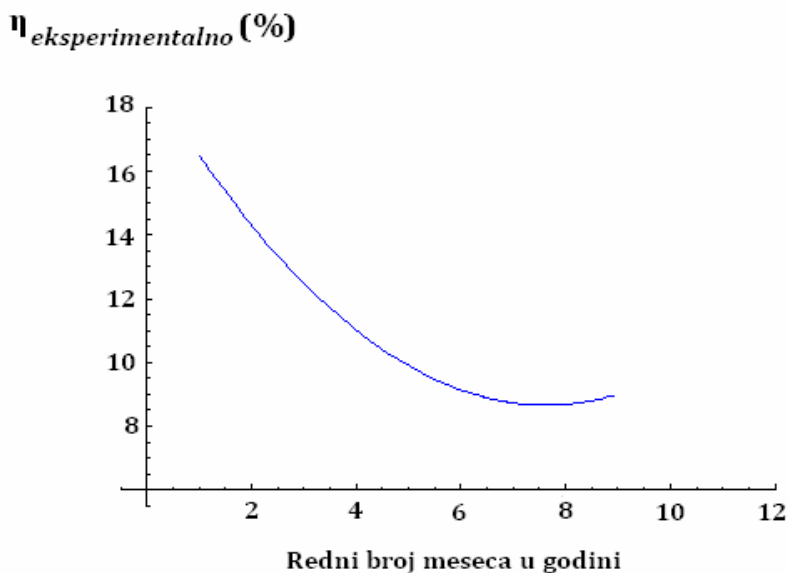
Sl. 3.27.

Grafički prikaz promene izlazne snage i električne energije koja se dobija pomoću solarne elektrane od 2 kW na PMF-u u Nišu u toku 17. aprila 2013. godine

Na slici 3.27. se vidi da je najveći iznos proizvedene električne energije od 1,59 kW u toku 17.04.2013. zabeležen u 13:00h.

Ekperimentalna energetska efikasnost solarne elektrane od 2 kW na PMF-u u Nišu

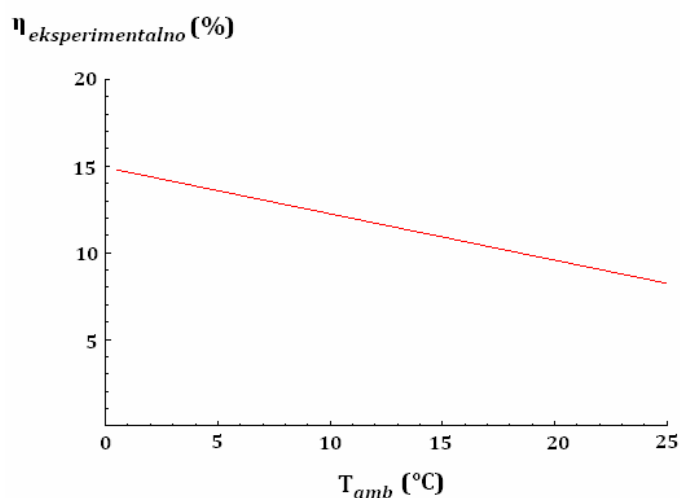
Grafički prikaz eksperimentalnih vrednosti energetske efikasnosti solarne elektrane od 2 kW na PMF-u u Nišu od 01. januara do 01. septembra 2013. godine dat je na slici 3.28 .



Sl. 3.28.

Grafički prikaz eksperimentalnih vrednosti energetske efikasnosti solarne elektrane od 2 kW na PMF-u u Nišu od 01. januara 2013. do 01. septembra 2013. godine

Grafički prikaz zavisnosti eksperimentalnih vrednosti energetske efikasnosti solarne elektrane od 2 kW na PMF-u u Nišu od izmerenih prosečnih vrednosti temperature ambijenta od 01. januara 2013. do 01. septembra 2013. godine dat je na slici 3.29.



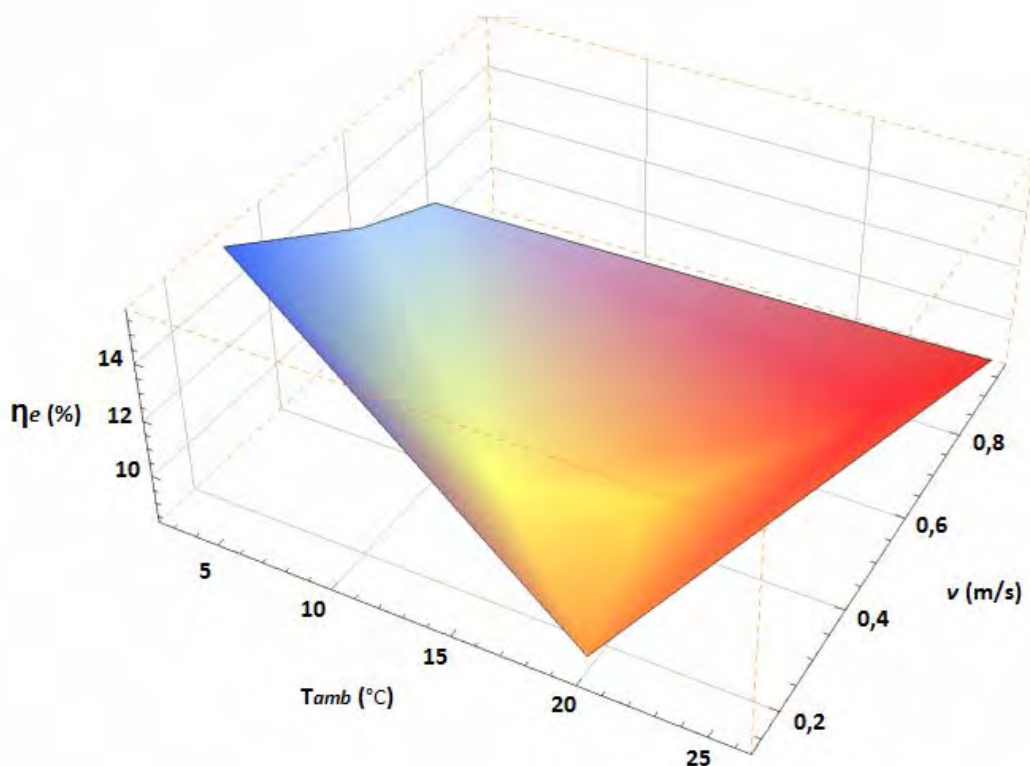
Sl. 29.

Grafički prikaz zavisnosti eksperimentalnih vrednosti energetske efikasnosti solarne elektrane od 2 kW na PMF-u u Nišu od izmerenih prosečnih vrednosti temperature ambijenta od 01. januara 2013. do 01. septembra 2013. godine

Na slici 3.28. se vidi da se eksperimentalna energetska efikasnost solarne elektrane kreće u granicama od 8,42% (jul) do 15,71 % (januar) od 01. januara 2013. do 01. septembra 2013. godine.

Sa porastom temperature ambijenta linearno se smanjuje eksperimentalna energetska efikasnost solarne elektrane na PMF-u u Nišu, što je prikazano na slici 3.29. Sa porastom temperature ambijenta dolazi do povećanja termalnih vibracija atoma kristalne rešetke materijala od kojih su napravljene solarne ćelije što ometa usmereno kretanje slobodnih nosilaca naelektrisanja, a to dovodi do pada napona otvorenog kola i smanjenja snage solarnih ćelija.

Grafički prikaz promene eksperimentalnih vrednosti energetske efikasnosti solarne elektrane od 2 kW na PMF-u u Nišu u zavisnosti od izmerenih prosečnih mesečnih vrednosti temperature ambijenta i brzine vetra od 01. januara do 01. septembra 2013. godine dat je na slici 3.30.



Sl. 3.30.

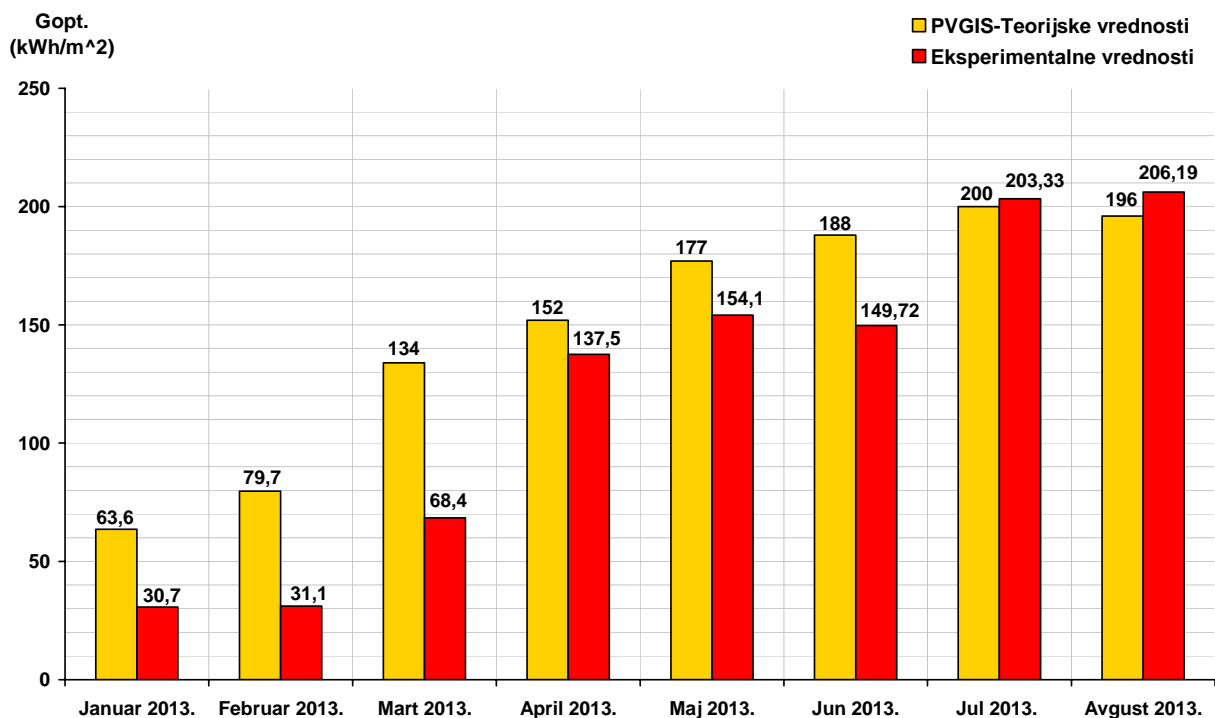
Grafički prikaz promene eksperimentalnih vrednosti energetske efikasnosti solarne elektrane od 2 kW na PMF-u u Nišu u zavisnosti od izmerenih prosečnih mesečnih vrednosti temperature ambijenta i brzine vetra od 01. januara do 01. septembra 2013. godine

Na slici 3.30. se vidi da se sa porastom temperature ambijenta smanjuje eksperimentalna energetska efikasnost solarne elektrane na PMF-u u Nišu. Međutim, sa povećanjem brzine vetra dolazi do neznatnog povećanja eksperimentalne energetske efikasnosti solarne elektrane zbog hlađenja solarnih modula pod dejstvom vetra.

3.1.4. Upoređivanje teorijskih i eksperimentalnih rezultata određivanja energetske efikasnosti solarne elektrane od 2 kW na PMF-u u Nišu

Energija Sunčevog zračenja

Uporedni prikaz teorijskih i eksperimentalnih rezultata određivanja iznosa energije globalnog Sunčevog zračenja koje je u toku dana dospelo na kvadratni metar solarnih modula koji su orijentisani pod uglom od 32° u odnosu na horizontalnu ravan u Nišu od 01. januara 2013. do 01. septembra 2013. godine dat je na slici 3.31.



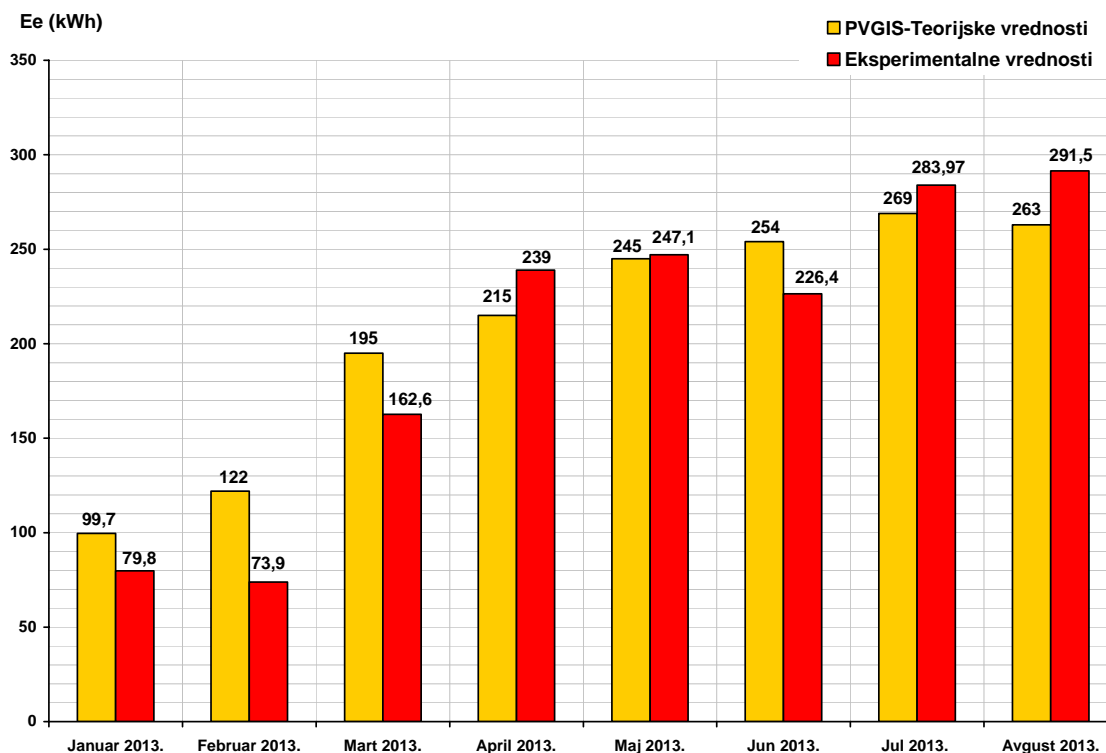
Sl. 3.31.

Uporedni prikaz teorijskih i eksperimentalnih rezultata određivanja energije globalnog Sunčevog zračenja koje je u toku meseca dospelo na kvadratni metar solarnih modula koji su orijentisani pod uglom od 32° u odnosu na horizontalnu ravan u Nišu od 01. januara 2013. do 01. septembra 2013. godine

Na slici 3.31. se vidi da je teorijska vrednost energije globalnog Sunčevog zračenja koje je u toku meseca dospelo na kvadratni metar solarnih modula u Nišu u proseku za 17,6% veća od izmerenih vrednosti u periodu od 01. januara 2013. do 01. septembra 2013. godine. Pored toga se vidi da je eksperimentalno izmerena vrednost energije globalnog Sunčevog zračenja koja je u toku meseca dospelo na kvadratni metar solarnih modula u januaru za 51,73% manja, u februaru za 60,98% manja, u martu za 48,95% manja, u aprilu za 9,54% manja, u maju za 12,94% manja i u junu za 20,75% manja od teorijske vrednosti dobijene pomoću PVGIS programa, dok je u julu za 1,67% veća i u avgustu za 5,2% veća od teorijske vrednosti dobijene pomoću PVGIS-CMSAF programa.

Električna energija

Uporedni prikaz teorijskih i eksperimentalnih iznosa električne energije koja se dobija pomoću solarne elektrane od 2 kW na PMF-u u Nišu od 01. januara 2013. do 01. septembra 2013. godine dat je na slici 3.32.



Sl. 3.32.

Uporedni prikaz teorijskih i eksperimentalnih iznosa električne energije koja se dobija pomoću solarne elektrane od 2 kW na PMF-u u Nišu od 01. januara 2013. do 01. septembra 2013. godine

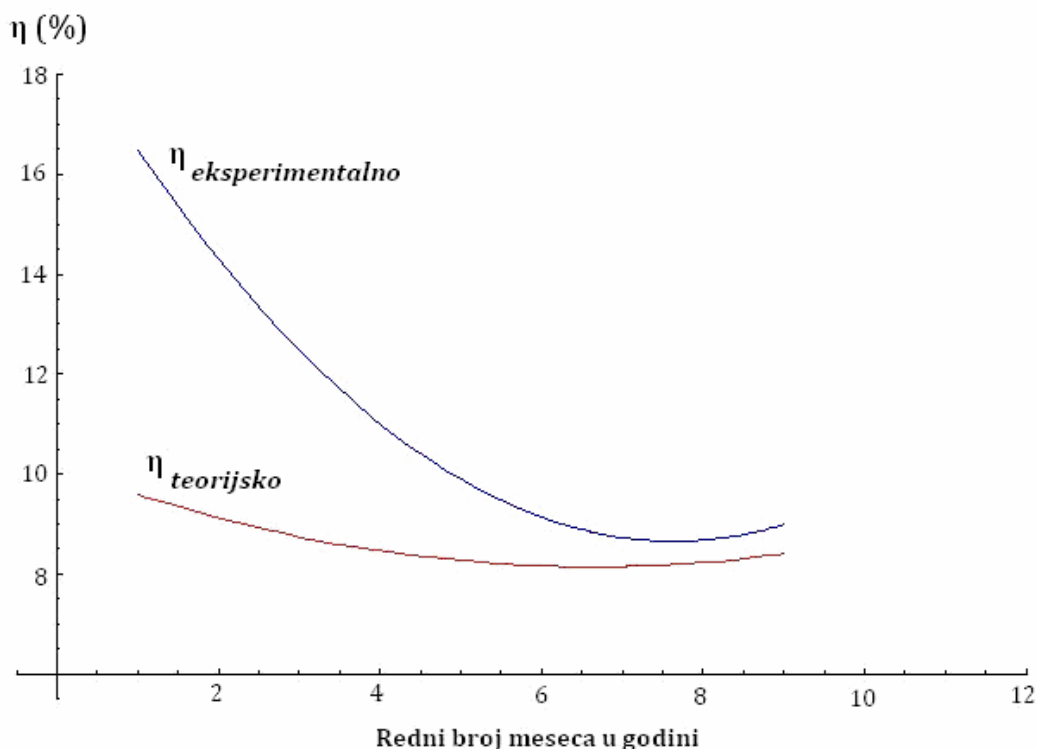
Na slici 3.32. se vidi da je u zimskom periodu teorijski iznos električne energije viši u odnosu na izmerene vrednosti električne energije koja se dobija pomoću solarne elektrane od 2 kW na PMF-u u Nišu i da je:

- u januaru eksperimentalno dobijeno 19,96% manje električne energije od iznosa koji se dobija pomoću PVGIS programa,
- u februaru eksperimentalno dobijeno 39,43% manje električne energije od iznosa koji se dobija pomoću PVGIS programa,
- u martu eksperimentalno dobijeno 16,61% manje električne energije od iznosa koji se dobija pomoću PVGIS programa,
- u aprilu eksperimentalno dobijeno 11,16% više električne energije od iznosa koji se dobija pomoću PVGIS programa,
- u maju eksperimentalno dobijeno 0,86% više električne energije od iznosa koji se dobija pomoću PVGIS programa,
- u junu eksperimentalno dobijeno 10,88% manje električne energije od iznosa koji se dobija pomoću PVGIS programa,

- u julu eksperimentalno dobijeno 5,56% više električne energije od iznosa koji se dobija pomoću PVGIS programa i
- u avgustu eksperimentalno dobijeno 10,82% više električne energije od iznosa koji se dobija pomoću PVGIS programa.

Energetska efikasnost

Uporedni prikaz teorijskih i eksperimentalnih vrednosti energetske efikasnosti solarne elektrane od 2 kW na PMF-u u Nišu od 01. januara 2013. do 01. septembra 2013. godine dat je na slici 3.33.

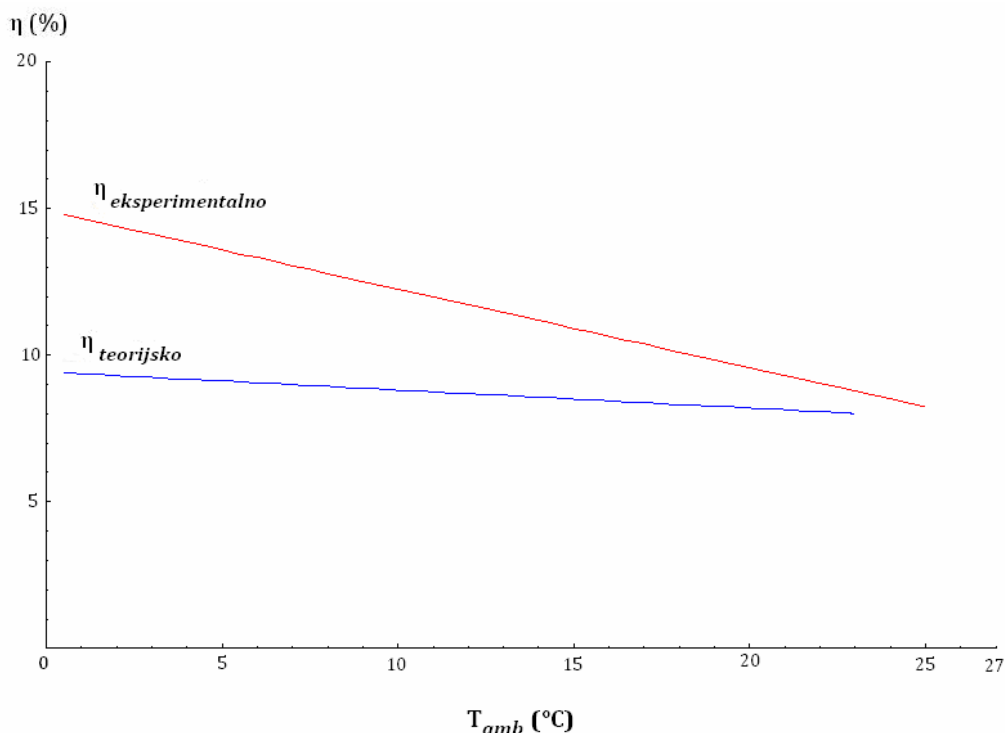


Sl. 3.33.

Uporedni prikaz teorijskih i eksperimentalnih vrednosti energetske efikasnosti solarne elektrane od 2 kW na PMF-u u Nišu od 01. januara 2013. do 01. septembra 2013. godine

Na slici 3.33. se vidi da se eksperimentalna energetska efikasnost solarne elektrane od 2 kW na PMF-u u Nišu kreće u granicama od 8,42% (jul) do 15,71% (januar), dok se teorijska energetska efikasnost solarne elektrane, kreće u granicama od 8,09% (avgust) do 9,455% (januar) od 01. januara 2013. do 01. septembra 2013. godine. Pored toga, izračunato je da je eksperimentalno određena energetska efikasnost solarne elektrane od 2 kW na PMF-u u Nišu u januaru za 65,26% veća, u februaru za 55,43% veća, u martu za 62,5% veća, u aprilu za 23,53% veća, u maju za 16,87% veća, u junu za 11,92% veća, u julu za 3,82 % veća i u avgustu za 5,3% veća od teorijski određene energetske efikasnosti.

Uporedni prikaz zavisnosti teorijske i eksperimentalne energetske efikasnosti solarne elektrane od 2 kW na PMF-u u Nišu od prosečnih vrednosti temperature ambijenta, dat je na slici 3.34.



Sl. 3.34.

Uporedni prikaz zavisnosti teorijske i eksperimentalne energetske efikasnosti solarne elektrane od 2 kW na PMF-u u Nišu od prosečnih vrednosti temperature ambijenta

Na slici 3.34. se vidi da se sa porastom temperature ambijenta smanjuje i eksperimentalna i teorijska energetska efikasnost solarne elektrane. Krive zavisnosti teorijske i eksperimentalne energetske efikasnosti od temperature ambijenta dobijene su prostom (jednostrukom) linearnom regresijom, koja se zasniva na metodi najmanjih kvadrata, a karakteristične regresione jednačine su oblika:

$$\eta_{teorijsko} = 9,42591 - 0,0616788 T_{apvgis} \quad (3.3)$$

$$\eta_{eksperimentalno} = 14,92 - 0,267306 T_{aeksp} \quad (3.4)$$

gde je

- $\eta_{teorijsko}$ - teorijska energetska efikasnost solarne elektrane od 2 kW na PMF-u u Nišu,
- $\eta_{eksperimentalno}$ - eksperimentalna energetska efikasnost solarne elektrane od 2 kW na PMF-u u Nišu,
- T_{apvgis} - temperatura ambijenta za teritoriju Niša dobijena pomoću PVGIS-a i
- $T_{aeksp.}$ - temperatura ambijenta za teritoriju Niša dobijena kontinuiranim merenjima.

Regresioni koeficijent – 0,0616788 u jednačini (3.3), odnosno regresioni koeficijent – 0,267306 u jednačini (3.4) predstavljaju *nagib* u regresionom modelu. Regresioni koeficijent – 0,0616788 odgovara prosečnoj promeni očekivane vrednosti zavisne varijable $\eta_{teorijsko}$ za jediničnu promenu nezavisne varijable T_{apvgis} , dok regresioni koeficijent – 0,267306 odgovara

prosečnoj promeni očekivane vrednosti zavisne varijable $\eta_{\text{eksperimentalno}}$ za jediničnu promenu nezavisne varijable T_{aeksp} . Imajući u vidu prethodno, može se zaključiti da je trend pada eksperimentalno dobijene efikasnosti solarne elektrane brži od pada teorijski dobijene efikasnosti solarne elektrane od 2 kW na PMF-u u Nišu sa porastom temperature ambijenta. Na osnovu podataka na slici 3.34. vidi se da se sa porastom temperature ambijenta za 1°C eksperimentalna energetska efikasnost smanjuje za 0,27% a teorijska za 0,06%.

3.1.5. Ekološki značaj i ekonomska isplativost solarne elektrane od 2 kW na PMF-u u Nišu

Imajući u vidu da se za 1 kWh električne energije proizvedene pomoću solarne elektrane smanjuje emisija 0,568 kg CO₂ u atmosferu, solarna elektrana od 2 kW na PMF-u u Nišu u periodu od 01. januara 2013. do 01. septembra 2013. godine je proizvela 1604,27 kWh električne energije, čime se u tom periodu smanjila emisija 911 kg CO₂ u atmosferu.

Cena izgradnje solarne elektrane od 2 kW na PMF-u u Nišu iznosi 3000 eur. U periodu od 01. januara do 01. septembra 2013. godine, solarna elektrana na PMF-u u Nišu je proizvela 1604,27 kWh električne energije. Procenjuje se da će do kraja 2013. godine solarna elektrana proizvesti ukupno 2178 kWh električne energije. Za proračun ekonomske isplativosti solarne elektrane od 2 kW na PMF-u u Nišu i iznosa sredstava koji može da se dobije prodajom električne energije dobijene iz solarne elektrane, prema *Uredbi o merama podsticaja za povlašćene proizvođače električne energije* (Sl. Glasnik RS, br.8/2013) 1 kWh električne energije proizvedene pomoću solarne elektrane snage do 30 kW se prodaje Elektrodistriciji Republike Srbije po ceni od 0,2066 eur. U skladu sa prethodnim, izračunato je da se za godinu dana, prodajom električne energije proizvedene pomoću solarne elektrane na PMF-u u Nišu ostvari finansijska dobit od 450 eur. U idealnom slučaju, ukoliko se u narednom periodu ne uračunavaju gubici usled degradacije solarnih modula, troškovi održavanja i servisiranja solarne elektrane i promene otkupne cene električne energije proizvedene pomoću solarne elektrane, povraćaj uloženi sredstava za izgradnju solarne elektrane na PMF-u u Nišu se očekuje za 6,67 godina.

3.2. Teorijsko i eksperimentalno određivanje energetske efikasnosti solarne elektrane od 2 kW na ANURS-u u Banjoj Luci

Za izračunavanje energetske efikasnosti solarne elektrane od 2 kW na Akademiji nauka i umjetnosti Republike Srpske (ANURS) u Banjoj Luci korišćena je ista metoda opisana u delu 3.1.1. U skladu sa tim, teorijsko izračunavanje energetske efikasnosti solarne elektrane vrši se unošenjem u izraz (3.1) podataka o srednjim dnevnim i mesečnim vrednostima električne energije koja se dobija pomoću solarne elektrane od 2 kW na ANURS-u i energije Sunčevog zračenja koje dospeva na solarne module elektrane, koji su dobijeni pomoću PVGIS-CMSAF program. Takođe se i eksperimentalna energetska efikasnost solarne elektrane od 2 kW na ANURS-u izračunava unošenjem u izraz (3.1) izmerenih podataka o dnevnom iznosu električne energije koja se dobija pomoću solarne elektrane i vrednosti energije Sunčevog zračenja koje dospeva na solarnu elektranu. Vrednosti energije globalnog Sunčevog zračenja koje pada na solarnu elektranu su dobijene pomoću izraza (3.2), pri čemu su vrednosti energije globalnog Sunčevog zračenja koje pada na kvadratni metar horizontalne površine dobijene merenjima pomoću meteorološke stanice *Davis Meteos Vantage Pro2*.

3.2.1. Rezultati teorijskog određivanja energetske efikasnosti solarne elektrane od 2 kW na ANURS-u u Banjoj Luci

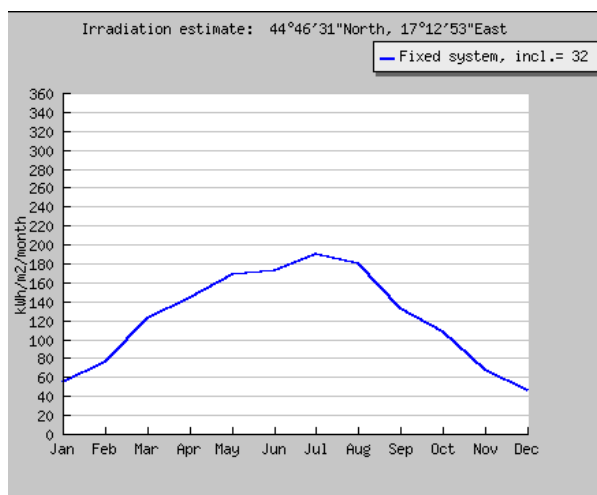
Rezultati izračunavanja pomoću PVGIS - CMSAF programa srednjeg dnevnog i mesečnog iznosa električne enegije koja se dobija pomoću solarne elektrane od 2 kW na ANURS-u u Banjoj Luci i srednje dnevne i mesečne vrednosti energije Sunčevog zračenja koje dospeva na kvadratni metar površine orijentisane prema jugu pod uglom od 32° u odnosu na horizontalnu ravan na teritoriji Banja Luke, dati su u tabeli 3.4.

Tab. 3.4. Rezultati izračunavanja pomoću PVGIS – CMSAF programa srednjeg dnevnog i mesečnog iznosa električne enegije koja se dobija pomoću solarne elektrane od 2 kW na PMF-u u Nišu i srednje dnevne i mesečne vrednosti energije Sunčevog zračenja koje dospeva na kvadratni metar površine orijentisane prema jugu pod uglom od 32° u odnosu na horizontalnu ravan na teritoriji Banja Luke

Mesec	Srednji dnevni iznos električne energije (kWh)	Srednji mesečni iznos električne energije (kWh)	Srednja dnevna vrednost energije Sunčevog zračenja koje dospeva na kvadratni metar površine orijentisane prema jugu pod uglom od 32° u odnosu na horizontalnu ravan (kWh/m ²)	Srednja mesečna vrednost energije Sunčevog zračenja koje dospeva na kvadratni metar površine orijentisane prema jugu pod uglom od 32° u odnosu na horizontalnu ravan (kWh/m ²)
Januar	2,76	85,6	1,75	54,3
Februar	4,24	119	2,75	76,9
Mart	5,83	181	3,93	122
April	6,91	207	4,81	144
Maj	7,63	237	5,45	169
Jun	7,91	237	5,74	172
Jul	8,36	259	6,11	189
Avgust	7,92	245	5,80	180
Septembar	6,29	189	4,43	133
Oktobar	5,05	157	3,46	107
Novembar	3,50	105	2,27	68,2
Decembar	2,35	72,9	1,49	46,2
Srednji godišnji iznos	5,74	174	4,01	122
Ukupan godišnji iznos	2090		1460	

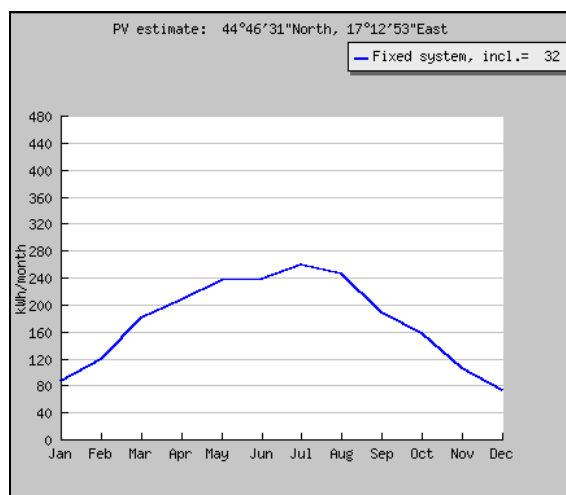
U ovim izračunavanjima je uzeto da su gubici na solarnoj elektrani koji potiču od temperature okoline i niskog intenziteta Sunčevog zračenja, refleksije na solarnim modulima, na provodnicima i invertoru, oko 31%.

Grafički prikazi teorijskih vrednosti energije Sunčevog zračenja koje dospeva na kvadratni metar površine orijentisane prema jugu pod uglom od 32° u odnosu na horizontalnu ravan na teritoriji Banja Luke i iznosa električne enegije koja se dobija pomoću solarne elektrane od 2 kW na ANURS-u u Banjoj Luci u toku godine (PVGIS – CMSAF program), dati su na slikama 3.35. i 3.36, respektivno.



Sl. 3.35.

Grafički prikaz teorijskih vrednosti energije Sunčevog zračenja koje dospeva na kvadratni metar površine orijentisane prema jugu pod uglom od 32° u odnosu na horizontalnu ravan na teritoriji Banja Luke u toku godine (PVGIS – CMSAF program)



Sl. 3.36.

Grafički prikaz teorijskog iznosa električne energije koja se dobija pomoću solarne elektrane od 2 kW na ANURS-u u Banjoj Luci u toku godine (PVGIS – CMSAF program)

Neki od karakterističnih parametara u solarnoj energetici koji su dobijeni pomoću PVGIS – CMSAF programa za teritoriju Banja Luke dati su u tabeli 3.5.

Tab. 3.5. Neki od karakterističnih parametara u solarnoj energetici koji su dobijeni pomoću PVGIS – CMSAF programa za teritoriju Banja Luke

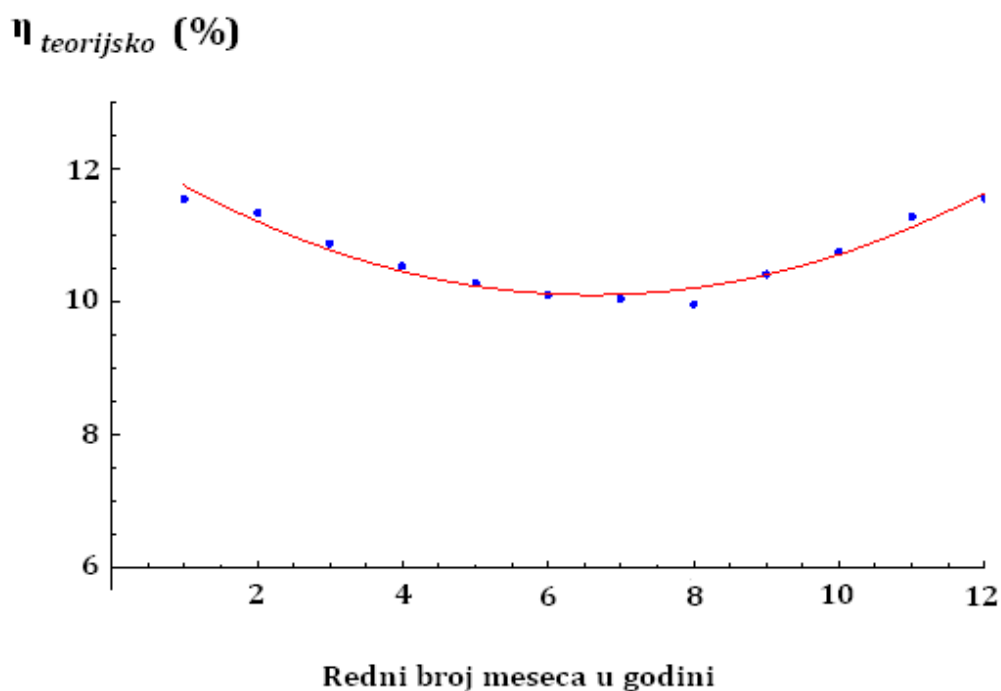
Mesec	E_{sh} (Wh/m ² /dan)	$E_{s_{opt}}$ (Wh/m ² /dan)	$E_{s_{90^\circ}}$ (Wh/m ² /dan)	DNI (Wh/m ² /day)	I_{opt} (°)	T_L (-)	D/G (-)	T_D (°C)	T_{24h} (°C)
Jan	1170	1780	1750	1310	61	2,5	0,65	2,2	1,3
Feb	1970	2780	2500	2090	55	3,2	0,57	4,6	3,4
Mar	3140	3950	3040	3130	44	3,5	0,49	9,2	7,8
Apr	4370	4800	2950	3770	30	4,0	0,47	13,5	12,3
Maj	5410	5410	2710	4580	17	4,3	0,44	18,6	16,9
Jun	5940	5690	2540	5050	11	4,4	0,42	21,9	20,1
Jul	6180	6060	2780	5810	15	4,5	0,36	23,7	22,2
Avgust	5380	5780	3200	5480	26	4,0	0,35	23,5	21,9
Septembar	3680	4450	3170	3620	40	4,2	0,45	18,9	17,5
Oktobar	2490	3500	3050	2920	53	3,3	0,48	15,1	13,8
Novembar	1460	2310	2290	1890	62	3,1	0,56	8,8	7,8
Decembar	1030	1510	1470	997	60	2,6	0,72	3,2	2,6
Srednji godišnji iznos	3530	4010	2620	3400	34	3,6	0,45	13,6	12,3

Oznake u tabeli 3.5. imaju sledeća značenja:

E_{sh} - srednja dnevna energija Sunčevog zračenja koja dospeva na kvadratni metar horizontalne površine (Wh/m²/dan)

- $E_{S_{opt}}$ - srednja dnevna energija Sunčevog zračenja koja dospeva na kvadratni metar površine postavljene pod optimalnim uglom u odnosu na horizontalnu ravan ($Wh/m^2/dan$)
- $E_{S_{90^\circ}}$ - srednja dnevna energija Sunčevog zračenja koja dospeva na jedan kvadratni metar vertikalne površine. ($Wh/m^2/dan$)
- DNI - srednja dnevna energija direktnog Sunčevog zračenja ($Wh/m^2/dan$)
- I_{opt} - optimalni ugao postavljanja solarnih modula ($^\circ$)
- T_L - zamućenost atmosfere (-)
- D/G - odnos između difuznog i ukupnog Sunčevog zračenja (-)
- T_D - srednja temperatura od izlaska do zalaska Sunca ($^\circ C$)
- T_{24h} - srednja 24-časovna temperatura ($^\circ C$)

Grafički prikaz promene teorijske energetske efikasnosti solarne elektrane od 2 kW na ANURS-u u Banjoj Luci u toku godine dat je na slici 3.37.

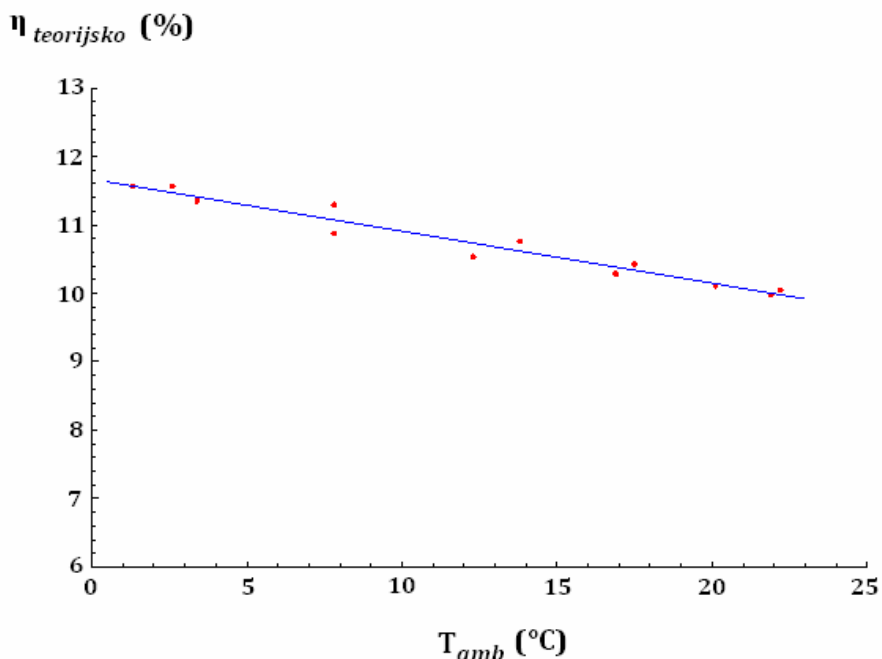


Sl. 3.37

Grafički prikaz promene teorijske energetske efikasnosti solarne elektrane od 2 kW na ANURS-u u Banjoj Luci u toku godine

Na slici 3.37. se vidi da se teorijska energetska efikasnost solarne elektrane na ANURS-u u Banjoj Luci kreće u granicama 9,98 – 11,57%. Pored toga, prosečna godišnja teorijska energetska efikasnost solarne elektrane od 2 kW na ANURS-u u Banjoj Luci iznosi 10,46%.

Grafički prikaz zavisnosti teorijske energetske efikasnosti solarne elektrane od 2 kW na ANURS-u u Banjoj Luci od prosečne temperature ambijenta u toku godine dat je na slici 3.38.



Sl. 3.38

Grafički prikaz zavisnosti teorijske energetske efikasnosti solarne elektrane od 2 kW na ANURS-u u Banjoj Luci od prosečne temperature ambijenta u toku godine

Na slici 3.38. se vidi da se sa porastom temperature ambijenta smanjuje teorijska energetska efikasnost solarne elektrane na ANURS-u u Banjoj Luci

3.2.2. Eksperiment

Oktobra 2012. godine na krovu ANURS-a u Banjoj Luci *IRC Alfatec Co.* iz Niša instalirala je i pustila u rad fiksnu on-grid solarnu elektranu od 2,08 kWp sa solarnim ćelijama od monokristalnog silicijuma..

Solarna elektrana na ANURS-u u Banjoj Luci formirana je po uzoru na solarnu elektranu na PMF-u u Nišu i skoro sve komponente solarne elektrane, osim solarnih modula, iste su kao i kod solarne elektrane na PMF-u (inverter, monitoring sistem, meteorološka stanica, itd.). U periodu od oktobra 2012. do februara 2013. godine solarni moduli su na krovu ANURS-a u Banjoj Luci bili postavljeni prema jugu pod uglom od 7°. U martu 2013. godine izvršena je rekonstrukcija krova i solarni moduli su postavljeni pod optimalnim uglom u odnosu na horizontalnu ravan za teritoriju Banja Luke (32°). Iz tog razloga, sa eksperimentalnim merenjima električnih parametara se počelo 04. aprila 2013. godine.

3.2.2.1. Solarna elektrana od 2 kW na ANURS-u u Banjoj Luci

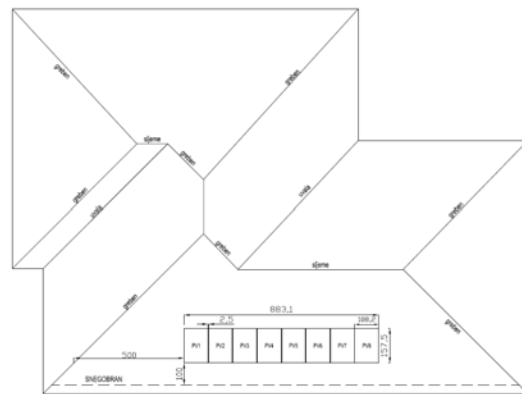
Solarna elektrana od 2,08 kWp na ANURSU-u u Banjoj Luci se sastoji od 8 solarnih modula od monokristalnog silicijuma pojedinačne snage od 260 W (*HYM-260W, Seasun*). Solarni moduli se nalaze na metalnoj osnovi od čeličnog lima sa nagibom od 32° prema jugu. Solarni moduli su međusobno povezani redno u *string*-nizu. Pomoću odgovarajućih kablova solarni moduli su povezani sa DC razvodnim ormanom (RO-DC), monofaznim invertorom (*Sunny Boy 2000 HF-30*, snage 2 kW), AC razvodnim ormanom (RO-AC) i gradskom

mrežom. U DC i AC razvodnim ormanima nalaze se zaštitne komponente koje obezbeđuju stabilno funkcionisanje fotonaponskog sistema. Na izlazu iz AC razvodnog ormara je jednofazni naizmenični napon 230V, 50Hz. Izgled krova i orijentacije objekta, položaj solarnih modula na krovu, izgled noseće konstrukcije i bočna projekcija solarne elektrane od 2 kW na ANURS-u u Banjoj Luci prikazani su na slikama 3.39.-3.42, respektivno.



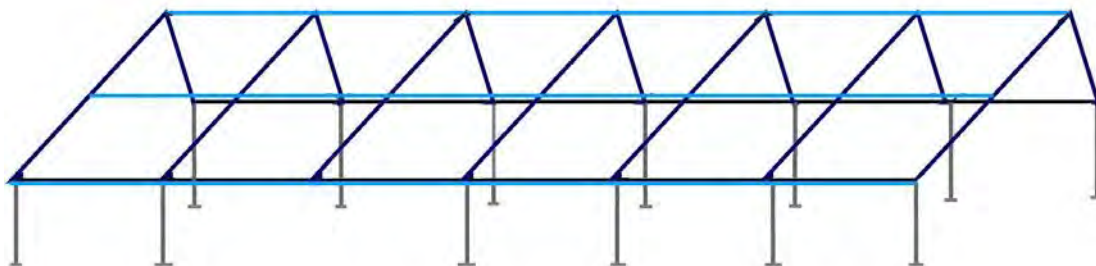
Sl. 3.39.

Izgled krova i orijentacije objekta



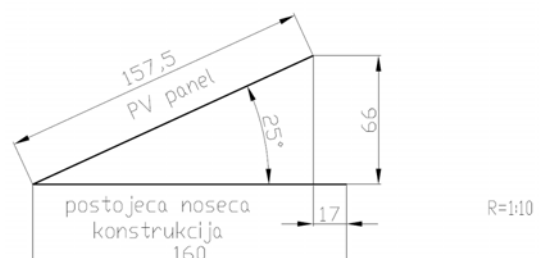
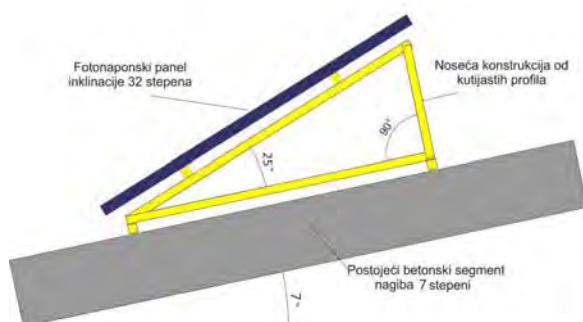
Sl. 3.40.

Položaj solarnih modula na krovu ANURS-a



Sl. 3.41.

Izgled noseće konstrukcije

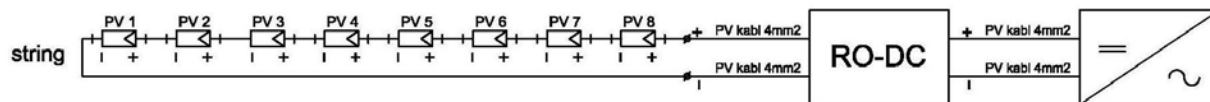


Za postizanje optimalnog ugla inklinacije od 32°, gornju ivicu panela u odnosu na postojeću noseću konstrukciju zarotirati 25°, odnosno podići 66 cm

Sl. 3.42.

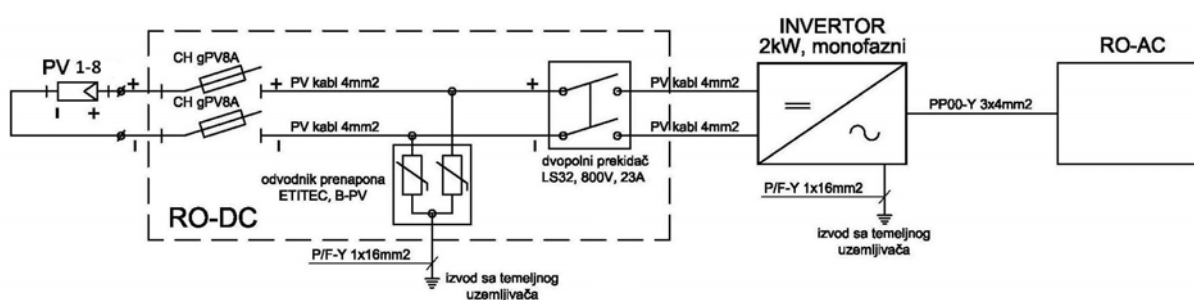
Bočna projekcija konstrukcije

Šematski prikaz povezivanja solarnih modula u *string*, šema RO-DC i šema RO-AC kod solarne elektrane od 2 kW na ANURS-u u Banjoj Luci dati su na slikama 3.43, 3.44. i 3.45, respektivno.



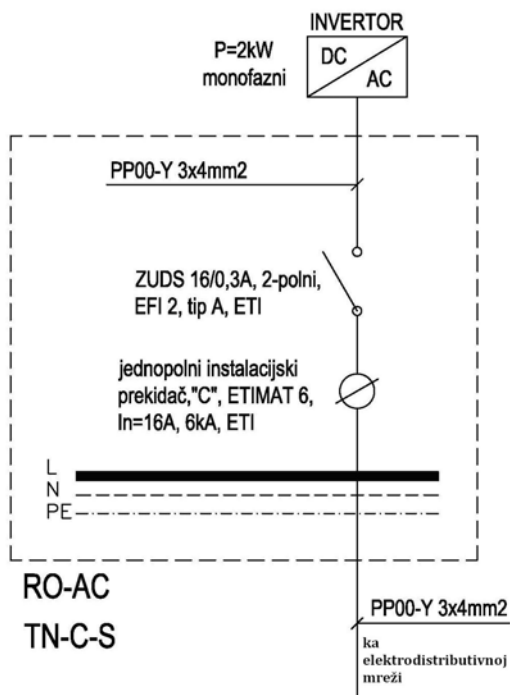
Sl. 3.43.

Šematski prikaz povezivanja solarnih modula kod solarne elektrane od 2 kW na ANURS-u u Banjoj Luci



Sl. 3.44.

Šematski prikaz RO-DC veze kod solarne elektrane od 2 kW na ANURS-u u Banjoj Luci



Sl. 3.45.

Šematski prikaz RO-AC veze kod solarne elektrane od 2 kW na ANURS-u u Banjoj Luci

Izgled instalirane solarne elektrane snage 2 kW na krovu ANURS-a u Banjoj Luci dat je na slici 3.46.



Sl. 3.46.

Izgled instalirane solarne elektrane snage 2 kW na krovu ANURS-a u Banjoj Luci

Za monitoring solarne elektrane, koristi se *Sunny WEBBox*, koji je preko *Bluetooth*-a povezan sa inverterom. Automatska meteorološka stanica *DAVIS Meteos Vantage PRO2*, inverter i prateća oprema za monitoring i akviziciju podataka solarne elektrane na krovu ANURS-a u Banjoj Luci prikazani su na slici 3.47.



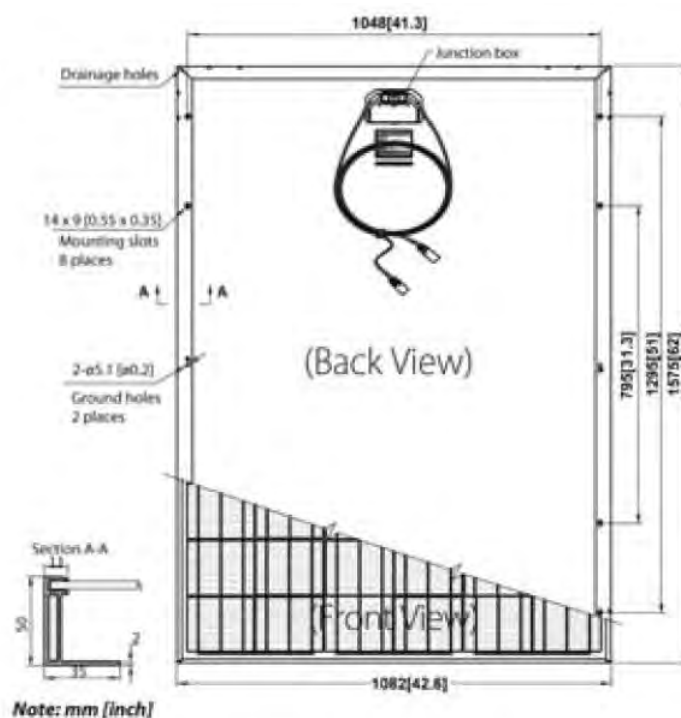
Sl. 3.47.

Automatska meteorološka stanica *DAVIS Meteos Vantage PRO2* (levo) i inverter i prateća oprema za monitoring i akviziciju podataka (desno) PV solarne elektrane na krovu ANURS-a u Banjoj Luci

Inverter i prateća oprema za monitoring, akviziciju i obradu podataka dobijena je kao donacija od nemačke kompanije *SMA*. Za merenje intenziteta sunčevog zračenja nabavljen je piranometar *KIPP & ZONEN CMP22* (Holandija). Za određivanje fizičkih karakteristika solarnih modula nabavljeni su uređaji *Mini KLA* i *KLA* kompanije *Ingenieurburo Mencke&Tegtmeier* iz Nemačke.

Fizičke karakteristike solarnog modula *HYM-260W*

Solarni modul *HYM-260W* se sastoji od 96 solarnih ćelija od monokristalnog silicijuma koji su smešteni u metalnoj kutiji od eloksiranog aluminijuma i visoko transparentnog kaljenog stakla debljine 3,2 mm, kao prednjeg pokrivača. Šematski prikaz solarnog modula *HYM-260W* dat je na slici 3.48.



Sl. 3.48.

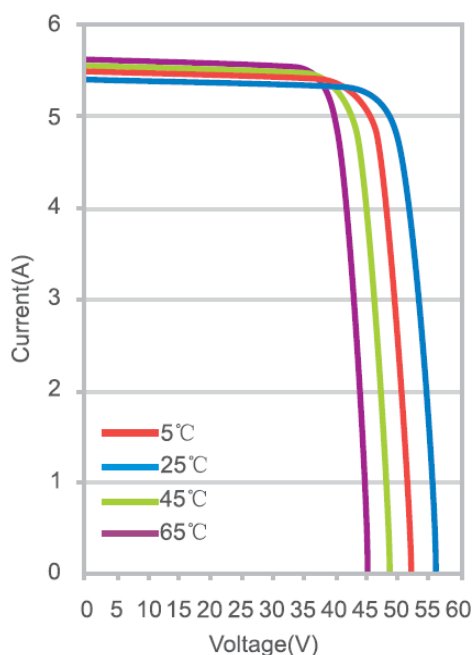
Šematski prikaz solarnog modula *HYM-260W*

Fizičke karakteristike solarnog modula *HYM-260W*, čije su dimenzije 1575x1082x45 mm i površina 1,70415 m², pri standardnim uslovima (T = 25°C, I = 1000W/m² i AM 1,5) date su u tabeli 3.6.

Tab. 3.6. Fizičke karakteristike solarnog modula *HYM-260W* pri standardnim uslovima

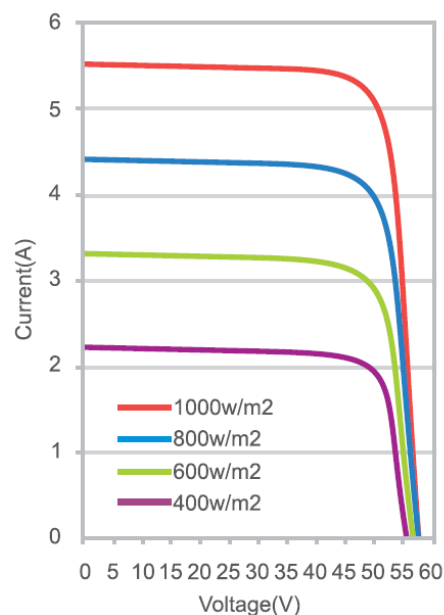
Solarni modul	<i>HYM-260W</i>
Maksimalna snaga	260 W
Efikasnost solarnog modula	15,3 %
Napon otvorenog kola	58,4 V
Struja kratkog spoja	5,96 A
Napon u tački maksimalne snage	48,0 V
Struja u tački maksimalne snage	5,42 A
Temperaturni koeficijent napona otvorenog kola	- 0,34 % / °C
Temperaturni koeficijent struje kratkog spoja	0,037 % / °C
Temperaturni koeficijent maksimalne snage	- 0,48 % / °C

Zavisnost strujno-naponske karakteristike solarnog modula *HYM-260W* od temperature i intenziteta Sunčevog zračenja data je na slikama 3.49. i 3.50, respektivno.



Sl. 3.49.

Zavisnost strujno-naponske karakteristike solarnog modula *HYM-260W* od temperature



Sl. 3.50.

Zavisnost strujno-naponske karakteristike solarnog modula *HYM-260W* od intenziteta Sunčevog zračenja

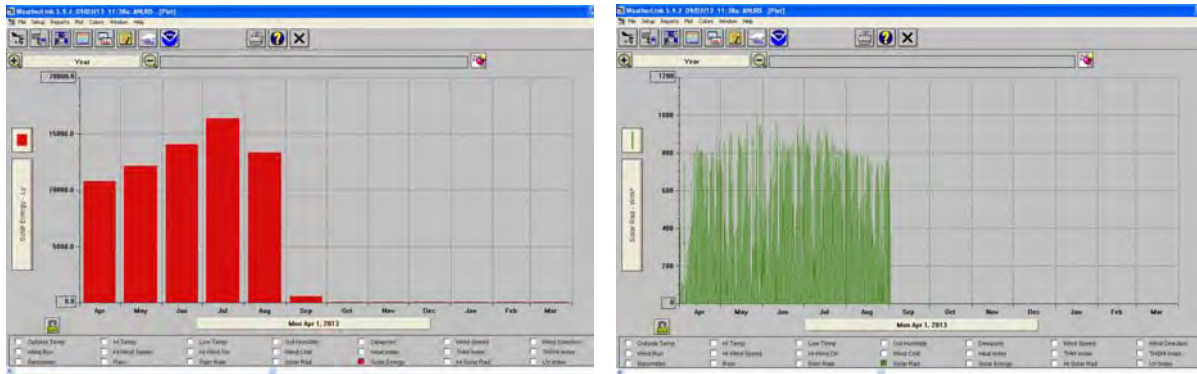
3.2.2.2. Merenje meteoroloških i električnih parametara solarne elektrane od 2 kW na ANURS-u u Banjoj Luci

Imajući u vidu da je solarne elektrane na ANURS-u formirana po uzoru na solarnu elektranu na PMF-u, fizičke karakteristike invertora *Sunny Boy 2000 HF*, *WEBBox*-a i meteorološke stanice kao i metode merenja meteoroloških i električnih parametara opisane su u poglavlju 3.1.

3.2.3. Rezultati eksperimentalnog određivanja energetske efikasnosti solarne elektrane od 2 kW na ANURS-u u Banjoj Luci

Energija i intenzitet Sunčevog zračenja

Grafički prikaz eksperimentalnih rezultata merenja energije i intenziteta Sunčevog zračenja koje dospeva na kvadratni metar horizontalne površine na ANURS-u u Banjoj Luci od 04. aprila 2013. do 01. septembra 2013. godine dat je na slici 3.51.



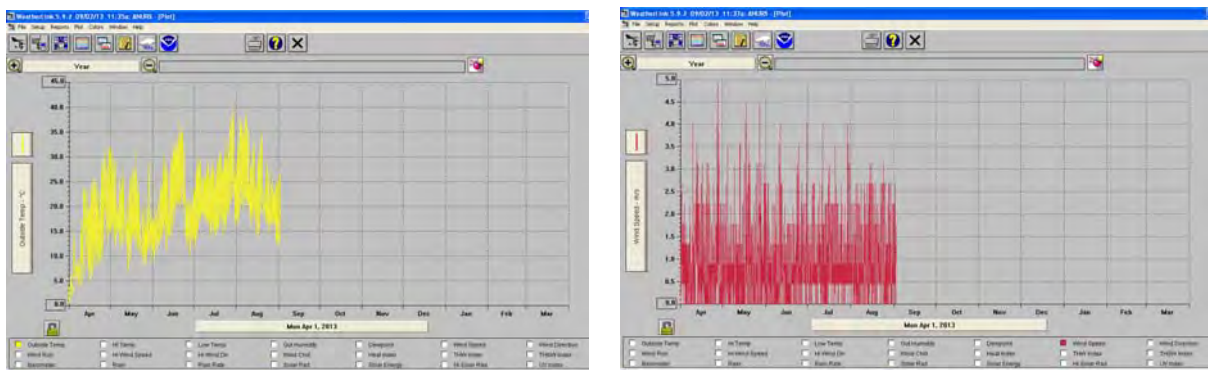
Sl. 3.51.

Grafički prikaz eksperimentalnih rezultata merenja energije (levo) i intenziteta Sunčevog zračenja (desno) koje dospeva na kvadratni metar horizontalne površine na ANURS-u u Banjoj Luci od 04. aprila 2013. do 01. septembra 2013. godine

Na slici 3.51. se vidi da se od 04. aprila 2013. do 01. septembra 2013. godine prosečne mesečne vrednosti energije i intenziteta Sunčevog zračenja koje dospeva na kvadratni metar horizontalne površine kreću u granicama od 10725,52 Ly (april) do 16320,63 Ly (jul) i od 249396 W/m² (april) do 379495 W/m² (jul), respektivno. Na grafičkom prikazu, energija Sunčevog zračenja je data u jedinici Ly koja iznosi 1Ly = 11,622 Wh/m².

Temperatura okoline i brzina vetra

Grafički prikaz eksperimentalnih rezultata merenja temperature okoline i brzine vetra na ANURS-u u Banjoj Luci od 04. aprila 2013. do 01. septembra 2013. godine dat je na slici 3.52.



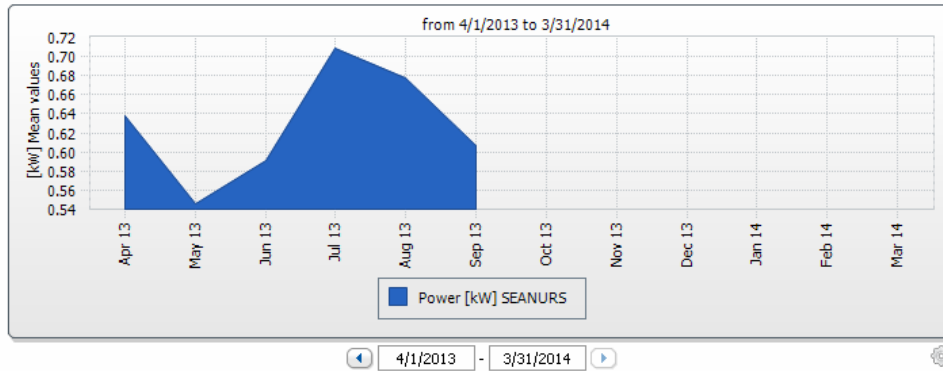
Sl. 3.52.

Grafički prikaz eksperimentalnih rezultata merenja temperature okoline (levo) i brzine vetra (desno) na ANURS-u u Banjoj Luci od 04. aprila 2013. do 01. septembra 2013. godine

Na slici 3.52. se vidi da se od 04. aprila 2013. do 01. septembra 2013. godine prosečne mesečne vrednosti temperatura ambijenta i brzine vetra kreću u granicama od 14,04°C (april) do 23,42°C (avgust) i od 0,79 m/s (jun) do 0,91 m/s (avgust), respektivno.

Izlazna snaga solarne elektrane od 2 kW na ANURS-u u Banjoj Luci

Grafički prikaz eksperimentalnih rezultata merenja izlazne snage solarne elektrane od 2 kW na ANURS-u u Banjoj Luci od 04. aprila do 01. septembra 2013. godine dat je na slici 3.53.



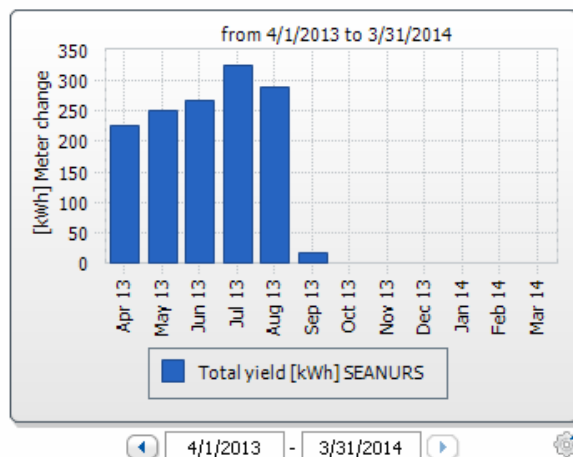
Sl. 3.53.

Grafički prikaz eksperimentalnih rezultata merenja izlazne snage solarne elektrane od 2 kW na ANURS-u u Banjoj Luci od 04. aprila do 01. septembra 2013. godine

Na slici 3.53. se vidi da se prosečni mesečni iznos izlazne snage solarne elektrane od 2 kW na ANURS-u u Banjoj Luci u periodu od 04. aprila do 01. septembra 2013. godine kreće u granicama od 0,55 kW (maj) do 0,71 kW (avgust).

Električna energija koja se dobija pomoću solarne elektrane od 2 kW na ANURS-u u Banjoj Luci

Grafički prikaz eksperimentalnih rezultata merenja mesečnog iznosa električne energije koja se dobija pomoću solarne elektrane od 2 kW na ANURS-u u Banjoj Luci od 04. aprila 2013. do 01. septembra 2013. godine dat je na slici 3.54.



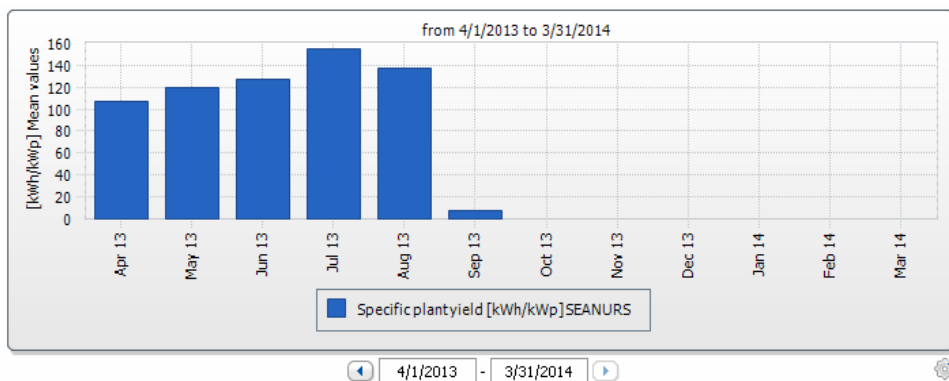
Sl. 3.54.

Grafički prikaz eksperimentalnih rezultata merenja mesečnog iznosa električne energije koja se dobija pomoću solarne elektrane od 2 kW na ANURS-u u Banjoj Luci od 04. aprila 2013. do 01. septembra 2013. godine

Na slici 3.54. se vidi da se ukupni mesečni iznos električne energije koja se dobija pomoću solarne elektrane od 2 kW na ANURS-u u Banjoj Luci u periodu od 04. aprila 2013. do 01. septembra 2013. godine kreće u granicama od 226,07 kWh (april) do 326,06 kWh (jul).

Specifični prinos (Y_f) solarne elektrane od 2 kW na ANURS-u u Banjoj Luci

Grafički prikaz rezultata izračunavanja specifičnog prinosa (Y_f) solarne elektrane od 2 kW na ANURS-u u Banjoj Luci od 04. aprila do 01. septembra 2013. godine dat je na slici 3.55.



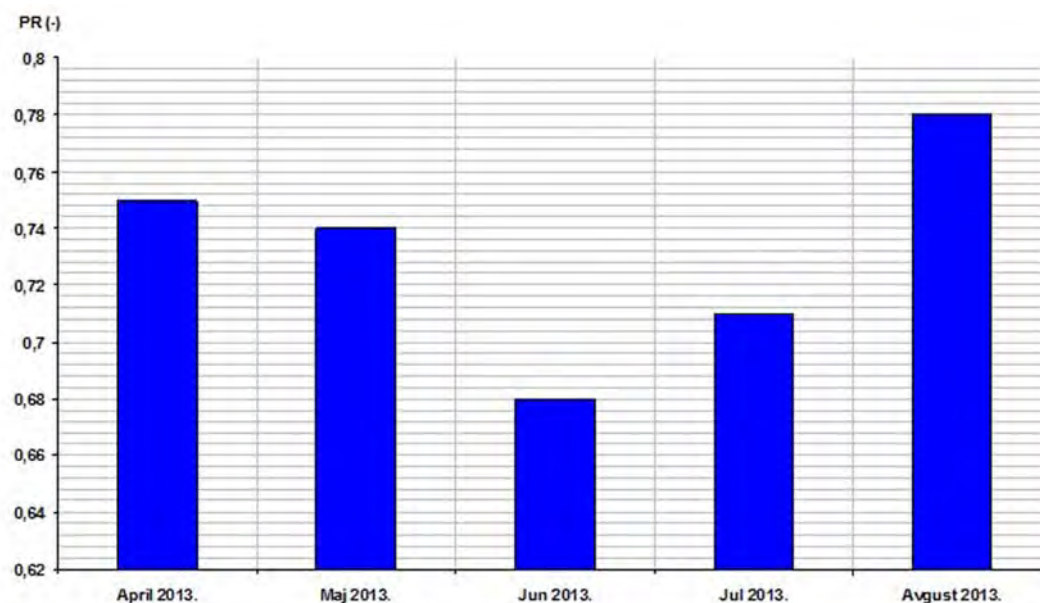
Sl. 3.55.

Grafički prikaz rezultata izračunavanja specifičnog prinosa (Y_f) solarne elektrane od 2 kW na ANURS-u u Banjoj Luci od 04. aprila do 01. septembra 2013. godine

Na slici 3.55. se vidi da se mesečne vrednosti specifičnog prinosa solarne elektrane od 2 kW na ANURS-u u Banjoj Luci od 04. aprila 2013. do 01. septembra 2013. godine kreću u granicama od 107,653 kWh/kW_p (april) do 155,266 kWh/kW_p (jul).

Odnos performansi (PR) solarne elektrane od 2 kW na ANURS-u u Banjoj Luci

Grafički prikaz rezultata izračunavanja odnosa performansi (PR) solarne elektrane od 2 kW na ANURS-u u Banjoj Luci od 04. aprila do 01. septembra 2013. godine dat je na slici 3.56.



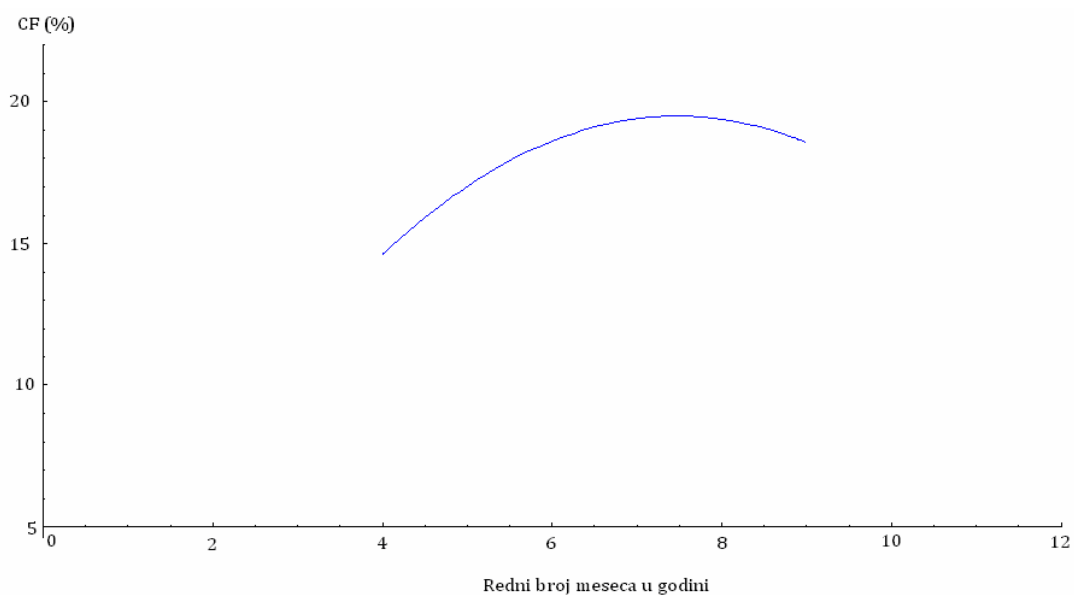
Sl. 3.56

Grafički prikaz rezultata izračunavanja odnosa performansi (PR) solarne elektrane od 2 kW na ANURS-u u Banjoj Luci od 04. aprila do 01. septembra 2013. godine

Na slici 3.56. se vidi da se mesečne vrednosti odnosa performansi (PR) solarne elektrane od 2 kW na ANURS-u u Banjoj Luci od 04. aprila do 01. septembra 2013. godine kreću u granicama od 0,68 (jun) do 0,78 (avgust).

Kapacitet (CF) solarne elektrane od 2 kW na ANURS-u u Banjoj Luci

Grafički prikaz rezultata izračunavanja kapaciteta (CF) solarne elektrane od 2 kW na ANURS-u u Banjoj Luci od 04. aprila do 01. septembra 2013. godine dat je na slici 3.57.



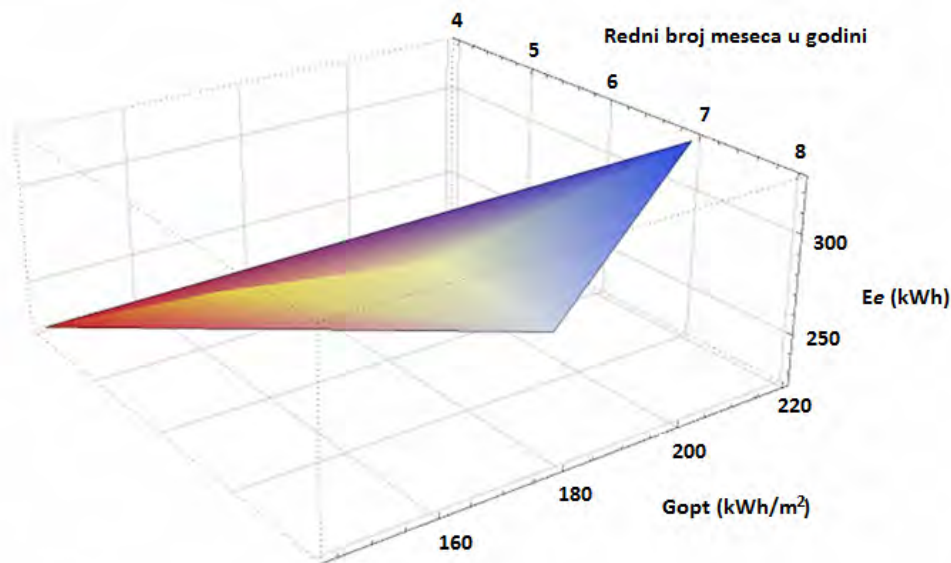
Sl. 3.57.

Grafički prikaz rezultata izračunavanja kapaciteta (CF) solarne elektrane od 2 kW na ANURS-u u Banjoj Luci od 04. aprila do 01. avgusta 2013. godine

Na slici 3.57. se vidi da se mesečne vrednosti kapaciteta (CF) solarne elektrane od 2 kW na ANURS-u u Banjoj Luci od 04. aprila 2013. do 01. septembra 2013. godine kreću u granicama od 15,1% (april) do 21,08% (jul).

U periodu od 01. januara do 01. septembra 2013. godine, solarna elektrana na ANURS-u u Banjoj Luci je proizvela 1360,85 kWh električne energije. Najviše električne energije (326,06 kWh) elektrana je proizvela u toku jula meseca kada je energija Sunčevog zračenja iznosila 219,57 kWh/m². Međutim, u istom periodu najviše električne energije (13,200 kWh/dan) je proizvedeno 16. aprila 2013. godine.

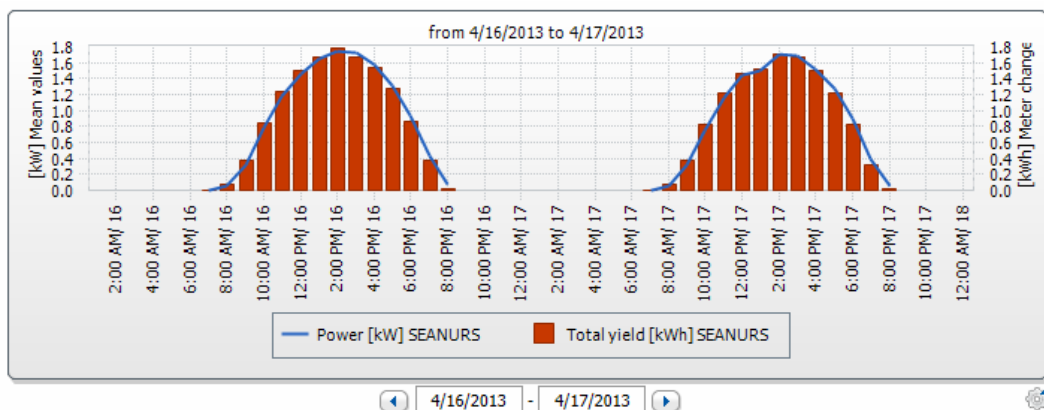
Grafički prikaz promene eksperimentalnih vrednosti električne energije koja se dobija pomoću solarne elektrane od 2 kW na ANURS-u u Banjoj Luci u zavisnosti od energije Sunčevog zračenja od 04. aprila do 01. avgusta 2013. godine dat je na slici 3.58.



Sl. 3.58.

Grafički prikaz promene eksperimentalnih vrednosti električne energije koja se dobija pomoću solarne elektrane od 2 kW na ANURS-u u Banjoj Luci u zavisnosti od energije Sunčevog zračenja od 04. aprila do 01. septembra 2013. godine

Grafički prikaz promene izlazne snage i električne energije koja se dobija pomoću solarne elektrane od 2 kW na ANURS-u u Banjoj Luci u toku 16. aprila 2013. godine dat je na slici 3.59.



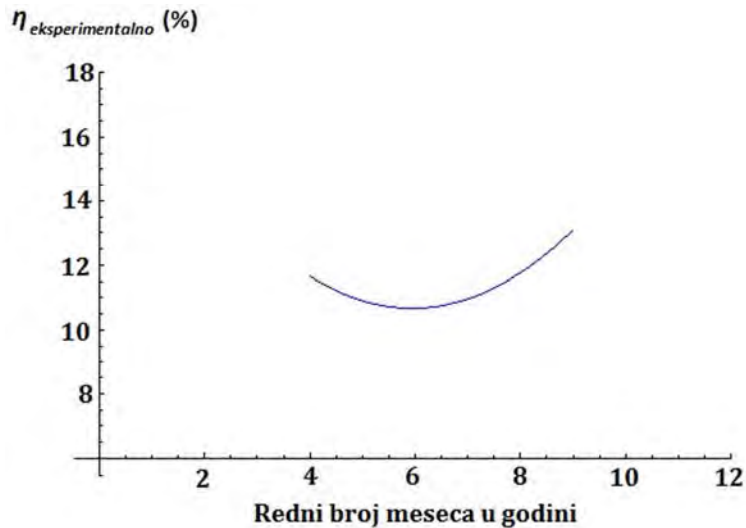
Sl. 3.59.

Grafički prikaz promene izlazne snage i električne energije koja se dobija pomoću solarne elektrane od 2 kW na ANURS-u u Banjoj Luci u toku 16. aprila 2013. godine

Na slici 3.59. se vidi da je najveći iznos proizvedene električne energije od 1,736 kWh u toku 16.04.2013. zabeležen u 14:00h.

Energetska efikasnost solarne elektrane od 2 kW na ANURS-u u Banjoj Luci

Grafički prikaz eksperimentalnih vrednosti energetske efikasnosti solarne elektrane od 2 kW na ANURS-u u Banjoj Luci od 04. aprila 2013. do 01. septembra 2013. godine dat je na slici 3.60.

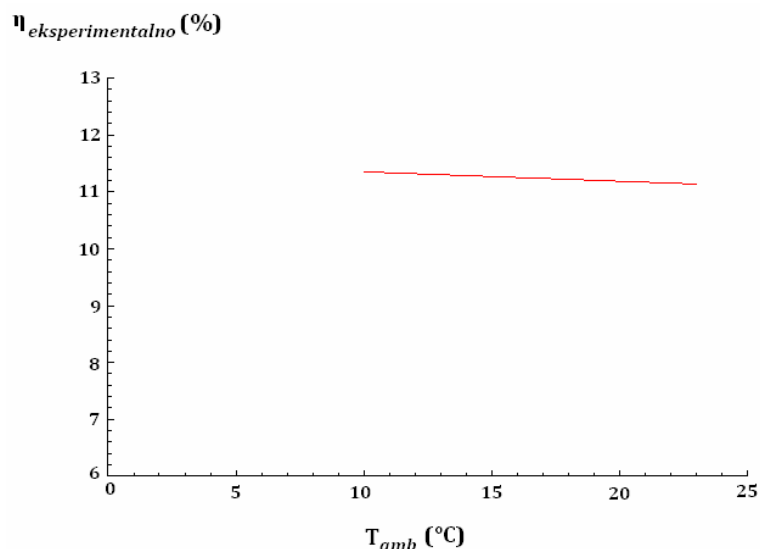


Sl. 3.60.

Grafički prikaz eksperimentalnih vrednosti energetske efikasnosti solarne elektrane od 2 kW na ANURS-u u Banjoj Luci od 04. aprila 2013. do 01. septembra 2013. godine

Na slici 3.60. se vidi da se eksperimentalna energetska efikasnost solarne elektrane od 2 kW na ANURS-u u Banjoj Luci od 04. aprila 2013. do 01. septembra 2013. godine kreće u granicama od 10,42% (jun) do 11,85% (avgust)

Grafički prikaz promene eksperimentalnih vrednosti energetske efikasnosti solarne elektrane od 2 kW na ANURS-u u Banjoj Luci od izmerenih prosečnih vrednosti temperature ambijenta u periodu od 04. aprila 2013. do 01. septembra 2013. godine dat je na slici 3.61.

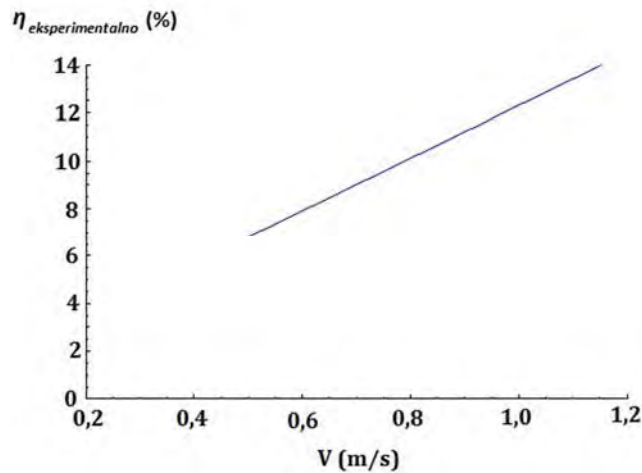


Sl. 3.61.

Grafički prikaz promene eksperimentalnih vrednosti energetske efikasnosti solarne elektrane od 2 kW na ANURS-u u Banjoj Luci od izmerenih prosečnih vrednosti temperature ambijenta u periodu od 04. aprila 2013. do 01. septembra 2013. godine

Na slici 3.61. se vidi da se sa porastom temperature ambijenta neznatno smanjuje eksperimentalna energetska efikasnost solarne elektrane od 2 kW na ANURS-u u Banjoj Luci u periodu od 04. aprila 2013. do 01. septembra 2013. godine

Grafički prikaz zavisnosti eksperimentalne energetske efikasnosti solarne elektrane od 2 kW na ANURS-u u Banjoj Luci od brzine vetra dobijene kontinuiranim merenjima pomoću meteorološke stanice DAVIS u periodu od 04. aprila do 01. septembra 2013. godine dat je na slici 3.62.

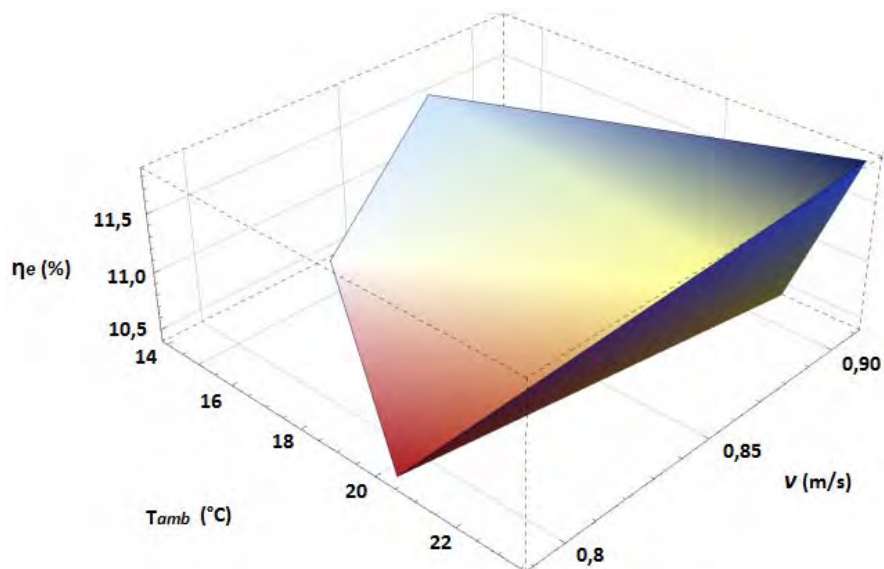


Sl. 3.62.

Grafički prikaz zavisnosti eksperimentalne energetske efikasnosti solarne elektrane od 2 kW na ANURS-u u Banjoj Luci od brzine vetra dobijene kontinuiranim merenjima pomoću meteorološke stanice DAVIS u periodu od 04. aprila do 01. septembra 2013. godine

Na slici 3.62. se vidi da se sa porastom brzine vetra povećava eksperimentalna energetska efikasnost solarne elektrane zbog hlađenja solarnih modula pod dejstvom vetra.

Grafički prikaz promene eksperimentalne energetske efikasnosti solarne elektrane od 2 kW na ANURS-u u Banjoj Luci od prosečnih vrednosti temperature ambijenta i brzine vetra od 04. aprila 2013. do 01. septembra 2013. godine dat je na slici 3.63.



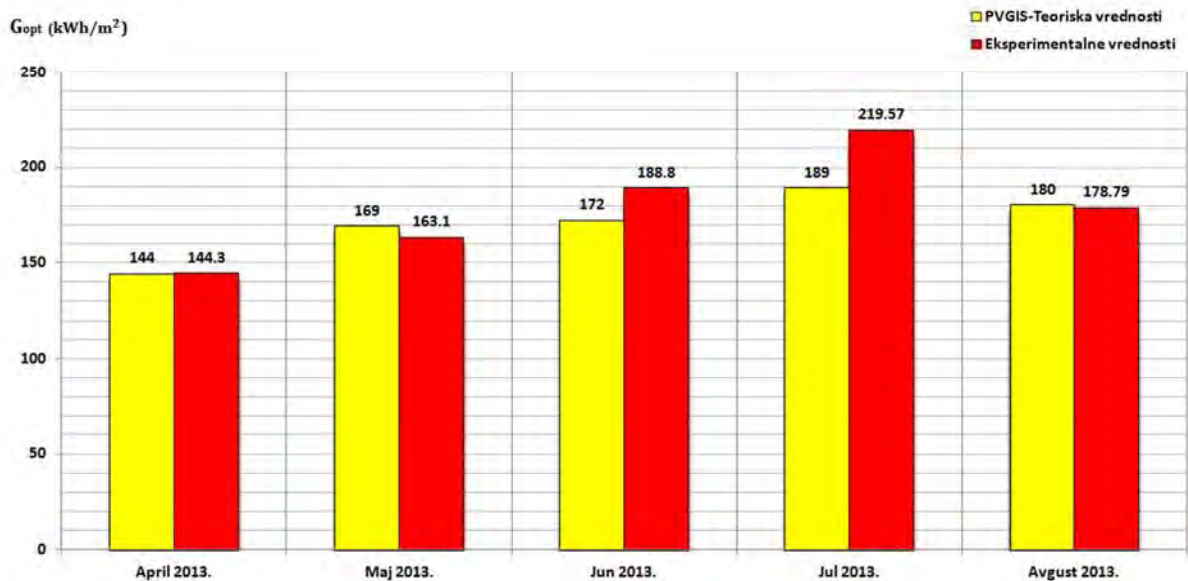
Sl. 3.63.

Grafički prikaz promene eksperimentalne energetske efikasnosti solarne elektrane od 2 kW na ANURS-u u Banjoj Luci od prosečnih vrednosti temperature ambijenta i brzine vetra od 04. aprila 2013. do 01. septembra 2013. godine

3.2.4. Upoređivanje teorijskih i eksperimentalnih rezultata određivanja energetske efikasnosti solarne elektrane od 2 kW na ANURS-u u Banjoj Luci

Energija Sunčevog zračenja

Uporedni prikaz teorijskih i eksperimentalnih rezultata određivanja iznosa energije globalnog Sunčevog zračenja koje je u toku meseca dospelo na kvadratni metar solarnih modula koji su orijentisani pod uglom od 32° u odnosu na horizontalnu ravan u Banjoj Luci od 4. aprila 2013. do 01. septembra 2013. godine dat je na slici 3.64.



Sl. 3.64.

Uporedni prikaz teorijskih i eksperimentalnih rezultata određivanja iznosa energije globalnog Sunčevog zračenja koje je u toku meseca dospelo na kvadratni metar solarnih modula koji su orijentisani pod uglom od 32° u odnosu na horizontalnu ravan u Banjoj Luci od 04. aprila 2013. do 01. septembra 2013. godine

Na slici 3.64. se vidi da je eksperimentalno izmerena vrednost energije globalnog Sunčevog zračenja koje je u toku meseca dospelo na kvadratni metar solarnih modula na teritoriji Banja Luke od 04. aprila do 01. septembra 2013. godine u aprilu za 0,21% veća, u maju za 3,49% manja, u junu za 9,77% veća, u julu za 16,18% veća, a u avgustu za 0,7% manja od teorijske vrednosti dobijene pomoću PVGIS- CMSAF programa.

Električna energija

Uporedni prikaz teorijskih i eksperimentalnih rezultata iznosa električne energije koja se dobija pomoću solarne elektrane od 2 kW na ANURS-a u Banjoj Luci od 04. aprila 2013. do 01. septembra 2013. godine dat je na slici 3.65.



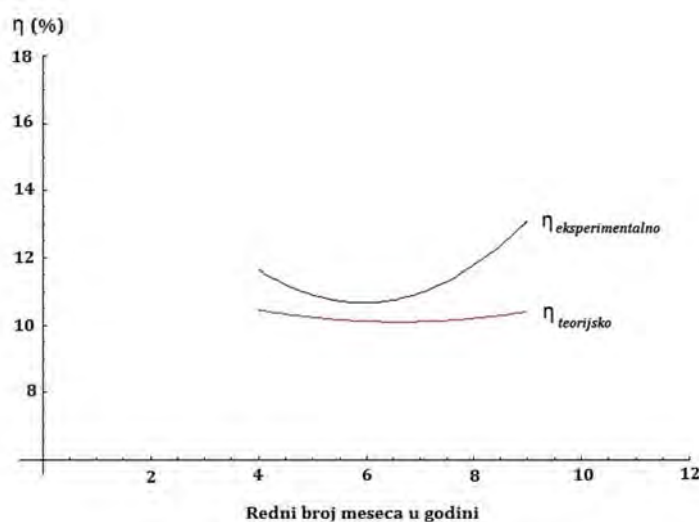
Sl. 3.65.

Uporedni prikaz teorijskih i eksperimentalnih rezultata iznosa električne energije koja se dobija pomoću solarne elektrane od 2 kW na ANURS-a u Banjoj Luci od 04. aprila 2013. do 01. septembra 2013. godine

Na slici 3.65. se vidi da je teorijski iznos električne energije manji u odnosu na izmerene vrednosti električne energije koja se dobija pomoću solarne elektrane od 2 kW na ANURS-u u Banjoj Luci u periodu od 04. aprila do 01. septembra 2013. godine i da je u aprilu eksperimentalno dobijeno 9,23% više, u maju eksperimentalno dobijeno 6,2% više, u junu eksperimentalno dobijeno 13,17% više, u julu eksperimentalno dobijeno 25,9% više i u avgustu 17,89% više električne energije od iznosa koji se dobija pomoću PVGIS programa.

Energetska efikasnost

Uporedni prikaz teorijskih i eksperimentalnih vrednosti energetske efikasnosti solarne elektrane na ANURS-u u Banjoj Luci od 04. aprila 2013. do 01. septembra 2013. godine dat je na slici 3.66.

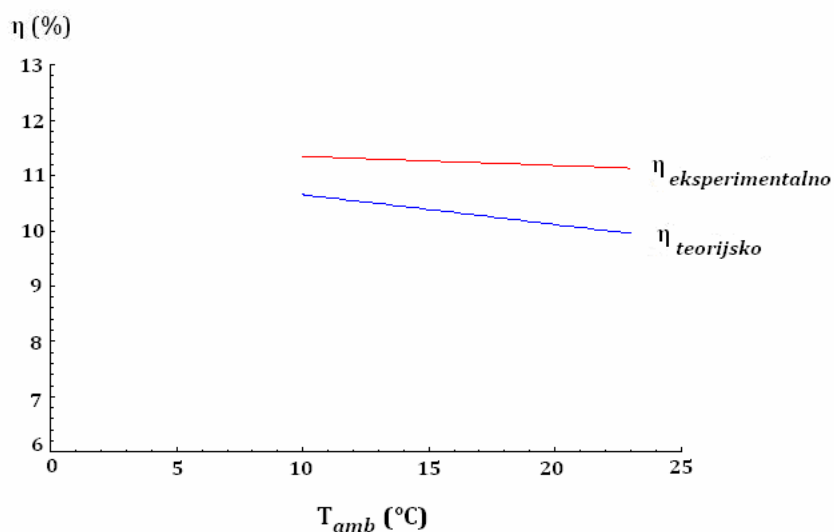


Sl. 3.66.

Uporedni prikaz teorijskih i eksperimentalnih vrednosti energetske efikasnosti solarne elektrane na ANURS-u u Banjoj Luci od 04. aprila 2013. do 01. septembra 2013. godine

Na slici 3.66. se vidi da se eksperimentalna energetska efikasnost solarne elektrane kreće u granicama 10,42 – 11,85%, dok se teorijska energetska efikasnost solarne elektrane od 2 kW na ANURS-u u Banjoj Luci kreće u granicama 9,98 – 10,54% od 04. aprila 2013. do 01. septembra 2013. godine. Pored toga, izračunato je da je eksperimentalno određena efikasnost solarne elektrane od 2 kW na ANURS-u u Banjoj Luci u aprilu za 9,01% veća, u maju za 10,01% veća i u junu za 3,07% veća, u julu za 8,36% veća i u avgustu za 18,74% veća od teorijski određene efikasnosti.

Uporedni prikaz zavisnosti teorijske i eksperimentalne energetske efikasnosti solarne elektrane od 2 kW na ANURS-u u Banjoj Luci od temperature ambijenta u periodu od 04. aprila do 01. septembra 2013. godine, dat je na slici 3.67.



Sl. 3.67.

Uporedni prikaz zavisnosti teorijske i eksperimentalne energetske efikasnosti solarne elektrane od 2 kW na ANURS-u u Banjoj Luci od temperature ambijenta u periodu od 04. aprila do 01. septembra 2013. godine

Na slici 3.67. se vidi da se sa porastom temperature ambijenta smanjuje i eksperimentalna i teorijska energetska efikasnost solarne elektrane od 2 kW na ANURS-u u Banjoj Luci. Krive zavisnosti teorijske i eksperimentalne energetske efikasnosti od temperature ambijenta dobijene su prostom (jednostrukom) linearnom regresijom, koja se zasniva na metodi najmanjih kvadrata, a karakteristične regresione jednačine su oblika:

$$\eta_{teorijsko} = 11,1991 - 0,0538049 T_{apvgis} \quad (3.5)$$

$$\eta_{eksperimentalno} = 11,5153 - 0,0164455 T_{aeksp} \quad (3.6)$$

gde je

- $\eta_{teorijsko}$ - teorijska energetska efikasnost solarne elektrane od 2 kW na ANURS-u u Banjoj Luci,
- $\eta_{eksperimentalno}$ - eksperimentalna energetska efikasnost solarne elektrane od 2 kW na ANURS-u u Banjoj Luci,
- T_{apvgis} - temperatura ambijenta za teritoriju Banja Luke dobijena pomoću PVGIS-a i
- $T_{aeksp.}$ - temperatura ambijenta za teritoriju Banja Luke dobijena kontinuiranim merenjima.

Regresioni koeficijent – 0,0538049 u jednačini (3.5) odnosno regresioni koeficijent – 0,0164455 u jednačini (3.6) predstavljaju *nagib* u regresionom modelu. Regresioni koeficijent – 0,0538049 odgovara prosečnoj promeni očekivane vrednosti zavisne varijable $\eta_{teorijsko}$ za jediničnu promenu nezavisne varijable T_{apvgs} , dok regresioni koeficijent – 0,0164455 odgovara prosečnoj promeni očekivane vrednosti zavisne varijable $\eta_{eksperimentalno}$ za jediničnu promenu nezavisne varijable T_{aeksp} . Imajući u vidu prethodno, može se zaključiti da je trend pada teorijski dobijene efikasnosti solarne elektrane brži od pada eksperimentalno dobijene efikasnosti solarne elektrane sa porastom temperature ambijenta. Na osnovu podataka na slici 3.67. vidi se da se sa porastom temperature ambijenta za 1°C eksperimentalna energetska efikasnost smanjuje za 0,016%, a teorijska za 0,05%.

3.2.5. Ekološki značaj i ekonomska isplativost solarne elektrane od 2 kW na ANURS-u u Banjoj Luci

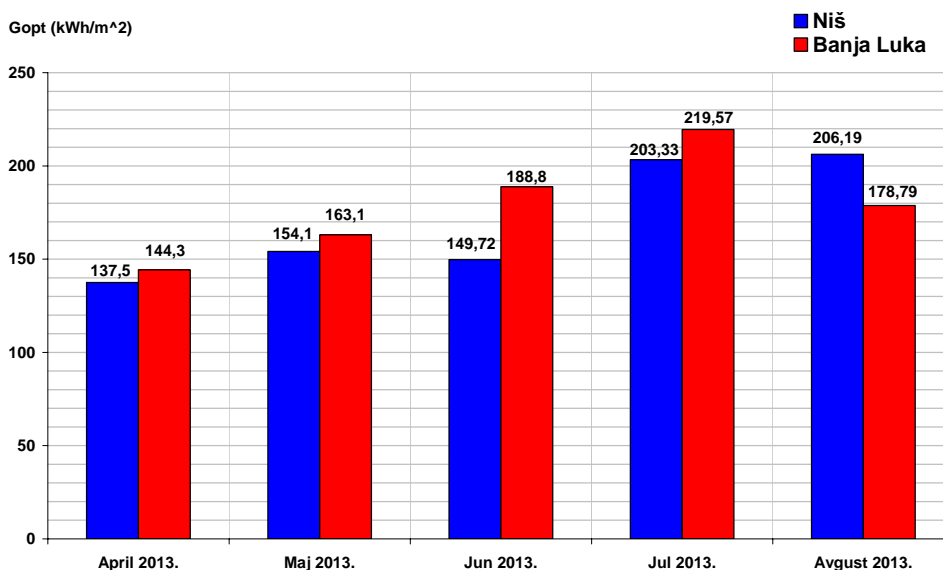
Imajući u vidu da se za 1 kWh električne energije proizvedene pomoću solarne elektrane smanjuje emisija 0,568 kg CO₂ u atmosferu, solarna elektrana od 2 kW na ANURS-u u Banjoj Luci u periodu od 04. aprila 2013. do 01. septembra 2013. godine je proizvela 1360,85 kWh električne energije, čime se u tom periodu smanjila emisija 773 kg CO₂ u atmosferu.

Cena izgradnje solarne elektrane od 2 kW na ANURS-u u Banjoj Luci iznosi 3000 eur. U periodu od 04. aprila do 01. septembra 2013. godine, solarna elektrana na ANURS-u u Banjoj Luci je proizvela 1360,85 kWh električne energije. Procenjuje se da će do kraja 2013. godine solarna elektrana proizvesti ukupno 2400 kWh električne energije. Za proračun ekonomske isplativosti solarne elektrane od 2 kW na ANURS-u u Banjoj Luci i iznosa sredstava koji može da se dobije prodajom električne energije dobijene iz solarne elektrane, prema *Odluci o metodologiji utvrđivanja nivoa otkupnih cena električne energije iz obnovljivih izvora instalisane snage do 5 MW (Sl. glasnik Republike Srpske br.71/2004)* 1 kWh proizvedene električne energije pomoću solarne elektrane snage do 50 kW se prodaje Elektroprivreda Republike Srpske po ceni od 0,57 KM ~ 0,285 eur. U skladu sa prethodnim, izračunato je da se za godinu dana, prodajom električne energije proizvedene pomoću solarne elektrane na ANURS-u u Banjoj Luci ostvari finansijska dobit od 684 eur. U idealnom slučaju, ukoliko se u narednom periodu ne uračunavaju gubici usled degradacije solarnih modula, troškovi održavanja i servisiranja solarne elektrane i promene otkupne cene električne energije proizvedene pomoću solarne elektrane, povraćaj uložениh sredstava za izgradnju solarne elektrane na ANURS-u u Banjoj Luci se očekuje za 4,4 godine.

3.3. Upoređivanje eksperimentalnih rezultata određivanja energetske efikasnosti solarne elektrane od 2 kW na PMF-u u Nišu i ANURS-u u Banjoj Luci

Energija Sunčevog zračenja

Uporedni prikaz eksperimentalnih rezultata određivanja iznosa energije globalnog Sunčevog zračenja koje je u toku dana dospelo na kvadratni metar solarnih modula koji su orijentisani pod uglom od 32° u odnosu na horizontalnu ravan u Nišu i Banjoj Luci od 01. aprila 2013. do 01. septembra 2013. godine dat je na slici 3.68.

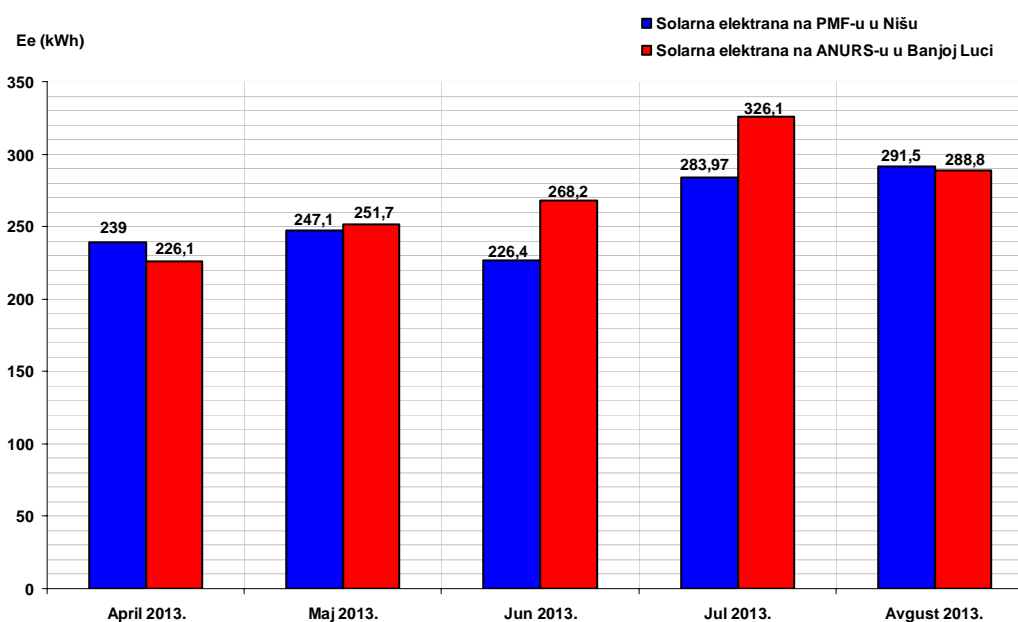


Sl. 3.68.

Usporedni prikaz eksperimentalnih rezultata određivanja iznosa energije globalnog Sunčevog zračenja koje je u toku dana dospelo na kvadratni metar solarnih modula koji su orijentisani pod uglom od 32° u odnosu na horizontalnu ravan u Nišu i Banjoj Luci od 01. aprila do 01. septembra 2013. godine

Na slici 3.68. se vidi da je od 01. aprila do 1. septembra 2013. godine izmerena vrednost energije Sunčevog zračenja koja je dospela na kvadratni metar solarnih modula u Banjoj Luci za 4,9% veća od vrednosti energije Sunčevog zračenja koja je dospela na kvadratni metar solarnih modula u Nišu.

Usporedni prikaz eksperimentalnih rezultata određivanja iznosa električne energije koja se dobija pomoću solarnih elektrana od 2 kW na PMF-u u Nišu i ANURS-u u Banjoj Luci od 01. aprila 2013. do 01. septembra 2013. godine dat je na slici 3.69.

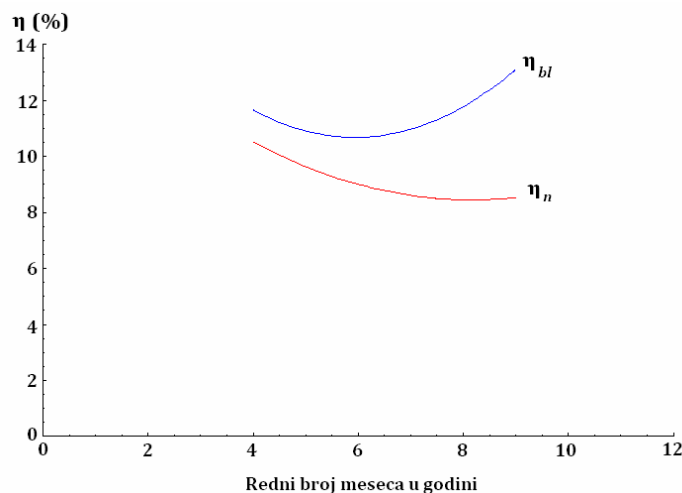


Sl. 3.69.

Usporedni prikaz eksperimentalnih rezultata određivanja iznosa električne energije koja se dobija pomoću solarnih elektrana od 2 kW na PMF-u u Nišu i ANURS-u u Banjoj Luci od 01. aprila 2013. do 01. septembra 2013. godine

Na slici 3.69. se vidi da je od 01. aprila do 1. septembra 2013. godine ukupan iznos električne energije koja se dobija pomoću solarne elektrane od 2 kW na ANURS-u u Banjoj Luci za 5,4% veći od ukupnog iznosa električne energije koja se dobija pomoću solarne elektrane od 2 kW na PMF-u u Nišu.

Uporedni prikaz eksperimentalnih rezultata određivanja energetske efikasnosti solarnih elektrana od 2 kW na PMF-u u Nišu i ANURS-u u Banjoj Luci od 01. aprila 2013. do 01. septembra 2013. godine dat je na slici 3.70.



Sl. 3.70.

Uporedni prikaz eksperimentalnih rezultata određivanja energetske efikasnosti solarnih elektrana od 2 kW na PMF-u u Nišu i ANURS-u u Banjoj Luci od 01. aprila 2013. do 01. septembra 2013. godine (η_{bl} – eksperimentalna energetska efikasnost solarne elektrane na ANURS-u u Banjoj Luci i η_n - eksperimentalna energetska efikasnost solarne elektrane na PMF-u u Nišu)

Na slici 3.70. se vidi da se od 01. aprila do 01. septembra 2013. godine energetska efikasnost solarne elektrane na PMF-u u Nišu kreće u granicama od 8,42% (jul) do 10,48% (april), a efikasnost solarne elektrane na ANURS-u u Banjoj Luci u granicama od 10,42% (jun) do 11,85% (avgust). U tom periodu prosečna vrednost energetske efikasnosti solarnih elektrana na PMF-u u Nišu i ANURS-u u Banjoj Luci iznosi 9,24% i 11,194%, respektivno.

Literatura

- [1] http://www.openelectrical.org/wiki/index.php?title=Solar_System_Sizing
- [2] http://sunningsolar.diytrade.com/sdp/644054/4/pd-3339902/6921185-1715897/200w_mono_crystalline_solar_panel_SST-200WM.html
- [3] <http://www.sma.de/en/products/solar-inverters-with-transformer/sunny-boy-2000hf-2500hf-3000hf.html#Downloads-8706>
- [4] <http://www.sma.de/en/products/monitoring-systems/sunny-webbox-with-bluetooth.html#Downloads-9263>
- [5] <http://www.sma.de/en/products/monitoring-systems/sunny-sensorbox.html#Downloads-9283>
- [6] <http://www.davisnet.com/weather/products/vantage-pro-professional-weather-stations.asp>
- [7] <http://www.sunnyportal.com>

ZAKLJUČAK

Republika Srbija

Na godišnjem nivou, prosečna vrednost energije globalnog Sunčevog zračenja za teritoriju Republike Srbije iznosi od 1200 kWh/m²/godišnje u severozapadnoj Srbiji, do 1550 kWh/m²/godišnje u jugoistočnoj Srbiji, dok u srednjem delu iznosi oko 1400 kWh/m²/godišnje. Sa godišnjim prosekom od 2300 sunčanih sati i prosečnim intenzitetom Sunčevog zračenja od 1,1 kWh/m²/dan na severu do 1,7 kWh/m²/dan na jugu – tokom januara i 5,9 – 6,6 kWh/m²/dan - tokom jula, u Republici Srbiji postoje veoma pogodni klimatski uslovi za dobijanje električne energije pomoću solarnih elektrana.

Teorija

Na osnovu rezultata teorijske analize energetske efikasnosti fiksne, jednoosno i dvoosno rotacione solarne elektrane sa solarnim ćelijama od monokristalnog i polikristalnog silicijuma, CdTe i CIS solarnim ćelijama za 23 grada Republike Srbije može se zaključiti sledeće:

- srednje godišnje vrednosti optimalnog ugla postavljanja solarnih modula nalaze se u granicama od 32° (Negotin, Zajčar, Pirot) do 35° (Novi Pazar, Vršac, Beograd);
- srednje godišnje vrednosti energije Sunčevog zračenja koja dospeva na kvadratni metar horizontalne površine nalaze se u granicama od 3370 Wh/m² (Sombor) do 4000 Wh/m² (Đakovica);
- srednje godišnje vrednosti energije Sunčevog zračenja koja dospeva na kvadratni metar vertikalne površine nalaze se u granicama od 2530 Wh/m² (Sombor) do 3010 Wh/m² (Đakovica);
- srednje godišnje vrednosti energije Sunčevog zračenja koja dospeva na kvadratni metar površine postavljene pod optimalnim uglom u odnosu na horizontalnu ravan nalaze se u granicama od 3810 Wh/m² (Sombor) do 4580 Wh/m² (Đakovica);
- srednje godišnje vrednosti odnosa između difuznog i ukupnog Sunčevog zračenja nalaze se u granicama od 0,43 (Đakovica, Prizren) do 0,51 (Pirot);
- srednje godišnje vrednosti zamućenosti atmosfere nalaze se u granicama od 2,4 (Zajčar) do 3,7 (Subotica, Sombor);
- ukupan iznos energije Sunčevog zračenja koja u toku godine dospeva na kvadratni metar solarnih modula postavljenih pod optimalnim uglom u odnosu na horizontalnu ravan kod fiksne solarne elektrane nalazi se u granicama od 1390 kWh (Sombor) do 1670 kWh (Đakovica);
- ukupan iznos energije Sunčevog zračenja koja u toku godine dospeva na kvadratni metar solarnih modula postavljenih pod optimalnim uglom u odnosu na horizontalnu ravan kod jednoosno rotacione solarne elektrane nalazi se u granicama od 1750 kWh (Sombor) do 2170 kWh (Đakovica);

- ukupan iznos energije Sunčevog zračenja koja u toku godine dospeva na kvadratni metar solarnih modula kod dvoosno rotacione solarne elektrane nalazi se u granicama od 1790 kWh (Sombor) do 2230 kWh (Đakovica);
- na teritoriji Beograda, u toku godine na kvadratni metar horizontalne površine na Zemlji dospe 1306,7 kWh/m² energije globalnog Sunčevog zračenja korišćenjem NASA solarne baze; 1361,45 kWh/m² korišćenjem RETScreen solarne baze; 1328,6 kWh/m² korišćenjem PVGIS solarne baze i 1394,3 kWh/m² korišćenjem HMIRS solarne baze;
- na teritoriji Negotina, u toku godine na kvadratni metar horizontalne površine na Zemlji dospe 1292,1 kWh/m² energije globalnog Sunčevog zračenja korišćenjem NASA solarne baze; 1379,7 kWh/m² korišćenjem RETScreen solarne baze; 1303,05 kWh/m² korišćenjem PVGIS solarne baze i 1507,45 kWh/m² korišćenjem HMIRS solarne baze;
- na teritoriji Zlatibora, u toku godine na kvadratni metar horizontalne površine na Zemlji dospe 1306,7 kWh/m² energije globalnog Sunčevog zračenja korišćenjem NASA solarne baze; 1372,4 kWh/m² korišćenjem RETScreen solarne baze; 1412,55 kWh/m² korišćenjem PVGIS solarne baze i 1343,2 kWh/m² korišćenjem HMIRS solarne baze;
- ukupan godišnji iznos električne energije koja se dobija pomoću fiksne solarne elektrane od 1 MW sa solarnim modulima postavljenim pod optimalnim uglom u odnosu na horizontalnu ravan od monokristalnog silicijuma kreće se u granicama od 1050 MWh (Sombor) do 1260 MWh (Đakovica), sa CdTe solarnim modulima postavljenim pod optimalnim uglom u odnosu na horizontalnu ravan od 1170 MWh (Sombor) do 1390 MWh (Đakovica) i sa CIS solarnim modulima postavljenim pod optimalnim uglom u odnosu na horizontalnu ravan od 1070 MWh (Sombor) do 1290 MWh (Đakovica);
- ukupan godišnji iznos električne energije koja se dobija pomoću jednoosno rotacione solarne elektrane od 1 MW sa optimalno postavljenim solarnim modulima od monokristalnog silicijuma kreće se u granicama od 1330 MWh (Sombor) do 1650 MWh (Đakovica), sa CdTe solarnim modulima od 1460 MWh (Sombor) do 1800 MWh (Đakovica) i sa CIS solarnim modulima od 1360 MWh (Sombor) do 1680 MWh (Đakovica);
- ukupan godišnji iznos električne energije koja se dobija pomoću dvoosno rotacione solarne elektrane od 1 MW sa solarnim modulima od monokristalnog silicijuma kreće se u granicama od 1360 MWh (Sombor) do 1680 MWh (Đakovica), sa CdTe solarnim modulima od 1490 MWh (Sombor) do 1840 MWh (Đakovica) i sa CIS solarnim modulima od 1390 MWh (Sombor) do 1720 MWh (Đakovica);
- ukupni godišnji iznos električne energije koja se dobija pomoću fiksne on-grid solarne elektrane od 1 kW pomoću Homer programa korišćenjem NASA solarne baze iznosi 1372 kWh, korišćenjem RETScreen solarne baze 1428 kWh, korišćenjem PVGIS solarne baze 1377 kWh i korišćenjem HMIRS solarne baze 1472 kWh, za Beograd;

- ukupni godišnji iznos električne energije koja se dobija pomoću fiksne on-grid solarne elektrane od 1 kW pomoću Homer programa korišćenjem NASA solarne baze iznosi 1326 kWh, korišćenjem RETScreen solarne baze 1423 kWh, korišćenjem PVGIS solarne baze 1330 kWh i korišćenjem HMIRS solarne baze 1578 kWh, za Negotin;
- ukupni godišnji iznos električne energije koja se dobija pomoću fiksne on-grid solarne elektrane od 1 kW pomoću Homer programa korišćenjem NASA solarne baze iznosi 1372 kWh, korišćenjem RETScreen solarne baze 1459 kWh, korišćenjem PVGIS solarne baze 1488 kWh i korišćenjem HMIRS solarne baze 1421 kWh, za Zlatibor i
- ukupan godišnje iznos električne energije koja se dobija pomoću fiksne on-grid solarne elektrane od 1 kW pomoću Homer programa korišćenjem RETScreen solarne baze najmanje odstupa od ukupnog godišnjeg iznosa električne energije koja se dobija pomoću fiksne on-grid solarne elektrane od 1 kW pomoću Homer programa korišćenjem HMIRS solarne baze.

Eksperiment

Na osnovu rezultata eksperimentalnog određivanja energetske efikasnosti solarne elektrane od 2 kW na PMF-u u Nišu od 01. januara do 01. septembra 2013. godine može se zaključiti sledeće:

- eksperimentalne mesečne vrednosti energije Sunčevog zračenja koja pada na kvadratni metar horizontalne površine se kreću u granicama od 26,52 kWh/m² (januar) do 169,2 kWh/m² (avgust);
- teorijska vrednost energije globalnog Sunčevog zračenja koje je u toku meseca dospelo na kvadratni metar solarnih modula u Nišu u proseku za 17,6% je veća od izmerenih vrednosti;
- eksperimentalno izmerena vrednost energije globalnog Sunčevog zračenja koje je u toku meseca dospelo na kvadratni metar solarnih modula u januaru za 51,73% manja, u februaru za 60,98% manja, u martu za 48,95% manja, u aprilu za 9,54% manja, u maju za 12,94% manja i u junu za 20,75% manja od teorijske vrednosti dobijene pomoću PVGIS programa, dok je u julu za 1,67% veća i u avgustu za 5,2% veća od teorijske vrednosti dobijene pomoću PVGIS programa;
- eksperimentalne vrednosti mesečnog iznosa električne energije koja se dobija pomoću solarne elektrane se kreće u granicama od 73,9 kWh (februar) do 291,5 kWh (jul), dok se teorijske vrednosti kreću u granicama od 99,7 kWh (januar) do 269 kWh (jul);
- u zimskom periodu teorijski iznos električne energije je viši u odnosu na izmerene vrednosti električne energije koja se dobija pomoću solarne elektrane od 2 kW na PMF-u u Nišu i da je u januaru eksperimentalno dobijeno 19,96% manje, u februaru 39,43% manje, u martu 16,61% manje, u aprilu 11,16% više, u maju 0,86% više, u junu 10,88% manje, u julu 5,56% više i u avgustu 10,82% više električne energije od iznosa koji se dobija pomoću PVGIS programa;

- eksperimentalna energetska efikasnost solarne elektrane se kreće u granicama od 8,42% (jul) do 15,71 % (januar) dok se teorijska energetska efikasnost kreće u granicama od 8,09% (avgust) do 9,45%(januar) od 01. januara 2013. do 01. septembra 2013. godine;
- sa povećanjem brzine vetra dolazi do povećanja eksperimentalne energetske efikasnosti solarne elektrane usled hlađenja solarnih modula;
- sa porastom temperature ambijenta dolazi do smanjenja energetske efikasnosti solarne elektrane. Sa porastom temperature ambijenta za 1°C eksperimentalna energetska efikasnost se smanjuje za 0,27%, a teorijska za 0,06%. Sa porastom temperature ambijenta dolazi do povećanja termalnih vibracija atoma kristalne rešetke materijala od kojih su napravljene solarne ćelije što ometa usmereno kretanje slobodnih nosilaca naelektrisanja, dovodi do pada napona otvorenog kola i smanjenja snage solarnih ćelija.

Cena izgradnje fiksne on-grid solarne elektrane u Republici Srbiji iznosi 1,5 eur/Wp. U Republici Srbiji doneti su zakonski propisi koji omogućavaju izgradnju i komercijalno korišćenje solarnih elektrana. U idealnom slučaju povraćaj uložениh sredstava za izgradnju solarne elektrane na PMF-u u Nišu se očekuje za 6,67 godina.

U Republici Srbiji u toku je izgradnja tri solarne elektrane veće snage (u blizini Merdara, u Leskovcu i na Zlatiboru). U Republici Srbiji je instalirano više solarnih elektrana manjeg kapaciteta koje su priključene na gradsku mrežu (u Čačku, Nišu, Beogradu, itd.). Pored ovih, instalirano je i više malih fotonaponskih sistema koji nisu priključeni za gradsku mrežu.

Republika Srpska

Sa godišnjim prosekom od 1840,9 h sunčanih sati i intenzitetom Sunčevog zračenja koje dospeva na horizontalnu površinu od 1240 kWh/m² na severu do 1600 kWh/m² na jugu zemlje Bosna i Hercegovina spada u povoljnije lokacije u Evropi za komercijalnu upotrebu solarnih elektrana.

Teorija

Na osnovu rezultata teorijske analize energetske efikasnosti fiksne, jednoosno i dvoosno rotacione solarne elektrane sa solarnim ćelijama od monokristalnog i polikristalnog silicijuma, CdTe i CIS solarnim ćelijama za 13 gradova Republike Srpske može se zaključiti sledeće:

- srednje godišnje vrednosti zamućenosti atmosfere se nalaze u granicama od 3,1 (Bijeljina) do 3,8 (Novi Grad);
- srednje godišnje vrednosti optimalnog ugla postavljanja solarnih modula nalaze u granicama od 33° (Derвента, Zvornik) do 35° (Pale, Sarajevo, Foča, Trebinje);

- srednje godišnje vrednosti energije Sunčevog zračenja koja dospe na kvadratni metar horizontalno postavljene površine nalaze u granicama od 3450 Wh/m² (Derventa) do 4220 Wh/m² (Trebinje);
- srednje godišnje vrednosti energije Sunčevog zračenja koja dospe na kvadratni metar površine postavljene pod optimalnim uglom u odnosu na horizontalnu ravan nalaze u granicama od 3930 Wh/m² (Zvornik) do 4890 Wh/m² (Trebinje);
- srednje godišnje vrednosti energije Sunčevog zračenja koja dospe na kvadratni metar vertikalno postavljene površine nalaze u granicama od 2570 Wh/m² (Zvornik) do 3240 Wh/m² (Trebinje);
- srednje godišnje vrednosti odnosa između difuznog i ukupnog Sunčevog zračenja nalaze u granicama od 0,41 (Trebinje) do 0,50 (Novi Grad, Derventa, Banja Luka, Doboj, Zvornik);
- ukupan iznos energije Sunčevog zračenja koja u toku godine dospe na kvadratni metar solarnih modula postavljenih pod optimalnim uglom u odnosu na horizontalnu ravan kod fiksne solarne elektrane, nalazi u granicama od 1420 kWh (Derventa) do 1780 kWh (Trebinje);
- ukupan iznos energije Sunčevog zračenja koja u toku godine dospe na kvadratni metar solarnih modula postavljenih pod optimalnim uglom u odnosu na horizontalnu ravan kod jednoosno rotacione solarne elektrane nalazi u granicama od 1670 kWh (Zvornik) do 2290 kWh (Trebinje);
- ukupan iznos energije Sunčevog zračenja koja u toku godine dospe na kvadratni metar solarnih modula kod dvoosno rotacione solarne elektrane nalazi u granicama od 1720 kWh (Zvornik) do 2360 kWh (Trebinje);
- ukupan godišnji iznos električne energije koja se dobija pomoću fiksne solarne elektrane od 1 kW sa solarnim modulima od monokristalnog silicijuma postavljenim pod optimalnim uglom u odnosu na horizontalnu ravan se kreće u granicama od 1070 kWh (Derventa, Zvornik) do 1350 kWh (Trebinje), sa CdTe solarnim modulima postavljenim pod optimalnim uglom u odnosu na horizontalnu ravan od 1190 kWh (Derventa) do 1490 kWh (Trebinje) i sa CIS solarnim modulima postavljenim pod optimalnim uglom u odnosu na horizontalnu ravan od 1090 kWh (Derventa) do 1370 kWh (Trebinje);
- ukupan godišnji iznos električne energije koja se dobija pomoću jednoosno rotacione solarne elektrane od 1 kW sa optimalno orijentisanim solarnim modulima od monokristalnog silicijuma se kreće u granicama od 1250 kWh (Zvornik) do 1740 kWh (Trebinje), sa CdTe solarnim modulima od 1380 kWh (Zvornik) do 1900 kWh (Trebinje) i sa CIS solarnim modulima od 1290 kWh (Zvornik) do 1780 kWh (Trebinje) i
- ukupan godišnji iznos električne energije koja se dobija pomoću dvoosno rotacione solarne elektrane od 1 kW sa solarnim modulima od monokristalnog silicijuma se kreće u granicama od 1280 kWh (Zvornik) do 1780 kWh (Trebinje), sa CdTe

solarnim modulima od 1410 kWh (Zvornik) do 1950 kWh (Trebinje) i sa CIS solarnim modulima od 1310 kWh (Zvornik) to 1820 kWh (Trebinje).

Eksperiment

Na osnovu rezultata eksperimentalnog određivanja energetske efikasnosti solarne elektrane od 2 kW na ANURS-u u Banjoj Luci od 04. aprila do 01. septembra 2013. godine može se zaključiti sledeće:

- eksperimentalne mesečne vrednosti energije Sunčevog zračenja koja pada na kvadratni metar horizontalne površine se kreću u granicama od 124,7 kWh/m² (april) do 189,7 kWh/m² (jul);
- eksperimentalno izmerena vrednost energije globalnog Sunčevog zračenja koje je u toku meseca dospelo na kvadratni metar solarnih modula na teritoriji Banja Luke u aprilu za 0,21% veća, u maju za 3,49% manja, u junu za 9,77% veća, u julu za 16,18% veća i u avgustu za 0,7% manja od teorijske vrednosti dobijene pomoću PVGIS programa;
- eksperimentalne vrednosti mesečnog iznosa električne energije koja se dobija pomoću solarne elektrane se kreće u granicama od 226,1 kWh (april) do 326,1 kWh (jul), dok se teorijske vrednosti kreću u granicama od 207 kWh (april) do 259 kWh (jul);
- teorijski iznos električne energije manji u odnosu na izmerene vrednosti električne energije koja se dobija pomoću solarne elektrane od 2 kW na ANURS-u u Banjoj Luci i to u aprilu je eksperimentalno dobijeno 9,23% više, u maju 6,2% više, u junu 13,17% više, u julu 25,9% više i u avgustu 17,89% više električne energije od iznosa koji se dobija pomoću PVGIS programa;
- eksperimentalna energetska efikasnost elektrane kreće u granicama 10,42 – 11,85%, dok se teorijska energetska efikasnost elektrane, kreće u granicama 9,98 – 10,54%. Pored toga, izračunato je da je eksperimentalno određena efikasnost solarne elektrane u aprilu za 9,01% veća, u maju za 10,01% veća, u junu za 3,07% veća, u julu za 8,36% veća i u avgustu za 18,74% veća od teorijski određene efikasnosti;
- sa povećanjem brzine vetra dolazi do povećanja eksperimentalne energetske efikasnosti solarne elektrane usled hlađenja solarnih modula;
- sa porastom temperature ambijenta dolazi do smanjenja energetske efikasnosti solarne elektrane. Sa porastom temperature ambijenta za 1°C eksperimentalna energetska efikasnost se smanjuje za 0,016%, a teorijska za 0,05%.

Cena izgradnje fiksne on-grid solarne elektrane u Republici Srpskoj iznosi 1,5 eur/Wp. U Republici Srpskoj doneti su zakonski propisi koji omogućavaju izgradnju i komercijalno korišćenje solarnih elektrana. U idealnom slučaju povraćaj uložениh sredstava za izgradnju solarne elektrane na ANURS-u u Banjoj Luci za 4,4 godine.

Do sada su u Republici Srpskoj instalirane dve solarne elektrane i to u Kozarskoj Dubici i druga na krovu Akademije nauka i umjetnosti Republike Srpske u Banjoj Luci.

Eksperimenti su pokazali da je od 01. aprila do 1. septembra 2013. godine izmerena vrednost energije Sunčevog zračenja koja je dospela na kvadratni metar solarnih modula u Banjoj Luci za 4,9% veća od vrednosti energije Sunčevog zračenja koja je dospela na kvadratni metar solarnih modula u Nišu. Takođe je eksperimentalno dobijeno da je od 01. aprila do 1. septembra 2013. godine ukupan iznos električne energije koja se dobija pomoću solarne elektrane od 2 kW na ANURS-u u Banjoj Luci za 5,4% veći od ukupnog iznosa električne energije koja se dobija pomoću solarne elektrane od 2 kW na PMF-u u Nišu. U tom periodu prosečna vrednost energetske efikasnosti solarnih elektrana na PMF-u u Nišu i ANURS-u u Banjoj Luci iznosi 9,24% i 11,194%, respektivno.

Solarne elektrane predstavljaju ekološki čist izvor električne energije. Za 1 kWh električne energije proizvedene pomoću solarne elektrane smanjuje se emisija za oko 0,568 kg CO₂ u atmosferu.

Dobijeni rezultati mogu da se koriste za projektovanje i izgradnju novih solarnih elektrana i dalji uspešan razvoj i primenu solarne energetike u Republici Srbiji i Republici Srpskoj.

PRILOG

**ZAKONSKA REGULATIVA U VEZI SA
KORIŠĆENJEM OBNOVLJIVIH IZVORA
ENERGIJE U REPUBLICI SRBIJI I
REPUBLICI SRPSKOJ**

4.1. Zakonska regulativa u vezi sa korišćenjem obnovljivih izvora energije u Republici Srbiji

Republika Srbija je do 2012. godine u vezi sa korišćenjem obnovljivih izvora energije usvojila sledeću pravnu regulativu:

- Zakon o energetici (Sl. glasnik RS, br. 84/2004.);
- Strategiju razvoja energetike Republike Srbije do 2015. godine (Sl. glasnik RS, br. 44/2005.);
- Program ostvarivanja strategije razvoja energetike Srbije od 2007-2012. godine (Sl. glasnik RS, br. 17/2007. i 73/2007.);
- Uredbu o uslovima za sticanje statusa povlašćenog proizvođača električne energije i kriterijumima za ocenu ispunjenosti tih uslova (Sl. glasnik RS, br. 72/2009.);
- Zakon o planiranju i izgradnji (Sl. glasnik RS, br. 72/2009. i 81/2009-ispr.);
- Uredbu o merama podsticaja za proizvodnju električne energije korišćenjem obnovljivih izvora energije i kombinovanom proizvodnjom električne i toplotne energije (Sl. glasnik RS, br. 99/2009.);
- Uredbu o izmenama i dopunama Uredbe o utvrđivanju Programa ostvarivanja Strategije razvoja energetike Republike Srbije do 2015. godine za period od 2007. do 2012. godine (Sl. glasnik RS, br. 99/2009);
- Zakon o energetici (Sl. glasnik RS, br. 27/2011. godine);
- Pravilnik o uslovima, sadržini i načinu izdavanja sertifikata o energetske svostvima zgrada (Sl. glasnik RS, br. 61/2011.godine);
- Pravilnik o energetske efikasnosti zgrada (Sl. glasnik RS, br. 61/2011.godine);
- Uredba o merama podsticaja za povlašćene proizvođače električne energije (Sl. Glasnik RS, br. 8/2013);
- Uredba o načinu obračuna i načinu raspodele prikupljenih sredstava po osnov naknade za podsticaj povlašćenih proizvođača električne energije (Sl. Glasnik RS, br. 8/2013);
- Uredba o uslovima i postupku sticanja statusa povlašćenog proizvođača električne energije (Sl. Glasnik RS, br. 8/2013);
- Uredba o visini posebne naknade za podsticaj u 2013. godini (Sl. Glasnik RS, br. 8/2013) i
- Međunarodne obaveze Republike Srbije u vezi OIE.

Zakon o energetici (Sl. glasnik RS, 84/2004)

Ovim zakonom uređeni su ciljevi energetske politike i način njenog ostvarivanja, način organizovanja i funkcionisanja tržišta energije, uslovi za uredno i kvalitetno snabdevanje kupaca energijom i uslovi za ostvarivanje bezbedne, pouzdane i efikasne proizvodnje energije, upravljanje sistemima prenosa, transporta i distribucije energije i način obezbeđivanja nesmetanog funkcionisanja i razvoja ovih sistema, uslovi i način obavljanja energetske delatnosti, uslovi za ostvarivanje energetske efikasnosti i zaštite životne sredine u obavljanju energetske delatnosti i nadzor nad sprovođenjem ovog zakona. Ovim zakonom osnovana je *Agencija za energetiku* i *Agencija za energetske efikasnost*.

U zakonu o energetici se pod pojmom obnovljivi izvori energije podrazumevaju izvori energije koji se nalaze u prirodi i obnavljaju se u celosti ili delimično, posebno energija vodotokova, vetra, neakumulirana Sunčeva energija, biomasa, geotermalna energija itd.

Strategija razvoja energetike Republike Srbije do 2015. godine (Sl. glasnik RS, 44/2005)

Strategija razvoja energetike Republike Srbije do 2015. godine, sačinjena je sa namerom da preporuči Vladi/Skupštini Republike Srbije da saglasno *Zakonu o energetici* usvoji osnovne ciljeve nove energetske politike, utvrdi prioritetne pravce razvoja u energetskim sektorima i odobri program donošenja odgovarajućih instrumenata, kojima se omogućuje realizacija ključnih prioriteta u radu, poslovanju i razvoju celine energetskog sistema Srbije. Osnovna premisa pri izboru ciljeva, utvrđivanju prioriteta i odgovarajućih instrumenata, zasnovana je na političkom opredeljenju zemlje za racionalno usklađivanje razvoja celine energetike sa privredno-ekonomskim razvojem zemlje i njenom uključivanju u evropske integracije. Radi ostvarivanja promovisanih ciljeva energetske politike i realizacije prioriteta strategije, ovim dokumentom se predlaže i dinamika donošenja odgovarajućih instrumenata, kako bi sve ukupne promene u energetskim delatnostima bile ostvarene u saglasnosti sa odgovarajućim političkim, socio-ekonomskim, energetskim i ekološkim opredeljenjima zemlje.

U tom kontekstu u *prvom odeljku* obrazloženo je stanje potrošnje energije, proizvodnih mogućnosti energetskih sektora i raspoloživost resursa energije u Srbiji. U *drugom odeljku*, detaljno su obrazloženi osnovni elementi energetske Politike/Strategije razvoja energetike do 2015. godine sa detaljnim prikazom osnovnih ciljeva Strategije i instrumenata za njihovo ostvarivanje u okviru realizacije odabranih (saglasno specifičnim ciljevima) prioriteta. U *trećem odeljku* obrazložene su makro-ekonomske pretpostavke i metodologija za utvrđivanje energetske potreba za dva scenarija ekonomskog i industrijskog razvoja. Projekcije finalne energije utvrđene su po sektorima i prema strukturi energenata, a ukupna/primarna energija na bazi balansa- potrebe, domaća proizvodnja i uvoz. U *četvrtom odeljku*, u okviru pet Prioriteta, obrazloženi su programi, mere i potrebna ulaganja sa procenom pozitivnih efekata na povećanje proizvodnje/smanjenje potrošnje. U *petom odeljku* dat je prikaz ekonomskog stanja energetskih sektora i obrazložena je potreba usaglašavanja cene toplotne i električne energije sa proizvodnim troškovima i neophodnim izdvajanjima sredstava za ulaganja u investiciono održavanje i gradnju novih izvora, sa obimom i strukturom finansijskih sredstava, po sektorima i programima odgovarajućih prioriteta. U *šestom odeljku* predložen je model praćenja realizacije Strategije i analize uticajnih faktora na izvesnost ostvarivanja ciljeva, posebno u pogledu sigurnosti i redovnosti snabdevanja potrošača neophodnim energentima i obrazložena potreba kontinualnog ažuriranja prioriteta programa i inoviranja instrumenata za njihovu realizaciju.

U Strategiji je u okviru kategorije *Obnovljivi izvori energije* (biomasa, hidropotencijali malih vodnih tokova, geotermalna energija i energije vetra i Sunčevog zračenja) istaknuto da u Srbiji postoje posebne pogodnosti i potrebe za njihovo organizovano korišćenje u tzv. decentralizovanoj proizvodnji toplotne (sagorevanjem biomase i "sakupljanjem" Sunčevog zračenja) i električne energije (izgradnjom mini hidroelektrana, snage do 10 MW i vetrogeneratora, snage do 1 MW), za zadovoljenje potreba lokalnih potrošača kao i isporuke viškova električne energije lokalnoj mreži u okviru elektroenergetskog sistema Srbije. Energetski potencijal navedenih obnovljivih izvora energije u Srbiji je veoma značajan i iznosi preko 3 M ten. godišnje (sa potencijalom malih hidroelektrana, od oko 0,4 M t.en). Oko 80% ukupnog potencijala nalazi se u iskorišćenju biomase, od čega oko 1,0 M ten, čini potencijal drvene biomase (seča drveta i otpaci drvene mase pri njenoj primarnoj i/ili industrijskoj preradi), a više od 1,5 M ten. čini poljoprivredna biomasa (ostaci poljoprivrednih i ratarskih kultura, uključujući i tečni stajnjak). Energetski potencijal

postojećih geotermalnih izvora u Srbiji iznosi blizu 0,2 M ten na teritoriji Vojvodine, Posavine, Mačve, Podunavlja i šireg područja centralne Srbije kao i u postojećim banjama.

Nesistematičnost u istražnim i pripremnim radovima za korišćenje geotermalnih izvora i odsustvo podsticaja za organizovano korišćenje ovog izvora energije su osnovni razlog simboličnog iskorišćenja energije tople vode iz stotinak postojećih bušotina, relativno niske temperature (retko preko 60°C), toplotne snage ispod 160 MJ/s, iako dosadašnja istraživanja ukazuju na to da je stvarni potencijal geotermalnih izvora pet puta veći od ostvarenog. Iako je na većini teritorije Srbije broj sunčanih dana znatno veći nego u mnogim evropskim zemljama (preko 2000 časova), zbog visokih troškova prijemnika Sunčevog zračenja i prateće opreme, intenzivnije korišćenje ovog i drugih obnovljivih izvora energije zavisice prevashodno od društvenog podsticaja za zasnivanje i sprovođenje nacionalnog Programa obnovljivih izvora energije.

Program ostvarivanja Strategije razvoja energetike Srbije od 2007-2012. godine (Sl. glasnik RS, br. 17/2007 i 73/2007)

Programom ostvarivanja Strategije razvoja energetike Srbije utvrđeni su uslovi, način i dinamika ostvarivanja Strategije razvoja energetike Republike Srbije za sve oblasti energetskog sektora, i to za: rudnike sa površinskom i podzemnom eksploatacijom uglja; naftnu privredu; transport nafte; gasnu privredu; sektor elektroenergetike; gradske toplane i individualne kotlarnice; industrijsku energetiku; energetsku efikasnost; obnovljive izvore energije i zaštitu životne sredine u energetici.

Finansijska sredstva za navedene projekte u ovom Programu su procenjena, a deo finansijskih sredstava čiji je izvor finansiranja Republika Srbija usklađivaće se sa mogućnostima budžeta Republike Srbije, s obzirom na to da se sredstva planiraju za svaku kalendarsku godinu Zakonom o budžetu.

Realizacijom ovog Programa, Republika Srbija će i praktično osnažiti poziciju regionalnog energetskog lidera i približiti se međunarodnim standardima u oblasti energetike. Energetska politika koju sprovodi Ministarstvo rudarstva i energetike usmerena je na povećanje sigurnog, kvalitetnog i pouzdanog snabdevanja energijom i energentima, obezbeđivanje razvoja energetske infrastrukture i uvođenja savremenih tehnologija, obezbeđivanje uslova za unapređenje energetske efikasnosti, stvaranje uslova za stimulisanje korišćenja obnovljivih izvora energije i unapređenje zaštite životne sredine. U izradi ovog Programa učestvovalo je 15 ekspertskih timova sastavljenih od 80 domaćih naučnih i stručnih eksperata iz nastavno-obrazovnih, naučnoistraživačkih i energetskih institucija Srbije.

U Programu je istaknuto da je s obzirom na starost i stanje opreme na hidroelektranama neophodno nastaviti pripremu i realizaciju njihove modernizacije i revitalizacije. Čak 60% instalisane snage hidroelektrana u Republici Srbiji ima prosečnu starost od 40 godina a neke su starije i od 50 godina. Radni vek ove opreme je pri kraju i kada su u pitanju postojeći kapaciteti, prioritet mora biti modernizacija i revitalizacija.

Uredba o uslovima za sticanje statusa povlašćenog proizvođača električne energije i kriterijumima za ocenu ispunjenosti tih uslova (Sl. glasnik RS, 72/2009)

Ovom Uredbom bliže su propisani uslovi za sticanje statusa povlašćenog proizvođača električne energije i kriterijumi za ocenu ispunjenosti tih uslova. Po ovoj Uredbi status povlašćenog proizvođača električne energije mogu da steknu proizvođači koji u procesu proizvodnje električne energije koriste obnovljive izvore energije ili separisanu frakciju komunalnog otpada; proizvode električnu energiju u elektranama, koje se u smislu zakona kojim se uređuje oblast energetike smatraju malim elektranama i istovremeno proizvode

električnu i toplotnu energiju pod uslovom da ispunjavaju kriterijume u pogledu energetske efikasnosti.

Obnovljivi izvori energije, u smislu ove Uredbe, jesu izvori energije koji se nalaze u prirodi i obnavljaju se u celosti ili delimično, posebno energija vodotokova, vetra, neakumulirana sunčeva energija, biomasa, geotermalna energija, biogoriva, biogas, sintetički gas, deponijski gas, gas iz postrojenja za tretman kanalizacionih voda i otpadnih voda iz prehrambene i drveno-prerađivačke industrije koje ne sadrže opasne materije itd.

Pravno lice ili preduzetnik može steći status povlašćenog proizvođača za hidroelektranu; elektranu koja u procesu proizvodnje koristi biomasu ili biomasu u kombinaciji sa nekim dopunskim fosilnim gorivom ili otpadom, ukoliko energetska vrednost korišćene biomase na godišnjem nivou čini najmanje 80 % ukupne primarne energije; elektranu koja električnu energiju proizvodi koristeći obnovljive izvore energije, osim biomase, ukoliko u procesu proizvodnje energetska vrednost korišćenih obnovljivih izvora energije na godišnjem nivou čini najmanje 90% ukupne primarne energije, dopunska goriva koja mogu biti neka od fosilnih goriva ili otpad; elektranu koja električnu energiju proizvodi koristeći otpad ili otpad u kombinaciji sa nekim fosilnim gorivom ili obnovljivim izvorom energije, ukoliko energetska vrednost korišćenog otpada na godišnjem nivou čini najmanje 80% ukupne primarne energije; elektranu za kombinovanu proizvodnju koja koristi fosilna goriva ili fosilna goriva u kombinaciji sa nekim obnovljivim izvorom energije ili otpadom, ukoliko ostvari ukupni godišnji stepen korisnosti veći od odgovarajuće vrednosti minimalnog ukupnog godišnjeg stepena korisnosti elektrane za kombinovanu proizvodnju, navedenih u tabeli 8.1.

Tab. 4.1. Minimalni ukupni godišnji stepen korisnosti elektrane za kombinovanu proizvodnju

Instalisana snaga (MWe)	Udeo fosilnog goriva u energetske vrednosti utrošenog goriva (%)			
	(20-40%)	(40-60%)	(60-80%)	(80-100%)
< 1	45%	50%	55%	60%
1-10	55%	60%	65%	70%

Zakon o planiranju i izgradnji (Sl. glasnik RS, br. 72/2009 i 81/2009-ispr.)

U Zakonu o planiranju i izgradnji (Sl. glasnik RS, br. 72/2009) pod pojmom *energetska svojstva objekta* podrazumeva se stvarno potrošena ili ocenjena količina energije koja zadovoljava različite potrebe koje su u vezi sa standardizovanim korišćenjem objekta (što uključuje grejanje, pripremu tople vode, hlađenje, ventilaciju i osvetljenje). U delu pod nazivom *Unapređenje energetske efikasnosti* razmatrana su energetska svojstva objekata. U vezi sa tim je istaknuto da se objekti visokogradnje u zavisnosti od vrste i namene moraju projektovati, izgraditi, koristiti i održavati na način kojim se obezbeđuju propisana energetska svojstva. Propisana energetska svojstva utvrđuju se izdavanjem sertifikata o energetskim svojstvima objekta koji izdaje ovlašćena organizacija koja ispunjava propisane uslove za izdavanje sertifikata o energetskim svojstvima objekta. Sertifikat o energetskim svojstvima objekta čini sastavni deo tehničke dokumentacije koja se prilaže uz zahtev za izdavanje upotrebne dozvole.

Uredba o merama podsticaja za proizvodnju električne energije korišćenjem obnovljivih izvora energije i kombinovanom proizvodnjom električne i toplotne energije (Sl. glasnik 99/2009)

Ovom Uredbom bliže se propisuju mere podsticaja za proizvodnju električne energije korišćenjem obnovljivih izvora energije i za otkup te energije, definišu energetske objekti koji proizvode električnu energiju iz obnovljivih izvora, uređuje sadržina ugovora o otkupu električne energije po merama podsticaja, kao i naknada troškova kupcu tako proizvedene energije.

Mere podsticaja obuhvataju otkupne cene određene ovom Uredbom prema vrsti elektrane u kojoj se proizvodi električna energija korišćenjem obnovljivih izvora energije i prema instalisanoj snazi. Na osnovu Uredbe, otkupne cene izražene u evrocentima po kilovat-času (c€/kWh) date su u tabeli 8.2.

Tab. 4.2. Otkupne cene izražene u evrocentima po kilovat-času (c€/kWh)

Redni broj	Vrsta elektrane	Instalisana snaga (MW)	Mera podsticaja – otkupna cena (c€/kWh)
1.	Hidroelektrane		
1.1		do 0,5 MW	9,7
1.2		od 0,5 MW do 2 MW	10,316 – 1,233*P
1.3		od 2 MW do 10 MW	7,85
1.4	na postojećoj infrastrukturi	do 2 MW	7,35
1.5	na postojećoj infrastrukturi	od 2 MW do 10 MW	5,9
2.	Elektrane na biomasu		
2.1		do 0,5 MW	13,6
2.2		od 0,5 MW do 5 MW	13,845 – 0,489*P
2.3		od 5 MW do 10 MW	11,4
3.	Elektrane na biogas		
3.1		do 0,2 MW	16,0
3.2		od 0,2 MW do 2 MW	16,444 – 2,222*P
3.3		preko 2 MW	12,0
4.	Elektrane na deponijski gas i gas iz postrojenja za tretman komunalnih otpadnih voda		6,7
5.	Elektrane na vetar		9,5
6.	Elektrane na energiju Sunčevog zračenja		23
7.	Elektrane na geotermalnu energiju		7,5
8.	Elektrane sa kombinovanom proizvodnjom na fosilna goriva		
8.1		do 0,2 MW	$C_0 = 10,4$
8.2		od 0,2 MW do 2 MW	$C_0 = 10,667 - 1,333*P$
8.3		od 2 MW do 10 MW	$C_0 = 8,2$
8.4	na postojećoj infrastrukturi	do 10 MW	$C_0 = 7,6$

9. Elektrane na otpad		
9.1	do 1 MW	9,2
9.2	od 1 MW do 10 MW	8,5
Korekcija otkupne cene za elektrane sa kombinovanom proizvodnjom na prirodni gas	$C = C_o * (0,7 * G / 27,83 + 0,3)$, C – nova otkupna cena električne energije, C _o – referentna otkupna cena određena na osnovu cene prirodnog gasa za prodaju energetskim subjektima za trgovinu na malo prirodnim gasom za potrebe tarifnih kupaca koja ne uključuje troškove korišćenja transportnog sistema za prirodni gas kod Javnog preduzeća „Srbijagas” Novi Sad po tarifnom stavu „energent” od 27,83 din/m ³ , G (din/m ³) – nova cena prirodnog gasa za prodaju energetskim subjektima za trgovinu na malo prirodnim gasom za potrebe tarifnih kupaca koja ne uključuje troškove korišćenja transportnog sistema za prirodni gas kod Javnog preduzeća „Srbijagas” Novi Sad po tarifnom stavu „energent”, P- instalisana snaga u MW.	

Prava na mere podsticaja utvrđene ovom Uredbom za električnu energiju proizvedenu u elektranama koje koriste neakumuliranu Sunčevu energiju ograničava se na ukupno instalisanu snagu u tim elektranama do 5 MW.

Prava na mere podsticaja utvrđene ovom Uredbom za električnu energiju proizvedenu u elektranama koje koriste vetar ograničava se na ukupno instalisanu snagu u tim elektranama do 450 MW.

Povlašćeni proizvođač ima pravo na mere podsticaja koje važe u trenutku podnošenja zahteva za sticanje ili obnovu statusa povlašćenog proizvođača.

Priključivanje solarnih elektrana ili malih elektrana instaliranih na privatnim kućama za gradsku mrežu regulisano je propisima EPS-a Republike Srbije.

Uredba o izmenama i dopunama Uredbe o utvrđivanju Programa ostvarivanja Strategije razvoja energetike Republike Srbije do 2015. godine za period od 2007. do 2012. godine (Sl. glasnik 99/2009)

U ovoj Uredbi se pod pojmom obnovljivi izvori energije (OIE) podrazumevaju izvori energije koji se nalaze u prirodi i obnavljaju se u celosti ili delimično, posebno energija vodotokova, vetra, neakumulirana Sunčeva energija, biomasa, geotermalna energija i dr. Korišćenje ovih izvora doprinosi efikasnijem korišćenju sopstvenih potencijala u proizvodnji energije, smanjenju emisije „gasova staklene bašte”, smanjenju uvoza fosilnih goriva, razvoju lokalne industrije i otvaranju novih radnih mesta.

U Uredbi je dat energetski potencijal obnovljivih izvora energije u Republici Srbiji koji se odnosi na biomasu, biogas, biogoriva, male hidroelektrane, geotermalnu energiju, energiju vetra i energiju Sunčevog zračenja. Pored ovoga, dati su postojeći strateški okviri za korišćenje obnovljivih izvora energije u Republici Srbiji i međunarodne obaveze Republike Srbije u pogledu OIE. U vezi sa tim, dati su podaci o Međunarodnoj agenciji za obnovljive izvore energije IRENA (International Renewable Energy Agency), novo Uputstvo Evropske unije o obnovljivoj energiji (2009/28/EC), postojeći pravni okviri u Srbiji, mere podsticaja i iskustva drugih zemalja, postojeća infrastruktura u oblasti OIE, stanje i mogućnosti domaće proizvodnje i istraživanja, transfer tehnologija itd. Pored ovoga, u Uredbi su navedene prepreke za povećano korišćenje obnovljivih izvora energije u Republici Srbiji.

U Uredbi su dati ciljevi i očekivani rezultati programa u oblasti OIE, planirani projekti, akcioni plan za realizaciju programa u oblasti OIE, stimulisanje korišćenja obnovljivih izvora energije i efikasnih tehnologija za proizvodnju električne energije i sprovođenje i praćenje realizacije programa u oblasti OIE.

Zakon o energetici (Sl. glasnik, 27/2011)

U Zakonu o energetici koji je donet 2011. godine dati su nacionalni ciljevi i plan korišćenja obnovljivih izvora energije, definisani su povlašćeni proizvođači električne i toplotne energije i podsticajne mere za korišćenje obnovljivih izvora za proizvodnju električne energije. U Zakonu je jasno istaknuto da je korišćenje energije iz obnovljivih izvora u interesu Republike Srbije i definisani su uslovi za sticanje statusa povlašćenog proizvođača električne i toplotne energije.

Po ovom Zakonu, podsticajne mere za korišćenje obnovljivih izvora za proizvodnju električne energije obuhvataju obavezu otkupa električne energije od povlašćenog proizvođača, cene po kojima se ta energija otkupljuje i period važenja obaveze otkupa električne energije.

Pravilnik o uslovima, sadržini i načinu izdavanja sertifikata o energetske svojstvima zgrada (Sl. glasnik, 61/2011)

Ovim Pravilnikom bliže se propisuju uslovi, sadržina i način izdavanja sertifikata o energetske svojstvima zgrada. Sertifikat je dokument koji sadrži izračunate vrednosti potrošnje energije u okviru određene kategorije zgrada, energetske razred i preporuke za poboljšanje energetske svojstava zgrade (energetski pasoš).

Energetski razred zgrade je pokazatelj energetske svojstava zgrade, iskazan preko relativne vrednosti godišnje potrošnje finalne energije za grejanje (%) i predstavlja procentualni odnos specifične godišnje potrebne toplote za grejanje $Q_{H,nd}$ (kWh/m²a) i maksimalno dozvoljene $Q_{H,nd,max}$ (kWh/m²a) za određenu kategoriju zgrada. U vezi sa ovim, u pravilniku su date tabele za energetske pasoše za stambene i nestambene zgrade i za ostale zgrade koje koriste energiju.

Pravilnik o energetske efikasnosti zgrada (Sl. glasnik, 61/2011)

Ovim Pravilnikom bliže se propisuju energetske svojstva i način izračunavanja toplotnih svojstava objekata visokogradnje, kao i energetske zahtevi za nove i postojeće objekte. Odredbe ovog Pravilnika ne primenjuju se na: zgrade za koje se ne izdaje građevinska dozvola; zgrade koje se grade na osnovu privremene građevinske dozvole, kao i zgrade koje se grade na osnovu građevinske dozvole za pripreme radove; radionice, proizvodne hale, industrijske zgrade koje se ne greju i ne klimatizuju; zgrade koje se povremeno koriste tokom zimske i letnje sezone.

Kod obezbeđivanja efikasnog korišćenja energije u zgradama uzima se u obzir vek trajanja zgrade, klimatski uslovi lokacije, položaj i orijentacija zgrade, njena namena, uslovi komfora, materijali i elementi strukture zgrade i omotača, ugrađeni tehnički sistemi i uređaji, kao i izvori energije i kogeneracija i mogućnost za korišćenje obnovljivih izvora energije.

Bela knjiga Elektroprivrede Srbije (2011)

U prvom delu *Bele knjige Elektroprivrede Srbije* date su osnovne informacije o konstitutivnim elementima i aktivnostima Elektroprivrede Srbije.

U delu koji se odnosi na Zakonodavstvo date su informacije o Zakonodavstvu Evropske unije i aspektima primene politike Evropske unije u oblasti obnovljivih izvora enerije. U tom delu posebna pažnja posvećena je mapi puta Evropske unije za strategiju smanjenja emisije CO₂ do 2050. godine; mapa puta za obnovljivu energiju i direktive EU koje se odnose na obnovljive izvore energije. U daljem je pažnja posvećena zakonskim okvirima za korišćenje obnovljivih izvora energije u Republici Srbiji.

U narednom poglavlju pažnja je posvećena energetskej efikasnosti u EPS-u, obnovljivim izvorima energije (vetroelektrane, solarna energija, male elektrane, od otpada do energije i biomase, velike hidroelektrane, podsticaj investicija u oblasti obnovljivih izvora energije, itd.).

U delu pod nazivom *Aneksi* data je direktiva 2009/28/EK, presek stanja, energija 2020, izveštaj o napretku u oblasti obnovljive energije, komentar Sistema za trgovinu emisijama Evropske unije, zakonski okvir: od otpada do energije i englesko-srpski rečnik terminologije u oblasti alternativne energije.

Uredba o merama podsticaja za povlašćene proizvođače električne energije (Sl. Glasnik RS, br.8/2013)

Ovom uredbom bliže se definišu kategorije povlašćenih proizvođača električne energije, propisuju mere podsticaja, uslovi za njihovo ostvarivanje, način određivanja podsticajnog perioda, prava i obaveze koje iz tih mera proizilaze za povlašćene proizvođače i druge energetske subjekte i uređuje sadržina ugovora i predugovora o otkupu električne energije za povlašćenog proizvođača.

U sledećoj tabeli date su podsticajne otkupne cene za proizvođače električne energije iz obnovljivih izvora energije.

Tab. 4.3. Podsticajne otkupne cene za proizvođače električne energije iz obnovljivih izvora energije

Red.br.	Vrsta elektrane povlašćenog proizvođača	Instalisana snaga P (MW)	Podsticajne otkupne cene
1.	Hidroelektrana		
1.1.		do 0,2	12,40
1.2.		0,2-0,5	13,727-6,633*P
1.3.		0,5-1	10,41
1.4.		1-10	10,747-0,337*P
1.5.		10-30	7,38
1.6.	Na postojećoj infrastrukturi	do 30	5,9
2.	Elektrane na biomasu		
2.1.		do 1	13,26
2.2.		1-10	13,82-0,56*P
2.3.		preko 10	8,22
3.	Elektrane na biogas		
3.1.		do 0,2	15,66
3.2.		0,2-1	16,498-4,188*P
3.3.		preko 1	12,31
3.4.	na biogas životinjskog porekla	-	12,31
4.	Elektrane na deponijski gas i gas iz postrojenja za tretman komunalnih otpadnih voda	-	6,91
5.	Elektrane na vetar	-	9,20

6.	Solarne elektrane		
6.1.		na objektu do 0,03	20,66
6.2.		na objektu od 0,03-0,5	20,941-9,383*P
6.3.		na zemlji	16,25
7.	Geotermalne elektrane		
7.1.		do 1	9,67
7.2.		1-5	10,358-0,688*P
7.3.		preko 5	6,92
8.	Elektrane na otpad	-	8,57
9.	Elektrane sa kombinovanom proizvodnjom na ugalj	do 10	8,04
10.	Elektrane sa kombinovanom proizvodnjom na prirodni gas	do 10	8,89

Podsticajne otkupne cene iz člana 13. ove uredbe izražene su u evrocentima po kilovat satu (c€/kWh) i zaokružuju se na dve decimale.

Redovna godišnja korekcija podsticajnih otkupnih cena zbog inflacije u evro zoni vrši se u februaru svake godine, počevši od 2014. godine, na sledeći način:

$$C_1 = C_0 * (1 + p_{inf}/100)$$

gde je C_1 – nova podsticajna otkupna cena električne energije, C_0 – stara podsticajna otkupna cena i p_{inf} - godišnja inflacije u evro zoni objavljena od strane nadležne institucije Evropske unije i izražena u %.

Godišnja inflacije u evro zoni iz stava 2. ovog člana, na zahtev javnog snabdevača utvrđuje ministarstvo nadležno za poslove finansija.

Uredba o načinu obračuna i načinu raspodele prikupljenih sredstava po osnovu naknade za podsticaj povlašćenih proizvođača električne energije (Sl. Glasnik RS, br.8/2013)

Ovom uredbom propisuje se način obračuna, način naplate, odnosno plaćanja i prikupljanja sredstava po osnovu naknade, kao i način raspodele prikupljenih sredstava po osnovu naknade za podsticaj povlašćenih proizvođača električne energije.

Ukupni iznos naknade za podsticaj, koju plaća krajnji potrošač, obračunava se tako što se visina naknade, koja se svake godine utvrđuje posebnim aktom Vlade, množi sa količinom izmerene potrošnje aktivne električne energije potrošača u obračunskom periodu izražene u kWh.

Uredba o uslovima i postupku sticanja statusa povlašćenog proizvođača električne energije (Sl. Glasnik RS, br.8/2013)

Ovom uredbom se bliže propisuju uslovi i postupak sticanja statusa povlašćenog proizvođača električne energije, sadržina zahteva za sticanje statusa povlašćenog proizvođača električne energije, dokazi o ispunjavanju uslova za sticanje statusa povlašćenog proizvođača električne energije, minimalni stepen iskorišćenja primarne energije u elektranama sa kombinovanom proizvodnjom u zavisnosti od vrste osnovnog goriva i instalisane snage, maksimalna ukupna instalisana snaga vetroelektrana i solarnih elektrana za koje se može steći

povlašćen, odnosno privremeni povlašćeni status proizvođača električne energije, obaveze povlašćenog proizvođača i način kontrole ispunjavanja propisanih obaveza, kao i sadržina i način vođenja Registra povlašćenih proizvođača električne energije.

Maksimalna ukupna instalisana snaga elektrana za koju se može steći status povlašćenog proizvođača, odnosno privremeni status povlašćenog proizvođača ograničava se na 10 MW i to na sledeći način:

- 2 MW u elektranama na energiju Sunčevog zračenja na objektima pojedinačne snage do 30 kW,
- 2 MW u elektranama na energiju Sunčevog zračenja na objektima pojedinačne snage od 30 do 500 kW i
- 6 MW u elektranama na energiju Sunčevog zračenja na zemlji.

Zbog dinamične promene investicionih troškova kod solarnih elektrana, maksimalna ukupna instalisana snaga elektrana iz stava 1. se utvrđuje jednom godišnje.

Uredba o visini posebne naknade za podsticaj u 2013. godini.

Po ovoj uredbi visina posebne naknade za podsticaj u 2013. godini iznosi 0,44 din/kWh koju u skladu sa zakonom, plaćaju krajnji kupci uz račun za pristup prenosnom, odnosno distributivnom sistemu i posebno se iskazuje.

Međunarodne obaveze Republike Srbije u vezi OIE

Republika Srbija postala je 26. januara 2009. godine članica i osnivač Međunarodne agencije za obnovljivu energiju (*IRENA-International Renewable Energy Agency*) kao prve međunarodne (međuvladine) organizacije koja se fokusira isključivo na obnovljivu energiju. Ova Agencija ima za zadatak da pruža konkretne savetodavne usluge vladama industrijalizovanih i zemalja u razvoju-vezanih za politiku korišćenja obnovljivih izvora energije; da vrši transfer tehnologija i savetodavnih usluga u vezi sa finansiranjem projekata i da da doprinos izgradnji i podizanju kapaciteta zemalja članica u oblasti korišćenja obnovljivih izvora energije.

Ovim ugovorom utvrđeno je da je svaka ugovorna strana dužna da u roku od godinu dana od dana stupanja na snagu tog ugovora podnese Evropskoj komisiji plan za implementaciju Uputstva 2001/77/ES Evropskog Parlamenta i Saveta od 27. septembra 2001. godine za promociju električne energije proizvedene iz obnovljivih izvora energije i Uputstva 2003/30/ES Evropskog Parlamenta i Saveta od 08. maja 2003. godine za promociju upotrebe biogoriva ili drugog goriva proizvedenog iz obnovljivih izvora za transport.

Uputstvo 2001/77/ES definiše obnovljive izvore energije, predviđa ustanovljenje nacionalnih indikativnih ciljeva za potrošnju električne energije proizvedene iz obnovljivih izvora energije i definiše program mera za njihovo dostizanje koji se revidiraju svakih pet godina.

Uputstvo 2003/30/ES definiše biogoriva i nameće obaveze državama da na tržište stave određenu količinu ovih goriva.

Septembra 2008. godine, Evropski parlament je usvojio paket propisa o klimatskim promenama koji ima za cilj: da obezbedi smanjenje emisije gasova sa efektom staklene bašte od 20%, unapređenje energetske efikasnosti od 20% i učešće obnovljive energije od 20% u ukupnoj potrošnji energije u EU do 2020. godine, posmatrano u odnosu na 1990.

Novo Uputstvo o obnovljivoj energiji 2009/28/ES postavlja obavezujuće nacionalne ciljeve koje članice Evropske unije treba da dostignu kroz promociju obnovljive energije u

sektorima električne energije, grejanja i hlađenja i u sektoru transporta, kako bi se obezbedilo da do 2020. godine obnovljiva energija čini bar 20% ukupne potrošnje energije u Evropskoj uniji. Uputstvo takođe predviđa da će do 2020. godine korišćenje obnovljive energije u transportu (biogoriva, električna energija i vodonik proizveden iz obnovljivih izvora) iznositi najmanje 10 % ukupne potrošnje goriva u Evropskoj uniji.

Mere podsticaja i iskustva drugih zemalja u korišćenju obnovljivih izvora energije

U većini razvijenih zemalja zakonom je regulisana mogućnost proizvodnje i prodaje toplotne i električne energije iz obnovljivih izvora energije.

Pošto je proizvodnja električne energije iz obnovljivih izvora u najvećem broju slučajeva skuplja od proizvodnje energije iz fosilnih goriva uz primenu klasičnih tehnologija, uvedeni su tzv. *sistemi podrške* tj. finansijske i nefinansijske mere podsticaja za investiranje u izgradnju postrojenja koja koriste obnovljive izvore energije.

Najčešće primenjivana finansijska podsticajna mera je uvećana cena otkupa proizvedene električne energije, koja se sprovodi uglavnom primenjujući dva modela. Prvi model je zasnovan na određenoj količini električne energije proizvedene iz obnovljivih izvora energije, tzv. *zelene energije*, koja će biti otkupljena tokom godine (*Quota System*). Drugi model se sastoji u primeni definisanih otkupnih cena za isporučenu električnu energiju proizvedenu iz obnovljivih izvora energije (*Feed-in tariff*). U većini evropskih zemalja se primenjuje model definisanih otkupnih cena (*Feed-in tariff*).

Pored finansijskih mera, države često usvajaju i dodatne mere podsticanja proizvodnje električne energije iz obnovljivih izvora energije kroz umanjeње ili oslobađanje od poreza, učešće u investicionim ulaganjima-za odabrane tehnologije, koje predstavljaju strateški pravac zemlje.

Podsticanje proizvodnje toplotne energije iz obnovljivih izvora energije se za sada uglavnom obavlja kroz finansijsku podršku investicionim ulaganjima (u početnoj fazi) i kroz oslobađanje od poreza (u razvijenijim fazama primene podsticaja).

Jedna od značajnih karakteristika podsticajnih mera za povećano korišćenje obnovljivih izvora energije je selektivno podsticanje razvoja izabranih tehnologija. Pored finansiranja istraživačko-razvojnih projekata finansira se i izgradnja demonstracionih projekata. Osnovni kriterijumi za selekciju obnovljivih izvora energije i tehnologija koje će se podsticati su raspoloživ energetski potencijal, mogućnosti sopstvene privrede i stepen međunarodnog razvoja tehnologija i tržišta [1-11].

4.2. Zakonska regulativa u vezi sa korišćenjem obnovljivih izvora energije u Republici Srpskoj

Republika Srpska je u vezi sa korišćenjem obnovljivih izvora energije usvojila sledeću pravnu regulativu:

- Odluka o metodologiji utvrđivanja nivoa otkupnih cena električne energije iz obnovljivih izvora instalisane snage do 5 MW (Službeni glasnik Republike Srpske br.71/2004),
- Zakon o energetici (Službeni glasnik Republike Srpske br. 49/2009),
- Strategija razvoja energetike Republike Srpske do 2030. godine (usvojena na sednici Narodne skupštine Republike Srpske 14.3.2012. godine).

Odluka o metodologiji utvrđivanja nivoa otkupnih cena električne energije iz obnovljivih izvora instalisane snage do 5 MW (Službeni glasnik Republike Srpske br.71/2004)

Ovom odlukom definisana je metodologija utvrđivanja nivoa otkupnih cena i određeni su uslovi preuzimanja električne energije iz obnovljivih izvora instalisane snage do 5 MW u elektroenergetskom sistemu na teritoriji Republike Srpske, koju preuzima “*Elektroprivreda*” Republike Srpske od proizvođača električne energije iz obnovljivih izvora.

U skladu sa ovom odlukom, utvrđivanje nivoa otkupne cene električne energije iz obnovljivih izvora instalisane snage do 5 MW, vršiće se primenom korektivnih koeficijenata na iznos važećeg tarifnog stava za aktivnu energiju, viši sezonski i veći dnevni, za kategoriju potrošnje na 10(20) KW napona iz Tarifnog sistema za prodaju električne energije na teritoriji Republike Srpske (Sl. Glasnik Republike Srpske, br.23/94).

U skladu sa prethodnim stavom utvrđuju se relativni iznosi koeficijenata korekcije za:

- male hidroelektrane 0,80;
- elektrane na biogaz sa deponija smeća i biomase 0,77;
- elektrane na vetar i geotermalne izvore 1,00;
- elektrane na Sunčevu energiju 1,10.

Nivoi cena otkupa električne energije mogu se korigovati u granicama do +10%, u slučaju kada se izgradnjom elektrane iz obnovljivih izvora energije, instalisane snage do 5 MW, doprinosi smanjenju troškova razvoja i izgradnje elektrodistributivne mreže u Republici Srpskoj.

U skladu sa ovom odlukom Elektroprivreda Republike Srpske preuzimaće i dalje prodavati električnu energiju proizvedenu iz obnovljivih izvora energije.

U Republici Srpskoj se u 2013. godini proizvođaču električne energije iz PV elektrane Elektrodistribucija plaća za 1 kWh električne energije:

- 0,57 KM, instalisane snage PV elektrane do 50 kWp,
- 0,49 KM, instalisane snage PV elektrane od 50 do 500 kWp i
- 0,41 KM, instalisane snage PV elektrane preko 500 kWp.

Zakon o energetici (Službeni glasnik Republike Srpske br. 49/2009)

Ovim zakonom uređuju se osnovi energetske politike Republike Srpske, donošenje strategije razvoja energetike, planova, programa i drugih akata za njeno sprovođenje, osnovna pitanja regulisanja i obavljanje energetske delatnosti, korišćenje obnovljivih izvora energije i uslovi za ostvarivanje energetske efikasnosti.

Cilj ovog zakona je da zajedno sa drugim zakonima kojima se uređuje obavljanje energetske delatnosti obezbedi pravne pretpostavke za sigurno i kvalitetno snabdevanje kupaca energijom po načelima konkurentnog energetskeg tržišta i održivog razvoja, uz efikasno korišćenje energije i zaštitu životne sredine. U zakonu se pod obnovljivim izvorima energije podrazumevaju nefosilni izvori energije koji su sačuvani u prirodi i obnavljaju se u celosti ili delimično, kao što je energija vodotokova, energija vetra, Sunčeva energija, biomasa, biogorivo, gas iz deponija, gas iz postrojenja za preradu otpadnih voda, biogasa, geotermalna energija, itd.

Energetska politika i planiranje razvoja energetike Republike Srpske sprovodi se Strategijom razvoja energetike Republike Srpske (u daljem tekstu: Strategija razvoja energetike). Strategijom razvoja energetike definišu se dugoročni ciljevi razvoja pojedinih energetske delatnosti, prioriteta razvoja, utvrđivanje energetske potreba Republike Srpske, izvori i način obezbeđivanja potrebnih količina energije, uključujući dugoročno planiranje

strukture energetske izvora, učešće obnovljivih izvora, zadati nivoi energetske efikasnosti i uštede energije, potrebna ulaganja u energetiku, mere za podsticanje i način obezbeđenja sredstava za ulaganja u obnovljive izvore i kogeneraciju, mere i mehanizmi za povećanje energetske efikasnosti, unapređivanje zaštite životne sredine i spečavanje klimatskih promena, podsticanje konkurencije i postepena liberalizacija energetske tržišta, mere za obezbeđivanje zaštite krajnjih kupaca i drugi elementi od značaja za ostvarivanje ciljeva energetske politike.

U poglavlju V pod naslovom *Obnovljivi izvori energije* istaknuto je sledeće:

1. korišćenje obnovljivih izvora energije i efikasna kogeneracija su od opšteg interesa za Republiku Srpsku,
2. korišćenjem obnovljivih izvora energije i efikasnom kogeneracijom obezbeđuje se smanjenje upotrebe fosilnih goriva i negativnih uticaja na životnu sredinu, kao i efikasno korišćenje energije, podstiče se razvoj novih tehnologija, raznolikost izvora energije i povećava sigurnost snabdevanja, te dugoročno smanjuje zavisnost od uvoza energije,
3. Vlada će na predlog Ministarstva doneti uredbu kojom propisuje mere koje doprinose ostvarenju ciljeva, a koje se odnose na povećanje:
 - a) ukupne proizvodnje energije iz obnovljivih izvora,
 - b) učešća potrošnje električne energije proizvedene iz obnovljivih izvora i efikasnih kogenerativnih postrojenja u ukupnoj potrošnji električne energije u Republici Srpskoj i
 - c) učešća potrošnje biogoriva u ukupnoj potrošnji goriva za transport.

Sredstva za podsticanje proizvodnje energije korišćenjem obnovljivih izvora i kogeneracije obezbeđuju se kroz tarifu za energiju.

U zakonu je istaknuto da je efikasno korišćenje energije opšti interes Republike Srpske i da predstavlja doprinos globalnom nastojanju za smanjenjem negativnih uticaja na životnu sredinu i održivom razvoju, te racionalnom i ekonomičnom korišćenju energetske resursa [].

Strategija razvoja energetike Republike Srpske do 2030. godine

Narodna skupština Republike Srpske je na sednici održanoj 14.03.2012. godine usvojila *Predlog strategije razvoja energetike Republike Srpske do 2030. godine*. Strategijom razvoja energetike do 2030. godine po prvi put je na sveobuhvatan način osmišljen razvoj energetske sektora zasnovan na principima održivog razvoja, oslanjanju na domaće resurse uz nastojanje uključivanja obnovljivih izvora u što većoj meri za podmirivanje vlastitih energetske potreba, uz podsticanje i uvođenje mera energetske efikasnosti. Strategija je rađena po principima najbolje svetske prakse, uvažavajući globalna svetska kretanja u energetici, legislativu Evropske Unije, Osnove energetske politike Republike Srpske i preporuke institucija Republike Srpske.

U Strategiji su obrađeni sektori uglja, nafte, gasa, električne energije, obnovljivih izvora energije, energetske efikasnosti, toplotne energije itd., u različitim scenarijima do 2030. godina [12-14].

Literatura

- [1] Sl. glasnik RS, 84/2004.
- [2] Sl. glasnik RS, 44/2005.
- [3] Sl. glasnik RS, br. 17/2007. i 73/2007.
- [4] Sl. glasnik RS, 72/2009.
- [5] Sl. glasnik RS, br. 72/2009. i 81/2009-ispr.
- [6] Sl. glasnik RS, 99/2009.
- [7] Sl. glasnik RS, 27/2011.
- [8] Sl. glasnik RS, 61/2011.
- [9] Sl. Glasnik RS, br.8/2013.
- [10] D. Marković, B. Čeperković, A. Vlajčić, S. Ressler, *Bela knjiga Elektroprivrede Srbije*, JP „Elektroprivreda Srbije“, Sektor za odnose s javnošću, Belgrade, 2011, 212 str.
- [11] N. Lukić, M. Babić, *Solarna energetika*, Mašinski fakultet u Kragujevcu, Kragujevac, 2008, 233 str.
- [12] Službeni glasnik Republike Srpske br.71/2004.
- [13] Službeni glasnik Republike Srpske br.49/2009.
- [14] http://www.vladars.net/sr-SP-Cyrl/Vlada/Ministarstva/mper/std/Pages/Strategija_razvoja_energetike_RS_do_2030_godine.aspx

PUBLIKOVANI RADOVI KANDIDATA (A)

Istaknuta monografija nacionalnog značaja (M41)

- [A1] 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. (Odluka br. 444/1-01 (24.4.2013. god.) o prihvatanju recenzije na sednici Nastavno-naučnog veća PMF-a u Nišu).

Radovi u vodećim časopisima međunarodnog značaja (SCI lista - M21, M22, M23)

- [A2] 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, **(M21)**.
- [A3] 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, **(M21)**.
- [A4] 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, **(M21)**.
- [A5] T. Pavlović, D. Milosavljević, A. Radivojević, M. Pavlović, *Comparison and assessment of electricity generation capacity for different types of PV solar plants of 1 MW in Soko Banja, Serbia*, Thermal Science, Vol. 15. (2011), No.3, pp. 605-618, doi:10.2298/TSCI110322065P, **(M23)**.
- [A6] 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/TSCI111027100P, **(M23)**.

- [A7] T. Pavlović, D. Milosavljević, D. Piršl, *Simulation of PV systems electricity generation using Homer software in specific locations in Serbia*, Thermal Science, Vol. 17 (2013) No.2, pp. 333-347, DOI:10.2298/TSCI120727004P, (M23).

Radovi u međunarodnim časopisima (M24)

- [A8] T. Pavlović, D. Milosavljević, I. Radonjić, L. Pantić and A. Radivojević, *Application of solar cells of different materials in PV solar plants of IMW 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).
- [A9] 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.
- [A10] T. Pavlović, D. Milosavljević, M. Lambić, V. Stefanović, D. Mančić and D. Pirsl, *Solar energy in Serbia*, Contemporary Materials (Renewable energy sources), II-2, 2011, pp. 204-220, doi:10.5767/anurs.cmat.110202.en.204P, UDK 620.92:523.9(497.11).
- [A11] 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).

Radovi sa međunarodnih konferencija štampani u celini (M33)

- [A12] T. Pavlovic, D. Milosavljevic, *Development of PV solar power plants in the world*, Proceedings of Internatonal Scientific Conference Contemporary Materials 2010, Book 14, Department of Natural-Mathematical and Technical Sciences, Academy of sciences and arts of the Republic of Srpska, Banja Luka, Republic of Srpska, 2011, pp. 249-259 (ISBN 978-99938-21-30-1).

- [A13] T. Pavlović, D. Milosavljević, *Application of solar cells in modern architecture*, Proceedings of International Scientific Conference Contemporary Materials 2010, Book 14, Department of Natural-Mathematical and Technical Sciences, Academy of sciences and arts of the Republic of Srpska, Banja Luka, Republic of Srpska, 2011, pp. 103-113 (ISBN 978-99938-21-30-1).
- [A14] T. Pavlović, D. Milosavljević, *Solarna energetika kao značajan faktor u razvoju energetike Republike Srpske*, Republika Srpska - Dvadeset godina razvoja - Dostignuća, izazovi i perspektive, Naučni skupovi-Knjiga XXIII, Odjeljenje društvenih nauka-Knjiga 27, Akademija nauka i umjetnosti Republike Srpske, Banja Luka, Republika Srpska, 2012, pp. 235-263 (ISBN 978-99938-21-40-3).

Radovi u tematskom zborniku nacionalnog značaja (M45)

- [A15] D. Milosavljevic, T. Pavlović, *Obnovljivi izvori energije i održivi razvoj*, Zbornik radova II konferencije ODRŽIVI RAZVOJ I KLIMATSKE PROMENE, Mašinski fakultet u Nišu, str. 26-34, 2010, ISBN: 978-86-6055-004-2.
- [A16] T. Pavlović, D. Milosavljević, *Savremene mogućnosti korišćenja Sunčevog zračenja u Srbiji*, Zbornik radova XII Kongresa fizičara Srbije, Društvo fizičara Srbije, Beograd, 2013, str. 126-135, ISBN 978-86-86169-08-2.
- [A17] 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.
- [A18] 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.

Poglavlje u knjizi M41 ili rad u istaknutom tematskom zborniku vodećeg nacionalnog značaja (M44)

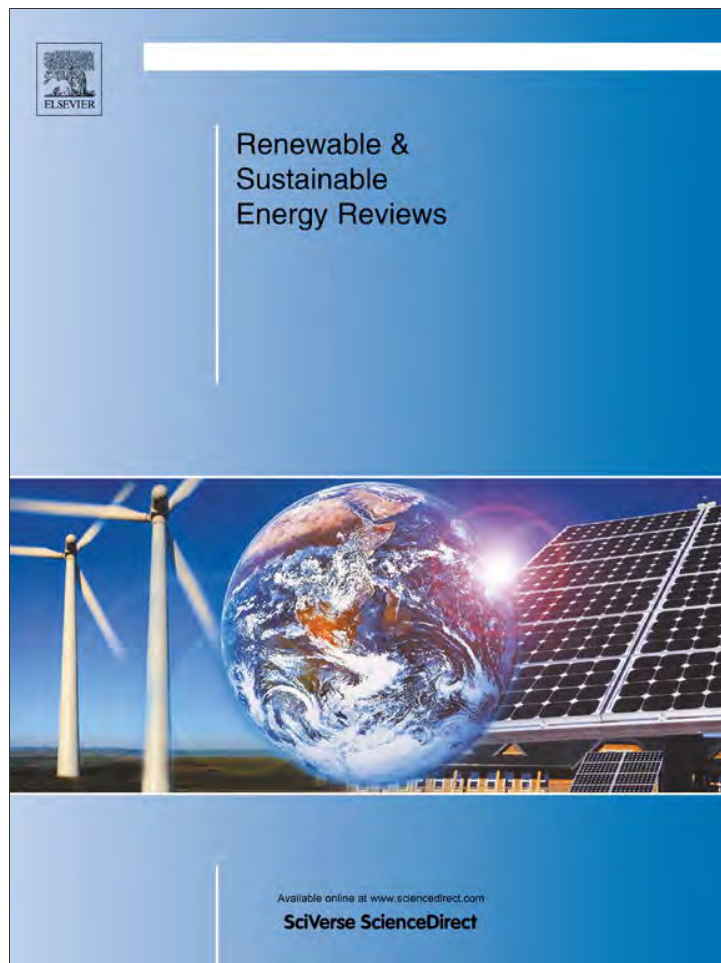
- [A19] T. Pavlović, D. Milosavljević, I. Radonjić, D. Piršl, *Savremene mogućnosti korišćenja Sunčevog zračenja*, Monografija Energetika i životna sredina, Srpska akademija nauka i

umetnosti, Naučni skupovi, Knjiga CXLIII, Odeljenje hemijskih i bioloških nauka, Knjiga 4, Beograd, 2013, str. 259-299, ISBN 978-86-7025-607-1.

Saopštenje sa skupa nacionalnog značaja štampano u izvodu (M64)

- [A20] T. Pavlović, D. Milosavljević, *Savremene mogućnosti korišćenja obnovljivih izvora energije*, ENERGETSKE TEHNOLOGIJE – 2009, E-zbornik radova, br. 03, Vrnjačka banja, 2009.

Provided for non-commercial research and education use.
Not for reproduction, distribution or commercial use.



(This is a sample cover image for this issue. The actual cover is not yet available at this time.)

This article appeared in a journal published by Elsevier. The attached copy is furnished to the author for internal non-commercial research and education use, including for instruction at the authors institution and sharing with colleagues.

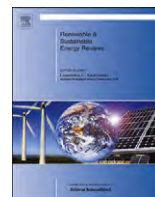
Other uses, including reproduction and distribution, or selling or licensing copies, or posting to personal, institutional or third party websites are prohibited.

In most cases authors are permitted to post their version of the article (e.g. in Word or Tex form) to their personal website or institutional repository. Authors requiring further information regarding Elsevier's archiving and manuscript policies are encouraged to visit:

<http://www.elsevier.com/copyright>

Contents lists available at [SciVerse ScienceDirect](http://SciVerse.Sciencedirect.com)

Renewable and Sustainable Energy Reviews

journal homepage: www.elsevier.com/locate/rser

Possibility of electricity generation using PV solar plants in Serbia

Tomislav Pavlović^{a,*}, Dragana Milosavljević^a, Ivana Radonjić^a, Lana Pantić^a,
Aleksandar Radivojević^b, Mila Pavlović^c

^a University of Niš, Faculty of sciences and mathematics, Department of Physics, Višegradska 33, Niš 18 000, Serbia

^b University of Niš, Faculty of sciences and mathematics, Department of Geography, Višegradska 33, Niš 18 000, Serbia

^c University of Belgrade, Faculty of Geography, Studentski trg 3/3, Belgrade 11 000, Serbia

ARTICLE INFO

Article history:

Received 29 July 2011

Received in revised form

24 November 2012

Accepted 26 November 2012

Keywords:

Solar energy

Solar cells

Fixed PV solar plants

Tracking PV solar plants

Climate conditions in Serbia

Legislative in Serbia

ABSTRACT

The paper focuses on the possibilities of generating electrical energy by means of PV solar plants of 1 MW in Serbia. Further on basic physical characteristics of solar cells made of monocrystalline silicon, CdTe and CIS solar cells and a description of the fixed PV solar plants, one-axis and dual-axis tracking PV solar plants are given. The paper proceeds to tackle the legislative frame concerning renewable sources of energy and the current state of the use of PV systems in Serbia, climate conditions and energy potential of the renewable sources in Serbia. Apart from PVGIS solar map of Serbia real meteorological data for 17 towns in Serbia are given. Based on PVGIS program, geographical position and the results of PVGIS calculation of the yearly average values of the optimal panel inclination, solar irradiation on the horizontal, vertical and optimally inclined plane, ratio of diffuse to global solar irradiation and linke turbidity for some cities in Serbia are given. Total for year sum of global irradiation per square meter received by the modules of the fixed PV solar plants, optimally inclined one-axis and dual-axis tracking PV solar plants of 1 MW and total for year electricity production of different types of PV solar plant of 1 MW for 23 cities in Serbia obtained by PVGIS are given. Comparison of total for year electricity production of different types of PV solar plant of 1 MW with monocrystalline silicon, CdTe and CIS solar modules, respective, for 23 cities in Serbia is given. Calculations performed by PVGIS program have shown that irrespectable of the type of PV solar plants, most electrical energy in Serbia can be generated by means of PV solar plants with CdTe solar cells. Some practical data and considerations given in this paper can be used by a customer or company keen to invest in the PV sector in Serbia.

© 2012 Elsevier Ltd. All rights reserved.

Contents

1. Introduction	202
2. An overview of photovoltaic conversion of solar radiation	202
2.1. Solar cells	203
2.1.1. Solar cells of monocrystalline silicon	203
2.1.2. CdTe solar cells	203
2.1.3. CIS solar cells	203
2.2. PV solar plants	204
2.2.1. Fixed PV solar plant	205
2.2.2. One-axis tracking PV solar plant	205
2.2.3. Dual-axis tracking PV solar plant	205
3. Perspective of photovoltaic conversion in Serbia	205
3.1. Legislative in Serbia	205
3.2. Photovoltaic in Serbia	206
3.3. PV power engineering in some Serbia's neighbours	207
3.3.1. Republic of Srpska (Bosnia and Herzegovina)	207

* Corresponding author. Tel.: +38 118 225483; fax: +38 118 533014.
E-mail address: pavlovic@pmf.ni.ac.rs (T. Pavlović).

3.3.2.	The Former Yugoslav Republic of Macedonia (FYR Macedonia).....	208
3.3.3.	Bulgaria.....	208
3.3.4.	Croatia.....	208
3.3.5.	Albania.....	209
4.	Climatic conditions in Serbia.....	209
4.1.	Continental (Panonic) climate in Serbia.....	209
4.2.	Moderate-continental (mountain) climate in Serbia.....	209
4.3.	Meteorological data of some cities in Serbia in the period from 1961 to 2010.....	210
4.4.	Solar irradiation in Serbia.....	210
4.5.	Energy potential of the renewable sources of energy in the Republic of Serbia.....	211
5.	PVGIS and solar maps for the territory of Serbia.....	211
6.	Results and discussion.....	211
6.1.	Solar irradiation in Serbia.....	211
6.2.	Electricity production of different types of PV solar plants of 1 MW in 23 cities in Serbia.....	213
7.	Conclusion.....	214
	Acknowledgement.....	218
	References.....	218

1. Introduction

Today life is organized primarily using non-renewable sources of energy—energy of the fossil fuels (coal, oil, natural gas) and nuclear energy. Enormous consumption of energy due to the alarming increase in population on the Earth leads to the critical reduction of the reserves of the fossil fuels energy sources and accompanying degradation of the environment and alarming dependence and poverty of the countries that lack this type of fuels.

Renewable energy comprises the energy of Sun, wind, water, geothermal energy, biomass, biogas, etc. The main aim of the research, development and use of renewable sources of energy in the world today is a preservation of the existing ecological balance and its reinstatement in the areas where it was disturbed. Survive and develop humankind needs to establish ecological balance and implement fast transition from the non-renewable to renewable sources of energy. From the outbreak of the energy crisis in 1973 more attention has been devoted to the use of solar cells for the production of electrical energy. Increasing number of countries is installing photovoltaic solar power plants. The main reason for this is that the use of solar energy contributes to more efficient use of the countries own potentials in generating electrical and thermal energy, reduction of “the greenhouse” emission, reduction of importing and use of the fossil fuels, development of the local industry and new job openings [1–3].

Solar photovoltaic technology earlier used mainly in the space programs or in remote locations and was marginalized and exotic. Recently it has been gaining grounds becoming a basic technology for the production and distribution of the electrical energy in urban areas with the potential to become, in terms of costs, equally competitive to the costs of energy generated and distributed by the conventional technologies.

Starting from 1990 and on industry of photovoltaic conversion of solar irradiation shows constant annual economical growth of over 20%, and from 1997 over 33% annually. In 2000 total installed capacities worldwide have surpassed 1000 MW, and in developing countries have overreached more than million households which are using electrical energy generated by means of the photovoltaic systems. Photovoltaic power is the strongest growing of all technologies examined so far, with recent annual growth rates of around 40%.

Overgrowing number of companies and organizations is taking active part in the promotion, development and the production of photovoltaic devices and systems. Companies producing and distributing electrical energy in cooperation with the manufactureres

of the solar cells, city authorities and funds are planning and realizing all major projects thus gaining necessary experiences, mobilizing the public focus and reducing the cost of electrical energy.

Most representative latest photovoltaics solar industries are leading world oil and other hi-tech companies—BP Amoco, Shell, Kyocera, Mitsubishi, Sanyo and Sharp.

Only ten years ago it was expected to utilize two most promising applications of photovoltaic systems within the sector of big several MW power plants connected to the distribution grid, or in the form of application in ten million house solar systems in the developing countries. However, current market is dominated by the urban (residential) photovoltaic systems connected with the electro-distribution grid.

Studies of the European photovoltaic industry association (EPIA) and Greenpeace organization foresee that half of 207 GW capacity in 2020 will be the systems connected to the electro-distribution grid out of which 80% will be installed in residential buildings.

Photovoltaic industry is increasingly represented in the national energy strategies of the large number of countries. Japanese Ministry of economy, commerce and industry (METI) is planning to install photovoltaic systems power of 5 GW until 2020, and until 2030 these capacities are planned to grow to 82.8 GW. It is also expected to reduce the price of the 3 kW system from 3 \$/W to 1.5 \$/W, in the same period.

From 1995 and on American industry of photovoltaic systems shows annual growth of 30% and the total installed capacities reach up to 350 MW.

Large multinational companies organize special branches for solar photovoltaic systems (BP, Shell, etc). On the other hand, groups that are concerned with the preservation of the environment such as the Greenpeace are actively promoting the use of photovoltaic systems with the aim of their higher market demand and reduction of prices.

Nowadays for the production of electrical energy one uses solar cells of monocrystalline, polycrystalline, amorfous silicon, CdTe, CIS and solar cells made of other thin layer materials. Solar cells manufacturing prices are worldwide decreasing. In 2008 solar cells were sold at the price of 3.5 €/Wp, and in 2010 at 1.5 €/Wp [4–6].

Further on physical characteristics of solar cells and PV solar plants, perspective of photovoltaic conversion in Serbia, climate conditions in Serbia and results of electrical energy production calculations generated by the fixed, one-axis tracking and dual-axis tracking PV solar plants of 1 MW with monocrystalline silicon, CdTe and CIS solar cells in 23 cities of Serbia are given.

2. An overview of photovoltaic conversion of solar radiation

Photovoltaic conversion of the sun irradiation implies conversion of the energy of solar irradiation into the electrical energy. Photovoltaic conversion of the solar irradiation takes place in solar cells which are made of semiconducting materials, are of simple construction, do not have movable parts, do not pollute the environment and display long shelf life [7,8].

2.1. Solar cells

Solar cell is composed of p and n semiconductors where due to the absorption of sun irradiation in p–n junction pairs of electron–hole occur. Under the influence of sun irradiation solar cell in electrical circuit represents the source of direct current (DC) [7,8].

2.1.1. Solar cells of monocrystalline silicon

For the production of monocrystalline silicon solar cells a silicon is used which is next to oxygen the most represented element in the earth's crust (27.6%). Silicon belongs to the group IV of the period system of elements, is easy obtained and processed, is not toxic and does not build vironmentally harmful. In contemporary electronic industry silicon is the main semiconducting element. Electronic components made of silicon are stable on temperatures up to 200 °C.

Semiconducting silicon is polycrystalline. For it to be converted into monocrystalline it is needed to melt it at 1400 °C in Czochralski process, or by method of float zone to convert it into monocrystalline. Atoms of monocrystalline silicon are connected mutually by covalent bonds into surface centered crucible. Monocrystalline silicon is black, non-transparent, very shiny, hard and weak conductor for electricity. With some additional substances monocrystalline silicon becomes a good conductor of electric current.

Solar cell composed of monocrystalline silicon has front electrode, antireflection layer, n-layer, p–n bond, p-layer and back electrode (Fig. 1). In order to obtain semiconductor of n-type silicon is doped with phosphorous, and to obtain semiconductor of p-type silicon is doped with boron. Thickness of p-layer is 300 μm, and of n-layer 0.2 μm. For antireflection layer one uses materials with refraction index of 1.5–2. These materials comprise SiO, SiO₂, TiO, TiO₂ Ta₂O₃, etc. Depending on the antireflection layer material one can manufacture monocrystalline solar cells of different colours. Metal contacts are formed by vacuum vapping of the corresponding materials on Si plate. For this purposes one usually uses Ti/Pd/Ag coating [7,9–13].

Monocrystalline silicon solar cell is sensible to wavelengths of 0.4–1.1 μm and maximum of its sensitivity is within the range of

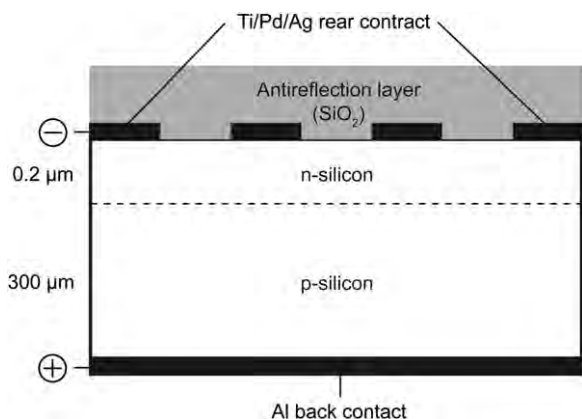


Fig. 1. Schematic cross section of solar cell made of monocrystalline silicon.

0.8–0.9 μm. Maximum of spectral sensitivity of the monocrystalline silicon solar cell does not coincide with the maximum of spectral distribution of sun irradiation. Commercial monocrystalline silicon solar cells have the efficiency of 15%, and laboratory ones around 24% [7,9–13].

2.1.2. CdTe solar cells

Cross section for a cadmium telluride solar cell is shown in Fig. 2. A layer of cadmium sulphide is deposited from solution onto a glass sheet coated with a transparent conducting layer of thin oxide. This is followed by the deposition of the main cadmium telluride cell by variety of techniques including close-spaced sublimation, vapor transport, chemical spraying, or electroplating [7,9–13].

CdTe solar cells have been used as low cost, high efficiency, thin-film photovoltaic applications since 1970. With the forbidden zone width of ~1.5 eV and the coefficient of absorption ~10⁵ cm⁻¹, which means that a layer thickness of a few micrometers is sufficient to absorb ~90% of the incident photons, CdTe is almost an ideal material for solar cells manufacturing.

CdTe solar cell is sensitive in the wavelength of 0.3–0.95 μm and maximum of its sensitivity is in the wavelength range of 0.7–0.8 μm. Laboratory CdTe cells have the efficiency of 16%, and commercial ones around 8%. Great toxicity of tellure and its limited natural reserves diminish the prospective development and application of these cells [7,9–13].

2.1.3. CIS solar cells

The materials based on CuInSe₂ that are of interest for photovoltaic applications include several elements from groups I, III and VI in the periodic table. CIS is an abbreviation for general chalcopyrite films of copper indium selenide (CuInSe₂) [9–13].

CIS technology is a star performer in the laboratory with 19.5% efficiency demonstrated for small cells, but has proved difficult to commercialize. Unlike other thin-film technologies, which are deposited onto a glass substrate, CIS technology generally

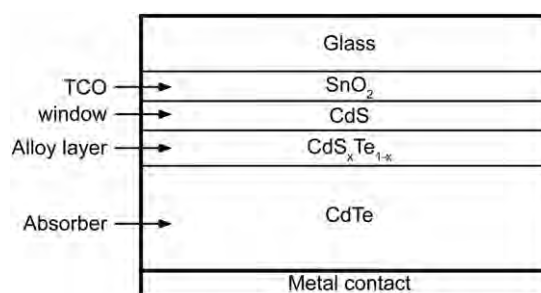


Fig. 2. Schematic cross section of solar cell made of cadmium telluride [12].

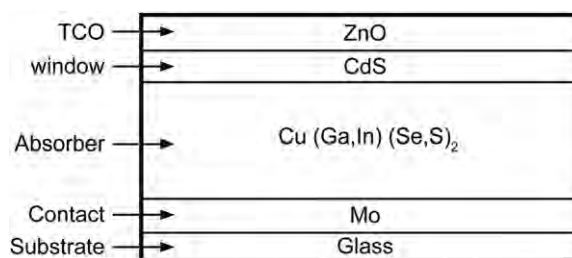


Fig. 3. Schematic cross section of solar cell made of copper–indium–diselenide (CIS) [12].

involves deposition onto a glass substrate as shown in Fig. 3. An additional glass top-cover is then laminated to the cell/substrate combination. Present designs require a thin layer of CdS deposited from solution. Considerable effort is being directed to replacing this layer due to the issues associated with the use of cadmium, as previously noted. However, a long-term issue with CIS technology is one of available resources. All known reserves of indium would only produce enough solar cells to provide a capacity equal to all present wind generators.

CuInSe₂ with its optical absorption coefficient exceeding $3 \times 10^4 \text{ cm}^{-1}$ at wavelengths below 1000 nm, and its direct band gap being between 0.95 eV and 1.2 eV, is good material for solar cells. CIS solar cell is sensitive in the wavelength of 0.4–1.3 μm and maximum of its sensitivity is within the wavelength range of 0.7–0.8 μm.

Commercial CIS solar cells have the efficiency of 8% efficiency. However, manufacturing costs of CIS solar cells at present are high when compared to silicon solar cells but continuing work is leading to more cost-effective production processes [9–13].

Comparison of monocrystalline silicon, CdTe and CIS solar cells with their advantages and disadvantages is shown in Table 1 [11].

Prices of solar cells since 2008 to 2012 year are given in Table 2 [14].

2.2. PV solar plants

PV solar plant denotes a plant using solar cells to convert solar irradiation into the electrical energy. PV solar plant consists of solar modules, inverter converting DC into AC and transformer giving the generated power into the grid net. PV solar plant is fully automatized and monitored by the applicable software. PV solar plants mostly use solar modules made of monocrystalline and polycrystalline silicon and rarely modules made of thin film materials such as amorphous silicon, CdTe and CIS (Copper–Indium–Diselenide, CuInSe₂). Efficiency of the monocrystalline silicon solar cells is 15%, of polycrystalline silicon is around 12%, of amorphous silicon is around 5% and CdTe and CIS is around 8%. Monocrystalline and polycrystalline silicon solar modules are more suitable for the areas with predominantly direct sun radiation, while solar modules of thin film are more suitable for the areas with predominantly diffuse sun radiation [3,13,15,16].

Inverter is a device which converts DC generated by PV solar plants of 12 V or 24 V into three phase AD of 220 V. Depending on the design inverter efficiency is up to 97%. When choosing inverter it is to bear in mind the output voltage of the solar modules array, power of the solar modules array, grid net parameters, managing type of the PV solar plant, etc. PV solar plants can use larger number of the inverters of smaller power or one or two inverters of greater power [3,8,13,15,16].

PV solar plant monitoring system comprises central measuring–control unit for the surveillance of the working regime. Monitoring system uses sensors and softwares to obtain the following data: daily, monthly and yearly production of the electricity, reduction of CO₂,

detailed change of the system parameters, recording of the events after the failure, monitoring of the meteorological parameters, etc.

PV solar plants in accordance with the power distribution systems legal regulations use transformers by means of which solar energy generated by PV solar plant is given to the power grid [3,13,15,16].

Practice shows that the energy efficiency of PV solar plant annually decreases from 0.5% to 1%. Lifetime of PV modules depends on the solar cell technology used as well. For monocrystalline and polycrystalline silicon solar cells most manufacturers give a warranty of 10/90 and 25/80 which means: a 10-year warranty that the module will operate at above 90% of nominal power and up to 25 years above 80%. The practical lifetime of the silicon-made PV modules is expected to be at least 30 years [3,17].

PV solar plants represent environmentally clean source of energy. PV solar plant components (solar modules, inverters, monitoring system, conductors, etc) are manufactured by cutting edge, environmentally friendly technologies. PV solar plants operate noiseless, do not emit harmful substances and do not emit harmful electromagnetic radiation into the environment. PV solar plant recycling is also environmentally friendly. For 1 kWh of PV solar plant generated electrical energy emission of 0.568 kg CO₂ into the atmosphere is reduced [3,18].

The diurnal and seasonal movement of earth affects the radiation intensity on the solar systems. Sun-trackers move the solar systems to compensate for these motions, keeping the best orientation relative to the sun. Although using sun-tracker is not essential, its use can boost the collected energy by 10–100% in different periods of time and geographical conditions. However, it is not recommended to use tracking system for small solar panels because of high energy losses in the driving systems. It is found that the power consumption by tracking device is 2–3% of the increased energy [19].

Practice showed that the yearly optimal tilt-angle of a vertical-axis tracked solar panel for maximizing the annual energy collection was almost linearly proportional to the site latitude, and the corresponding maximum annual collectible radiation on such tracked panel was about 96% of solar radiation annually collected by a dual-axis tracked panel. Compared to the traditional fixed south-facing solar panel inclined at the optimal tilt-angle, the annual collectible radiation due to the use of the vertical-axis sun-tracking was increased by 28% in the areas with abundant solar resources and increased by 16% in the areas with poor solar resources [20].

Depending on climate conditions of given location fixed PV solar plants, one-axis and dual-axis tracking PV solar plants are

Table 2
Prices of solar cells since 2008 to 2012 year.

Early 2008	Early 2009	2009	2010	2012
~3.5 €/Wp	~2.2 €/Wp	1.8–2.2 €/Wp	~1.5 €/Wp	~1 €/Wp

Table 1
Comparison between monocrystalline silicon, CdTe and CIS solar cells with their advantages and disadvantages.

Material	Thickness	Efficiency	Colour	Features
Monocrystalline silicon (c-Si) solar cells	0.3 mm	15–18%	Dark blue, black with AR coating, grey without AR coating	Lengthy production procedure, wafer sawing necessary. Best researched solar cell material—highest power/area ratio
Cadmium Telluride (CdTe) solar cell	0.008 mm+3 mm glass substrate	6–9% (module)	Dark green, Black	Poisonous raw materials, significant decrease in production costs expected in the future
Copper–indium–diselenide (CIS)solar cell	0.003 mm+3 mm glass substrate	7.5–9.5% (module)	Black	Limited Indium supply in nature. Significant decrease in production costs possible in the future.

being installed worldwide. Fixed PV solar plants are used in regions with continental climate and tracking PV solar plants are used in tropical regions [3,13,15–17].

2.2.1. Fixed PV solar plant

Fixed PV solar plant denotes plant with solar modules mounted on fixed metal supporters under optimal angle in relation to the horizontal surface and all are oriented towards south. To install fixed PV solar plant of 1 MW it is necessary to provide around 20,000 m².

Maintenance costs of the fixed PV solar plants are much lesser than the maintenance costs of the tracking PV solar plants. Its drawback is in that solar modules do not follow sun radiation so that on the yearly level one does not gain optimal amount of the electricity [3,13,15–17].

2.2.2. One-axis tracking PV solar plant

One-axis tracking PV solar plant denotes a plant where solar modules installed under the optimal angle are adapted towards the sun by revolving around the vertical axis during the day from the east towards the west, following the Sun's azimuth angle from sunrise to sunset. For solar modules revolving electromotors are used using electrical energy from the batteries of the power grid. For the rotor revolving monitoring a centralized software system is used. In case software system fails solar modules can be directed towards the sun manually. It is also possible to manually set the tilt of the solar modules in relation to the horizontal surface in steps from 5° from 0° to 45°. One-axis tracking PV solar plant gives the shadow effect of solar modules situated on neighbouring rotors so that for its installation it is necessary to provide around 60 000 m². Available literature reports the efficiency of one-axis tracking PV solar plant is 20–25% larger than the efficiency of the fixed PV solar plant.

Installation and maintenance costs of the one-axis tracking PV solar plants are higher than the costs of the fixed PV solar plants. Drawback of one-axis tracking PV solar plant is in that year round there is no automatic adapting of the solar module tilt towards the sun [3,15,16–20].

2.2.3. Dual-axis tracking PV solar plant

Dual-axis tracking PV solar plant denotes a plant where the position of solar modules is adapted towards the sun by revolving around the vertical and horizontal axis. These PV solar plants follow the Sun's azimuth angle from sunrise to sunset but, they also adjust the tilt angle to follow the minute-by-minute and seasonal changes in the Sun's altitude angle. Solar modules are oriented towards the sun by means of the appropriate electromotors. Photo sensors mounted on the array send signals to a controller that activates the motors, causing the array angles to change as the Sun's altitude and azimuth angles change during the day. Efficiency of the dual-axis tracking PV solar plant is 25–30% bigger than the efficiency of the fixed PV solar plant.

For the installation and function of dual-axis tracking PV solar plant a substantially bigger surface is necessary than for the fixed PV solar plant.

Installation and maintenance costs of the dual-axis tracking PV solar plants are higher than the costs of the one-axis tracking and fixed PV solar plants [3,15–20].

When designing a large PV solar plant it is very important to optimize energy yield and occupation of land. The paper [21] gives original simulation tool with the appropriate models to calculate the energy yield for different PV solar trackers with a flat PV module grid-connected system. Based on this the relationship between the yearly average gains and land occupation has been analyzed for several tracking strategies and it has been found that

the energy gains associated to one north–south axis tracking referenced to static surfaces, ranges from 18% to 25%, and from 37% to 45% for the dual-axis tracker for reasonable ground cover ratios [21].

Until December 2008 Spain installed 2382 MWp, Germany 698 MWp, USA 260 MWp, Korea 100 MWp, Italy 70 MWp, Portugal 60 MWp and other countries 102 MWp PV solar plants. Worldwide more fixed than tracking PV solar plants were installed [3].

3. Perspective of photovoltaic conversion in Serbia

3.1. Legislative in Serbia

The European Energy Law will have great impact on Serbia and its renewable energy sector. The Energy Community is extending the European Union internal energy market to Southeast Europe and beyond on the ground of legally binding treaty. Thus, Serbia, as a member of the Energy Community, has been committed to implement the relevant EU regulations concerning the energy sector step-by step. Furthermore, the ability of Serbia to assume the obligations of membership is evaluated on the basis of the implementation of the EU Acquis. The energy sector has been outlined by the European Commission as one of the fields where Serbia will have to undertake additional efforts to align with the acquis in the medium term [22].

Law on Energy of the Republic of Serbia was issued on 24 July, 2004. This law regulates: aims of the energy policy and ways of its implementation, organizational and functioning patterns of the energy market, conditions for timely and qualitative supply of consumers with the energy, and conditions for safe, reliable and efficient production of energy, management of the systems of transfer, transport and distribution of energy and ensuring of their flawless functioning and development, conditions and manners of energy activities implementation, conditions for enabling energy efficiency and environment protection, and finally, management and monitoring of the enforcement and implementation of this law. This law rendered possible the establishment of the Agency for energetics and the Agency for energy efficiency.

Law on Energy uses the term renewable sources of energy to denote sources of energy that can be found in Nature and are renewed partially or completely, especially energy of water, wind, non-accumulated sun energy, biomass, geothermal energy, etc.

Energy policy of the Republic of Serbia encompasses measures and activities that are being taken to realize long term aims in the area of energy and especially of:

1. Safe, qualitative and reliable supply of energy and energents.
2. Balanced development of energy activities so as to provide necessary quantity of energy and energents to satisfy the needs of the energy and energents consumers.
3. To provide conditions for the improvement of the energy efficiency and implementation of energy activities and energy consumption.
4. To provide for the conditions to stimulate the use of renewable sources of energy and combined production of the electrical and thermal energy.
5. To improve and protect the environment, etc.

Energy policy is implemented through the enforcement of the Strategy of the development of energy in the Republic of Serbia, strategy implementation program and energy balance.

Production of electrical energy encompasses production in hydroelectric power plants, thermo power plants, electro power plants, electro power plants–thermal power plants and electro power plants on renewable sources of energy or waste.

Privileged producers of electrical energy are manufacturers who in their production process of electrical energy use renewable sources of energy or waste, manufacturers who produce electrical energy in electro power plants that are according to the Law on energy considered to be small scale electro power plants and manufacturers who produce simultaneously electrical and thermal energy if they meet the criteria of the energy efficiency. Preconditions on terms of gaining this special status of the privileged manufacturer of the electrical energy and criteria for the assessment of the fulfilment of these conditions were issued by the Government of the Republic of Serbia on 3 September, 2009. Congruent to this Act legal entity or the entrepreneur can attain the privileged manufacturer status if the electro power plant in the production process on a yearly basis uses at least 90% renewable sources of energy and the rest goes to fossil fuel or waste.

Act on incentive measures for the production of electrical energy by use of the renewable sources of energy and by combined production of electrical and thermal energy was issued by the Government of Serbia on 20 November, 2009. This Act closely prescribes incentive measures for the production of the electrical energy by use of the renewable sources of energy, its purchase and it defines energy objects to produce electrical energy from the renewable sources. It also determines the content of the agreement on the purchase of the electrical energy under incentive measures, etc.

The right to the incentive measures defined by this Act for the electrical energy produced in plants which use solar energy is limited to the total installed power of (in these plants) up to 5 MW. According to this Act 1 kWh of the electrical energy produced by solar power plant in the interval of 12 years upon agreement signing is to be paid to the manufacturer at the price of 23 eurocents. Connecting of the solar power plants or small scale plants installed on private houses to the grid is regulated by the legislative of the EPS of the Republic of Serbia. Law on Energy issued on 1st August, 2011 clearly defines Incentive measures for the use of the renewable sources in power generation and subsidized power producers which is stated in the Official Gazette of the Republic of Serbia, no. 27/2011.

Republic of Serbia has in 2006 ratified the agreement on the foundation of energy community between EU and Albania, Bulgaria, Bosnia and Herzegovina, Croatia, Former Yugoslov Republic of Macedonia, Montenegro, Romania and Interim Mission of United Nations on Kosovo.

In September 2008 European Parliament has adopted a set of regulations on the climate changes that aims at ensuring reduction of greenhouse effect gas emission of 20%, improvement of energy efficiency of 20% and participation of the renewable sources of energy of 20% in total energy consumption in EU- until 2020 as compared to 1990. Republic of Serbia has accepted the Instructions of the EU on the renewable sources of energy and is putting all efforts to implement it.

Republic of Serbia has on 26 January, 2009 become a member and the founder of the International Agency for Renewable Energy (IRENA) [23–26].

Renewable energy policy in the Republic of Serbia is elaborated on the paper [27]. The aim of the paper [27] is to give insight into the goals, instruments and planned measures of the Serbian Government in the field of renewable energy sources (RES). The method is based on an overview and analysis of adopted laws and regulations and other official documents. The results have revealed that progress has been made in this field in recent years. Midterm targets for the proportion of energy from RES in overall energy consumption have been defined; feed-in-tariffs have been adopted; legislative and socio-economic barriers of increased exploitation of RES have been analyzed and measures and activities for their resolution have been

suggested. The existing RES-related legislation, however, is imprecise and incomplete. Numerous bylaws, technical standards and guidelines are still vague. The key RES-related documents are inconsistent, they lack clarity and are insufficiently decisive when implementing specific measures of the incentives for production of RES-based energy [27].

The analysis of the renewable energy production sector in Serbia is given in the paper [28] Producing energy from renewable sources in Serbia is in its initial phase, therefore this paper points towards the basic assumptions, potentials and institutional framework for the development of this activity in Serbia. As a final conclusion the paper states that completely unused potentials for the production of energy from renewable sources, together with adequately set institutional framework, would create great possibilities for foreign investments [28].

Opportunities and challenges for a sustainable energy policy in SE Europe: SE European Energy Community Treaty is given in the paper [29]. In this paper author has tried to systematize the role of energy sector in South Eastern (SE) Europe in the context of the European energy policy process. This paper raises awareness of the environmental requirements which have been set, of renewable energy and its implementation, at the same time pointing out that the response in SE Europe has been at a low level [29].

Perspectives of sustainable development in the countries of Southeastern Europe are given in the paper [30]. Countries of SE Europe are at the very beginning of planning of their development in accordance with theoretical concept of sustainable development. Sustainable development is defined as the basic imperative and the only model of development in a longer period of time. Special attention needs to be given to the intensive monitoring of indicators of economic and ecological subsystems. The research showed, among other things, fragile relationship of values of indicators of economic and ecological subsystems, by which any change in the values of one indicator consequently leads to the changes in the final result [30].

Kyoto Protocol implementation in Serbia as precognition of sustainable energetic and economic development is given in the paper [31]. The paper gives reasons for low energy efficiency typical for the Serbian economy, which is based on the outdated and dirty technologies. The comparison of selected economic indicators and indicators of energy efficiency in both Serbia and the European Union points out the benefits of the Kyoto Protocol implementation due to the growth of competitiveness in the global market. Energy efficiency, which is actually a question of competitiveness of each economy, can finance itself through the mechanisms of the Kyoto Protocol by selling excess emissions resulting from the improved energy efficiency [31].

3.2. Photovoltaic in Serbia

Although on most of the territory of Serbia the number of sunny days is significantly higher than in many European countries (over 2000 h), high costs of solar irradiation modules and the accompanying equipment hinder more intensive use of this renewable energy source and it will depend primarily on the social incentives for the establishment and implementation of the national Renewable Energy Sources Program. According to the available data use of solar energy is currently almost negligible. Production of solar energy, based on the sun potentials in Serbia, can be considered as attractive for potential investors, but it requires significant initial investments as well as purchasing foreign equipment, which makes it much less attractive compared to production of energy from other RES. Production of RES energy is one of the most successful ways for Serbia, as well as for other countries who signed it, to comply with the Kyoto protocol

requests and achieve adequate stage of sustainable development [28].

Perspectives and assessments of solar PV power engineering in the Republic of Serbia are given in the paper [17]. The paper [17] gives a review of some key issues and prospects related to solar photovoltaic (PV) power engineering in the Republic of Serbia. Solar PV energy sector in the Republic of Serbia is poorly developed despite a very good geographical position of Serbia and recent introduction of feed-in-tariffs (FITs) by the Serbian Government. Apart from that the paper presents the results of the electricity generation calculations for the fixed and tracking PV solar plants by means of PVGIS software in 20 towns in Serbia. The paper concludes that insufficient awareness of the opportunities of solar PV produced electricity may be an obstacle which can significantly limit and delay its use in the Republic of Serbia. At the moment solar PV technology is not implemented in the Serbian RES sector and initiatives to take some firm steps in this direction are expected [17].

The possibilities of the photovoltaic electricity production of a grid-connected urban house in Serbia are given in the paper [32]. The paper gives the results of the calculation of the electricity revenue during entire life of a two-floor house in Belgrade, Serbia and investment in PV panels (currently available on Serbian market) integrated in its entire envelope. It discussed current degree of the economic viability of this solution and suggested subventions needed to support the solar electricity production either by feed-in tariffs or other financial instruments [32].

Solar collectors and other devices for thermal conversion of sun radiation are produced in Serbia. Serbia is not a manufacturer of solar cells and other equipment for the photovoltaic conversion of sun radiation [1–3].

In Serbia one uses solar irradiation mainly for the heating of water and rarely for the electricity generation. Up to now following on-grid PV solar systems are installed in Serbia: on the elementary school *Dušan Jerković* in Ruma (3 kWp, 2004.), in the Monastery *Dević*, near the town Pirot (15 kWp, 2010.), in the middle school in Varvarin (5 kWp, 2010, *Netinvest Co.*), in the electro-technical school *Rade Končar* in Belgrade (5 kWp, 2010, *Netinvest Co.*), in the high technical school *Mihajlo Pupin* in Kula (5 kWp, 2010, *Netinvest Co.*), on the Faculty of Technical Sciences in Novi Sad (8 kWp, 2011.), on the Faculty of Electrical Engineering in Niš (1.2 kW, 2011, *Alfatec Co.*), on the Faculty of Sciences and Mathematics in Niš (2 kWp, 2012, *Alfatec Co.*), on the private house in village Blace (10.44 kWp, 2012, *Netinvest Co.*), on the private company in Leskovac (30 kWp, 2012, *Alfatec Co.*), on the private company in Čačak (55 kWp, 2012, *Electrowat Co.*), in two private houses in village Merosina of 10 kWp and 20 kWp (2012, *Telephone Engineering Co.*), in Zaječar (10 kWp, 2011, *Telephone Engineering Co.*), in village Čortanovci (10 kWp, 2012, *Telephone Engineering Co.*), in Čačak (5 kWp, 2012, *Telephone Engineering Co.*), in Zemun (2.5 kWp, 2012, *Telephone Engineering Co.*). PV solar plants in Varvarin, Belgrade and Kula were installed thanks to the donations of the Government of Spain and through the Agency for the Energy Efficiency in Belgrade within the Project *Development of the installations for the promotion and use of solar energy in Serbia* [3]. Up to now more than 200 off-grid PV systems power of 50 W–4 kW are installed in Serbia. Recently, in Serbia there is an increased use of PV systems for traffic lights and other traffic signalization.

In recently published book of the Electric Power Industry of Serbia entitled *The White Book of the Electric Power Industry of Serbia* one can find legislature of the EU referring to the renewable sources of energy, use of renewable energy in Serbia legal framework and the possibilities of the use of the renewable sources of energy in Serbia. The book cites the guidelines of the EU envisaging reducing the greenhouse gas levels by 20%, to reduce energy consumption by 20% and to provide 20% of needed energy from

the renewable sources of energy by 2020. Besides, the book mentions that near Čajetina a PV solar plant of 10 MWp that would generate annually 14,710 MWh will be installed thus providing 2.8% of electrical energy for that area [14]. Foundation was laid for the construction of PV solar plant in Čajetina on 27 June in 2011. Currently three PV solar plants in Serbia are under construction: in Čajetina, in Merdare near the town Kursumlija, a fixed PV solar plant of 2 MW and in the town of Leskovac a dual-axis tracking PV solar plant of 950 kWp [3,25].

3.3. PV power engineering in some Serbia's neighbours

The paper [33] analyses energy efficiency in Serbia. The analysis has been done on the basis of energy intensity indicators for Serbia and the neighboring countries, and some other countries and regions. It relates to the period of ten years and is directed to the consideration of required interventions regarding the change of the National Energy Efficiency Policy. Regardless of constant attempts to improve and increase energy efficiency and to expand utilization of renewable energy sources it seems that accomplished results are still very modest. The analysis of several energy indicators and their changes in the midterm period confirms this statement.

In this section are given solar potential and renewable energy policy of Serbia's neighbouring countries.

3.3.1. Republic of Srpska (Bosnia and Herzegovina)

Bosnia and Herzegovina can be considered as more favourable locations in Europe with solar irradiation on horizontal surface of 1240 kWh/m² in the north of the country, and up to 1600 kWh/m² in the south. The paper [34] claims that Bosnia and Herzegovina has on average 1840.9 h of sun annually, while in the south, this number reaches 2352.5 h. The theoretical potential for Bosnia and Herzegovina is estimated to be around 74.65 PWh, while the technical potential is about 1903 TWh, both of which are substantially more than the energy needs of the country [34–36].

Solar Energy sector has not developed, yet. Electricity supplies in Bosnia and Herzegovina are essentially based on coal-fired steam turbine power stations and the exploitation of hydropower. In Bosnia and Herzegovina generally, and the Republic of Srpska particularly, rare are the examples of the use of the PV systems and there are scarce papers and PV systems studies. In Bosnia and Herzegovina and the Republic of Srpska up to date not one PV solar plant has been installed. Currently, the use of grid connected PV systems in Bosnia and Herzegovina comes down to isolated cases installed in public buildings (orphanage, schools ...) with demonstration and training purposes. In 2005 the PV installed capacity was estimated at < 1% of total energy supply in Bosnia and Herzegovina by the Commission of the European Communities Research Directorate. Due to a relatively high cost related to the photovoltaics up to this moment the existing facilities are carried out with the support from grants and international projects [35].

One of the first PV systems in Bosnia and Herzegovina was installed and put into service as part of the project financed by the government of Spain; the system has a total power of 0.32 kW and is used as the energy source for the irrigation system in Popovo Polje, located in Canton K7 and the Republic of Srpska. One of the first PV installations in the Republic of Srpska is being fitted on the roof of an orphanage in Trebinje. The installation is also intended to be used for the training purposes for the local electrical trade. In November 2011 a fixed PV solar plant of 2 kWp with solar modules made of monocrystalline silicon was installed on the roof at the Academy of Sciences and Arts of the Republic of Srpska in Banja Luka.

In the Republic of Srpska following feed-in tariffs (FITs) are in effect:

- 1 kWh electricity generated by PV plants power up to 50 kWp is paid 0.285 €;
- 1 kWh electricity generated by PV plants power from 50 kWp to 500 kWp is paid 0.245 € and
- 1 kWh electricity generated by PV plants power over 500 kWp is paid 0.205 € [35].

3.3.2. The Former Yugoslav Republic of Macedonia (FYR Macedonia)

The Former Yugoslav Republic of Macedonia (FYR Macedonia) has better sunny conditions than Serbia with as many as 280 sunny days a year [17]. Geographic position and climate in the country offer very good perspective for the utilization of solar energy. Annual average value for daily irradiation varies from 3.4 kWh/m² in the northern part of the country (Skopje) to 4.2 kWh/m² in the southern part (Bitola). Total annual solar insolation varies from 1250 kWh/m² in the northern part up to a maximum of 1530 kWh/m² in the south-western part leading to annual solar insolation of 1385 kWh/m². Climate characteristics—high solar irradiation intensity as well as its duration, temperature and humidity enable favorable pre-conditions for development of solar energy [37].

Solar energy is used at symbolic level for water heating in households. The immense solar energy potential with 2000–2400 sunny hours during the year and generation potential of around 10 GWh per year can satisfy at least 75–80% of the annual needs for space and sanitary hot water heating. Currently its usage is limited to water heating. In Macedonia there are only 7.5 m² solar panels on every 1000 people, or 15,000 m² of installed solar panels. At the end of 2006 the total collector area in operation in Macedonia was 17,118 m². For example, in Cyprus this area was 811,538 m² while in Germany it was 1160,400 m². Out of 500,000 households in Macedonia only 2500–3000 are using solar systems for water heating. This represents only 0.5% of the total market for solar panels.

Apart from the advantages of solar energy for a country like Macedonia, situated on the south of Europe, poor with domestic energy resources but with long-term tradition of theoretical and experimental research in the field of photovoltaic systems, practical application of these systems is still limited to few pilot-installations in telecommunication facilities and street lighting in several municipalities. The first grid-connected solar PV power plant started to work in July 2010, near its capital Skopje, with installed power of 250 kW, and an investment price of about 1 million € [17,37].

There is no particular law related to RES development or use in the FYR Macedonia. FYR Macedonia follows actively the acts brought by the European Union in the RES area and at the same time prepares the national legislation harmonized with the EU regulations. The Ministry of Economy of the FYR Macedonia is the institution responsible for the preparation of energy legislation (The Energy Law (Official Gazette, No. 65, 2007), Strategy for the usage of RES, Strategy for energy efficiency). The Energy Agency of the FYR Macedonia (EARM) supports the implementation of the Government energy policy by preparing energy strategies, developing plans and programs, with a special emphasis on the use of the renewable energy sources (RES) and energy efficiency (EE) [38].

In order to encourage investment in photovoltaic systems Energy Regulatory Commission (ERC) has recently adopted preferential tariffs for sale of electricity produced and supplied by photovoltaic systems. With these tariffs investment in photovoltaic systems will become much more cost-efficient, but their implementation requires elimination of technical, administrative and legal barriers. Energy Regulatory Commission established the following feed-in tariffs for electricity produced by PV systems:

- original price 46 eurocents/kWh for the installed capacity up to 50 kW and
- 41 eurocents/kWh for the installed capacity greater than 50 kW.

In the meantime, these tariffs were changed and currently are: 30 eurocents/kWh for the installed capacity up to 50 kW and 26 eurocents/kWh for the installed capacity of 51–1000 kW [37,38].

3.3.3. Bulgaria

Solar resource theoretical potential is the solar energy on the earth surface that is expressed as the average kilowatt-hours (kWh) of thermal energy incident on a square metre of horizontal area. This is given in daily, monthly or annual averages to obtain the theoretical or total energy available. The Institute of Hydrology and Meteorology (IHM) of the Bulgarian Academy of Sciences (BAS) has sunshine hour data from 45 sites covering 30 years and actual solar radiation (SR) measurements from 5 to 6 stations. The results from the analysis of this data using a correlation relating solar irradiation to sunshine hours show that the country falls into three solar regions:

- I. region—SR < 1 450 kWh/m²/year (41% of land area);
- II. region—SR: 1 450–1 500 kWh/m²/year (52% of land area) and
- III. region—SR > 1 500 kWh/m²/year (7% of land area) [39].

The paper [17] cites that Bulgaria has similar sunny conditions to Serbia (more favourable in its Black Sea region), but pays 40.5 eurocents/kWh for PV systems up to 5 kW and 37.2 eurocents/kWh for PV systems > 5 kW and ≤ 10 MW and solar PV power engineering is booming in this neighbouring country. PV system projects are financed with reduced interest loans from the Bulgarian Government, the European Bank for Reconstruction and Development (EBRD), the Bulgarian Government and the EU. In November 2008 the duration of FIT payments for PV systems was changed from 12 to 25 years. As an additional example of good RES policy, Bulgaria wind energy capacity jumped over 300 MW by the end of 2009.

3.3.4. Croatia

The geographical location of Croatia provides very good conditions for the use of solar energy. In the southern part of Croatia, where the Mediterranean climate prevails, these conditions are even more favourable than in the rest of country. The duration of mean annual insolation over the southern Croatian (Adriatic) coast is more than 2500 h while in Dubrovnik and on some islands it even exceeds 2700 h. The Croatia solar energy potential is best described by the comparison with the European average. The Croatian southern coast has about the same average solar irradiation per day (5.1 kWh/m²/day) as southern Europe. This is about 20% more than for the Croatian northern coastal region. For the continental Croatia the average value is 3.8 kWh/m²/day which is about 20% more than in Central Europe. Clearly, irradiated solar energy in southern Croatia is up to 75% higher than in central and northern Europe and it is only smaller than in the most southern parts of Spain, Portugal or Greece. The technical PV potential in Croatia is difficult to estimate without specific policy assumptions as it is directly proportional to the land and roof area designated for this purposes [40].

Recently, development of national legislations environment for renewable energy sources is adopted in accordance with the European framework regarding the use of renewable energy sources within the EU. Act on incentive measures for the production of electrical energy by use of the renewable sources of energy and by combined production of electrical and thermal energy was

issued by the Government of Croatia on 22 March, 2007. Act for the electrical energy produced in plants that use solar energy is limited to the total installed power of up to 1 MW. In Croatia following feed-in tariffs (FITs) are in effect:

- 1 kWh electricity generated by PV solar plants power up to 10 kWp is paid 0.45 €;
- 1 kWh electricity generated by PV solar plants power from 10 kWp to 30 kWp is paid 0.397 € and
- 1 kWh electricity generated by PV solar plants power over 30 kWp is paid 0.278 €.

3.3.5. Albania

In Albania average solar radiation is 1500 kWh/m² per year and maximal radiation is 2200 kWh/m² per year [41].

Based on a survey of world solar energy resources financed by the World Energy Council 2007, Albania receives solar radiation of more than 1500 kWh/m²/yr, within a range of 1185 kWh/m²/yr to 1690 kWh/m²/yr. The average of daily solar radiation can change from a minimum of 3.2 kWh/m² in the northeast up to a maximum of 4.6 kWh/m² in the south-west. The average daily solar radiation of the whole country is near 4.1 kWh/m², which can be considered as a good solar energy regime. Most areas of Albania benefit more than 2200 h of sunshine per year while the average for the whole country is about 2400 h. The Western part receives more than 2500 h of sunshine per year. Fier has a record of 2850 h. The number of the solar days in Albania has an average of 240–260 days annually with a maximum of 280–300 days annually in the south-west part. The potential of solar thermal is not merely determined by irradiation characteristics but also by the availability of roof space and orientation and inclination of the roof, the collector and storage as well [41,42].

The paper [38] claims that, in general, renewable energy data for Albania are limited. Presently, there have been no regulatory incentives identified for the development of renewable energy projects. Albania lacks legislation in the field of renewable energy sources as well as energy conservation. However, the Albanian Government has indicated awareness of this situation and is preparing an Energy Law as well as an Energy Efficiency Law. Government Decree No. 424/June 2003 approves the National Energy Strategy until 2015. According to this decree, the Ministry of Industry and Energy and the National Agency for Energy are appointed to update this strategy every two years. Energy Policy Law has a special focus on promoting the energy efficiency and energy conservation, creating an Energy Efficiency Fund, energy efficiency labeling, and promoting energy audit schemes. Environmental Protection Law No. 7664/January 1993 provides environmental impact assessment and protection schemes in Albania. This Environmental Protection Law completely revises the environmental protection schemes and measures practiced in the country until recently. According to this Law the control over the sources and causes of pollution shall be exercised by the Ministry of Health and the National Environmental Agency (NEA), upon the request of any of the parties affected [38].

The PV technology is not still used in Albania and with a very high probability will not be used even in the near future, because of the high prices which are not affordable for the private sector and households. Feed in tariffs for the electricity produced by PV systems, which might support the development of the PV market do not exist so it is very unlikely that in the near future this type of technology will be broadly implemented. The development of the concentrated solar power is not mentioned at all either in the strategy or in any other government documents, but as for the PV, for the same reasons it is not going to be relevant resource in the near future [41,42].

4. Climatic conditions in Serbia

Serbia is located between 41°46'40" and 46°11'25" of the north latitude and 18°06' and 23°01' of the east longitude [43–45]. Serbia belongs to the continental climate regions which can be divided into the continental climate in the Panonic lowlands, moderate-continental climate in lower parts of the mountain region and the mountain climate on high mountains.

Relief substantially influences the climate of Serbia. Parallel to the coast of the Adriatic Sea spreads the range of the Dinars mountains of the Montenegro which prevents more intensive encroachment of the air masses from the Adriatic Sea towards the areas of Serbia. From the other side the territory of Serbia is through the Panonic lowlands widely exposed to the climate influences from the north and east. Along the valleys of Kolubara, Velika and Južna Morava the air masses float to the north-south and vice versa. The climate of Serbia is heavily influenced by air masses of certain physical characteristics. The biggest influence is exerted by the air masses formed over Siberia, Artic, Atlantic Ocean, African land and the Mediterranean. Over these areas a field of high air pressure is formed. On the territory of Serbia often cold air from the Siberia penetrates and rarely from the Arctics [43–45].

4.1. Continental (Panonic) climate in Serbia

North part of Serbia comprises vast Panonic area which is wide open and exposed to the climate influences coming from the north and the east. The Panonic lowlands show continental climate which encompasses Vojvodina and its edge up to 800 m of height. Continental climate is characterised by excessively hot summers with insufficient humidity. Winters are long and harsh and autumns and springs are mild and short. Average annual air temperatures in the Panonic area are increasing from the west towards the east and from the north to the south. Sombor at the farthest west has average annual temperature of 11.1 °C, and Jaša Tomić on the east has 14.4 °C. Average annual temperature of Palić on the farthest north is 10.6 °C, and of Belgrade on the south is 11.6 °C. The hottest month in the Panonic area is July. However, the whole area of the Panonic lowlands exhibits certain differences. From the west towards the east summer temperatures increase. For example, average July temperature in Sombor (Bačka) is 21.2 °C, and in Vršac (Banat) is 23.3 °C. The highest summer temperatures can reach 35 °C and even 44.3 °C (Stari Bečej), and in deserts they rise even up to 60 °C. Winter in Panonic area is extremely cold. The lowest winter temperatures are on the east of the region in Banat and Bačka, while it is somewhat hotter on the edge of the Panonic basen. January is the coldest month with the average temperature of –1.9 °C on Palić and 0.3 °C in Smederevo. Precipitations in the area of the Panonic lowlands are insufficient and unevenly distributed over the year. Also the territorial distribution of precipitation differs. The lowest annual rate of precipitation is to be found on the whole Panonic area in Vojvodina. On average, Banat and Bačka annually have precipitations of around 500–600 mm, and in some years this is below 400 mm. Therefore, this area is often affected by draught. Starting from the central parts of the Panonic lowlands towards the south, west and east precipitation rises. Area near Vršac has annual precipitation of 600–800 mm. Towards the south precipitation is slowly increasing so Požarevac has annual precipitation of 609 mm and Smederevo of 650 mm [43,44].

4.2. Moderate-continental (mountain) climate in Serbia

Moderate-continental climate is dominant in the mountain range of Serbia of 800–1400 m altitude. It is characterized by

moderate hot summers, autumns longer and hotter than springs and cold winters. Mountain climate prevails in the range over 1400 m of latitude. On the territory of Serbia it is most present on the mountains Šar-planina, Prokletija, Kopaonik, Stara planina, etc. This climate type is characterized by long, cold and snowy winters and short and chilly summers.

In high lime fields and the valleys of the Mountain area of Serbia climate ranges from the moderate-continental to the mountain one. Due to the temperature inversion winters are there harsher. Summers in lime fields are pleasant and in higher ones even chilly. Extremely hot weather during summer is rare and lasts short. In confined and wind proof valleys in Serbia a real *Župna* (term derived from the places names) climate prevails. These valleys are in summer and winter hotter than their surroundings. Average monthly and annual air temperatures in Mountain region of Serbia are decreasing with the higher latitude and altitude. The lowest average monthly and annual air temperatures in Serbia are on Šar Planina, Stara Planina and Kopaonik.

Mountain region of Serbia is characterized by the *Župna* variant of the moderate-continental climate. This variant of the moderate-continental climate is typical for the Aleksandrovac, Metohija and Vranje valleys. *Župna* variant occurs as a consequence of bigger protection of the afore mentioned valleys from the penetration of cold air from the north. The mountain area of Serbia is characterized by the temperature inversions. High valleys and lime fields in the Mountain region during winter are colder than their surroundings especially at night when the nearby mountains give away cold air which lakes up in the valleys and lime fields and stays there longer. Cloudiness in the Mountain region is from 55% to 60% annually. Sunshine duration in the Mountain region of Serbia is 1500–2000 h annually. Such a small span of sunshine duration is a consequence of high cloudiness, especially in winter time. Sunshine duration span is the smallest on the mountains. On Tara sunshine duration is 1700 h annually or 4.9 h a day. On Kopaonik annual sunshine duration is 1741 h or 5 h a day. Precipitation in the Mountain region is high. On average Mountain region has 1700 mm of precipitation annually [43,44].

Table 3

Yearly average values of the meteorological data of some cities in Serbia in the period from 1961 to 2010.

Serbian cities	Sunshine duration (h)	Temperature (°C)	Precipitation (mm)	Humidity (%)	Overcast (%)
Subotica	2112.9	10.75	550.9	69.73	54.33
Sombor	2050.1	10.86	592.7	73.75	55.58
Novi Sad	2062.4	11.18	613.3	71.28	52.67
Vršac	2060.0	11.64	660.8	70.14	52.67
Beograd	2073.2	12.22	692.5	68.50	54.00
Negotin	2083.5	11.47	632.8	70.28	51.17
Požarevac	–	–	–	–	–
Valjevo	1957.9	11.15	783.2	74.38	58.42
Kragujevac	1988.6	10.99	646.3	73.36	55.50
Užice	1604.9	10.23	757.5	77.33	53.75
Zaječar	2014.1	10.70	597.3	73.25	56.67
Čačak	–	–	–	–	–
Kruševac	1777.8	11.03	636.3	76.5	54.67
Nova Varoš	–	–	–	–	–
Niš	1956.3	11.64	591.4	70.15	55.42
Kuršumljija	1776.0	10.17	639.2	76.68	52.00
Novi Pazar	1948.0	12.18	409.2	76.75	60.83
Pirot	2084.1	10.78	595.6	74.99	54.5
Leskovac	2002.0	10.49	618.0	76.75	55.58
Kosovska Mitrovica	–	–	–	–	–
Vranje	2075.8	10.97	600.5	70.9	55.42
Đakovica	–	–	–	–	–
Prizren	–	–	–	–	–

4.3. Meteorological data of some cities in Serbia in the period from 1961 to 2010

Yearly average values of the meteorological data of some cities in Serbia in the period from 1961 to 2010 are given in Table 3 [44].

Table 3 is formed on the basis of meteorological data of the Republic Hydrometeorological Institute of Serbia for the period 1961 to 2010. Unfortunately for Požarevac, Čačak, Nova Varoš, Kosovska Mitrovica, Đakovica i Prizren there are no continuous data for the given period.

Data in Table 3 reveal that

1. yearly sunshine duration ranges from 1604.9 h (Užice) to 2084.1 h (Pirot);
2. yearly average temperature ranges from 10.17 °C (Kuršumljija) to 12.22 °C (Belgrade);
3. yearly precipitation ranges from 409.2 mm (Novi Pazar) to 783.2 mm (Valjevo);
4. yearly humidity ranges from 68.50% (Beograd) to 77.33% (Užice);
5. yearly average overcast ranges from 51.17% (Negotin) to 60.83% (Novi Pazar) and
6. average daily sunshine duration for the afore mentioned cities is 5.4 h.

4.4. Solar irradiation in Serbia

Average solar irradiation on the territory of the Republic of Serbia ranges from 1.1 kWh/m²/day on the north to 1.7 kWh/m²/day on the south during January, and from 5.9 kWh/m²/day to 6.6 kWh/m²/day during July. On a yearly basis average value of the global solar irradiation for the territory of the Republic of Serbia ranges from 1200 kWh/m²/year in the Northwest Serbia to 1550 kWh/m²/year in Southeast Serbia, while in the middle part it totals to around 1400 kWh/m²/year. Due to this fact Serbia exhibits favourable conditions for the use of solar energy and its conversion into the thermal and electrical energy [23,24,46].

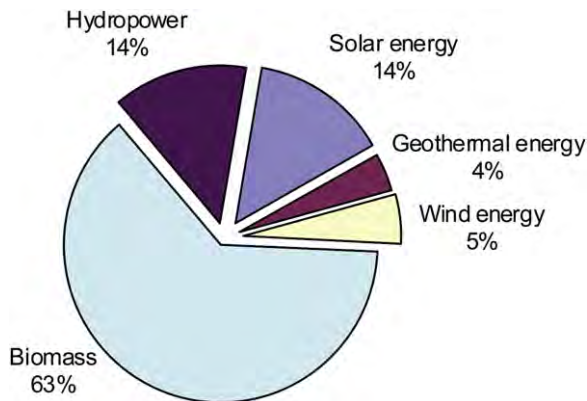


Fig. 4. Participation of some renewable sources of energy in the overall potential of Serbia [23,24].

4.5. Energy potential of the renewable sources of energy in the Republic of Serbia

Tehcnically, usable energy potential of the renewable sources of energy in the Republic of Serbia is significant and estimated to over 4.3 million of tonnes of the equivalent oil (tn) annually—out of which around 2.7 million of tonnes of equivalent oil annually is to be used in biomass, 0.6 million of tonnes of equivalent oil annually in unused hydropotential, 0.2 million tonnes of equivalent oil annually is in the existing geothermal sources, 0.2 million of tonnes of equivalent oil annually is in energy of wind and 0.6 million of tonnes of equivalent oil annually in the use of solar irradiation. Participation of some renewable sources of energy in the overall potential of Serbia is shown in Fig. 4 [23,24].

5. PVGIS and solar maps for the territory of Serbia

Quantity of sun radiation intake on the surface of earth is influenced by numerous factors such as: geographical latitude of the given place, season of the year, part of the day, purity of the atmosphere, cloudiness, orientation and surface inclination, etc. These data are very important because of their use in calculations of the cost effectiveness of equipment using sun radiation. Very reliable data can be found in data basis PVGIS-a (Photovoltaic Geographical Information System) [3,17,47,48].

PVGIS (*Photovoltaic Geographical Information System* –PVGIS © European Communities, 2001–2008) is a part of the SOLAREC action aimed at contributing to the implementation of renewable energy in the EU. SOLAREC is an internally funded project on PV solar energy for the 7th Framework Programme PVGIS has been developed at the JRC (Joint Research Centre) of the European Commission within its Renewable Energies Unit since 2001 as a research GIS oriented tool for the performance assessment of solar PV systems in European geographical regions. From the very start of its functioning PVGIS was envisaged to be locally used, however access to the PVGIS database and estimations was drawn as open system access for professionals and the general European public as well by means of the web-based interactive applications. PVGIS provides data for the analysis of the technical, environmental and socio-economic factors of solar PV electricity generation in Europe and supports systems for EU countries solar energy decision-making.

PVGIS methodology comprises solar radiation data, PV module surface inclination and orientation and shadowing effect of the local terrain features (e.g., when the direct irradiation component is shadowed by the mountains), thus PVGIS represents immensely important PV implementation assessment tool that estimates dynamics of correlations between solar radiation, climate, atmosphere, the earth's surface and the PV technology used. Several

fast web applications enable an easy estimation of the PV electricity generation potential for selected specific locations in Europe [3,17,47–50].

In order to calculate electricity generated by the fixed PV solar plants, one-axis and dual-axis tracking PV solar plants today PVGIS software packages easily found on the Internet are used [47,50]. These programmes can produce the following data: average daily, monthly and yearly values of the solar irradiation taken on square meter of the horizontal surface or the surface tilted under certain angle in relation to the horizontal surface, change in the optimal tilting angle of the solar modules during the year, relation of global and diffused sun radiation, average daily temperature, and daily, monthly and yearly electricity generated by the fixed PV solar plants, one-axis and dual-axis tracking PV solar plants, etc. A typical PVGIS value for the performance ratio (PV system losses) of PV solar plants with modules from monocrystalline and polycrystalline silicon is taken to be 0.75 [3,17,47].

In this paper PVGIS-3 is used. The PVGIS-3 data set is based on measurements made on the ground in the period 1981–1990 which are then interpolated between points to get radiation values at any point. A new version PVGIS-CMSAF has been recently introduced which uses the new databases for the solar radiation data provided by the Climate Monitoring Satellite Application Facility (CMSAF) from the period 1998–2010. According to the possible wrong terrestrial measurements and to the fact that the amount of solar radiation has increased over Europe in the last 30 years, calculations with new PVGIS-CMSAF give higher values than with the older PVGIS-3. For the territory of Serbia PVGIS-CMSAF gives up to 5% higher values for the solar irradiation data [3,17,47].

This programme gives a map which when appears activates the programme, spots the location of the PV solar plant to be, sorts out the type of solar cells and inputs the power and type of PV solar plant (fixed, one-axis and dual-axis tracking PV solar plants) [3,17,47].

Yearly sum of total solar irradiation incident on optimally inclined south-oriented PV modules in kWh/m² for the territory of Serbia obtained by PVGIS is given in Fig. 5.

It is clear from Fig. 5 that average solar irradiation is not dependent on geographical latitude only. There are regional differences in global solar irradiation due to terrain features and climatic conditions.

Comparison of available annual quantities of the energy of the global sun radiation on the horizontal surface, on the territory of Germany and Serbia is given in Fig. 6. Average values of the energy of global radiation on the territory of Germany is around 1000 kWh/m² whereas for Serbia that value is around 1400 kWh/m². In Serbia sun energy evenly increases from northwest to southeast, while in Germany the situation is more complex. The least values are not on the north but in the central part of the country due to increased turbidity of the atmosphere (linke turbidity) [46].

6. Results and discussion

This section gives the results obtained by the study of the solar irradiation and electricity generated by optimally inclined fixed PV solar plants, optimally inclined one-axis and dual-axis tracking PV solar plants of 1 MW with monocrystalline silicon, CdTe and CIS solar modules in 23 cities of Serbia, processed by the PVGIS software [47].

6.1. Solar irradiation in Serbia

Geographical position and the results of PVGIS calculation of the yearly average values of the optimal panel inclination, solar

irradiation on the horizontal, vertical and optimally inclined plane, ratio of diffuse to global solar irradiation and linke turbidity for some cities in Serbia are shown in Table 4.

Table 4 shows that

1. yearly average of the optimal panel inclination ranges from 32° (Negotin, Zaječar, Pirot) to 35° (Novi Pazar, Vršac, Beograd);
2. yearly average of the solar irradiation on horizontal plane ranges from 3370 Wh/m² (Sombor) to 4000 Wh/m² (Đakovica);

3. yearly average of the solar irradiation on vertical plane ranges from 2530 Wh/m² (Sombor) to 3010 Wh/m² (Đakovica);
4. yearly average of the solar irradiation on optimally inclined plane ranges from 3810 Wh/m² (Sombor) to 4580 Wh/m² (Đakovica);
5. yearly average of the ratio diffuse to global solar irradiation ranges from 0.43 (Đakovica, Prizren) to 0.51 (Pirot) and
6. yearly average of the linke turbidity ranges from 2.4 (Zaječar) to 3.7 (Subotica, Sombor).

Total for year sum of global irradiation per square meter received by the modules of the given PV system (optimally inclined fixed PV solar plants, optimally inclined one-axis and dual-axis tracking PV solar plants) of 1 MW in some cities in Serbia obtained by PVGIS is shown in Table 5.

Table 5 shows that

1. Total for year sum of global irradiation per square meter received by the optimally inclined fixed PV solar plants of 1 MW ranges from 1390 kWh/m² (Sombor) to 1670 kWh/m² (Đakovica);
2. Total for year sum of global irradiation per square meter received by the optimally inclined one-axis tracking PV solar plants of 1 MW ranges from 1750 kWh/m² (Sombor) to 2170 kWh/m² (Đakovica);
3. Total for year sum of global irradiation per square meter received by the dual-axis tracking PV solar plants of 1 MW ranges from 1790 kWh/m² (Sombor) do 2230 kWh/m² (Đakovica);
4. In Sombor optimally inclined one-axis tracking PV solar plants of 1 MW intake 25.9% more solar irradiation compared to optimally inclined fixed PV solar plant of 1 MW, and dual-axis tracking PV solar plants of 1 MW intake 28.78% more solar irradiation compared to optimally inclined fixed PV solar plant of 1 MW and dual-axis tracking PV solar plants of 1 MW intake 2.29% more solar irradiation compared to optimally inclined one-axis tracking PV solar plants of 1 MW and
5. In Đakovica optimally inclined one-axis tracking PV solar plants of 1 MW intake 29.94% more solar irradiation than optimally inclined fixed PV solar plant of 1 MW, dual-axis tracking PV solar plants of 1 MW intake 33.54% more solar radiation than optimally inclined fixed PV solar plant of 1 MW and dual-axis tracking PV solar plants of 1 MW intake 2.77%

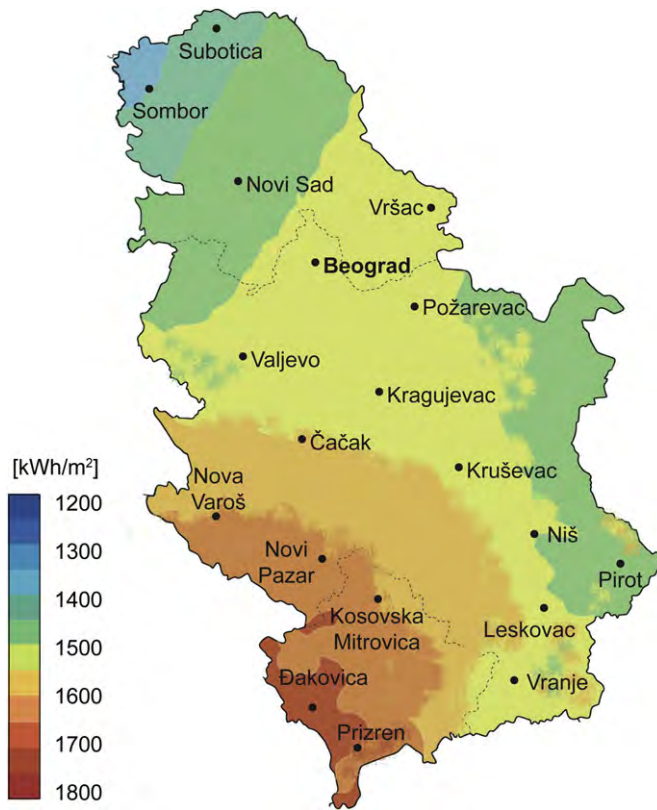


Fig. 5. Yearly sum of total solar irradiation incident on optimally inclined south-oriented PV modules in kWh/m² for the territory of Serbia. Adapted for Serbia from PVGIS © European Communities, 2001–2008, <http://re.ec.europa.eu/pvgis/>.

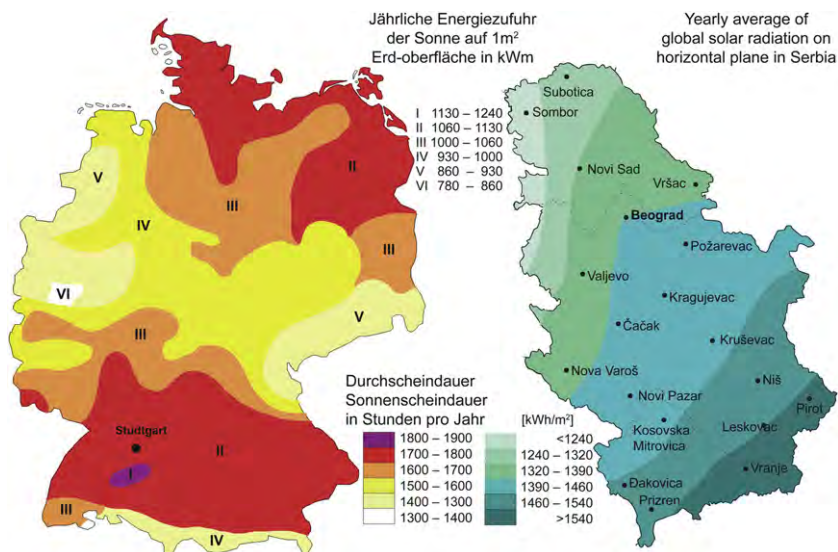


Fig. 6. Comparison of available annual quantities of the energy of the global sun radiation on the horizontal surface on the territory of Germany and Serbia [46].

Table 4

Geographical position and the results of PVGIS calculation of the yearly average values of the optimal panel inclination, solar irradiation on the horizontal, vertical and optimally inclined plane, ratio of diffuse to global solar irradiation and Linke turbidity for some cities in Serbia.

Some cities in Serbia	North latitude and east longitude	Optimal panel inclination (°)	Solar irradiation (in Wh/m ² /year) Annual irradiation deficit due to shadowing (horizontal): 0–2.0%			Ratio of diffuse to global solar irradiation (–)	Linke turbidity(–)
			On horizontal plane	On vertical plane	On optimally inclined plane		
Subotica	46°4'23" North, 19°38'36" East	34	3430	2620	3910	0.49	3.7
Sombor	45°46'30" North, 19°6'58" East	34	3370	2530	3810	0.50	3.7
Novi Sad	45°14'38" North, 19°50'28" East	34	3550	2690	4040	0.49	3.0
Vršac	45°6'44" North, 21°18'8" East	35	3640	2790	4170	0.47	2.7
Beograd	44°47'36" North, 20°27'23" East	35	3620	2750	4130	0.47	2.8
Negotin	44°14'14" North, 22°34'56" East	32	3560	2600	3990	0.48	2.6
Požarevac	44°36'50" North, 21°10'14" East	34	3640	2750	4150	0.47	2.7
Valjevo	44°16'7" North, 19°53'6" East	34	3650	2780	4170	0.47	3.1
Kragujevac	44°0'31" North, 20°55'24" East	34	3710	2790	4210	0.47	2.7
Užice	43°54'35" North, 19°44'12" East	34	3700	2790	4210	0.47	3.0
Zaječar	43°53'52" North, 22°15'29" East	32	3640	2640	4070	0.49	2.4
Čačak	43°53'9" North, 20°21'7" East	34	3750	2850	4290	0.46	2.8
Kruševac	43°35'3" North, 21°19'8" East	33	3770	2790	4260	0.47	2.5
Nova Varoš	43°27'24" North, 19°48'30" East	33	3730	2750	4230	0.46	2.9
Niš	43°18'47" North, 21°53'5" East	33	3700	2690	4140	0.48	2.5
Kuršumlija	43°8'42" North, 21°16'39" East	34	3800	2840	4310	0.47	2.5
Novi Pazar	43°7'59" North, 20°31'1" East	35	3890	2990	4470	0.46	2.7
Pirot	43°9'40" North, 22°35'55" East	32	3590	2590	4000	0.51	2.5
Leskovac	43°0'2" North, 21°56'42" East	33	3740	2720	4190	0.48	2.5
Kosovska Mitrovica	42°52'33" North, 20°51'46" East	34	3890	2940	4440	0.45	2.7
Vranje	42°33'25" North, 21°56'22" East	33	3670	2680	4120	0.48	3.3
Đakovica	42°22'29" North, 20°26'4" East	34	4000	3010	4580	0.43	3.3
Prizren	42°12'29" North, 20°43'12" East	34	3970	2950	4520	0.43	3.4

more solar irradiation than optimally inclined one-axis tracking PV solar plants of 1 MW.

6.2. Electricity production of different types of PV solar plants of 1 MW in 23 cities in Serbia

Total for year electricity production of different types of PV solar plants of 1 MW in some cities in Serbia obtained by PVGIS is shown in Table 6.

Table 6 shows that

1. Irrespective of the type of PV solar plants most electrical energy is generated if CdTe solar cells are used;
2. Total for year electricity production by the optimally inclined fixed PV solar plants of 1 MW with solar modules of monocrystalline silicon ranges from 1050 MWh (Sombor) to 1260 MWh (Đakovica), with CdTe solar modules it ranges from

1170 MWh (Sombor) to 1390 MWh (Đakovica) and with CIS solar modules it ranges from 1070 MWh (Sombor) to 1290 MWh (Đakovica);

3. Total for year electricity production by the optimally inclined one-axis tracking PV solar plants of 1 MW with solar modules of monocrystalline silicon ranges from 1330 MWh (Sombor) to 1650 MWh (Đakovica), with CdTe solar modules it ranges from 1460 MWh (Sombor) to 1800 MWh (Đakovica) and with CIS solar modules it ranges from 1360 MWh (Sombor) to 1680 MWh (Đakovica) and
4. Total for year electricity production by the dual-axis tracking PV solar plants of 1 MW with solar modules of monocrystalline silicon ranges from 1360 MWh (Sombor) to 1680 MWh (Đakovica), with CdTe solar modules it ranges from 1490 MWh (Sombor) to 1840 MWh (Đakovica) and with CIS solar modules it ranges from 1390 MWh (Sombor) to 1720 MWh (Đakovica).

Table 5
Total for year sum of global irradiation per square meter received by the modules of the given PV system (optimally inclined fixed PV solar plants, optimally inclined one-axis and dual-axis tracking PV solar plants) of 1 MW in some cities in Serbia obtained by PVGIS.

No.	Some cities in Serbia	Total for year sum of global irradiation per square meter received by the optimally inclined modules of the fixed pv solar plant of 1 MW (kWh/m ² /year)	Total for year sum of global irradiation per square meter received by the optimally inclined modules of the one –axis tracking pv solar plant of 1 MW (kWh/m ² /year)	Total for year sum of global irradiation per square meter received by the modules of the dual –axis tracking pv solar plant of 1 MW (kWh/m ² /year)
1.	Subotica	1430	1800	1840
2.	Sombor	1390	1750	1790
3.	Novi Sad	1470	1890	1930
4.	Vršac	1520	1980	2030
5.	Beograd	1510	1950	2000
6.	Negotin	1460	1900	1940
7.	Požarevac	1510	1970	2020
8.	Valjevo	1520	1950	2000
9.	Kragujevac	1540	2000	2060
10.	Užice	1540	1960	2010
11.	Zaječar	1490	1940	1990
12.	Čačak	1490	1940	1990
13.	Kruševac	1550	2040	2090
14.	Nova Varoš	1540	1900	1950
15.	Niš	1510	1970	2020
16.	Kuršumlija	1570	2040	2100
17.	Novi Pazar	1630	2110	2170
18.	Pirot	1460	1860	1900
19.	Leskovac	1530	1990	2040
20.	Kosovska Mitrovica	1620	2110	2170
21.	Vranje	1500	1900	1950
22.	Đakovica	1670	2170	2230
23.	Prizren	1650	2110	2170

Estimated losses in PV solar plants of 1 MW in some cities in Serbia obtained by PVGIS are shown in Table 7.

Comparison of total for year electricity production of different types of PV solar plants with monocrystalline silicon solar modules of 1 MW in some cities in Serbia is shown in Fig. 7.

Fig. 7 shows that

1. In Sombor by means of dual-axis tracking PV solar plant of 1 MW with solar modules of monocrystalline silicon 29.53% more electrical energy is generated compared to optimally inclined fixed PV solar plant of 1 MW with solar modules of monocrystalline silicon and 2.26% more electrical energy is generated than in case of optimally inclined one-axis tracking PV solar plants of 1 MW with solar modules of monocrystalline silicon and
2. In Đakovica by means of dual-axis tracking PV solar plant of 1 MW with solar modules of monocrystalline silicon 33.34% more electrical energy is generated compared to optimally inclined fixed PV solar plant of 1 MW with solar modules of monocrystalline silicon and 1.82% more electrical energy is generated than by means of optimally inclined one-axis tracking PV solar plants of 1 MW with solar modules of monocrystalline silicon.

Comparison of total for year electricity production of different types of PV solar plants with CdTe solar modules of 1 MW in some cities in Serbia is shown in Fig. 8.

Fig. 8 shows that

1. In Sombor by means of dual-axis tracking PV solar plant of 1 MW with CdTe solar modules 27.35% more electrical energy is generated than in case of optimally inclined fixed PV solar plant of 1 MW with CdTe solar modules and 2.06% more electrical energy in comparison to optimally inclined one-axis tracking PV solar plants of 1 MW with CdTe solar modules and

2. In Đakovica by means of dual-axis tracking PV solar plant of 1 MW with CdTe solar modules 32.38% more electrical energy is generated than by optimally inclined fixed PV solar plant of 1 MW with CdTe solar modules and 2.23% more electrical energy is generated than by optimally inclined one-axis tracking PV solar plants of 1 MW with CdTe solar modules.

Comparison of total for year electricity production of different types of PV solar plants with CIS solar modules of 1 MW in some cities in Serbia is shown in Fig. 9.

Fig. 9 shows that

1. In Sombor by means of dual-axis tracking PV solar plant of 1 MW with CIS solar modules 29.91% more electrical energy is generated than by optimally inclined fixed PV solar plant of 1 MW with CIS solar modules and 2.21% more electrical energy is generated than by optimally inclined one-axis tracking PV solar plants of 1 MW with CIS solar modules and
2. In Đakovica by means of dual-axis tracking PV solar plant of 1 MW with CIS solar modules 33.34% more electrical energy is generated than by optimally inclined fixed PV solar plant of 1 MW with CIS solar modules and 2.38% more electrical energy is generated than by optimally inclined one-axis tracking PV solar plants of 1 MW with CIS solar modules.

7. Conclusion

In the light of all afore mentioned one can conclude that nowadays worldwide PV solar plants mainly use solar cells made of monocrystalline, polycrystalline and amorfous silicon, CdTe and CIS solar cells. Based on climate and other conditions fixed, one-axis, and dual-axis tracking PV solar plants are installed worldwide. Although Serbia has very favourable climate and legal

Table 6
Total for year electricity production of different types of PV solar plant of 1 MW in some cities in Serbia.

No.	Some cities in Serbia	Total for year electricity production of optimally inclined fixed pv solar plant of 1 MW (MWh)			Total for year electricity production of optimally inclined one –axis tracking pv solar plant of 1 MW (MWh)			Total for year electricity production of dual –axis tracking pv solar plant of 1 MW (MWh)		
		c-Si solar modules	CdTe solar modules	CIS solar modules	c-Si solar modules	CdTe solar modules	CIS solar modules	c-Si solar modules	CdTe solar modules	CIS solar modules
1.	Subotica	1080	1200	1100	1380	1510	1400	1400	1540	1430
2.	Sombor	1050	1170	1070	1330	1460	1360	1360	1490	1390
3.	Novi Sad	1110	1230	1130	1430	1560	1460	1460	1590	1490
4.	Vršac	1140	1260	1160	1490	1630	1520	1520	1660	1560
5.	Beograd	1130	1250	1150	1470	1610	1500	1500	1640	1540
6.	Negotin	1090	1210	1110	1420	1550	1450	1450	1580	1490
7.	Požarevac	1130	1250	1160	1480	1620	1520	1520	1660	1550
8.	Valjevo	1150	1270	1170	1480	1610	1510	1510	1650	1550
9.	Kragujevac	1150	1270	1180	1510	1650	1540	1540	1680	1580
10.	Užice	1170	1280	1190	1490	1620	1530	1530	1650	1560
11.	Zaječar	1110	1230	1130	1450	1580	1480	1480	1610	1520
12.	Čačak	1130	1300	1200	1480	1680	1570	1520	1720	1610
13.	Kruševac	1160	1280	1180	1530	1670	1560	1560	1700	1600
14.	Nova Varoš	1170	1290	1200	1440	1570	1480	1470	1600	1510
15.	Niš	1130	1250	1150	1470	1610	1510	1500	1640	1540
16.	Kuršumlija	1180	1300	1210	1540	1680	1580	1580	1710	1610
17.	Novi Pazar	1240	1360	1260	1600	1740	1640	1640	1780	1680
18.	Pirot	1090	1200	1110	1390	1510	1420	1410	1540	1450
19.	Leskovac	1140	1260	1170	1490	1630	1530	1520	1660	1560
20.	Kosovska Mitrovica	1220	1350	1250	1600	1730	1630	1630	1770	1670
21.	Vranje	1140	1250	1160	1440	1570	1480	1470	1600	1510
22.	Đakovica	1260	1390	1290	1650	1800	1680	1680	1840	1720
23.	Prizren	1240	1380	1270	1600	1750	1630	1630	1790	1670

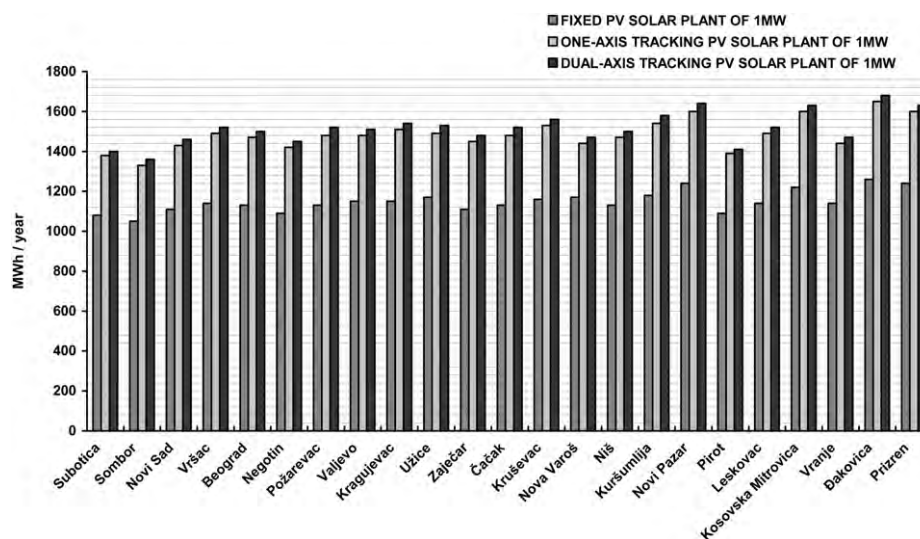


Fig. 7. Comparison of total for year electricity production of different types of PV solar plants with monocrystalline silicon solar modules of 1 MW in some cities in Serbia.

conditions for the installation and use of PV solar plants rare are the examples of the use of PV solar plants for the generation of electrical energy in private households and state objects. First on-grid PV solar plant of 3 kWp in Serbia was installed in 2004 on the roof of the elementary school *Dušan Jerković* in Ruma. Three on-grid PV solar plants of 5 kWp were installed in 2010 on high schools in Belgrade, Kula and Varvarin. Afore mentioned PV solar plants are used for demonstrational and educational purposes. Besides, up to now following on-grid PV solar systems are installed in Serbia: in the Monastery *Dević*, near the town Pirot (15 kWp, 2010), on the Faculty of Technical Sciences in Novi Sad

(8 kWp, 2011.), on the Faculty of Electrical Engineering in Niš (1.2 kW, 2011), on the Faculty of Sciences and Mathematics in Niš (2 kWp, 2012), on the private house in village Blace (10.44 kWp, 2012), on the private company in Leskovac (30 kWp, 2012), on the private company in Čačak (55 kWp, 2012), in two private houses in village Merosina of 10 kWp and 20 kWp (2012), in Zaječar (10 kWp, 2011), in village Čortanovci (10 kWp, 2012), in Čačak (5 kWp, 2012), in Zemun (2.5 kWp, 2012). Currently three PV solar plants in Serbia are under construction: in Čajetina, a fixed PV solar plant of 10 MW, in Merdare near the town Kursumlija, a fixed PV solar plant of 2 MW and in the town of Leskovac a dual-

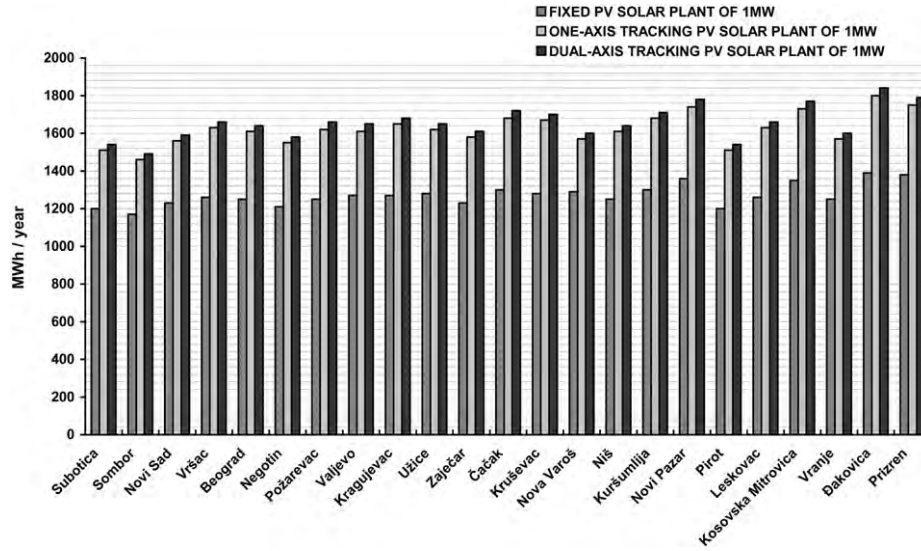


Fig. 8. Comparison of total for year electricity production of different types of PV solar plants with CdTe solar modules of 1 MW in some cities in Serbia.

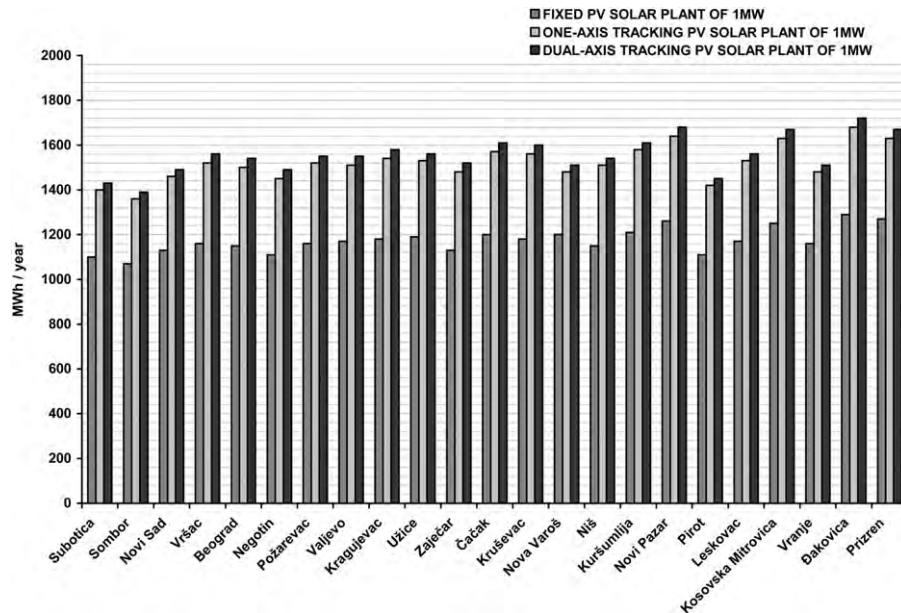


Fig. 9. Comparison of total for year electricity production of different types of PV solar plants with CIS solar modules of 1 MW in some cities in Serbia.

axis tracking PV solar plant of 950 kWp. Up to now more than 200 off-grid PV systems power of 50 W–4 kW are installed in Serbia. Recently, in Serbia there is an increased use of PV systems for traffic lights and other traffic signalization.

Application of PVGIS program in 23 towns in Serbia shows that yearly average of the optimal panel inclination ranges from 32° to 35°; total for year sum of global irradiation per square meter received by the optimally inclined fixed PV solar plants of 1 MW ranges from 1390 kWh (Sombor) to 1670 kWh (Đakovica); total for year sum of global irradiation per square meter received by the optimally inclined one-axis tracking PV solar plants of 1 MW ranges from 1750 kWh (Sombor) to 2170 kWh (Đakovica); total for year sum of global irradiation per square meter received by the dual-axis tracking PV solar plants of 1 MW ranges from 1790 kWh (Sombor) to 2230 kWh (Đakovica).

Total for year electricity production by the optimally inclined fixed PV solar plants of 1 MW with solar modules of

monocrystalline silicon ranges from 1050 MWh (Sombor) to 1260 MWh (Đakovica), with CdTe solar modules ranges from 1170 MWh (Sombor) to 1390 MWh (Đakovica) and with CIS solar modules it ranges from 1070 MWh (Sombor) to 1290 MWh (Đakovica).

Total for year electricity production by the optimally inclined one-axis tracking PV solar plants of 1 MW with solar modules of monocrystalline silicon ranges from 1330 MWh (Sombor) to 1650 MWh (Đakovica), with CdTe solar modules it ranges from 1460 MWh (Sombor) to 1800 MWh (Đakovica) and with CIS solar modules it ranges from 1360 MWh (Sombor) to 1680 MWh (Đakovica).

Total for year electricity production by the dual-axis tracking PV solar plants of 1 MW with solar modules of monocrystalline silicon ranges from 1360 MWh (Sombor) to 1680 MWh (Đakovica), with CdTe solar modules it ranges from 1490 MWh (Sombor) to 1840 MWh (Đakovica) and with CIS solar modules it ranges from 1390 MWh (Sombor) to 1720 MWh (Đakovica).

Table 7
 Estimated losses in PV solar plants of 1 MW in some cities in Serbia obtained by PVGIS [34].

Some cities in Serbia	Estimated losses due to temperature (using local ambient temperature) on:			Estimated loss due to angular reflectance effects on:			Other losses (cables, inverter etc.):			Combined PV system losses on:		
	c-Si solar modules (%)	CdTe solar modules (%)	CIS solar modules (%)	c-Si solar modules (%)	CdTe solar modules (%)	CIS solar modules (%)	c-Si solar modules (%)	CdTe solar modules (%)	CIS solar modules (%)	c-Si solar modules (%)	CdTe solar modules (%)	CIS solar modules (%)
Subotica	9.0	-0.3	7.5	2.8	2.8	2.8	14	14	14	23.9	16.2	22.7
Sombor	9.1	-0.3	7.6	2.9	2.9	2.9	14	14	14	24.0	16.2	22.8
Novi Sad	9.7	0.3	8.1	2.9	2.9	2.9	14	14	14	24.5	16.7	23.2
Vršac	9.9	0.7	8.2	2.9	2.9	2.9	14	14	14	24.7	17.0	23.3
Beograd	9.9	0.6	8.2	2.9	2.9	2.8	14	14	14	24.7	16.9	23.3
Negotin	10.2	0.9	8.6	3.0	3.0	3.0	14	14	14	25.1	17.3	23.7
Požarevac	10.0	0.7	8.3	2.9	2.9	2.9	14	14	14	24.8	17.1	23.4
Valjevo	9.3	0.3	7.7	2.8	2.8	2.8	14	14	14	24.2	16.7	22.9
Kragujevac	9.8	0.7	8.2	2.9	2.9	2.9	14	14	14	24.7	17.1	23.3
Užice	8.7	0.2	6.9	2.8	2.8	2.8	14	14	14	23.6	16.5	22.2
Zaječar	10.5	1.2	8.8	3.0	3.0	3.0	14	14	14	25.3	17.5	23.9
Čačak	8.8	0.6	8.0	3.0	2.8	2.8	14	14	14	23.9	17.0	23.1
Kruševac	10.2	1.0	8.5	2.9	2.9	2.9	14	14	14	25.0	17.4	23.6
Nova Varoš	9.0	0.3	6.9	2.7	2.7	2.7	14	14	14	23.8	16.5	22.1
Niš	10.3	1.0	8.5	2.9	2.9	2.9	14	14	14	25.1	17.4	23.7
Kuršumlija	9.6	0.8	7.9	2.9	2.9	2.9	14	14	14	24.5	17.2	23.1
Novi Pazar	8.9	0.5	7.3	2.8	2.8	2.8	14	14	14	23.8	16.9	22.5
Pirot	10.0	1.0	8.4	3.0	3.0	3.0	14	14	14	25.0	17.4	23.6
Leskovac	10.2	1.0	8.5	3.0	3.0	3.0	14	14	14	25.0	17.4	23.6
Kosovska Mitrovica	9.4	0.8	7.8	2.8	2.8	2.8	14	14	14	24.3	17.1	22.9
Vranje	9.1	0.2	7.5	2.9	2.9	2.9	14	14	14	24.0	16.7	22.7
Đakovica	9.5	0.4	7.9	2.7	2.7	2.7	14	14	14	24.3	16.7	22.9
Prizren	9.7	-0.4	8.0	2.7	2.7	2.7	14	14	14	24.4	16.6	23.0

Irrespective of the type of PV solar plants, PVGIS program has shown that most electrical energy in Serbia can be generated by PV solar plants with CdTe solar cells.

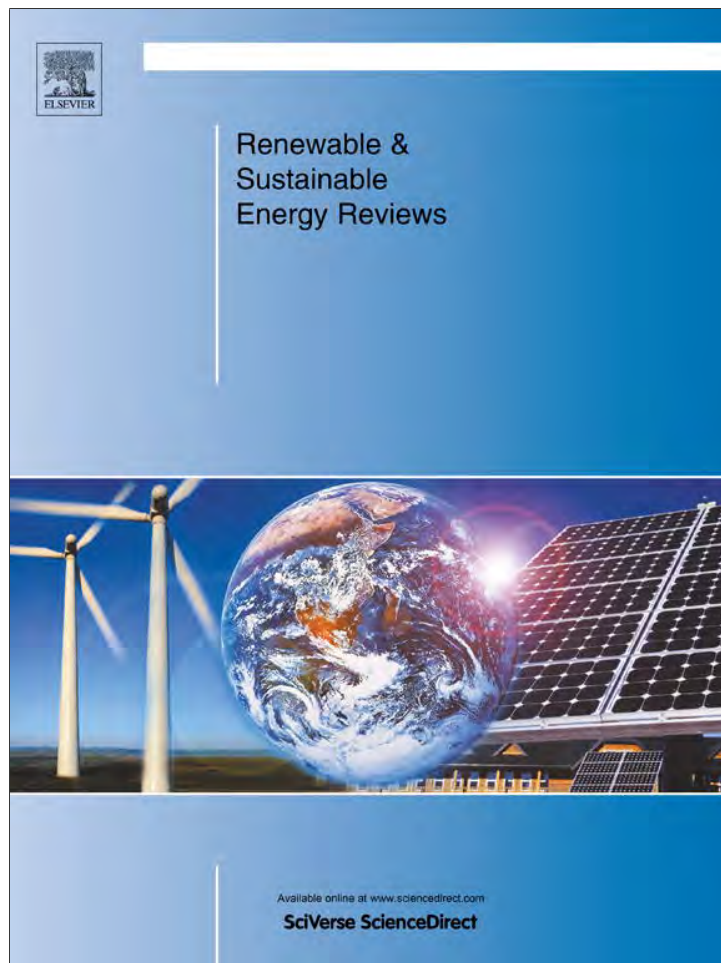
Acknowledgement

This paper was done with the financial support of the projects TR 33009 and OI 176008 approved by the Ministry of Education and Science of the Republic of Serbia.

References

- [1] Oka S, Sedmak A, Đurović-Petrović M. Energy efficiency in Serbia—research and development activity. *Thermal Science* 2006;10(2):5–32.
- [2] Oka S, Sedmak A, Đurović-Petrović M. Energy efficiency in Serbia, national energy efficiency program—strategy and priorities for future. *Thermal Science* 2006;10(4):7–16.
- [3] Pavlović T, Milosavljević D, Radivojević A, Pavlović M. Comparison and assessment of electricity generation capacity for different types of PV solar plants of 1 MW In Soko Banja, Serbia. *Thermal Science* 2011;15(3):605–18, <http://dx.doi.org/10.2298/TSCI110322065P>.
- [4] LIBER PERPETUUM. The book on renewable energy potentials of Serbia and Montenegro, OSCE Mission to Serbia and Montenegro, Economic and Environmental department, Novi Sad, 2004 (ISBN:86-903283-8-6).
- [5] Blinc R, Najdovski D, Bektashi S, Kabashi S, Šlaus I, Zidanšek A. How to achieve a sustainable future for Europe. *Thermal Science* 2008;12(4):19–25.
- [6] Bazmi AA, Zahedi G. Sustainable energy systems: role of optimization modeling techniques in power generation and supply—A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 2011;15(8):3480–500.
- [7] Pavlović T, Čabrić B. Physics and techniques of solar energy. Belgrade: Građevinska knjiga; 2006 in serbian.
- [8] Čorba ZJ, Katic VA, Dumnic BP, Milicevic DM. In-grid solar-to-electrical energy conversion system modeling and testing. *Thermal Science* 2012;16(1):159–71, <http://dx.doi.org/10.2298/TSCI120224069C>.
- [9] Markvart T, Castaner L. Solar cells. Amsterdam: Elsevier; 2006.
- [10] Ullal HS. Overview and challenges of thinfilm solar electric technologies, conference paper at the world renewable energy congress X and exhibition 2008. Available online at: <http://www.scribd.com/doc/58670014/NREL-Thin-Film-Overview-2008>.
- [11] <http://www.pvresources.com/en/solarcells.php>.
- [12] Green M. Thin-film solar cells: review of materials, technologies and commercial status. *Journal of Materials Science: Materials in Electronics* 2007;18(1):15–9.
- [13] Parida B, Niyan S, Goic R. A review of solar photovoltaic technologies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 2011;15(3):1625–36.
- [14] Marković D, Čeparković B, Vlačić A, Ressler S. The white book of the electric power industry of Serbia, PE electric power industry of Serbia. Belgrade: Public Relations Sector; 2011.
- [15] Chiras D, Aram R, Nelson K. Power from the sun—achieving energy independence. Canada: New society publishers; 2009.
- [16] Messenger R, Ventre J. Photovoltaic systems engineering. USA: CEC Press, Taylor & Francis Group; 2010.
- [17] Djurdjević D. Perspectives and assessments of solar PV power engineering in the Republic of Serbia. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 2011;15(5):2431–46.
- [18] O'Flaherty FJ, Pinder JA, Jackson C. The role of PV in reducing carbon emissions in domestic properties, sustainability in energy and buildings: Proceedings of the first international conference in sustainability in energy and buildings (SEB'09), Part 2, 2009, 107–15.
- [19] Mousazadeh H, Keyhani A, Javadi A, Mobli H, Abrinia K, Sharifi A. A review of principle and sun-tracking methods for maximizing solar systems output. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 2009;13(8):1800–18.
- [20] Li Z, Liu X, Tang R. Optical performance of vertical single-axis tracked solar panels. *Renewable Energy* 2011;36(1):64–8.
- [21] Narvarte L, Lorenzo E. Tracking and ground cover ratio. *Progress in Photovoltaics: Research and Applications* 2008;16(8):703–14.
- [22] Reich D. European energy law and its impact on Serbia progress, perspectives and possibilities. *Thermal Science* 2012;16(1):17–22.
- [23] National assembly of the Republic of Serbia. Energy law [Zakon o energetici]. Official Gazette of the Republic of Serbia 84/04, 2004. Available online at: <http://www.parlament.gov.rs/content/eng/> [in Serbian].
- [24] National assembly of the Republic of Serbia. Act for incentive measures for privileged producers of electricity [Uredba o merama podsticaja za povlašćene proizvođače električne energije], Official Gazette of the Republic of Serbia 72/2009 and 99/2009 [in Serbian].
- [25] Pavlović T, Milosavljević D, Lambić M, Stefanović V, Mančić D, Piršl D. Solar energy in Serbia. *Contemporary Materials (Renewable energy sources)* 2011;II(2):204–20, <http://dx.doi.org/10.5767/anurs.cmat.110202.en.204P> UDK 620.92:523.9(497.11).
- [26] Schneider DR, et al. Mapping the potential for decentralized energy generation based on RES in Western Balkans. *Thermal Science* 2007;11(3):7–26.
- [27] Tešić M, Kiss F, Zavargo Z. Renewable energy policy in the Republic of Serbia. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 2011;15(1):752–8.
- [28] Golusin M, Tešić Z, Ostojić A. The analysis of the renewable energy production sector in Serbia. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 2010;14(5):1477–83.
- [29] Mihajlov A. Opportunities and challenges for a sustainable energy policy in SE Europe: SE European Energy Community Treaty. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 2010;14(2):872–5.
- [30] Munitlak Ivanović O, Golušin M, Dodić S, Dodić J. Perspectives of sustainable development in countries of Southeastern Europe. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 2009;13(8):2079–87.
- [31] Golušin M, Ivanović O, Munitlak. Kyoto Protocol implementation in Serbia as precognition of sustainable energetic and economic development. *Energy Policy* 2011;39(5):2800–7.
- [32] Bojić M, Blagojević M. Photovoltaic electricity production of a grid-connected urban house in Serbia. *Energy Policy* 2006;34(17):2941–8.
- [33] Gvozdenac D, Simić T. About the Serbian energy efficiency problems. *Thermal Science* 2012;16(1):1–15.
- [34] Karakosta Charikleia, Flouri Maria, Dimopoulou Stamatia, Psarras John. Analysis of renewable energy progress in the western Balkan countries: Bosnia–Herzegovina and Serbia. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 2012;16(7):5166–75.
- [35] Pavlović T, Milosavljević D, Mirjanić D, Pantić L, Radonjić I, Piršl D. Assessments and perspectives of PV solar power engineering in the Republic of Srpska (Bosnia and Herzegovina). *Renewable and Sustainable Energy Review* 2013;18:119–33, <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2012.10.007>.
- [36] Pavlović T, Radonjić I, Milosavljević D, Pantić L, Piršl D. Assessment and potential use of concentrating solar power plants in Serbia and Republic of Srpska. *Thermal Science* 2012;16(4):931–45, <http://dx.doi.org/10.2298/TSCI111027100P>.
- [37] Mijakovski V, Mijakovski N. Review of current position and perspectives of renewable energy in the Republic of Macedonia with focus on electricity production. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 2011;15:5068–80.
- [38] Lalić D, Popovski K, Gecevska V, Popovska Vasilevska S, Tesic Z. Analysis of the opportunities and challenges for renewable energy market in the Western Balkan countries. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 2011;15:3187–95.
- [39] Markova D, Platikanov S, Konstantinoff M, Tskov P. Opportunities for using renewable energy sources in Bulgaria. *Contemporary Materials (Renewable energy sources)* 2011;II(2):178–84.
- [40] Pašičko R, Branković Č, Šimić Z. Assessment of climate change impacts on energy generation from renewable sources in Croatia. *Renewable Energy* 2012;46:224–31.
- [41] www.energy-community.org/pls/portal/docs/794186.PDF.
- [42] www.syreen.gov.sy/archive/docs/File/ICRE8-5-2010/.../009-089.pdf.
- [43] Pavlovic M. Geographic regions of Serbia, University textbook. Belgrade: Savremena Administracija; 2000 in serbian.
- [44] Republic hydrometeorological Institute, archive for 1961–2010, Belgrade, Serbia.
- [45] Pavlović T, Radonjić I, Milosavljević D, Pantić L. A review of concentrating solar power plants in the world and their potential use in Serbia. *Renewable and Sustainable Energy Review* 2012;16(6):3891–902, <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2012.03.042>.
- [46] Study of the energy potential of Serbia for the use of sun radiation and wind energy, NPPE, Register no. EE704-1052A, Ministry of science and environmental protection, Belgrade, 2004.
- [47] PVGIS © European Communities; 2001–2008. Available online at: <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps3/pvest.php>.
- [48] Šúri M, Huld TA, Dunlop ED. PV-GIS: a web-based solar radiation database for the calculation of PV potential in Europe. *International Journal of Sustainable Energy* 2005;24(2):55–67.
- [49] Gómez-Gil Francisco Javier, Wang Xiaoting, Barnett Allen. Energy production of photovoltaic systems: fixed, tracking, and concentrating. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 2012;16(1):306–13.
- [50] <http://sunbird.jrc.it/pvgis/apps/pvest.php?europa=>.

Provided for non-commercial research and education use.
Not for reproduction, distribution or commercial use.



(This is a sample cover image for this issue. The actual cover is not yet available at this time.)

This article appeared in a journal published by Elsevier. The attached copy is furnished to the author for internal non-commercial research and education use, including for instruction at the authors institution and sharing with colleagues.

Other uses, including reproduction and distribution, or selling or licensing copies, or posting to personal, institutional or third party websites are prohibited.

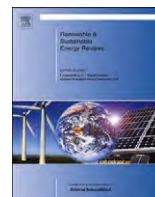
In most cases authors are permitted to post their version of the article (e.g. in Word or Tex form) to their personal website or institutional repository. Authors requiring further information regarding Elsevier's archiving and manuscript policies are encouraged to visit:

<http://www.elsevier.com/copyright>



Contents lists available at SciVerse ScienceDirect

Renewable and Sustainable Energy Reviews

journal homepage: www.elsevier.com/locate/rser

Assessments and perspectives of PV solar power engineering in the Republic of Srpska (Bosnia and Herzegovina)

Tomislav M. Pavlovic^{a,*}, Dragana D. Milosavljevic^a, Dragoljub Mirjanic^b, Lana S. Pantic^a, Ivana S. Radonjic^a, Danica PirsI^a

^a Department of Physics, Faculty of Sciences and Mathematics, University of Niš, Višegradska 33, Čarnojevića 10a, 18000 Niš, Republic of Serbia

^b Academy of Sciences and Arts of the Republic of Srpska, Trg srpskih vladara 2, 78000 Banja Luka, Republic of Srpska

ARTICLE INFO

Article history:

Received 7 September 2011

Received in revised form

5 October 2012

Accepted 8 October 2012

Keywords:

Solar energy

Photovoltaic systems

Photovoltaic in Bosnia and Herzegovina

Climatic characteristics of the Republic of Srpska

Photovoltaic in the Republic Of Srpska

ABSTRACT

The paper focuses on the possibilities of generating electrical energy by means of on-grid PV solar systems of 1 kW in the Republic of Srpska (Bosnia and Herzegovina). The paper proceeds to tackle with the legislative concerning renewable sources of energy and current state of the use of PV systems in the Republic of Srpska and Bosnia and Herzegovina, climate conditions and energy potential of the renewable sources in the Republic of Srpska. Based on PVGIS program, the results of calculation of the yearly average values of the optimal panel inclination, solar irradiation on the horizontal, vertical and optimally inclined plane, ratio of diffuse to global solar irradiation, linke turbidity, average daytime temperature and 24 h average of temperature for 13 cities in the Republic of Srpska are given. Total for year sum of global irradiation per square meter received by the modules of the optimally inclined fixed PV solar plants of 1 kW, optimally inclined one-axis and dual-axis tracking PV solar plants of 1 kW, and total for year electricity production of different types of PV solar plant of 1 kW for 13 cities in the Republic of Srpska, obtained by PVGIS are given. Comparison of the total for year electricity production of different types of PV solar plant of 1 kW with monocrystalline silicon, CdTe and CIS solar modules, respective, to 13 cities in the Republic of Srpska are given. Calculations performed by PVGIS program have shown that irrespectable of the type of PV solar plants, most electrical energy in the Republic of Srpska can be generated by means of PV solar plants with CdTe solar cells. Some practical data and considerations given in this paper can be used by a customer or company keen to invest in the PV sector in the Republic of Srpska.

© 2012 Elsevier Ltd. All rights reserved.

Contents

1. Introduction	120
2. Advantage of solar energy and photovoltaic technologies	120
3. PV solar systems	122
4. Administrative subdivisions of Bosnia and Herzegovina	123
4.1. Renewable energies policies in Bosnia and Herzegovina	123
4.2. Current photovoltaic status in Bosnia and Herzegovina and the Republic of Srpska	124
5. Geographic position and climatic characteristics of the Republic of Srpska	124
5.1. Climatic characteristics of the peri-panonic area of the Republic of Srpska	125
5.2. Characteristics of the mountain and mountain–valley climate of the Republic of Srpska	125
5.3. Changed variant of the adriatic climate of the Republic of Srpska	125
6. Results and discussion	125
6.1. Solar irradiation in the Republic of Srpska	127
6.2. Electricity production of different types of PV solar plant of 1 kW in 13 cities in the Republic of Srpska	129

* Corresponding author. Tel.: +381 18225483; fax: +381 18533014.

E-mail addresses: pavlovic@pmf.ni.ac.rs (T.M. Pavlovic), dragana82nis@yahoo.com (D.D. Milosavljevic), mirjanicd@gmail.com (D. Mirjanic), lana@pan.rs (L.S. Pantic), r_ivana_fizika@yahoo.com (I.S. Radonjic), danicapirsl@yahoo.com (D. PirsI).

7. Conclusion	131
Acknowledgment	132
References	132

1. Introduction

Economic development of countries at the end of the 19th and in the beginning of the 20th century was based on the consumption of enormous quantities of non-renewable sources of energy such as coal, oil and nuclear fuel. However, limited reserves of non-renewable sources of energy will in the near future make most of the countries in the world face serious shortages of energy. Enormous consumption and increase of the world's population will force this same population in large number of countries to handle the problem of the critical decrease in supplies of the domestic fossil fuels. Current energy dependence of most countries on the oil and its derivatives calls for profound economic expenditures and in future heralds negative effects on the national economies and the international safety situation [1–3].

According to the available data total world oil consumption is almost 4 billion of tons a year, while the total reserves are around 120–160 billion of tons. Taking into account limitations of the supplies, current use of the fossil and nuclear fuels cannot provide for the long term sustainable development. Since the reserves of the fossil fuels are vanishing rapidly in the successive two decades most countries will be forced to use renewable sources of energy to meet their needs for the energy. Extensive body of research has shown that natural and technical potential of the renewable sources of energy is sufficient to meet the needs for energy of the whole world population, since their natural daily potential is 20,000 times higher than a daily consumption of the nuclear and fossil fuels. Since it is all about relatively new technologies, there is an enormous potential for their further technological improvements and new applications. Energy sector based on fossil fuels and nuclear energy still obtains ten times higher governmental subsidies for research and development compared to the technologies of the renewable sources of energy. In the industrialized countries only 7% of the total funds for the research and development is allotted for the renewable sources of energy compared to 70% for the research and development of the nuclear and other technologies [1,2,4].

In the paper [5] the world primary energy demand projection in the Reference Scenario to expand by almost 60% from 2002 to 2030, which is an average annual increase of 1.7% per year, is given. This demand will reach 16.5 billion tons of oil equivalents (toe) compared to 10.3 billion toes in 2002. On the other hand, fossil fuels will dominate global energy use. They will account for around 85% of the increase in world primary demand over 2002–2030. Their share in total demand will increase slightly, from 80% in 2002 to 82% in 2030. The share of renewable energy sources will remain flat, at around 4%, while that of nuclear power will drop from 7% to 5% [5].

In order to increase the use of the renewable sources of energy their technological development worldwide should be given much higher political and economic priority and emphasis. Burning of the fossil fuels, especially those based on the oil and coal, presents most probable cause of the global warming and creation of the green house effects. Change of the climatic conditions presents one of the most serious dangers for the earth's ecological system due to the possible influence on the production of food and key processes that create productive natural environment. Alarming increase of the emission of carbon dioxide into the atmosphere, among other factors, can decrease the dependence on the use of coal and can encourage the

development and use of renewable sources of energy technologies. Although the use of fossil fuels per capita is decreased due to the measures taken to preserve the natural resources, the increase of the population in the world brings about more rapid decrease in the supplies of the fossil fuels and the increase of the global warming. Also, due to the above mentioned reasons the estimation of the current energy situation in the world is inadequate, that is, the reserves of the fossil fuels are probably overestimated. Significant reduction of the consumption of the fossil fuels by more efficient use of energy and the use of solar and other renewable sources would prolong the exploitation of the fossil sources of energy on the one hand, and could provide for the time necessary to develop and improve the technologies to use the renewable sources of energy on the other hand [1,2,6,7].

The Solar Energy sector in the Republic of Srpska, and generally in Bosnia and Herzegovina is not developed yet. This paper focuses on the possibilities of generating electrical energy by means of on-grid PV solar systems of 1 kW in the Republic of Srpska (Bosnia and Herzegovina).

The aim of this paper is to report structure, properties, benefits and life of photovoltaic systems. Calculations performed by PVGIS program that we have compared the type of PV solar plants could be used also for developing countries.

2. Advantage of solar energy and photovoltaic technologies

The paper [8] claims that in 2005 worldwide electricity generation was 17 450 TWh, out of which 40% originated from coal, 20% from gas, 16% from nuclear, 16% from hydro, 7% from oil and only 2% from renewable sources such as geothermal, solar, wind, combustible renewables and waste. The current fuel mix has fossil and nuclear fuels contributing to nearly 70% of the total generation [8].

Energy, which is the main agenda of our world, is crucially important for the humanity. Many countries frequently tackle the problem of energy in order to balance the energy demand and supply. Therefore, extensive research should be attempted to present a more efficient way to use energy and renewable energy resources effectively [9].

In ancient times, the Sun was worshiped as a life-giving planet. Later, as education and the industrial age progressed, knowledge of the Sun as energy source was more comprehended. The importance of such a discovery reached its peak in the current era, where the extraction of fossil fuel for energy production has been proven to affect the planet's ambient temperature. The paper [10] cites that each day the Sun provides 10,000 times more energy than the energy needed on the planet. Water, bio-energy, or wind powers were all sources used in the early human societies and they are, in one way or another, derived from solar power. Technologies which can harness the power of the sun continued to improve right up to the early years of the industrial revolution. Since then, as communities developed activities, green house gases, in particular carbon dioxide (CO₂) emissions increases, causing global warming, a factor causing temperature rise of 0.6 °C. Future predictions indicate that surface temperature could increase from 1.4 °C to 5.8 °C, if any action is not taken. Such developments will probably cause droughts, floods, sea level rise, glacier melting, and serious disruptions to agriculture and natural ecosystems, so the urgent consensus is needed to reduce such emissions. This reduction of emissions can be achieved by

switching many traditional energy applications to renewable energy technologies [10].

Solar energy is the most abundant, inexhaustible and cleanest of all renewable energy resources to date. The power from the Sun intercepted by the Earth is about 1.8×10^{11} MW, which is many times larger than the present rate of all the energy consumption [11].

Solar energy is one of the best renewable energy sources with least negative impacts on the environment. Different countries have different solar energy policies to reduce dependence on the fossil fuels and increase domestic solar energy powered energy production. The paper in Ref. [5] gives a review about different solar energy policies implemented in different countries in the world. According to the 2010 Statistical Energy Survey, the world cumulative installed solar energy capacity was 22,928.9 MW in 2009, a change of 46.9% compared to 2008. Based on an extensive body of literature, it has been found that feed-in tariff (FIT), renewable portfolio standard (RPS) and incentives are the most beneficial energy policies implemented by many countries around the world. These policies provide significant motivation and interest for the development and use of renewable energy technologies [5].

Currently, solar energy conversion is widely used to generate heat and produce electricity. The paper in Ref. [6] gives a comparative study on the world energy consumption released by International Energy Agency (IEA) which shows that in 2050, solar array installations will supply around 45% of the energy demand in the world.

A main argument to support and emphasize the use of solar energy is that it represents a universally available, renewable energy source, which is not directly linked to political and environmental factors associated with the global market for oil and other fossil fuels. In the ranking of renewable energies drawn up in paper [8]; PV lags behind other renewable energies, mainly due to the low efficiency of the current technology, which implies a higher price for electricity. The existence of feed-in tariff systems is an attempt to overcome this problem. It demonstrates institutional interest in encouraging the implementation of PV installations and has led to a proliferation of such plants, so much so that in the past two years, the price per kW installed has been reduced by almost half, according to the paper [12].

Solar energy is obviously environmentally advantageous in comparison to any other energy source, it is the milestone of any serious sustainable development program. It does not deplete natural resources, does not cause CO₂ or other gaseous emission into air, nor does it generate liquid or solid waste products. The paper in Ref. [5] explains that, concerning sustainable development, main directly or indirectly derived advantages of solar energy use are the following:

1. No emissions of green house (mainly CO₂, NO_x) or toxic gasses (SO₂, particulates).
2. Reclamation of degraded land.
3. Reduction of transmission lines from electricity grids.
4. Improvement of the quality of water resources.
5. Increase of regional/national energy independence.
6. Diversification and security of energy supply.
7. Acceleration of rural electrification in developing countries, etc.

Due to this fact use of solar energy contributes to more efficient use of countries' own potentials in producing electrical and thermal energy, to the reduction of the emission of the green house gases, to the lowering of the import rates and the use of fossil fuels, to the development of the local industries and the increase of the job openings [2,5].

One of the most popular techniques of solar energy generation is the installation of photovoltaic (PV) systems using sunlight to generate electrical power. There are many factors affecting operation and efficiency of the PV based electricity generation systems, such as PV cell technology, ambient conditions and the selection of required equipment. There is scarce study that presents all factors affecting efficiency and the operation of the entire PV system. The paper in Ref. [13] provides a detailed review of these factors and also includes suggestions for the design of more efficient systems. The presented detailed overview will be useful to people working on theory, design and/or application of photovoltaic based electricity generation systems.

Photovoltaic technology is one of the finest ways to harness solar power. The paper [10] reviews photovoltaic technology, its power generating capability, different existing light absorbing materials used, its environmental aspect coupled with a variety of its applications. Also, different existing performance and reliability evaluation models, sizing and control, grid connection and distribution are given in the paper [11].

Ref. [10] gives a full review on the development of the existing photovoltaic (PV) technology. It highlights four major current types of PV: crystalline, thin film, compound and nanotechnology. The aim of the continuous development of PV technology is not only to improve the efficiency of the cells but also to reduce production costs of the modules, thus making it more feasible for various applications. Moreover, such variety in technology is needed to enhance deployment of solar energy for a greener and cleaner environment. Devices such as space PV cell technology were also described and the expanding progress in this field. In addition, a quick overview of the application of PV installations is described in the paper [10].

The importance of photovoltaic was once a questionable issue when fossil fuel was seen as an endless source of energy. However, with growing recognition of the environment impact and the economic instability due to oil and gas price fluctuations, photovoltaic development gained the interest of almost all sectors as can be seen in the paper [10]. Currently, PV market consists of a wide range of material and manufacturing processes leading to knowledge transfer regarding the efficiency and suitability of the available technologies. The 1st PV generation is governed by single-junction crystal solar cell based on silicon wafers (single and multi crystalline silicon). Second generation technologies are based on single junction devices aiming to optimize material usage whilst upholding the efficiencies achieved earlier. This generation comprises CdTe, CIGS and a-Si. While the 2nd PV generation emphasis is on the reduction of material cost by embracing thinner films, the 3rd PV generation approach is more concerned with double, triple junction and nanotechnology, all showing promising results of having more efficient cells at lower cost [10,14,15].

Photovoltaic energy power systems are considered to be most dominant technology among renewable energy technologies. Most important reason is that it is unlimited and the cleanest energy of the solar power systems. Many studies show that photovoltaic power systems will have an important share in the electricity of the future. Among various solar energy technologies of sustainable energy sources, photovoltaic (PV) appears quite attractive for electricity generation because it is noiseless, has no carbon dioxide emission during operation, shows scale flexibility and are rather simple to operate and maintain. The photovoltaic (PV) power system has received considerable attention for the clean energy resource to solve the environmental problem on the worldwide scale. One key argument for an accelerated deployment of renewable energies in general, and PV in particular, is besides environmental benefits, the avoided risk of disruption in fossil fuel supply, and of the associated price instability. Therefore

renewable energies have a significant contribution towards supply security [2,9,15].

The electricity from photovoltaic cells can be used for a wide range of applications, from power supplies for small consumer products, to large power stations feeding electricity into the grid. Ref. [9] states that the world photovoltaic industry has shown an average growth rate of 49.5% over the past 5 years. World solar photovoltaic (PV) market installations reached a record high of 5.95 GW in 2008, representing growth of 110% over the previous year. Solar energy, including solar photovoltaics (PVs), has a vast sustainable energy potential in comparison to the global energy demand. The IEA envisaged solar power accounting for 11% of global electricity production by 2050 and solar electricity contributes about 20% of the world's energy supply by 2050 and over 60% by 2100. It is clear that electricity generation with PV cells will play an important role in the future of the energy. PV systems developments will increase and focus more and more on the PV industry that is poised for exponential decrease in their cost. This development will make its major breakthrough in few years [9,15].

Price profiles for each non-combustion renewable energy technology show high capital intensity and low running costs, due to zero fuel requirements. For photovoltaics, the most significant cost is silicon purification, using 60% of the production energy of a frameless multi-crystalline module. Overall capital costs account for over 95% of the life cycle costs for photovoltaics, meaning that interest rate variations have a large impact on life cycle prices. This would be expected with all other capital-intensive technologies. Wind costs can be minimized by careful selection of suitably sized generators, according to the quality of the site-specific wind resource. Hydro dam construction accounts for nearly all hydro costs, with the low operation, maintenance and refurbishment costs and long plant lifetimes. Geothermal prices are heavily increased by the long project development times, high costs and risk of exploratory drilling. Drilling can account for up to 50% of the total project cost. Wide-ranging values for the price per kWh are seen for all technologies, however the greatest range is for photovoltaics. For each technology, the average value was much closer to the lowest than the highest price. Hydro had the lowest average cost, geothermal and wind the same average cost with geothermal exhibiting lower range in price variations. Photovoltaics are the most expensive technology [8,14].

Photovoltaics have low emissions, with average reported values of less than 100 g/kWh CO_{2-e}. Photovoltaic efficiency is highly variable due to the large range of cell types available, with an ideal cell efficiency of 30%. Crystalline silicon cells (including multi- and poly-crystalline) have the highest efficiencies and amorphous silicon the lowest [8].

Solar cells offer an attractive source of power without fuel dependence, the need for conventional power plants and reduced mining. The manufacture of solar cells involves several toxic, flammable and explosive chemicals. With constantly reduced mass requirements during cell manufacture due to thinner cells, masses involved and hence risks are reduced, however, all chemicals must be carefully handled to ensure minimal human and environmental contact. Solar farm locations must be carefully selected to reduce competition with agriculture, soil erosion and compaction [2,8,16,17].

3. PV solar systems

The PV solar system means a system by which the solar irradiation is converted into the electrical energy and is distributed to the direct and/or alternating current consumers. PV solar

system can function independently of the electric power network (off grid) or it can be connected to it (on grid). Depending on the components that comprise it, off grid PV system can supply the consumers with DC current or AC current. Off grid PV system that gives consumers DC current is composed of solar cells, batteries and batteries charge controllers. Off grid PV system that provides consumers with AC current consists of solar cells, battery charge controllers, batteries and DC to AC inverter. On grid PV system consists of solar cells, inverter, monitoring system, distribution boxes, switches and related connections. On grid PV system are most frequently used for PV solar plants, residential and office buildings, etc. [13,16–18].

PV solar plant denotes a plant using solar cells to convert solar irradiation into the electrical energy. PV solar plant consists of solar modules, inverter converting DC into AC and transformer giving the generated power into the grid net. PV solar plant is fully automatized and monitored by the applicable software. PV solar plants mostly use solar modules made of monocrystalline and polycrystalline silicon, and rarely, modules made of thin film materials such as amorphous silicon, CdTe and Copper–Indium–Diselenide (CIS, CuInSe₂). Efficiency of the commercial monocrystalline silicon solar cells is 15%, of polycrystalline silicon is around 12%, of amorphous silicon is around 5% and from CdTe and CIS is around 8%. Monocrystalline and polycrystalline silicon solar modules are more suitable for the areas with predominantly direct sun radiation, while solar modules of thin film are more suitable for the areas with predominantly diffuse sun radiation [2,13,14,16,17,19,20].

Practice shows that the energy efficiency of PV solar plant annually decreased from 0.5–1%. The lifetime of PV modules depends on the solar cell technology used as well. For monocrystalline and polycrystalline silicon solar cells most manufacturers give a warranty of 10/90 and 25/80 which means: a 10-year warranty that the module will operate at above 90% of nominal power and up to 25 years above 80%. The practical lifetime of the silicon-made PV modules is expected to be at least 30 years [2,16,17,21].

PV solar plants represent environmentally clean source of energy. PV solar plant components (solar modules, inverters, monitoring system, conductors, etc.) are manufactured by cutting edge, environmentally friendly technologies. PV solar plants operate noiseless, do not emit harmful substances and do not emit harmful electromagnetic radiation into the environment. PV solar plant recycling is also environmentally friendly. For 1 kWh of PV solar plant generated electrical energy emission of 0.568 kg CO₂ into the atmosphere is reduced [2,8,16,17].

Depending on the climate conditions of given location fixed PV solar plants, one-axis and dual-axis tracking PV solar plants are being installed worldwide. Fixed PV solar plants are used in regions with continental climate and tracking PV solar plants are used in tropical regions [2,16,17].

Fixed PV solar plant denotes plant with solar modules mounted on fixed metal supporters under optimal angle in relation to the horizontal surface, and all are oriented towards south. One-axis tracking PV solar plant denotes a plant where solar modules installed under the optimal angle are adapted towards the sun by revolving around the vertical axis during the day from the east towards the west, following the Sun's azimuth angle from sunrise to sunset. Dual-axis tracking PV solar plant denotes a plant where the position of solar modules is adapted towards the sun by revolving around the vertical and horizontal axis. These PV solar plants follow the Sun's azimuth angle from sunrise to sunset but, they also adjust the tilt angle to follow the minute-by-minute and seasonal changes in the Sun's altitude angle [2,16,17,22,23].

The diurnal and seasonal movement of earth affects the radiation intensity on the solar systems. Sun-trackers move the

solar systems to compensate for these motions, keeping the best orientation relative to the sun. Although using sun-tracker is not essential, its use can boost the collected energy 10–100% in different periods of time and geographical conditions. However, it is not recommended to use tracking system for small solar panels because of high energy losses in the driving systems. It is found that the power consumption by tracking device is 2–3% of the increased energy [22].

Practice showed that the yearly optimal tilt-angle of a vertical-axis tracked solar panel for maximizing the annual energy collection was almost linearly proportional to the site latitude, and the corresponding maximum annual collectible radiation on such tracked panel was about 96% of solar radiation, annually collected by a dual-axis tracked panel. Compared with a traditional fixed south-facing solar panel inclined at the optimal tilt-angle, the annual collectible radiation due to the use of the vertical-axis sun-tracking was increased by 28% in the areas with abundant solar resources, and was increased by 16% in the areas with poor solar resources [23].

4. Administrative subdivisions of Bosnia and Herzegovina

Bosnia and Herzegovina has several levels of political structuring under the federal government level which are important to be considered in order to make some recommendations for country policies and financial support.

Most important of these levels is the division of the country into two entities: Republic of Srpska and the Federation of Bosnia and Herzegovina. The Brcko district, in the north of the country, was created in 2000 out of land from both entities. It officially belongs to both, but is governed by neither, and functions under a decentralized system of local government. The third level of

Bosnia and Herzegovina's political subdivision is the cantons. They are unique to the Federation of Bosnia and Herzegovina entity, which consists of ten of them. The fourth level of political division in Bosnia and Herzegovina is municipalities. The Federation of Bosnia and Herzegovina is divided into 74 municipalities and the Republika Srpska in 63. Municipalities also have their own local government, and are typically based around the most significant city or place in their territory. Besides entities, cantons, and municipalities, Bosnia and Herzegovina also has four "official" cities. These are: Banja Luka, Mostar, Sarajevo, and East Sarajevo. The territory and government of the cities of Banja Luka and Mostar corresponds to the municipalities of the same name, while the cities of Sarajevo and East Sarajevo officially consist of several municipalities. Cities have their own city government whose power is in between that of the municipalities and cantons (or the entity, in the case of the Republika of Srpska) [24].

Map of the Republic of Srpska is given in Fig. 1.

4.1. Renewable energies policies in Bosnia and Herzegovina

At the state level no energy or environmental ministry/agency exists. Environment and energy fall under the responsibility of the Ministry of Foreign Trade and Economic Relations. At the entity levels the Ministry of Energy, Mining and Industry of the Federation of Bosnia and Herzegovina and the Ministry of Economy, Energy and Development of the Republika of Srpska are responsible for energy. Although a report on the institutional, regulatory and normative frameworks and a report on the strategy for the development of solar energy in Bosnia and Herzegovina will deal with this issue, it is important, in this renewable energy (RE) financing context analysis, to consider the RE currently established policies. In this sense, Energy Strategy is being developed



Fig. 1. Map of the Republic of Srpska.

through the EC CARDS Program as a “Technical Assistance to Support the Energy Department of Ministry of Foreign Trade and Economic Relations in B&H”. As a first step, a comprehensive background energy sectors study towards the national energy strategy, is in a preparation phase, financed by the World Bank [24,25].

There are no official plans for the promotion of RE sources and for the increase in the energy efficiency. Nevertheless, a tariff system for RES electricity exists and the decision on methodology for the determination of purchase prices of electric power from RES up to 5 MW was adopted (Of. Gazette FB&H 32/2002, Of. Gazette RS 71/2004) [26]. Two power utility companies in Bosnia and Herzegovina are obliged to take over the electricity produced from RES. According to these decisions, the tariff systems for RES electricity are

1. Small Hydro plants: 3.96 €cents/kWh.
2. Landfill biogas and biomass plants: 3.81 € cents/kWh.
3. Wind and geothermal plants: 4.95 €cents/kWh.
4. Solar power plants: 5.44 €cents/kWh.

Financing incentives do not exist, neither do specialized institutions, training and education activities.

There are some projects (USAID, UNDP) and associations of citizens (CETEOR, COOR, CENER, CEET) and also centers dealing with this issue within the Faculties of University in Sarajevo, Banja Luka, Tuzla, and Mostar. UNDP runs several Area Based Development programs in Bosnia and Herzegovina, which aim to re-establish viable multi ethnic communities in a sustainable manner, with the design of projects that involve several components such as reconstruction of housing and infrastructure, strengthening local government capacities, support to local economic development and job creation, and the development of civil society. Energy efficiency and renewable energy projects could be built on the structure already in place, lessons learned and expertise gained through the ABD programs. There is no official structure that could network municipalities in the field of Municipal Energy Efficiency but initiatives as the Municipal Network for Energy Efficiency (MUNEE) and the SUTRA Initiative (Sustainable Transfer to Return related Authorities) have been established; although the information about their activities should be brought into daylight. One final and important aspect, to be exposed in the next paragraph, is the BISE process awareness in which Bosnia and Herzegovina is involved [27].

Solar Energy sector is not developed yet. There is no structure or professional and academic organizations. Most of the actors involved in Solar Energy do it as a secondary or marginal activity. The private businesses are not structured to interact with the academic, professional and institutional sectors. Within the solar sector, the technology which is most developed in Bosnia and Herzegovina, is the Solar Thermal (companies, universities, etc.). There are almost no organizations involved in photovoltaic.

Architecture and Electrotechnical faculty in Sarajevo and Electro-technical faculty in Banja Luka are involved in solar energy, in Bosnia and Herzegovina. At the Architecture faculty in Sarajevo solar energy is included and taught in the curricula of the following courses: Architectonic Physics, Bioclimatic Architecture and Architecture as Energetic System. Architecture faculty in Sarajevo and Electrotechnical faculty in Banja Luka solar energy is taught in the Departments for Electroenergy within several courses. In Tuzla there is a Center for Energy and Ecology that educates about the use of flat-plate solar collectors for water heating.

In Federation of Bosnia and Herzegovina there are several companies that are running in the line of solar energy (NARODNO GRIJANJE- Sarajevo, SBH COMPANY- Brčko Distrikt, TECHNOPLUS-Tuzla). Republic of Srpska has several companies dealing with

solar energy: BEMIND (Banja Luka, email: bemind@inecco.net), KOMING (Gradiška, www.rskoming.net), KLENIK (Gradiška, klenik@blic.net), TOPLING (Prnjavor, topling@blic.net) and PAVLOVIC MONT (Banja Luka, usluge@pavlovic-mont.com). TECHNOPLUS and SBH Companies are the only ones (from the list) dealing with photovoltaics technology. SBH Company, which is fully dedicated to the Renewable Energy, has very large number of installations and extensive experience. They have installations in Bosnia, Croatia and Serbia as well [24].

In Bosnia and Herzegovina PV systems are basically used in Traffic flow meters and Hydrological stations.

In 2002, the Government adopted a resolution to promote the generation of electricity from renewable energy sources. In this, the electricity suppliers or grid operators are obliged to accept electricity from renewable energy sources in their grids and to pay a fixed rate for it. The level of remunerations for the in-feed of electricity from renewable energy sources with a maximum installed capacity of 5 MW is coupled to the amount of the medium-voltage tariff [24,26,28].

4.2. Current photovoltaic status in Bosnia and Herzegovina and the Republic of Srpska

Electricity supplies in Bosnia and Herzegovina are essentially based on coal-fired steam turbine power stations and the exploitation of hydropower. In Bosnia and Herzegovina generally, and the Republic of Srpska particularly, rare are the examples of the use of the PV systems and papers and PV systems studies. In Bosnia and Herzegovina and the Republic of Srpska up to date none PV solar plant has been installed. Currently, the use of grid connected PV systems in Bosnia and Herzegovina comes down to isolated cases installed in public buildings (orphanage, schools...) with demonstration and training purposes. In 2005 the PV installed capacity was estimated at < 1% of total energy supply in Bosnia and Herzegovina by the Commission of the European Communities Research Directorate. Due to a relatively high cost related to the photovoltaic up to this moment the existing facilities are carried out with the support from grants and international projects [24].

One of the first PV systems in Bosnia and Herzegovina was installed and put into service as a part of a project financed by the government of Spain; the system has a total power of 0.32 kW and is used as the energy source for the irrigation system in Popovo Polje, located in Canton K7 and the Republic of Srpska [29].

One of the first PV installations in the Republic of Srpska is being fitted on the roof of an orphanage in Trebinje. The installation is also intended to be used for the training purposes for the local electrical trade [24].

In the Republic of Srpska following feed-in tariffs are in effect:

1. 1 kWh electricity generated by PV solar plants power up to 50 kWp is payed 0.285€.
2. 1 kWh electricity generated by PV solar plants power from 50 kWp to 500 kWp is payed 0.245€ and
3. 1 kWh electricity generated by PV solar plants power over 500 kWp is payed 0.205€.

5. Geographic position and climatic characteristics of the Republic of Srpska

Republic of Srpska is located between 42°33' and 45°16' of the north geographic latitude and 16°11' and 19°37' of the east longitude and encompasses north and east part of the geo-area

of Bosnia and Herzegovina. Varying climatic influences, affecting the area of the Republic of Srpska, are the result of natural factors and the laws of the overall circulation of the air masses of this area. Thus, on the territory of the Republic of Srpska there are three climatic types: north peri-panonic area with mild continental climate; mountain and mountain–valley climate and a changed variant of the mediterranean–adriatic climate [30] and [31].

5.1. Climatic characteristics of the peri-panonic area of the Republic of Srpska

Peri-panonic area is characterized by the moderate cold winters and hot summers. Values of the mean annual air temperature of this climatic type range from 12 °C to 19 °C. Average monthly air temperature of the hottest month–July ranges from 21 °C to 23 °C, while mean monthly air temperature of the coldest month—January ranges from –0.2 °C to –0.9 °C. Absolute maximal air temperature reaches up to 41 °C while absolute minimal temperature goes up to –30 °C thus making it possible to conclude that annual temperature amplitudes are high and have values up to 71 °C.

On average, annual precipitation is from 1050 l/m² on the west to 750 l/m² on the east. The biggest precipitation is in the period May–June. Going from the west to the east the precipitation decreases due to the influence of the air streaming, but during the year precipitation is mainly equally distributed.

This area has around 1900 sunny hours during the year. On the furthest east of the peri-panonic area during winter blows Košava, a cold and cascade wind. Other winds characteristic for this area exist as a consequence of the current air masses circulation [30].

5.2. Characteristics of the mountain and mountain–valley climate of the Republic of Srpska

Mountain and mountain–valley (pre-mountain) variant of the climatic influence is to be found in most parts of the Republic of Srpska. Mountain ranges are characterized by short and chilly summers and cold and snowy winters where snow cover is very high and it stays long.

Mean annual air temperature ranges from 5 °C to 7 °C, mean monthly air temperature in the coldest month—January ranges from 2.5 °C to –3 °C, absolute minimal temperatures reach over –30 °C, and absolute maximal air temperatures reach up to 35 °C. On the basis of these facts it can be concluded that temperature amplitudes are high.

Annual sum of precipitation is over 1200 l/m². Number of sunny hours is around 1850, on a yearly basis. In contrast to the mountain climate of these areas hill areas and valleys have somewhat milder climate. Areas with mountain–valley climate have mean annual air temperature around 10 °C, precipitation on an annual basis is around 700–1000 l/m² and winters are moderate cold with snow, with frequent temperature inversions and fogs, while summers are moderate hot [30].

5.3. Changed variant of the adriatic climate of the Republic of Srpska

South part of the Republic of Srpska, that is the area of low Herzegovina (which is called Humine) has a changed variant of the adriatic climate, in contrast to the areas of Rudina encompassing higher parts of Herzegovina, which are characterized by the transitive type of climate, something between the climate of Humina and the mountain climate.

Climate of Humina and Rudina is characterized by a weakened influence of the Adriatic Sea. Summers are very hot with around 2400 h of sunshine. Mean annual air temperature ranges from

14 °C and 14.7 °C. Absolute maximal air temperature reaches the value of 41 °C, while absolute minimal air temperature reaches –8 °C. Sum of precipitation ranges from 1500–2000 l/m², distribution of precipitation is not favorable, autumn and winter has the biggest and summer the lowest precipitation, and there is draught. These areas have characteristic winds called Bura and Jugo. Bura is a cascade wind of the north and north-east direction, blowing during winter and often reaching the strength of a storm. The wind ugo blows when over Africa there is high pressure and over the Adriatic Sea low air pressure, it blows during the whole year and usually brings rain. In this climatic area the warmest town of the Republic of Srpska, Trebinje, is situated. In contrast to the climate of Humina, climatic characteristics of Rudina are low summer and winter temperatures, and in winter period snow falls are regular [30].

6. Results and discussion

Quantity of sun radiation intake on the surface of earth is influenced by numerous factors such as: geographical latitude of the given place, season of the year, part of the day, purity of the atmosphere, cloudiness, orientation and surface inclination, etc. These data are very important because of their use in calculations of the cost effectiveness of equipment using sun radiation. Very reliable data can be found in data basis PVGIS-a (Photovoltaic Geographical Information System) [2,32–34].

PVGIS (*Photovoltaic Geographical Information System* —PVGIS © European Communities, 2001–2008) is a part of the SOLAREC action aimed at contributing to the implementation of renewable energy in the EU. SOLAREC is an internally funded project on PV solar energy for the 7th Framework Program. PVGIS has been developed at the JRC (Joint Research Centre) of the European Commission within its Renewable Energies Unit since 2001 as a research GIS oriented tool for the performance assessment of solar PV systems in European geographical regions. From the very start of its functioning PVGIS was envisaged to be locally used, however access to the PVGIS database and estimations was drawn as open system access for professionals and the general European public as well, by means of the web-based interactive applications. PVGIS provides data for the analysis of the technical, environmental and socio-economic factors of solar PV electricity generation in Europe and supports systems for EU countries solar energy decision-makings.

PVGIS methodology comprises of solar radiation data, PV module surface inclination and orientation and shadowing effect of the local terrain features (e.g. when the direct irradiation component is shadowed by the mountains), thus PVGIS represents immensely important PV implementation assessment tool that estimates dynamics of the correlations between solar radiation, climate, atmosphere, the earth's surface and the PV technology used. Several fast web applications enable an easy estimation of the PV electricity generation potential for selected specific locations in Europe [2,21,32–34].

The methods used by PVGIS to estimate PV system output have been described in a number of papers. The basis for the European part of PVGIS is a dataset with 10 years of data from 566 ground stations in Europe measuring global horizontal radiation and in some cases diffuses radiation. The station data were collected and processed as a part of the European Solar Radiation Atlas and published as monthly averages of daily irradiation sums [32,35–38].

The construction of high spatial resolution data sets for solar radiation has been previously reported [33,39]. The computational approach is based on a solar radiation model (r.sun), and the spline interpolation techniques (s.surf.rst and s.vol.rst) that are implemented within the open-source GIS software GRASS.

The (r.sun) model algorithm uses the equations published in the European Solar Radiation Atlas. This is certainly a powerful tool that can be used for the development of new solar power plants that will obviate climate change and promote sustainable development through poverty alleviation [37,40,41]. Other details of the PVGIS methodology and development can be found in some key reference papers [35,37,42,43].

In order to calculate electricity generated by the fixed PV solar plants, one-axis and dual-axis tracking PV solar plants today PVGIS software packages easily found on the Internet are used [32,34]. These programs can produce the following data: average daily, monthly and yearly values of the solar irradiation taken on square meter of the horizontal surface, or the surface tilted under certain angle in relation to the horizontal surface, change in the optimal tilting angle of the solar modules during the year, relation of global and diffused sun radiation, average daily temperature, and daily, monthly and yearly electricity generated by the fixed PV solar plants, one-axis and dual-axis tracking PV solar plants, etc. A typical PVGIS value for the performance ratio (PV system losses) of PV solar plants with modules from monocrystalline and polycrystalline silicon is taken to be 0.75 [2,21,44–47].

This program gives a map which, when appears, activates the program, spots the location of the PV solar plant to be, sorts out the type of solar cells and inputs the power and type of PV solar plant (fixed, one-axis and dual-axis tracking PV solar plants).

In this paper PVGIS-3 is used. The PVGIS-3 data set is based on measurements made on the ground in the period 1981–1990 which are then interpolated between points to get radiation values at any point. A new version PVGIS-CMSAF has been recently introduced which uses the new databases for the solar radiation data provided by the Climate Monitoring Satellite Application Facility (CMSAF) from the period 1998–2010. According to the possible wrong terrestrial measurements and to the fact that the amount of solar radiation has increased over Europe in the last 30 years, calculations performed with new PVGIS-CMSAF give higher values than with the older PVGIS-3 [21,32,35–46]. For the territory of Republic of Srpska PVGIS-CMSAF gives up to 5% higher values for the solar irradiation data [2,21,32].

In this section the results obtained upon the study of the solar irradiation and electricity generated by optimally inclined fixed PV solar plants, optimally inclined one-axis and dual-axis tracking PV solar plants of 1 kW with monocrystalline silicon, CdTe and CIS

Global irradiation and solar electricity potential Bosnia and Herzegovina
Horizontally mounted photovoltaic modules



Fig. 2. Yearly sum of total solar irradiation incident on horizontal PV modules in kWh/m² and yearly electricity generated by 1 kWp system with performance ratio 0.75 (kWh/kWp) for the territory of Bosnia and Herzegovina obtained by PVGIS. Adapted for Bosnia and Herzegovina from PVGIS©European Communities, 2001–2008, <http://re.ec.europa.eu/pvgis/>.

solar modules in 13 cities of the Republic of Srpska, processed by the PVGIS program, are given in Ref. [32].

6.1. Solar irradiation in the Republic of Srpska

The aim of this section is to introduce and identify local solar resources in Bosnia and Herzegovina and especially in the Republic of Srpska. Bosnia and Herzegovina can be counted among more favorable locations in Europe with solar irradiation figures on horizontal surface of 1240 kWh/m² in the north of the country, and up to 1600 kWh/m² in the south [24,28,32]. In Ref. [27] it is given that Bosnia and Herzegovina has on average 1840.9 h of sun annually, while in the south, this number reaches 2352.5 h annually. The theoretical potential for Bosnia and Herzegovina is estimated at around 74.65 PWh, while the technical potential is about 1903 TWh, both of which are substantially more than the energy needs of the country [27].

Yearly sum of the total solar irradiation incident on horizontal PV modules in kWh/m² and yearly electricity generated by 1 kWp

system with performance ratio 0.75 (kWh/kWp) for the territory of Bosnia and Herzegovina obtained by PVGIS, are given in Fig. 2 [32].

Yearly sum of total solar irradiation incident on optimally inclined south-oriented PV modules in kWh/m² and yearly electricity generated by 1 kWp system for the territory of Bosnia and Herzegovina obtained by PVGIS, are given in Fig. 3 [32].

It is clear from Figs. 1 and 2 that average solar irradiation is not dependent on geographical latitude only. There are regional differences in global solar irradiation due to terrain features and climatic conditions.

Geographical position and the results of PVGIS calculation of the yearly average values of the optimal panel inclination, solar irradiation on the horizontal, optimally inclined and vertical plane, linke turbidity, ratio of diffuse to global solar irradiation, daytime temperature and 24 hours of temperature for some cities in the Republic of Srpska are given in Table 1 [32].

Table 1 shows that:

1. Yearly average of the solar irradiation on horizontal plane ranges from 3450 Wh/m² (Derventa) to 4220 Wh/m² (Trebinje).

Global irradiation and solar electricity potential **Bosnia and Herzegovina**
Optimally-inclined photovoltaic modules



Fig. 3. Yearly sum of total solar irradiation incident on optimally inclined south-oriented PV modules in kWh/m² and yearly electricity generated by 1 kWp system for the territory of Bosnia and Herzegovina obtained by PVGIS. Adapted for Bosnia and Herzegovina from PVGIS © European Communities, 2001–2008, <http://re.ec.europa.eu/pvgis/>.

Table 1
Geographical position and the results of PVGIS calculation of the yearly average values of the optimal panel inclination, solar irradiation on the horizontal, optimally inclined and vertical plane, linke turbidity, ratio of diffuse to global solar irradiation, daytime temperature and 24 h of temperature for some cities in the Republic of Srpska are given in Table 1 [32].

Some cities in Republik Srpska	Geographical position	Optimal panel inclination (°)	Solar irradiation			Linke turbidity	Ratio of diffused and global solar radiation	Average daytime temperature (°C)	24 hour average of temperature (°C)
			On horizontal plane (Wh/m ²)	On optimally inclined plane (Wh/m ²)	On vertical plane (Wh/m ²)				
Novi Grad Annual irradiation deficit due to shadowing (horizontal): 0.1%	45°2'43" nort latitude and 16°23'4" east longitude	34	3500	3960	2620	3.8	0.50	13.4	12.0
Derventa Annual irradiation deficit due to shadowing (horizontal): 0.0%	44°58'51" nort latitude and 17°54'34" east longitude	33	3450	3900	2580	3.5	0.50	13.3	12.0
Prijedor Annual irradiation deficit due to shadowing (horizontal): 0.0%	44°58'44" nort latitude and 16°42'13" east longitude	34	3500	3980	2640	3.7	0.49	13.6	12.3
Brčko Annual irradiation deficit due to shadowing (horizontal): 0.0%	44°52'11" nort latitude and 18°48'35" east longitude	34	3520	3990	2650	3.2	0.49	13.3	12.1
Bijeljina Annual irradiation deficit due to shadowing (horizontal): 0.0%	44°45'0" nort latitude and 19°13'0" east longitude	34	3560	4040	2690	3.1	0.49	13.4	12.1
Banja Luka Annual irradiation deficit due to shadowing (horizontal): 0.0%	44°46'0" nort latitude and 17°10'59" east longitude	34	3540	4010	2660	3.7	0.50	13.1	11.8
Doboj Annual irradiation deficit due to shadowing (horizontal): 0.2%	44°44'26" nort latitude and 18°5'34" east longitude	34	3530	4000	2650	3.4	0.50	12.9	11.7
Zvornik Annual irradiation deficit due to shadowing (horizontal): 3.9%	44°23'30" nort latitude and 19°6'20" east longitude	33	3480	3930	2570	3.3	0.50	13.0	11.9
Pale Annual irradiation deficit due to shadowing (horizontal): 0.1%	43°49'0" nort latitude and 18°34'0" east longitude	35	3770	4350	2920	3.4	0.46	9.8	8.8
Sarajevo Annual irradiation deficit due to shadowing (horizontal): 0.1%	43°50'51" nort latitude and 18°21'23" east longitude	35	3800	4380	2930	3.5	0.45	12.2	11.1
Višegrad Annual irradiation deficit due to shadowing (horizontal): 0.6%	43°47'7" nort latitude and 19°17'35" east longitude	34	3740	4270	2820	3.3	0.46	12.4	11.3
Foča Annual irradiation deficit due to shadowing (horizontal): 0.4%	43°30'14" nort latitude and 18°46'41" east longitude	35	3850	4430	2950	3.5	0.46	11.4	10.3
Trebinje Annual irradiation deficit due to shadowing (horizontal): 0,2%	42°42'40" nort latitude and 18°20'33" east longitude	35	4220	4890	3240	3.4	0.41	14.1	12.9

- Yearly average of the solar irradiation on optimally inclined plane ranges from 3930 Wh/m² (Zvornik) to 4890 Wh/m² (Trebinje).
- Yearly average of the solar irradiation on vertical plane ranges from 2570 Wh/m² (Zvornik) to 3240 Wh/m² (Trebinje).
- Yearly average of the optimal panel inclination ranges from 33° (Derventa, Zvornik) to 35° (Pale, Sarajevo, Foča, Trebinje).
- Yearly average of the linke turbidity ranges from 3.1 (Bijeljina) to 3.8 (Novi Grad).
- Yearly average of the ratio diffuse to global solar irradiation ranges from 0.41 (Trebinje) to 0.50 (Novi Grad, Derventa, Banja Luka, Doboj, Zvornik).
- Yearly average of the daytime temperature ranges from 9.8 °C (Pale) to 14.1 (Trebinje) and
- Yearly average of the 24 h temperature ranges from 8.8 °C (Pale) to 12.9 (Trebinje).

Total for year sum of global irradiation per square meter received by the modules of the given PV system (optimally inclined fixed PV solar plants, optimally inclined one-axis and dual-axis tracking PV solar plants) of 1 kW in some cities in the Republic of Srpska, obtained by PVGIS, is given in Table 2 [32].

Table 2 shows that:

- Total for year sum of global irradiation per square meter received by the optimally inclined fixed PV solar plants of 1 kW ranges from 1420 kWh (Derventa) to 1780 kWh (Trebinje).
- Total for year sum of global irradiation per square meter received by the optimally inclined one-axis tracking PV solar plants of 1 kW ranges from 1670 kWh (Zvornik) to 2290 kWh (Trebinje).
- Total for year sum of global irradiation per square meter received by the dual-axis tracking PV solar plants of 1 kW ranges from 1720 kWh (Zvornik) do 2360 kWh (Trebinje).
- In Zvornik optimally inclined one-axis tracking PV solar plants of 1 kW intake 16.78% more solar irradiation compared to optimally inclined fixed PV solar plant of 1 kW, and dual-axis tracking PV solar plants of 1 kW intake 20.28% more solar irradiation compared to optimally inclined fixed PV solar plant of 1 kW and dual-axis tracking PV solar plants of 1 kW intake 2.99% more solar irradiation compared to optimally inclined one-axis tracking PV solar plants of 1 kW and
- In Trebinje optimally inclined one-axis tracking PV solar plants of 1 kW intake 28.65% more solar irradiation than optimally

inclined fixed PV solar plant of 1 kW, dual-axis tracking PV solar plants of 1 kW intake 32.58% more solar radiation than optimally inclined fixed PV solar plant of 1 kW and dual-axis tracking PV solar plants of 1 kW intake 3.06% more solar irradiation than optimally inclined one-axis tracking PV solar plants of 1 kW.

6.2. Electricity production of different types of PV solar plant of 1 kW in 13 cities in the Republic of Srpska

The total for year electricity production of different types of PV solar plant of 1 kW in some cities in the Republic of Srpska, obtained by PVGIS, is given in Table 3 [32].

Table 3 shows that:

1. Irrespective of the type of PV solar plants most electrical energy is generated if CdTe solar cells are used.
2. Total for year electricity production by the optimally inclined fixed PV solar plants of 1 kW with solar modules of monocrystalline silicon ranges from 1070 kWh (Derventa, Zvornik) to 1350 kWh (Trebinje), with CdTe solar modules from 1190 kWh (Derventa) to 1490 kWh (Trebinje) and with CIS solar modules from 1090 kWh (Derventa) to 1370 kWh (Trebinje).
3. Total for year electricity production by the optimally inclined one-axis tracking PV solar plants of 1 kW with solar modules

of monocrystalline silicon ranges from 1250 kWh (Zvornik) to 1740 kWh (Trebinje), with CdTe solar modules from 1380 kWh (Zvornik) to 1900 kWh (Trebinje) and with CIS solar modules from 1290 kWh (Zvornik) to 1780 kWh (Trebinje) and

4. Total for year electricity production by the dual-axis tracking PV solar plants of 1 kW with solar modules of monocrystalline silicon ranges from 1280 kWh (Zvornik) to 1780 kWh (Trebinje), with CdTe solar modules from 1410 kWh (Zvornik) to 1950 kWh (Trebinje) and with CIS solar modules from 1310 kWh (Zvornik) to 1820 kWh (Trebinje).

Estimated losses in PV solar plants of 1 kW in some cities in the Republic of Srpska, obtained by PVGIS, are given in Table 4 [32].

Comparison of the total for year electricity production of different types of PV solar plant with monocrystalline silicon solar modules of 1 kW in some cities in the Republic of Srpska is shown in Fig. 4.

Fig. 4 shows that

1. In Zvornik by means of dual-axis tracking PV solar plant of 1 kW with solar modules of monocrystalline silicon 19.63% more electrical energy is generated compared to optimally inclined fixed PV solar plant of 1 kW with solar modules of monocrystalline silicon and 2.4% more electrical energy is generated than in the case of optimally inclined one-axis

Table 2

Total for year sum of global irradiation per square meter received by the modules of the given PV system (optimally inclined fixed PV solar plants, optimally inclined one-axis and dual-axis tracking PV solar plants) of 1 kW in some cities in the Republic of Srpska obtained by PVGIS [32].

Some cities of Republic of Srpska	Total for year sum of global irradiation per square meter received by the modules of the optimally inclined fixed PV solar plant of 1 kW (kWh/m ²)	Total for year sum of global irradiation per square meter received by the modules of the optimally inclined one-axis tracking pv solar plant of 1 kW (kWh/m ²)	Total for year sum of global irradiation per square meter received by the modules of the dual-axis tracking PV solar plant of 1 kW (kWh/m ²)
Novi Grad	1440	1790	1840
Derventa	1420	1780	1830
Prijedor	1450	1820	1870
Brčko	1450	1850	1890
Bijeljina	1480	1890	1930
Banja Luka	1460	1830	1880
Doboj	1460	1810	1860
Zvornik	1430	1670	1720
Pale	1590	2010	2070
Sarajevo	1600	2040	2100
Višegrad	1560	1940	1990
Foča	1620	2000	2060
Trebinje	1780	2290	2360

Table 3

Total for year electricity production of different types of PV solar plant of 1 kW to some cities in the Republic of Srpska [32].

Some cities of the Republic of Srpska	Total for year electricity production from the optimally inclined fixed PV solar plant of 1 kW (kWh)			Total for year electricity production from the optimally inclined one-axis tracking PV solar plant of 1 kW (kWh)			Total for year electricity production from the dual-axis tracking PV solar plant of 1 kW (kWh)		
	c-Si solar modules	CdTe solar modules	CIS solar modules	c-Si solar modules	CdTe solar modules	CIS solar modules	c-Si solar modules	CdTe solar modules	CIS solar modules
Novi Grad	1090	1210	1110	1360	1490	1390	1390	1530	1420
Derventa	1070	1190	1090	1360	1490	1390	1380	1520	1420
Prijedor	1100	1220	1120	1390	1520	1420	1420	1560	1450
Brčko	1100	1200	1120	1400	1510	1430	1430	1540	1460
Bijeljina	1110	1230	1130	1430	1560	1460	1460	1600	1490
Banja Luka	1110	1230	1130	1400	1530	1420	1430	1560	1460
Doboj	1100	1220	1120	1370	1500	1410	1400	1540	1440
Zvornik	1070	1200	1100	1250	1380	1290	1280	1410	1310
Pale	1220	1330	1240	1550	1670	1580	1590	1710	1620
Sarajevo	1220	1340	1240	1560	1700	1590	1600	1740	1630
Višegrad	1180	1300	1200	1470	1610	1500	1500	1640	1540
Foča	1240	1350	1260	1530	1670	1560	1570	1710	1600
Trebinje	1350	1490	1370	1740	1900	1780	1780	1950	1820

Table 4
Estimated losses in PV solar plants of 1 kW in some cities in the Republic of Srpska, obtained by PVGIS [32].

Some cities in Republic of Srpska	Estimated losses due to temperature (using local ambient temperature) on			Estimated loss due to angular reflectance effects on			Other losses (cables, inverter etc.)			Combined PV system losses on		
	c-Si solar modules (%)	CdTe solar modules (%)	CIS solar modules (%)	c-Si solar modules (%)	CdTe solar modules (%)	CIS solar modules (%)	c-Si solar modules (%)	CdTe solar modules (%)	CIS solar modules (%)	c-Si solar modules (%)	CdTe solar modules (%)	CIS solar modules (%)
Novi Grad	9.2	-0.3	7.7	2.8	2.8	2.8	14	14	14	24.1	16.2	22.8
Derventa	9.3	-0.1	7.8	2.9	2.9	2.9	14	14	14	24.2	16.3	22.9
Prijedor	9.2	-0.2	7.7	2.8	2.8	2.8	14	14	14	24.1	16.3	22.9
Brčko	9.4	1.2	7.9	2.9	2.9	2.9	14	14	14	24.4	17.5	23.1
Bijeljina	9.5	0.2	8.0	2.9	2.9	2.9	14	14	14	24.4	16.7	24.4
Banja Luka	9.1	-0.2	7.6	2.8	2.8	2.8	14	14	14	24.0	17.3	22.8
Doboj	9.2	-0.1	7.7	2.8	2.8	2.8	14	14	14	24.2	16.4	22.8
Zvornik	10.3	0.4	8.4	2.6	2.6	2.5	14	14	14	24.9	16.5	23.2
Pale	7.9	-0.1	6.4	2.7	2.7	2.7	14	14	14	23.0	16.2	21.8
Sarajevo	8.8	0.0	7.3	2.7	2.7	2.7	14	14	14	23.7	16.3	22.4
Višegrad	9.2	0.1	7.5	2.7	2.7	2.7	14	14	14	24.0	16.4	22.6
Foča	8.4	-0.2	6.9	2.7	2.7	2.7	14	14	14	23.4	16.1	22.1
Trebinje	9.5	0.3	7.8	2.7	2.7	2.7	14	14	14	24.2	16.5	22.9

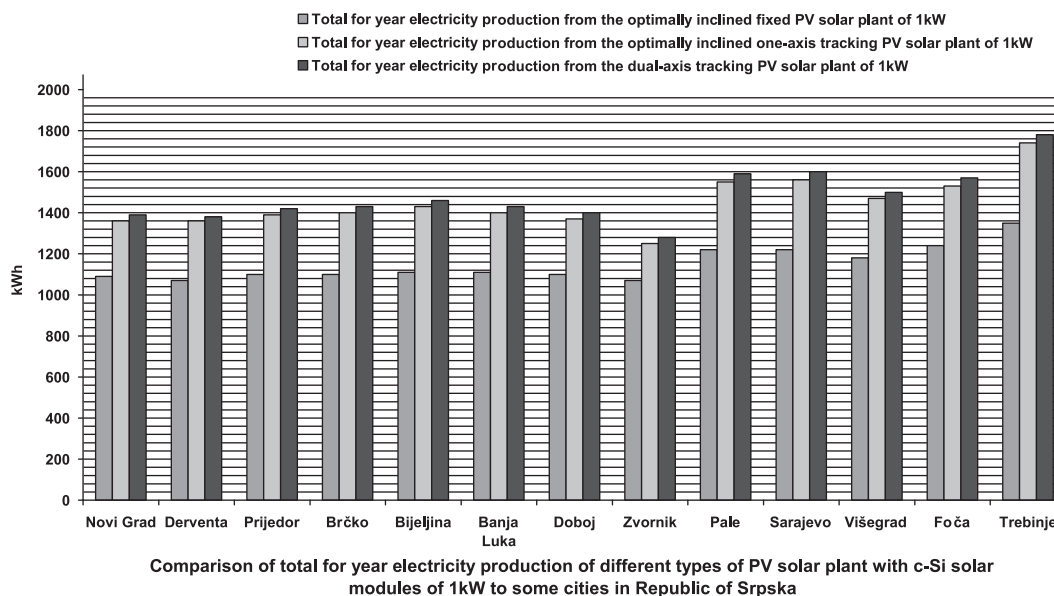


Fig. 4. Comparison of the total for year electricity production of different types of PV solar plant with monocrystalline silicon solar modules of 1 kW to some cities in the Republic of Srpska.

tracking PV solar plants of 1 kW with solar modules of monocrystalline silicon and

- In Trebinje by means of dual-axis tracking PV solar plant of 1 kW with solar modules of monocrystalline silicon 31.85% more electrical energy is generated compared to optimally inclined fixed PV solar plant of 1 kW with solar modules of monocrystalline silicon and 2.29% more electrical energy is generated than by means of the optimally inclined one-axis tracking PV solar plants of 1 kW with solar modules of monocrystalline silicon.

Comparison of the total for year electricity production of different types of PV solar plant with CdTe solar modules of 1 kW in some cities in the Republic of Srpska is shown in Fig. 5. Fig. 5 shows that

- In Zvornik by means of dual-axis tracking PV solar plant of 1 kW with CdTe solar modules 17.5% more electrical energy is generated than in the case of optimally inclined fixed PV solar

plant of 1 kW with CdTe solar modules and 2.17% more electrical energy in comparison to the optimally inclined one-axis tracking PV solar plants of 1 kW with CdTe solar modules and

- In Trebinje by means of dual-axis tracking PV solar plant of 1 kW with CdTe solar modules 30.87% more electrical energy is generated than by optimally inclined fixed PV solar plant of 1 kW with CdTe solar modules and 2.63% more electrical energy is generated than by the optimally inclined one-axis tracking PV solar plants of 1 kW with CdTe solar modules.

Comparison of the total for year electricity production of different types of PV solar plant with CIS solar modules of 1 kW in some cities in the Republic of Srpska is shown in Fig. 6. Fig. 6 shows that

- In Zvornik by means of dual-axis tracking PV solar plant of 1 kW with CIS solar modules 19.09% more electrical energy is generated than by the optimally inclined fixed PV solar plant

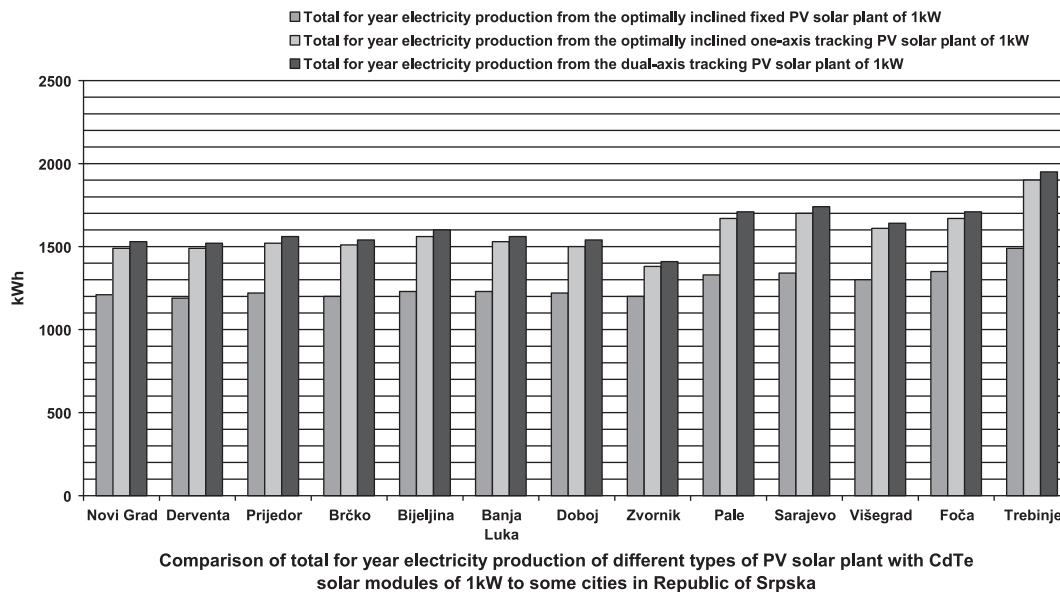


Fig. 5. Comparison of the total for year electricity production of different types of PV solar plant with CdTe solar modules of 1 kW in some cities in the Republic of Srpska.

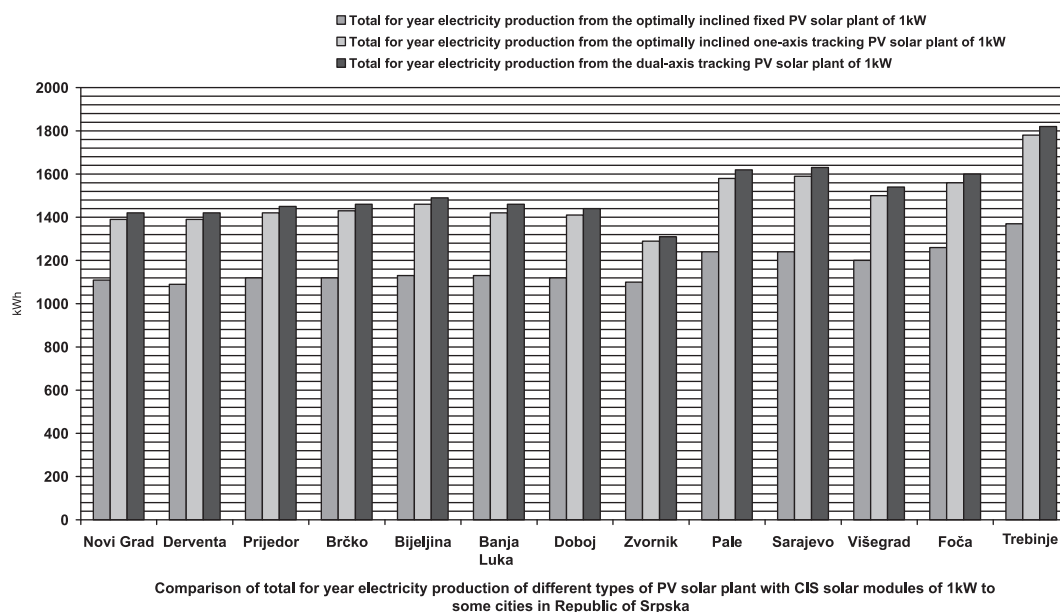


Fig. 6. Comparison of the total for year electricity production of different types of PV solar plant with CIS solar modules of 1 kW in some cities in the Republic of Srpska.

of 1 kW with CIS solar modules and 1.55% more electrical energy is generated than by the optimally inclined one-axis tracking PV solar plants of 1 kW with CIS solar modules and 2. In Trebinje by means of dual-axis tracking PV solar plant of 1 kW with CIS solar modules 32.85% more electrical energy is generated than by the optimally inclined fixed PV solar plant of 1 kW with CIS solar modules and 2.25% more electrical energy is generated than by the optimally inclined one-axis tracking PV solar plants of 1 kW with CIS solar modules.

7. Conclusion

Global Warming is caused by many things, pollution being one of the biggest man-made problems. Burning fossil fuels give off a

green house gas called CO₂. To avoid pollution most countries will be forced to use renewable sources energy coming from natural resources such as sunlight, wind, rain, tides, and geothermal heat, which are renewable (naturally replenished) to meet their needs for the energy. Solar energy is one of the best renewable energy sources. The main purpose of the research, development and use of solar energy is that the use of solar energy contributes to more efficient use of the countries own potentials in generating electrical and thermal energy, reduction of “the green house effects” emission, reduction of the import and use of the fossil fuels, development of the local industry and new job openings. Solar powered electrical generation relies on photovoltaics and heat engines. Solar technologies are broadly characterized as either passive solar or active solar depending on the way they capture, convert and distribute solar energy. Active solar

techniques include the use of photovoltaic panels and solar thermal collectors to harness the energy.

In the light of all afore mentioned one can conclude that nowadays worldwide PV solar plants use mainly solar cells made of monocrystalline, polycrystalline and amorphous silicon, CdTe and CIS solar cells. Based on climate and other conditions fixed, one-axis, and dual-axis tracking PV solar plants are installed worldwide.

Although the Republic of Srpska has very favorable climate and legal conditions for the installation and use of PV solar plants, up to now not one PV solar plant has been installed and there are rare cases of the use of PV systems elsewhere.

Spanish government has financed a PV system, total power of 0.32 kW in Bosnia and Herzegovina, installed as a part of the project. It is being used as the energy source for the irrigation system in Popovo Polje, located in Canton K7 and the Republic of Srpska. This first PV installation in the Republic of Srpska is roof-installed in the orphanage in Trebinje.

Application of PVGIS program in 13 towns in the Republic of Srpska shows that yearly average of the optimal panel inclination ranges from 33° to 35°; total for year sum of global irradiation per square meter received by the optimally inclined fixed PV solar plants of 1 kW ranges from 1420 kWh (Derventa) to 1780 kWh (Trebinje); total for year sum of global irradiation per square meter received by the optimally inclined one-axis tracking PV solar plants of 1 kW ranges from 1670 kWh (Zvornik) to 2290 kWh (Trebinje); total for year sum of global irradiation per square meter received by the dual-axis tracking PV solar plants of 1 kW ranges from 1720 kWh (Zvornik) to 2360 kWh (Trebinje).

Total for year electricity production by the optimally inclined fixed PV solar plants of 1 kW with solar modules of monocrystalline silicon ranges from 1070 kWh (Derventa, Zvornik) to 1350 kWh (Trebinje), with CdTe solar modules ranges from 1190 kWh (Derventa) to 1490 kWh (Trebinje) and with CIS solar modules it ranges from 1090 kWh (Derventa) to 1370 kWh (Trebinje).

Total for year electricity production by the optimally inclined one-axis tracking PV solar plants of 1 kW with solar modules of monocrystalline silicon ranges from 1250 kWh (Zvornik) to 1740 kWh (Trebinje), with CdTe solar modules it ranges from 1380 kWh (Zvornik) to 1900 kWh (Trebinje) and with CIS solar modules from 1290 kWh (Zvornik) to 1780 kWh (Trebinje).

Total for year electricity production by the dual-axis tracking PV solar plants of 1 kW with solar modules of monocrystalline silicon ranges from 1280 kWh (Zvornik) to 1780 kWh (Trebinje), with CdTe solar modules from 1410 kWh (Zvornik) to 1950 kWh (Trebinje) and with CIS solar modules from 1310 kWh (Zvornik) to 1820 kWh (Trebinje).

Irrespective of the type of PV solar plants, PVGIS program has shown that most electrical energy in the Republic of Srpska can be generated by PV solar plants with CdTe solar cells.

Acknowledgment

This paper was done with the financial support of the project TR 33009 approved by the Ministry of Education, Science and Technological Development of the Republic of Serbia.

References

- [1] LIBER PERPETUUM, The book on renewable energy potentials of Serbia and Montenegro, OSCE Mission to Serbia and Montenegro, economic and environmental department, Novi Sad, Serbia, 2004 (86-903283-8-6).
- [2] Pavlović T, Milosavljević D, Radivojević A, Pavlović M. Comparison and assessment of electricity generation capacity for different types of PV solar

- plants of 1 MW In Soko Banja, Serbia. *Thermal Science* 2011;15(3):605–18, <http://dx.doi.org/10.2298/TSC1110322065P>.
- [3] Pavlović T, Radonjić I, Milosavljević D, Pantić L. A review of concentrating solar power plants in the world and their potential use in Serbia. *Renewable and Sustainable Energy Review* 2012;16(6):3891–902, <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2012.03.042>.
- [4] Gvozdenac D, Simić T. About the Serbian energy efficiency problems. *Thermal Science* 2012;16(1):S1–15, <http://dx.doi.org/10.2298/TSC1120205056G>.
- [5] Solangi KH, Islam MR, Saidur R, Rahim NA, Fayaz H. A review on global solar energy policy. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 2011;15(4):2149–63.
- [6] Mekhilef S, Saidur R, Safari A. A review on solar energy use in industries. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 2011;15(4):1777–90.
- [7] Rehman S, Bader MA, Al-Moallem SA. Cost of solar energy generated using PV panels. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 2007;11(8):1843–57.
- [8] Evans A, Strezov V, Evans TJ. Assessment of sustainability indicators for renewable energy technologies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 2009;13:1082–85 2009;13:1082–8.
- [9] Dincer F. The analysis on photovoltaic electricity generation status, potential and policies of the leading countries in solar energy. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 2011;15(1):713–20.
- [10] El Chaar L, Jamont LA, El Zein N. Review of photovoltaic technologies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 2011;15(5):2165–75.
- [11] Parida B, Iniyas S, Goic R. A review of solar photovoltaic technologies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 2011;15(3):1625–36.
- [12] Díez-Mediavilla M, Alonso-Tristán C, Rodríguez-Amigo MC, García-Calderón T. Solar and wind feasibility technology (SWIFT), implementation of PV plants in Spain: a case study. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 2010;14(4):1342–6.
- [13] Meral ME, Dincer F. A review of the factors affecting operation and efficiency of photovoltaic based electricity generation systems. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 2011;15:2176–84 2011;15:2176–84.
- [14] Gross R, Leach M, Bauen A. Progress in renewable energy. *Environment International* 2003;29(1):105–22.
- [15] Blinc R, Najdovski D, Bekteshi S, Kabashi S, Šlaus I, Zidanšek A. How to achieve a sustainable future for Europe. *Thermal Science* 2008;12(4):19–25.
- [16] Chiras D, Aram R, Nelson K. Power from the sun – achieving energy independence. *New society*.2009.
- [17] Messenger R, Ventre J. Photovoltaic systems engineering. USA: CEC Press, Taylor & Francis Group; 2010.
- [18] Čorba ZJ, Katic VA, Dumnić BP, Milicevic DM. In-grid solar-to-electrical energy conversion system modeling and testing. *Thermal Science* 2012;16(1):159–71, <http://dx.doi.org/10.2298/TSC1120224069C>.
- [19] Salas V, Olias E, Alonso M, Chenlo F. Overview of the legislation of DC injection in the network for low voltage small grid-connected PV systems in Spain and other countries. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 2008;12:575–832 2008;12:575–83.
- [20] Pavlović T, Milosavljević D, Radonjić I, Pantić L, Radivojević A. Application of solar cells of different materials in PV solar plants of 1 MW in Banjaluka. *Contemporary Materials (Renewable Energy Sources* 2011;II-2:155–63, <http://dx.doi.org/10.5767/anurs.cmat.110202.en.155P>.
- [21] Djurdjević D. Perspectives and assessments of solar PV power engineering in the Republic of Serbia. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 2011;15:2431–465 2011;15:2431–46.
- [22] Mousazadeh H, Keyhani A, Javadi A, Mobli H, Abrinia K, Sharifi A. A review of principle and sun-tracking methods for maximizing solar systems output. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 2009;13(8):1800–18.
- [23] Li Z, Liu X, Tang R. Optical performance of vertical single-axis tracked solar panels. *Renewable Energy* 2011;36(1):64–8.
- [24] Trama TecnAmbiental. Deliverable 1: Inception Mission, Study on the possibilities use and development of solar energy in BiH, EDU/0724/07, Available from: <<http://www.vladars.net/sr-sp-cyrl/vlada/ministarstva/mper/Documents/solarxenergyxstudyxeng.pdf>>.
- [25] Mihajlov A. Opportunities and challenges for a sustainable energy policy in SE Europe: SE European Energy Community treaty. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 2010;14(2):872–5.
- [26] Official Gazette of the Republic of Srpska, no. 71/2004.
- [27] Karakosta C, Flouri M, Dimopoulou S, Psarras J. Analysis of renewable energy progress in the western Balkan countries: Bosnia–Herzegovina and Serbia. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 2012;16(7):5166–75.
- [28] Lalić D, Popovski K, Gecevskac V, Popovska Vasilevska S, Tesic Z. Analysis of the opportunities and challenges for renewable energy market in the Western Balkan countries. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 2011;15:3187–956 2011;15:3187–95.
- [29] Schneider DR, et al. Mapping the potential for decentralized energy generation based on RES in Western Balkans. *Thermal Science* 2007;11:7–263 2007;11:7–26.
- [30] Available online at: <http://meteo.meteo-rs.com/klimars.php>.
- [31] Pavlović T, Radonjić I, Milosavljević D, Pantić L, Piršl D. Assessment and potential use of concentrating solar power plants in Serbia and Republic of Srpska. *Thermal Science* 2012;16(4):931–45, <http://dx.doi.org/10.2298/TSC111027100P>.
- [32] PVGIS © European Communities; 2001–2008. Available from: <<http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps3/pvest.php>>.

- [33] Šúri M, Huld TA, Dunlop ED. PV-GIS: a web-based solar radiation database for the calculation of PV potential in Europe. *International Journal of Sustainable Energy* 2005;24:55–672 2005;24:55–67.
- [34] <<http://sunbird.jrc.it/pvgis/apps/pvest.php?europe=>>.
- [35] Šúri M, Huld T, Cebecauer T, Dunlop ED. Geographic aspects of photovoltaics in Europe: contribution of the PVGIS web site. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing* 2008;1:34–41.
- [36] Gastli A, Charabi Y. Solar electricity prospects in Oman using GIS-based solar radiation maps. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 2010;14:790–7.
- [37] Pagola I, Gastón M, Fernández-Peruchena C, Moreno S, Ramírez L. New methodology of solar radiation evaluation using free access databases in specific locations. *Renewable Energy* 2010;35:2792–8.
- [38] Athanasios Angelis-Dimakis, Markus Biberacher, Javier Dominguez, Giulia Fiorese, Sabine Gadocha, Edgard Gnansounou, et al. Methods and tools to evaluate the availability of renewable energy sources. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 2011;15:1182–200.
- [39] Šúri M, Hofierka J, New A. GIS-based solar radiation model and its application for photovoltaic assessments. *Transactions in GIS* 2004;8(2):175–90.
- [40] Dike VN, Chineke TC, Nwofor OK, Okoro UK. Optimal angles for harvesting solar electricity in some African cities. *Renewable Energy* 2012;39:433–9.
- [41] Hofierka J, Kanuk J. Assessment of photovoltaic potential in urban areas using open-source solar radiation tools. *Renewable Energy* 2009;34:2206–14.
- [42] Carrion JA, Espn Estrella A, Aznar Dols F, Ramos Ridao A. The electricity production capacity of photovoltaic power plants and the selection of solar energy sites in Andalusia (Spain). *Renewable Energy* 2008;33:545–52.
- [43] Šúri M, Huld TA, Dunlop ED, Ossenbrink HA. Potential of solar electricity generation in the European Union member states and candidate countries. *Solar Energy* 2007;81:1295–305.
- [44] Huld T, Šúri M, Dunlop ED. Geographical variation of the conversion efficiency of crystalline silicon photovoltaic modules in Europe. *Progress in Photovoltaics: Research and Applications* 2008;16:585–607.
- [45] Taher Maatallah Souheil El Alimi, Sassi Ben Nassrallah, Performance modeling and investigation of fixed, single and dual-axis tracking photovoltaic panel in Monastir city, Tunisia. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 2011;15:4053–668 2011;15:4053–66.
- [46] Huld T, Šúri M, Dunlop ED. Comparison of potential solar electricity output from fixed inclined and two-axis tracking photovoltaic modules in Europe. *Progress in Photovoltaics: Research and Applications* 2008;16(1):47–59.
- [47] Gómez-Gil Francisco Javier, Wang Xiaoting, Barnett Allen. Energy production of photovoltaic systems: fixed, tracking, and concentrating. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 2012;16(1):306–13.

SIMULATION OF PHOTOVOLTAIC SYSTEMS ELECTRICITY GENERATION USING HOMER SOFTWARE IN SPECIFIC LOCATIONS IN SERBIA

by

**Tomislav M. PAVLOVIĆ^{a*}, Dragana D. MILOSAVLJEVIĆ^b, and
Danica S. PIRSL^b**

^a University of Niš, Faculty of Sciences and Mathematics, Department of Physics, Niš,
Republic of Serbia

^b University of Niš, Faculty of Sports, Niš, Republic of Serbia

Original scientific paper

DOI: 10.2298/TSCI120727004P

In this paper basic information of Homer software for photovoltaic system electricity generation, NASA – Surface meteorology and solar energy database, RETScreen, PVGIS and HMIRS (Hydrometeorological Institute of Republic of Serbia) solar databases are given. The comparison of the monthly average values for daily solar radiation per square meter received by the horizontal surface taken from NASA, RETScreen, PVGIS, and HMIRS solar databases for three locations in Serbia (Belgrade, Negotin, and Zlatibor) is given. It was found that the annual average values of daily solar radiation taken from RETScreen solar database are the closest to the annual average values of daily solar radiation taken from HMIRS solar database for Belgrade, Negotin, and Zlatibor. Monthly and total for year values of electricity production of fixed on-grid photovoltaic system of 1 kW with optimal inclined and south oriented solar modules, in Belgrade, Negotin, and Zlatibor using HOMER software simulation based on data for daily solar radiation taken from NASA, RETScreen, PVGIS, and HMIRS databases are calculated. The relative deviation of electricity production of fixed on-grid photovoltaic system of 1 kW using HOMER software simulation based on data for daily solar radiation taken from NASA, RETScreen, and PVGIS databases compared to electricity production of fixed on-grid photovoltaic system of 1 kW using HOMER software simulation based on data for daily solar radiation taken from HMIRS databases in Belgrade, Negotin, and Zlatibor are given.

Key words: *HOMER software, RETScreen, PVGIS, NASA – surface meteorology and solar energy database, on-grid photovoltaic systems*

Introduction

In the world market there is an apparent extent of solar database and software programs available for analyzing solar photovoltaic (PV) systems, either commercially available or not. Solar resource information is needed in all stages of the development of a PV project. Reliable solar radiation statistics is required for system siting, design, and for financing. In most cases, monthly averages, probability statistics of typical meteorological years (TMY) is sufficient. This information is sufficient also for the manufacturing industry and for policy makers defining support programmes. Some of solar database are: NASA – Surface meteorology and solar energy database, RETScreen solar database, PVGIS solar database, HelioClim-1, Metenorm, European solar radiation atlas, SoDa service, Solar and wind energy resource assessment (SWERA), etc.

* Corresponding author; e-mail: pavlovic@pmf.ni.ac.rs

Solar PV software simulators on the market are designed with different goals in mind and have various limitations for solving certain problems. The desirable features of softwares for manufacturing simulation depend on the purpose of their use. Each software works in its specific area of application in solar PV systems. As more PV systems are installed there will be an increase in demand for software that can be used for design, analysis, and troubleshooting. There are 12 major types of softwares for simulating solar PV system: RETScreen, PV F-Chart, SolarDesign Tool, INSEL, TRNSYS, NREL Solar Advisor Model, ESP-r 11.5, PVSYST 4.33, SolarPro, PV DesignPro-G, PV*SOL Expert, HOMER, and many others available are DDS-CAD PV, Polysun, APOS PV StatLab, PV Designer, SolarNexus, Valentin Software, PV Cost Simulation Tool, PV Potential Estimation Utility, SolmetricIPV, Solmetric Suneye, Blue Oak Energy, and Solar Pro Magazine's Solar Select, Seneca Software & Solar, Inc., Sombrero, Horizon, Panorama master, METEONORM, GOSOL, Shadows, Shadow Analyser, SPYCE, ECOTECT, Tetti FV, Kerychip, PV Professional, Pvcad, Meteocontrol, *etc.* [1-3].

When designing PV system it is necessary to analyze data on sun radiation for given locations. Since data on sun radiation are different for each source – solar database and for each location, following questions are posed: which source of data is most reliable, which data predict highest generation of electrical energy, and which the lowest, what is the difference between them, *etc.*

The aim of this paper is to examine three different databases in order to identify the one with the most accurate data for three areas in Serbia, by comparing them with actual measurements of the Hydrometeorological Institute of the Republic of Serbia (HMIRS). The bias in various solar data sources can have significant effects on the prediction of PV performance, especially in the areas where there is no robust network of solar measurement devices such as Serbia.

This paper compares amount of electricity generated by on-grid fixed PV system of 1 kW with solar modules oriented southwards under optimal angle for three representative locations in Serbia (Belgrade-capital, Negotin-Eastern Serbia, and Zlatibor-Western Serbia). Calculations of electricity were performed by HOMER software. HOMER software defines parameters of on-grid PV system and input data for daily solar radiation per square meter received by the horizontal surface generated by four different solar databases: NASA – Surface meteorology and solar energy database, RETScreen database, PVGIS database, and HMIRS database. The end of the paper states relative deviation of the amount of electricity generated in the course of the year by simulation in HOMER software using values for daily solar radiation taken from NASA, RETScreen, and PVGIS databases in relation to the amount of electricity generated by measured (real) values for daily solar radiation from HMIRS solar database (reference database). Solar databases for daily solar radiation for the specific locations within the territory of Serbia are presented and analysed in order to achieve useful details and assessment for the potentials of solar PV utilization in three representative locations in Serbia. Some data and considerations given in this paper can be used by customers or companies keen to invest in the PV sector in Serbia.

HOMER software

Hybrid Optimization Model for Electric Renewables (HOMER) is a computer model developed in 1992 by the U. S. National Renewable Energy Laboratory (NREL) to assist in the design of micropower systems and to facilitate the comparison of power generation technologies across a wide range of applications. HOMER models a power system's physical behavior and its life-cycle cost, which is the total cost of installing and operating the system over its life span. HOMER allows the modeler to compare many different design options based on their technical and economic merits.

Renewable power sources add further complexity because their power output may be intermittent, seasonal, and non-dispatchable, and the availability of renewable resources may be uncertain. HOMER was designed to overcome these challenges. HOMER simulates and optimises stand-alone and grid-connected power systems comprising any combination of PV arrays, wind turbines, run-of-river hydro power, biomass power, internal combustion engine generators, microturbines, fuel cells, batteries, and hydrogen storage, serving both electric and thermal loads (by individual or district-heating systems).

The simulation considers a one year time-period using a minimum time-step of 1 minute. It performs sensitivity analyses which can help the analyst to do what-if analyses and to investigate the effects of uncertainty or changes in input variables. The objective of the optimisation simulation is to evaluate the economic and technical feasibility of a large number of technology options and to account for variation in technology costs and energy resource availability [4-8].

Definition of PV system components in HOMER

Having in mind that all calculations in this paper use on-grid fixed PV system with optimally inclined and south-oriented solar modules, it is necessary to clearly define all components and parameters needed for the simulation of on-grid PV system in HOMER software.

On-grid fixed PV system denotes a system using solar modules mounted on fixed metal supporters under optimal angle in relation to the horizontal surface to convert solar radiation into the electrical energy. PV system consists of solar modules, inverter converting DC into AC and switches and related connections giving the generated power into the grid net. On-grid PV systems represent one of the ways to decentralize the electric power network grid. The electrical energy is generated by these systems nearer to the locations in demand for the electricity and not only by thermo, nuclear or huge hydro power plants. Over time these systems will reduce the need to increase the capacity of the transmitting and distributive lines [5, 6, 8-11].

PV array model

Following values were needed to populate the model for the PV array: size [kW], output current (AC or DC), operational lifetime (year), derating factor [%], slope [degree], azimuth (degree W or S), ground reflectance [%], and type of tracking system used.

The model for the PV array in these simulations was a more generic model; that is, it was a model of a typical array rather than a specific array currently in production. This was relatively straightforward since HOMER calculates PV power production based on the rated capacity of the array. In other words values such as the relative efficiency were already rolled into the rated capacity figures. The PV derating factor is a scaling factor that HOMER applies to the PV array power output to account for reduced output in real-world operating conditions compared to the conditions under which the PV panel was rated. HOMER also uses a derating factor to reduce the actual output of the solar array relative to its rated capacity. This factor is designed to account for "soiling of the panels, wiring losses, shading, snow cover, aging, *etc.*" [5, 6, 8, 12]. The lifetime of PV modules depends on the solar cell technology used as well. For monocrystalline and polycrystalline silicon solar cells most manufacturers give a warranty of 10/90 and 25/80 which means: a 10-year warranty that the module will operate at above 90% of nominal power and up to 25 years above 80%. The practical lifetime of the silicon-made PV modules is expected to be at least 30 years [9, 13]. The ground reflectance (also called albedo) is the fraction of solar radiation incident on the ground that is reflected. A typical value for

grass-covered areas is 20%. Snow-covered areas may have a reflectance as high as 70%. This value is used in calculating the radiation incident on the tilted PV panels, but it has only a modest effect [5-6].

Each hour of the year, HOMER calculates the global solar radiation incident on the PV array using the Hay, Davies, Klucher, Reindl (HDKR) model, explained in Section 2.16 of Duffie and Beckmann [14]. This model takes into account the current value of the solar resource (the global solar radiation incident on a horizontal surface), the orientation of the PV array, the location on Earth's surface, the time of year, and the time of day. The orientation of the array may be fixed or may vary according to one of several tracking schemes. Based on data of daily solar radiation, HOMER automatically calculated average monthly values of clearness index and amount of electricity by the optimally inclined PV modules.

In the solar resource input window users specify, for each time step, the global solar radiation. That is the total amount of solar radiation striking the horizontal surface on the earth. But the power output of the PV array depends on the amount of solar radiation striking the surface of the PV array, which in general, is not horizontal. So in each time step HOMER automatically calculates the global solar radiation incident on the surface of the PV array, which is based on the analytic methods in the first two chapters of Duffie and Beckman [14] described in reference. Unfortunately, HOMER does not display numerical values of global solar radiation on optimally inclined surface but automatically uses them to calculate the amount of the electricity of PV array [5, 6].

The input values we used were: 1 kW size, DC output current, 25 years operational lifetime, derating factor, Simulation dependent – 95, Slope – 34° for Belgrade, 32° for Negotin, and 36° for Zlatibor, Azimuth – 0°, 20% ground reflectance and no tracking system. Optimal module inclination for each city is taken from PVGIS and input in HOMER.

Inverter model

Inverter is a device that converts electric power from DC to AC in a process called inversion, and/or from AC to DC in a process called rectification. The inverter size, which is a decision variable, refers to the inverter capacity, meaning the maximum amount of AC power that the device can produce by inverting DC power. The user specifies the rectifier capacity, which is the maximum amount of DC power that the device can produce by rectifying AC power, as a percentage of the inverter capacity. The rectifier capacity is therefore not a separate decision variable. The relevant values needed for this simulation are: size (kW), lifetime (year), inverter efficiency [%], and rectifier efficiency [%] [5, 6, 15].

The following (default) input values we used were: 1 kW size; 15 years lifetime; 95% inverter efficiency, and 95% rectifier efficiency.

Solar resources

Quantity of solar radiation incidence on the surface of earth is influenced by numerous factors such as: geographical latitude of the given place, season of the year, part of the day, purity of the atmosphere, cloudiness, orientation, surface inclination, *etc.* These data are very important because of their use in calculations of the cost effectiveness of equipment using solar radiation.

To model a system containing a PV array, the HOMER user must provide solar resource data for the location of interest. Solar resource data indicate the amount of global solar radiation (beam radiation coming directly from the sun, plus diffuse radiation coming from all parts of the sky) that strikes Earth's surface in a typical year. The data can be in one of three forms: hourly average global solar radiation on the horizontal surface, in kW/m², monthly aver-

age global solar radiation on the horizontal surface, in kWhm²per day, or monthly average clearness index. The clearness index is the ratio of the solar radiation striking Earth's surface to the solar radiation striking the top of the atmosphere. A number between zero and one, the clearness index is a measure of the clearness of the atmosphere [5, 6, 16]. There are two ways to create solar baseline data: users can directly use HOMER to synthesize data from NASA – surface meteorology and solar energy database, or users can import hourly radiation data from a file. If the user chooses to provide monthly solar resource data, HOMER generates synthetic hourly global solar radiation data using an algorithm developed by Graham and Hollands [17].

In this paper data on daily solar radiation per square meter received by the horizontal surface needed for the simulation of on-grid fixed PV system of 1 kW by HOMER software were taken from four different solar databases: NASA – surface meteorology and solar energy database, RETScreen solar database, PVGIS solar database, and HMIRS – solar database.

NASA – Surface meteorology and solar energy database

NASA, through its Science Mission Directorate, has long supported satellite systems and research providing data important to the study of climate and climate processes. These data include long-term estimates of meteorological quantities and surface solar energy fluxes.

These satellite and modeled based products have been shown to be accurate enough to provide reliable solar and meteorological resource data over regions where surface measurements are sparse or non-existent, and offer two unique features – the data are global and, in general, contiguous in time. These two important characteristics, however, tend to generate very large data archives which can be intimidating for commercial users, particularly new users with little experience or resources to explore these large data sets. To foster the commercial use of the global solar and meteorological data, NASA supported, and continues to support, the development of the Surface meteorology and Solar Energy (SSE) dataset that has been formulated specifically for the PV and renewable energy system design needs. The SSE data set is formulated from NASA satellite and re-analysis-derived insolation and meteorological data for the 22-year period, July 1983 through June 2005. Results are provided for 1° latitude by 1° longitude grid cells over the globe. Average daily and monthly measurements for 1195 World Radiation Data Centre ground sites are also available. The SSE parameters are available via user-friendly web-based applications founded on user needs. NASA's SSE dataset provides monthly average solar radiation data for everywhere on earth. The data are directly linked to design tools such as HOMER and RETScreen [16, 18, 20].

RETScreen (Renewable Energy Technology Screen) software and solar database

The RETScreen clean energy project analysis software is a decision support tool developed with the contribution from government, industry, and academia. It was originally developed in 1996 by Natural Resources Canada (NRCAN) CANMET Energy Technology Centre for renewable energy technologies analysis. The software, provided free-of-charge from [<http://www.nrel.gov/>] and [<http://www.retscreen.net/>], can be used worldwide to evaluate the energy production and savings, costs, emission reductions, financial viability and risk for various types of renewable energy and energy efficient technologies. The RETScreen software is available in multiple languages and also includes product, project, hydrology and climate databases, a detailed user manual, and a case study based college/university-level training course, including an engineering e-textbook. Also, the RETScreen software provides users' access to climatic data from ground monitoring stations, or as an alternative, to the NASA Space Environments and Effects (SEE) satellite-derived data sets.

Ground-based meteorological data includes averages of ground-based observations for over 6,500 sites around the world, compiled from over 50 different sources for the period 1982 to 2006.

NASA's satellite-derived meteorological data for any location on earth is provided for use with the RETScreen software via the NASA prediction of worldwide energy resource (POWER) project. The current NASA data set is formulated from data gathered for a 20-year period starting in July 1983, using a 1-degree cell. At mid-latitudes (45°), the cell size is approximately 80-110 km. Solar irradiance values are inferred using satellite observations of the atmosphere and Earth's surface. The other meteorological parameters (*e. g.* temperature, humidity, *etc.*) are adapted from the NASA's Global Modeling and Analysis Office (GMAO), Goddard Earth observing system (GEOS v. 4.0.3) meteorological analysis [8, 16, 21].

PVGIS solar database

Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS®) European Communities, 2001-2008 is a part of the SOLAREC action aimed at contributing to the implementation of renewable energy in the EU. SOLAREC is an internally funded project on PV solar energy for the 7th framework programme. PVGIS has been developed at the Joint Research Centre (JRC) of the European Commission within its Renewable Energies Unit since 2001 as a research Geographical Information Systems (GIS) oriented tool for the performance assessment of solar PV systems in European geographical regions. From the very start of its functioning PVGIS was envisaged to be locally used, however access to the PVGIS database and estimations were drawn as open system access for professionals and the general european public as well by means of the web-based interactive applications. PVGIS provides data for the analysis of the technical, environmental, and socio-economic factors of solar PV electricity generation in Europe and supports systems for EU countries solar energy decision-makings.

There are various databases and PV estimation tools offering solar radiation and other climatic data useful for an assessment of the PV potential for specific location worldwide: European Solar Radiation Atlas (ESRA), Saolar Radiation Data (SoD), NASA SSE, Meteonorm, *etc.* PVGIS as a solar radiation database has advantages over other similar databases as an open data and software PV estimation tool with an excellent geographical grid resolution (1 km × 1 km) and map based user-friendly interface, providing easy-understandable information for PV geographical assessments. The estimated accuracy of PVGIS calculations is proven to be within several percents. Detailed geographical, climatic and other data make PVGIS on-line calculator ideally suited, not only for non-professionals and initial PV system estimations, but also even for serious PV systems design as part of the integrated management of distributed energy generation, for specifically selected locations in Europe. The methods used by PVGIS to estimate PV system output have been described in a number of papers. The basis for the European part of PVGIS is a dataset with 10 years of data from 566 ground stations in Europe measuring global horizontal radiation and in some cases diffuse radiation. The station data were collected and processed as a part of the ESRA and published as monthly averages of daily irradiation sums [9, 13, 16, 19, 22-24]. The construction of high spatial resolution data sets for solar radiation has been previously reported [25, 26]. The computational approach is based on a solar radiation model (*r.sun* model), and the spline interpolation techniques (*s.surf.rst* and *s.vol.rst*) that are implemented within the open-source GIS software GRASS. The *r.sun* model algorithm uses the equations published in the ESRA. This is certainly a powerful tool that can be used for the development of new solar power plants that will obviate climate change and promote sustainable development through poverty alleviation [19, 27, 28]. More details of the *r.sun* model and the

spline interpolation techniques (s.surf.rst and s.vol.rst) can be found in some key references [29-32]. Other details of the PVGIS methodology and development can be found in some key reference papers [33, 34].

In this paper PVGIS-3 is used. The PVGIS-3 data set is based on measurements made on the ground in the period 1981-1990 which are then interpolated between points to get radiation values at any point. A new version PVGIS-CMSAF has been recently introduced which uses the new databases for the solar radiation data provided by the Climate Monitoring Satellite Application Facility (CMSAF) from the period 1998-2010. Due to the possible wrong terrestrial measurements and to the fact that the amount of solar radiation has increased over Europe in the last 30 years, calculations with new PVGIS-CMSAF give higher values than with the older PVGIS-3. For the territory of Serbia PVGIS-CMSAF gives up to 5% higher values for the solar irradiation data [13, 22].

HMIRS

Organized measurements of the solar radiation started on the territory of the former Yugoslavia in 1957, with the network of 13 measuring stations which were equipped with pyranometers for the registering of global solar radiation [35]. By the decision of the World Meteorological Organization Yugoslavia took part in the program of the world monitoring and has regularly sent data to the World center for data on irradiation in St. Petersburg, where these data are stored in data base nowadays available through the internet. By the shutdown of the Yugoslav National Center for Solar Radiation in 1988 network of stations has gradually been shut-down so that in 1991 it stopped completely measurements of solar radiation. HMIRS began to reestablish solar radiation measurements only at the end of 2009 [35-37].

The measured values for daily solar radiation collected by Yugoslav National Center for Solar Radiation during the period 1964-1991 are used here. Measured values and data obtained for intensity of global, diffuse, and reflected solar radiation were measured by pyranometers Moll-Gorczyński, class II [35]. Direct solar radiation was measured by pyrhemometers Linke Feussner, class II. Duration of solar radiation was measured by Campbell-Stokes heliograf. These solar data were measured in the measuring stations of Serbia in Belgrade-Zeleno Brdo, Negotin, and Zlatibor. Analysis of the solar data is performed on the basis of the recommendation of the World Meteorological Organization (WMO).

Results and discussion

In many scientific works and papers of international importance various solar databases and HOMER and other PV softwares for assessments and perspectives of PV solar power engineering in the world, such as [8, 9, 11-13, 19, 24, 27, 28, 33-38, *etc.*], were used. This section gives the results obtained upon the study of the daily solar radiation per square meter received by the horizontal surface taken from different databases and electricity generated by on-grid fixed PV system of 1 kW with optimally inclined and south-oriented solar modules, in three representative cities of Serbia: Belgrade-capital (44°48' north latitude and 20°27' east longitude), Negotin-eastern Serbia (44°13' north latitude and 22°31' east longitude) and Zlatibor-Western Serbia (43°43' north latitude and 19°41' east longitude), processed by the HOMER software simulation.

Solar radiation

The SSE data set which is formulated from NASA satellite- and reanalysis-derived insolation and meteorological data for the 22-year period July 1983 through June 2005; RETScreen solar database which includes averages of ground-based observations for over

Table 1. Monthly and annual average values for clearness index and daily solar radiation at the horizontal surface for Belgrade, Negotin, and Zlatibor

Location	Month	Average values for daily solar radiation at the horizontal surface [$\text{kWh}^{-1}\text{m}^{-2}\text{d}^{-1}$]				Clearness index			
		NASA database	RETSscreen database	PVGIS database	HMIRS database	NASA database	RETSscreen database	PVGIS database	HMIRS database
Belgrade 44°48' north latitude and 20°27' east longitude	Jan	1.42	1.39	1.25	1.49	0.415	0.407	0.366	0.436
	Feb	2.27	2.15	2.00	2.24	0.467	0.442	0.412	0.461
	Mar	3.34	3.38	3.17	3.47	0.478	0.484	0.454	0.497
	Apr	4.25	4.50	4.36	4.72	0.460	0.487	0.472	0.511
	May	5.30	5.59	5.53	5.80	0.487	0.513	0.508	0.533
	Jun	5.81	6.12	5.98	6.19	0.501	0.528	0.516	0.534
	Jul	5.97	6.29	6.30	6.27	0.532	0.561	0.561	0.559
	Aug	5.38	5.53	5.55	5.59	0.547	0.562	0.564	0.569
	Sep	3.87	4.19	4.14	4.26	0.500	0.541	0.535	0.550
	Oct	2.61	2.88	2.71	2.92	0.476	0.526	0.495	0.533
	Nov	1.50	1.54	1.50	1.74	0.402	0.412	0.402	0.466
	Dec	1.17	1.10	1.06	1.06	0.391	0.391	0.367	0.354
	Annual	3.58	3.73	3.64	3.82	0.488	0.509	0.496	0.520
Negotin 44°13' north latitude and 22°31' east longitude	Jan	1.44	1.35	1.26	1.45	0.409	0.384	0.358	0.412
	Feb	2.24	2.00	1.90	2.11	0.452	0.404	0.383	0.426
	Mar	3.28	3.25	2.94	3.65	0.464	0.460	0.416	0.516
	Apr	4.09	4.55	4.30	4.86	0.440	0.490	0.463	0.523
	May	5.14	5.66	5.39	6.47	0.471	0.519	0.494	0.593
	Jun	5.79	6.38	6.09	6.83	0.499	0.550	0.525	0.589
	Jul	6.06	6.62	6.18	7.07	0.540	0.589	0.550	0.629
	Aug	5.36	5.66	5.53	6.11	0.543	0.573	0.560	0.619
	Sep	3.85	4.38	4.16	4.74	0.493	0.561	0.533	0.607
	Oct	2.49	2.74	2.56	3.23	0.447	0.492	0.460	0.580
	Nov	1.50	1.48	1.45	1.60	0.391	0.386	0.378	0.417
	Dec	1.15	1.12	0.994	1.24	0.372	0.362	0.321	0.401
	Annual	3.54	3.78	3.57	4.13	0.478	0.510	0.482	0.557
Zlatibor 43°43' north latitude and 19°41' east longitude	Jan	1.64	1.68	1.66	1.53	0.455	0.466	0.461	0.425
	Feb	2.43	2.48	2.38	2.35	0.482	0.492	0.473	0.467
	Mar	3.43	3.49	3.50	3.36	0.481	0.489	0.491	0.471
	Apr	4.12	4.40	4.64	4.37	0.442	0.472	0.497	0.468
	May	4.94	5.29	5.50	5.31	0.452	0.484	0.503	0.486
	Jun	5.67	5.79	6.04	5.58	0.489	0.499	0.521	0.481
	Jul	5.97	6.00	6.52	5.80	0.531	0.534	0.580	0.516
	Aug	5.28	5.42	5.68	5.34	0.533	0.547	0.574	0.539
	Sep	3.90	4.22	4.31	4.08	0.496	0.536	0.548	0.518
	Oct	2.62	3.04	2.97	2.98	0.464	0.538	0.526	0.528
	Nov	1.58	1.88	1.74	1.98	0.403	0.480	0.444	0.505
	Dec	1.33	1.39	1.35	1.34	0.418	0.418	0.425	0.422
	Annual	3.58	3.76	3.87	3.68	0.480	0.504	0.518	0.493

6.500 sites around the world, compiled from over 50 different sources for the period 1982 to 2006; the PVGIS-3 data set which is based on measurements made on the ground in the period 1981-1990 and the measured values for daily solar radiation collected by the Yugoslav National Center for Solar Radiation during the period 1964-1991 are used here.

Monthly and annual average values for clearness index and daily solar radiation per square meter received by the horizontal surface taken from NASA, RETScreen, PVGIS, and HMIRS solar databases for Belgrade, Negotin, and Zlatibor used for simulation of on-grid PV system of 1 kW by HOMER software are given in tab. 1.

The relative deviation of daily solar radiation per square meter received by the horizontal surface taken from NASA, RETScreen, and PVGIS solar databases compared to daily solar radiation per square meter received by the horizontal surface taken from HMIRS solar database for Belgrade, Negotin, and Zlatibor are given in tab. 2.

Comparison of electricity production of fixed on-grid PV system of 1 kW

Monthly average and total for year values of electricity production of fixed on-grid PV system of 1 kW with optimally inclined and south oriented solar modules in Belgrade, Negotin, and Zlatibor using HOMER software simulation based on data for daily solar radiation per square meter received by the horizontal surface taken from NASA, RETScreen, PVGIS, and HMIRS solar databases are shown in tab. 3.

Comparison of total for year electricity production of fixed on-grid PV system of 1 kW with optimally inclined and south-oriented solar modules using HOMER software simulation based on data for daily solar radiation per square meter received by the horizontal surface taken from NASA, RETScreen, PVGIS, and HMIRS solar databases in Belgrade, Negotin, and Zlatibor is given fig. 1.

The relative difference of electricity production of fixed on-grid PV system of 1 kW with optimally inclined solar modules using HOMER software simulation based on data for daily solar radiation taken from NASA, RETScreen, and PVGIS databases compared to electric-

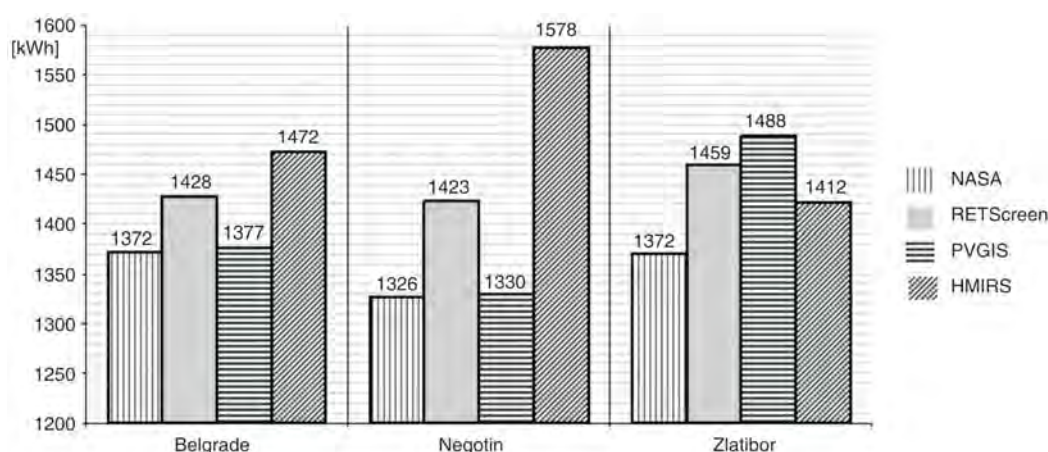


Figure 1. Comparison of total for year electricity production of fixed on-grid PV system of 1 kW with optimally inclined and south-oriented solar modules using HOMER software simulation based on data for daily solar radiation per square meter received by the horizontal surface taken from NASA, RETScreen, PVGIS, and HMIRS solar databases in Belgrade, Negotin, and Zlatibor

Table 2. The relative deviation of daily solar radiation at the horizontal surface taken from different sources compared with HMIRS solar database for Belgrade, Negotin, and Zlatibor

Location	Month	Solar database for three locations in Serbia [%]		
		NASA database	RETScreen database	PVGIS database
Belgrade	Jan	-4.7	-6.7	-16.1
	Feb	+1.3	-4	-10.7
	Mar	-3.8	-2.6	-8.7
	Apr	-10	-4.7	-7.6
	May	-8.6	-3.6	-4.7
	Jun	-6.1	-1.1	-3.4
	Jul	-4.8	+0.3	+0.5
	Aug	-3.8	-1.1	-0.7
	Sep	-9-2	-1.6	-2.8
	Oct	-10.6	-1.4	-7.2
	Nov	-13.8	-11.5	-13.8
	Dec	10.4	+3,8	0
	Annual average	-5.3	-2.85	-4.7
Negotin	Jan	-0.7	-6.9	-13.1
	Feb	+6.2	-1.9	-10
	Mar	-10.1	-11	-19,5
	Apr	-15.8	-6.4	-11.5
	May	-20.6	-12.5	-16.7
	Jun	-15.2	-6.6	-10.8
	Jul	-14.3	-6.4	-12.6
	Aug	-12.3	-7.4	-9.5
	Sep	-18.8	-7.6	-12.2
	Oct	-22.9	-15.2	-20.7
	Nov	-6.3	-7.5	-9.4
	Dec	-7.3	-9.7	-19.8
	Annual average	-14.3	-8.5	-13.6
Zlatibor	Jan	+7.2	+9.8	+8.5
	Feb	+3.4	+5.5	+1.3
	Mar	+2.1	+3.9	+4.2
	Apr	-5.7	+0.7	+6.2
	May	-7	-0.4	+3.6
	Jun	+1.6	+3.8	+8.2
	Jul	+2.9	+3.5	+12.4
	Aug	-1.1	+1.5	+6.4
	Sep	-4.4	+3.4	+5.6
	Oct	-12.1	+2	-0.3
	Nov	-20.2	-5.1	-12.1
	Dec	-0.8	+3.7	+0.8
	Annual average	-2.7	+2.2	+5.2

Table 3. Monthly average and total year values of electricity production obtained using HOMER software for Belgrade, Negotin, and Zlatibor, based on data taken from NASA, RETScreen, PVGIS, and HMIRS databases

Location	Month	Solar database for three locations in Serbia [%]			
		NASA database	RETScreen database	PVGIS database	HMIRS database
Belgrade	Jan	72	70	61	77
	Feb	89	83	75	87
	Mar	121	122	113	126
	Apr	124	132	127	139
	May	145	154	152	160
	Jun	148	156	153	158
	Jul	160	169	169	168
	Aug	157	162	163	164
	Sep	127	139	137	141
	Oct	101	115	106	117
	Nov	68	70	68	82
	Dec	60	55	52	52
	Total for year	1372	1428	1377	1472
Negotin	Jan	59	65	59	72
	Feb	70	74	69	79
	Mar	101	115	102	132
	Apr	124	133	125	144
	May	148	157	149	180
	Jun	156	164	156	175
	Jul	166	179	167	192
	Aug	162	166	162	180
	Sep	136	145	136	158
	Oct	96	105	96	131
	Nov	64	66	64	72
	Dec	44	54	45	63
	Total for year	1326	1423	1330	1578
Zlatibor	Jan	82	86	85	75
	Feb	94	95	93	89
	Mar	122	124	126	119
	Apr	119	128	135	127
	May	135	145	148	146
	Jun	145	148	151	143
	Jul	160	161	172	156
	Aug	154	158	165	156
	Sep	126	138	142	133
	Oct	98	119	118	117
	Nov	69	85	81	91
	Dec	68	72	72	69
	Total for year	1372	1459	1488	1421

Table 4. The relative difference of electricity production obtained by fixed on-grid PV system of 1 kW with optimally inclined solar modules using HOMER software simulation based on data from NASA, RETScreen, and PVGIS databases compared to electricity production obtained based on data taken from HMIRS databases in Belgrade, Negotin, and Zlatibor

Location	Month	Solar database for three locations in Serbia [%]		
		NASA database	RETScreen database	PVGIS database
Belgrade	Jan	-6.5	-9.1	-20.3
	Feb	+2.3	-4.6	-13.8
	Mar	-4.0	-3.2	-10.3
	Apr	-10.8	-5	-8.6
	May	-9.4	-3.8	-5
	Jun	-6.3	-1.3	-3.2
	Jul	-4.8	+0.6	+0.6
	Aug	-4.3	-1.2	-0.6
	Sep	-9.9	-1.4	-2.8
	Oct	-13.7	-1.7	-9.4
	Nov	-17.1	-14.6	-17.1
	Dec	+15.4	+5.8	0
	Annual average	-6.8	-3	-6.5
	Negotin	Jan	-18.1	-9.7
Feb		-11.4	-6.3	-12.7
Mar		-23.5	-12.9	-22.7
Apr		-13.9	-7.6	-13.2
May		-17.7	-12.8	-17.2
Jun		-10.9	-6.3	-10.9
Jul		-13.5	-6.8	-13.0
Aug		-10	-7.8	-10
Sep		-13.9	-8.2	-13.9
Oct		-26.7	-19.9	-26.7
Nov		-11.1	-8.3	-11.1
Dec		-30.2	-14.3	-28.6
Annual average		-16	-9.8	-15.7
Zlatibor		Jan	+9.3	+14.7
	Feb	+5.6	+6.7	+4.5
	Mar	+2.5	+4.2	+5.9
	Apr	-6.3	+0.8	+6.3
	May	-7.5	-0.7	+1.4
	Jun	+1.4	+3.5	+5.6
	Jul	+2.6	+3.2	+10.3
	Aug	-1.3	+1.3	+5.8
	Sep	-5.3	+3.8	+6.8
	Oct	-16.2	+1.7	+0.9
	Nov	-24.2	-6.6	-11
	Dec	-1.5	+4.4	+4.3
	Annual average	-3.5	+2.7	+4.7

ity production of fixed on-grid PV system of 1 kW with optimally inclined solar modules using HOMER software simulation based on data for daily solar radiation taken from HMIRS databases in Belgrade, Negotin, and Zlatibor is given in tab. 4.

Conclusions

Solar resource information is needed in all stages of the development of a PV project and design PV systems. Identification of differences in measured insolation from various data sources for specific locations can be an important contribution as the bias in various data sources can have significant effects on the prediction of PV performance, especially in areas where there is no robust network of solar measurement devices such as Serbia.

In Serbia still irregular solar radiation measurements are performed on small number of locations. Therefore for the investors for PV systems in Serbia it is of vital importance to know which solar database is accessible through the internet, and which gives the closest solar radiation data that are obtained by the local measurements. On the basis of the results obtained in this paper it can be concluded that.

- In Belgrade annual average values of daily solar radiation per square meter received by the horizontal surface taken from NASA, RETScreen, and PVGIS solar databases are 5.3%, 2.85%, and 4.7% lower, respectively, than the annual average values of daily solar radiation per square meter received by the horizontal surface taken from HMIRS solar database.
- In Negotin annual average values of daily solar radiation per square meter received by the horizontal surface taken from NASA, RETScreen, and PVGIS solar databases are 14.3%, 8.5%, and 13.6% lower, respectively, than the annual average values of daily solar radiation per square meter received by the horizontal surface taken from HMIRS solar database.
- In Zlatibor annual average values of daily solar radiation per square meter received by the horizontal surface taken from NASA solar database are 2.7% lower than the annual average values of daily solar radiation per square meter received by the horizontal surface taken from HMIRS solar database and annual average values of daily solar radiation per square meter received by the horizontal surface taken from RETScreen and PVGIS solar databases are 2.2% and 5.2%, respectively, higher, than the annual average values of daily solar radiation per square meter received by the horizontal surface taken from HMIRS solar database.
- The annual average values of daily solar radiation taken from RETScreen solar database are the closest to the annual average values of daily solar radiation taken from HMIRS solar database for Belgrade, Negotin, and Zlatibor. This probably comes from the fact that there is the best similarity in the length of the measurement of the values of solar radiation between HMIRS (27 years) and RETScreen (24 years) solar databases.
- In Belgrade total for year electricity productions of fixed on-grid PV system of 1 kW with optimally inclined solar modules, using HOMER software simulation, based on NASA, RETScreen, and PVGIS solar databases are by 6.8%, 3%, and 6.5%, respectively, lower, than the total for year electricity production of fixed on-grid PV system of 1 kW with optimally inclined solar modules based on HMIRS solar database.
- In Negotin total for year electricity productions of fixed on-grid PV system of 1 kW with optimally inclined solar modules, using HOMER software simulation, based on NASA, RETScreen, and PVGIS solar databases are by 16%, 9.8%, and 15.7%, respectively, lower, than the total for year electricity production of fixed on-grid PV system of 1 kW with optimally inclined solar modules based on HMIRS solar database.
- In Zlatibor total for year electricity production of fixed on-grid PV system of 1 kW with optimally inclined solar modules, using HOMER software simulation, based on NASA solar database is 3.5% lower than the total for year electricity production of fixed on-grid PV system of 1 kW with optimally inclined solar modules based on HMIRS solar database and total for

year electricity productions of fixed on-grid PV system of 1 kW with optimally inclined solar modules based on RETScreen and PVGIS solar databases are by 2.7% and 4.7% higher than the total for year electricity production of fixed on-grid PV system of 1 kW with optimally inclined solar modules based on HMIRS solar database.

Acknowledgment

This paper was done with the financial support of the projects TR 33009 approved by the Ministry of Education, Science and Technological Development of the Republic of Serbia.

References

- [1] Klise, G. T., Stein, J. S., Models Used to Assess the Performance of Photovoltaic Systems, SANDIA REPORT, SAND2009-8258, 2009. Available online at: <http://www.osti.gov/bridge/>
- [2] Lalwani, M., et al., Investigation of Solar Photovoltaic Simulation Softwares, *International Journal of Applied Engineering Research, DINDIGUL*, 1 (2010), 3, pp. 585-601
- [3] ***, http://www.appropedia.org/Solar_photovoltaic_software
- [4] ***, <http://www.dconnolly.net/research/planning/tools/index.html>
- [5] ***, <http://www.homoenergy.com/>
- [6] ***, www.pspb.org/e21/media/HOMERModelingInformation.pdf
- [7] Lopez, N., Espiritu, J. F., An Approach to Hybrid Power Systems Integration Considering Different Renewable Energy Technologies, *Procedia Computer Science*, 6 (2011), pp. 463-468
- [8] Marković, D., et al., Survey of Software Tools for Energy Efficiency in a Community, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15 (2011), 9, pp. 4897-4909
- [9] Pavlović, T., et al., Comparison and Assessment of Electricity Generation Capacity for Different Types of PV Solar Plants of 1 MW in Soko Banja, Serbia, *Thermal Science*, 15 (2011), 3, pp. 605-618
- [10] Pavlović, T., et al., Analyses of PV Systems of 1 kW Electricity Generation in Bosnia and Herzegovina, *Contemporary Materials (Renewable Energy Sources, II-2)* (2011), pp. 123-138
- [11] Mondal, Md. A. H., Denich M., Assessment of Renewable Energy Resources Potential for Electricity Generation in Bangladesh, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14 (2010), 8, pp. 2401-2413
- [12] Shaahid, S. M., El-Amin, I., Techno-Economic Evaluation of Off-Grid Hybrid Photovoltaic-Diesel-Battery Power Systems for Rural Electrification in Saudi Arabia – A Way Forward for Sustainable Development, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 13 (2009), 3, pp. 625-633
- [13] Pavlović, T., et al., Assessments and Perspectives of PV Solar Power Engineering in the Republic of Srpska (Bosnia and Herzegovina), *Renewable and Sustainable Energy Review*, 18 (2013), pp. 119-133 doi:10.1016/j.rser.2012.10.007.
- [14] Duffie, J. A., Beckman, W. A., *Solar Engineering of Thermal Processes*, 2nd ed., John Wiley and Sons, New York, USA, 1991
- [15] Shiroudi, A., Taklimi, S. R. H., Demonstration Project of the Solar Hydrogen Energy System Located on Taleghan-Iran: Technical-Economic Assessments, *Conference Proceedings World Renewable Energy Congress*, 4 (2011), 57, pp. 1158-1165
- [16] Šuri, M., Solar Resource Data and Tools for an Assessment of Photovoltaic Systems, Chapter 7, Status Report 2006, EUR 22752 EN, 2007, pp. 96-102
- [17] Graham, V. A., Hollands, K. G. T., A Method to Generate Synthetic Hourly Solar Radiation Globally, *Solar Energy*, 44 (1990), 6, pp. 333-341
- [18] ***, <http://eosweb.larc.nasa.gov/sse/>
- [19] Pagola, I., et al., New Methodology of Solar Radiation Evaluation Using Free Access Databases in Specific Locations, *Renewable Energy*, 35 (2010), 12, pp. 2792-2798
- [20] Ramachandra, T. V., et al., Hotspots of Solar Potential in India, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15 (2011), 6, pp. 3178-3186
- [21] ***, <http://www.retscreen.net/>
- [22] ***, <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps3/pvest.ph>
- [23] Pavlović, T., et al., A Review of Concentrating Solar Power Plants in the World and Their Potential Use in Serbia, *Renewable and Sustainable Energy Review*, 16 (2012) 6, pp. 3891-3902
- [24] Angelis-Dimakis, A., et al., Methods and Tools to Evaluate the Availability of Renewable Energy Sources, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15 (2011), 2, pp. 1182-1200

- [25] Suri, M., Hofierka, J., A New Gis-Based Solar Radiation Model and its Application for Photovoltaic Assessments, *Transactions in GIS*, 8 (2004), 2, pp. 175-190
- [26] Suri, M., *et al.*, PV-GIS: A Web-Based Solar Radiation Database for the Calculation of PV Potential in Europe, *International Journal of Sustainable Energy*, 24 (2005), 2, pp. 55-67
- [27] Dike, V. N., *et al.*, Optimal Angles for Harvesting Solar Electricity in Some African Cities, *Renewable Energy*, 39 (2012), 1, pp. 433-439
- [28] Hofierka, J., Kanuk, J., Assessment of Photovoltaic Potential in Urban Areas Using Open-Source Solar Radiation Tools, *Renewable Energy*, 34 (2009), 10, pp. 2206-2214
- [29] ***, http://grass.fbk.eu/gdp/html_grass64/r.sun.html
- [30] ***, <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/solres/solrespvgis.htm>
- [31] ***, http://grass.fbk.eu/gdp/html_grass64/v.surf.rst.html
- [32] ***, <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/solres/solmod3.htm>
- [33] Carrion, J. A., *et al.*, The Electricity Production Capacity of Photovoltaic Power Plants and the Selection of Solar Energy Sites in Andalusia (Spain), *Renewable Energy*, 33 (2008), 4, pp. 545-552
- [34] Chineke, T. C., Equations for Estimating Global Solar Radiation in Data Sparse Regions, *Renewable Energy*, 33 (2008), 4, pp. 827-831
- [35] Gburcik, V., Technological Development Project TD-7042B "Atlas of Solar and Wind Energy Potential in Serbia", Final report Institute of Multidisciplinary Research of the University of Belgrade, Belgrade, 2008
- [36] Pešović, U., *et al.*, Model of Global Solar Radiation on Horizontal Surface (in Serbian), *Proceedings, XI International Scientific Symposium INFOTEH 2012, Jahorina, Bosnia and Herzegovina, 2012, Vol. 11*, pp. 204-207
- [37] Stevanović, S., Pucar, M., Investment Appraisal of a Small, Grid-Connected Photovoltaic Plant under the Serbian Feed-In Tariff Framework, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16 (2012), 3, pp. 1673-1682
- [38] Panayiotou, G., *et al.*, Design and Simulation of a PV and PV-Wind Standalone Energy System to Power a Household Application, *Renewable Energy*, 37 (2012), 1, pp. 355-363

COMPARISON AND ASSESSMENT OF ELECTRICITY GENERATION CAPACITY FOR DIFFERENT TYPES OF PHOTOVOLTAIC SOLAR PLANTS OF 1 MW IN SOKOBANJA, SERBIA

by

**Tomislav M. PAVLOVIĆ^{a*}, Dragana D. MILOSAVLJEVIĆ^a,
Aleksandar R. RADIVOJEVIĆ^a, and Mila A. PAVLOVIĆ^b**

^a Department of Physics, Faculty of Sciences and Mathematics,
University of Niš, Niš, Serbia

^b Faculty of Geography, University of Belgrade, Belgrade, Serbia

Original scientific paper
UDC: 621.383.51:697.329
DOI: 10.2298/TSCI1103605P

This paper gives the results of the electricity generated by the fixed, one-axis and dual-axis tracking photovoltaic solar plant of 1 MW with flat panels made of monocrystalline silicon which is to be built in the area of Sokobanja (spa in Serbia). Further on follows a description of the functioning of the fixed and one-axis and dual-axis tracking solar plants. For the calculation of the electricity generated by these plants PVGIS program was used. Calculations have shown that fixed photovoltaic solar plant power of 1 MW, solar modules of monocrystalline silicon yield 1130000 kWh power output, one-axis tracking solar plant yields 1420000 kWh, and dual-axis tracking solar plant yields 1450000 kWh of electricity. Electricity generated by the fixed photovoltaic solar plant could satisfy 86% of the annual needs for the electricity of the „Zdravljak“ hotel and the special “Novi stacionar” hospital in Sokobanja.

Key words: *solar energy, solar cells, fixed photovoltaic solar plant, tracking photovoltaic solar plant*

Introduction

Renewable sources of energy are being widely used worldwide to generate thermal and electrical energy. Serbia bears a great potential for the use of renewable sources of energy out of which for the generation of electricity one mostly uses hydroenergy while the energy of wind, solar energy, geothermal energy, and biomass are scarcely used [1, 2].

Average solar irradiation on the territory of Serbia ranges from 1.1 kWh/m² per day on the north to 1.7 kWh/m² per day on the south during January, and from 5.9 to 6.6 kWh/m² per day during July. On a yearly basis average value of the global solar irradiation for the territory of Serbia ranges from 1200 kWh/m² per year in the northwest of Serbia to 1550 kWh/m² per year in the southeast of Serbia, while in the middle part it totals to around 1400 kWh/m² per year. Due to this Serbia enhances favourable conditions for the use of solar energy and its conversion into the thermal and electrical energy [3, 4].

* Corresponding author; e-mail: pavlovic@pmf.ni.ac.rs

For the low temperature conversion of solar energy one uses flat collectors with water or air. For the conversion of solar energy into electricity one uses solar cells made of monocrystalline, polycrystalline amorphous silicon and other materials. Solar cells are mostly used for the generation of electrical energy in households in forms of small photovoltaic (PV) solar plant of 1-2 kW on the roofs or the facades of the housing units [5].

From the outbreak of the world economy crisis in 1973s increasing attention is being drawn to the use of solar cells for the electricity generation. Worldwide more than 1000 PV solar plants have been installed of smaller or greater power on the flat surface. Most developed countries regulate legally the possibility of generating and selling of the PV solar plants generated electrical energy. Due to this fact use of solar energy contributes to more efficient use of countries' own potentials in producing electrical and thermal energy, to the reduction of the emission of the green house gases, to the lowering of the import rates and the use of fossil fuels, to the development of the local industries, and the increase of the job openings [6-8].

In Serbia one uses solar irradiation mainly for the heating of water and rarely for the electricity generation. Up to now four PV solar plants were installed in Serbia: on the premises of the elementary school "Dušan Jerković" in Ruma (3 kW, 2004), in the middle school in Varvarin (5 kW, 2010), in the electrotechnical school "Rade Končar" in Belgrade (5 kW, 2010) and in the high technical school "Mihajlo Pupin" in Kula (5 kW, 2010). PV solar plants in Varvarin, Belgrade, and Kula were installed thanks to the donations of the Government of Spain and through the Agency for the Energy Efficiency in Belgrade within the Project "Development of the installations for the promotion and use of solar energy in Serbia".

By the decree of the Government of the Republic of Serbia from 2009, electric energy produced in private or state PV solar plant ab to 5 MW and 1 kWh generated power will be sold at 0.23 € in the next 12 years.

In recently published book of the Electric Power Industry of Serbia entitled The White Book of the Electric Power Industry of Serbia one can find legislature of the EU referring to the renewable sources of energy, use of renewable energy in Serbia legal framework, and the possibilities of the use of the renewable sources of energy in Serbia. The book cites the guidelines of the EU envisaging to reduce the greenhouse gas levels by 20%, to reduce energy consumption by 20% and to provide 20% of needed energy from the renewable sources of energy by 2020. Besides, the book mentions that near Čajetina a PV solar plant of 10 MW that would generate annually 14710 MWh will be installed thus providing 2,8% of electrical energy for that area [9].

The paper [10] gives a review of some key issues and prospects related to solar PV power engineering in Serbia. Solar PV energy sector in the Serbia is poorly developed, despite a very good geographical position and recent introduction of feed-in-tariffs (FIT) by the Serbian Government. Apart from that the paper presents the results of the electricity generation calculations for the fixed and tracking PV solar plants by means of PVGIS software in 20 towns in Serbia. The paper concludes that insufficient awareness of the opportunities of solar PV produced electricity may be an obstacle which can significantly limit and delay its use in Serbia. At the moment solar PV technology is not implemented in the Serbian renewable energy source (RES) sector and initiatives to take some firm steps in this direction are expected [10].

Having in mind that up to now no PV solar plant of 1 MW was installed in Serbia this paper will present the results of the comparative study of the electricity generated by the fixed PV solar plant, one-axis and dual-axis tracking PV solar plant of 1 MW in Soko banja.

Location and climate conditions

Sokobanja is situated in Sokobanja's valley at the 43°39' north latitude and 21°52' of east longitude and 300 m above the sea level. Sokobanja is a famous resort having 8407 inhabitants. Sokobanja is renowned for its balm and hot springs healing various forms of respiratory diseases. As an acclaimed resort Sokobanja gives priority to the environmental protection. Therefore their communal authorities have in 2000 issued a declaration to pronounce Sokobanja the first ecological commune in Serbia [11].

Among numerous tourist and health objects in Sokobanja special treatment is given to "Zdravljak" hotel spacing 12600 m² and the special "Novi stacionar" hospital spacing 8200 m². Annually "Zdravljak" hotel spends 636480 kWh and the special "Novi stacionar" hospital spends 679344 kWh electrical energy.

Entering Sokobanja at the 850 meter on the left on the road leading from Niš to Sokobanja there is a part of Sokobanja known as Ključ that could be a site for the installation of the PV solar plant of 1 MW. The grounds of this site is of the low quality class, is not urbanized and is used for farming purposes. 400 meters from this site there is the main electroline [11].

Sokobanja has a moderate-continental climate with hot summers and mild winters and yearly amplitudes of temperatures up to 23 °C where in pluviometric regime occasionally mediterranean influences can be found [12].

Average values of the meteorological data of Sokobanja in the period from 1961 to 2010 are shown in tabs. 1 and 2 [12-17].

Table 1. Average values of the meteorological data of Sokobanja in the period from 1961 to 2010

Month	Average air temperature [°C]	Precipitation [mm]	Sunshine duration [hour]		Average humidity [%]	Average overcast [%]
			Daily	Monthly		
Jan	-1.6	44	2.2	61.7	82	69
Feb	0.6	42	2.9	80.4	82	66
Mar	5.0	42	4.2	131.3	77	59
Apr	10.8	59	5.4	163.4	71	54
May	16.0	71	6.9	211.9	73	51
Jun	19.2	68	7.9	234.9	75	46
Jul	20.9	53	8.9	274.2	70	36
Aug	20.6	45	8.6	267.7	71	30
Sep	16.3	43	8.3	204.4	75	37
Oct	10.8	55	4.8	152.7	78	49
Nov	5.1	61	2.7	82.2	80	66
Dec	1.2	55	1.6	51.4	83	70

Table 2. Average values of the air temperature [°C] in some seasons in the period from 1961 to 2010 (measuring stations Sokobanja, 300 m above sea level)

Winter	Spring	Summer	Autumn
0.1	10.6	20.2	10.7

As can be seen in tab. 1 that the coldest month in Sokobanja is January with the average temperature from -1.6 °C, and the hottest month is July with the average temperature of 20.9 °C. Maximal precipitation in Sokobanja is in May (71 mm) and June (68 mm), and

minimal ones are in September (43 mm) and January (44 mm). Sokobanja has 24.0 snowing days a year with most snowing days in December. Dominant wind in Sokobanja is Košava appearing in spring and autumn and is scarce in summer and winter. The biggest average velocity has the wind coming from the northeast, 3.3 m/s. On a yearly level relative humidity of air in Sokobanja is 76.42%. The biggest overcast is in December, January and February (70%, 69%, and 66%, respectively) and the smallest overcast is in July, August and September (36%, 30%, and 37%, respectively) [12].

Based on the Republic Hydrometeorological Institute of Serbia data in the period 1961-1990 average sunshine duration in Sokobanja valley was 1861 hours with the maximum in July with 267 hours or on average 8.6 hours a day. The lowest sunshine duration was in December with 48 hours or on average 1.5 hours daily, and in January 59 hours or on average 1,9 hours a day. Based on the data from tab. 1 it can be seen that in the period from 1991-2010. there was an increase in sunshine duration on a yearly basis from 1861 hours to 1971.5 hours in relation to the period from 1961-1990 [12-17].

PV solar plants

PV solar plant denotes a plant using solar cells to convert solar irradiation into the electrical energy. PV solar plant consists of solar modules, inverter converting DC into AC and transformer giving the generated power into the grid net. PV solar plant is fully automatized and monitored by the applicable software. PV solar plants mostly use solar modules made of monocrystalline and polycrystalline silicon and rarely modules made of thin film materials such as amorphous silicon, CdTe, and CIS (copper-indium-gallium-selenide, $\text{CuIn}_{1-x}\text{Ga}_x\text{Se}_2$). Efficiency of the monocrystalline silicon solar cells is 15%, of polycrystalline silicon is around 12%, of amorphous silicon is around 5% and from CdTe and CIS is around 8%. Monocrystalline and polycrystalline silicon solar modules are more suitable for the areas with predominantly direct sun radiation, while solar modules of thin film are more suitable for the areas with predominantly diffuse sun radiation [8, 18-21].

Inverter is a device which converts DC generated by PV solar plants of 12 V or 24 V into three phase AC of 220 V. Depending on the design inverter efficiency is up to 97%. When choosing inverter it is to bear in mind the output voltage of the solar modules array, power of the solar modules array, grid net parameters, managing type of the PV solar plant, *etc.* PV solar plants can use larger number of the inverters of smaller power or one or two invertors of greater power.

PV solar plant monitoring system comprises central measuring – control unit for the surveillance of the working regime. Monitoring system uses sensors and softwares to obtain the following data: daily, monthly, and yearly production of the electricity, reduction of CO_2 , detailed change of the system parameters, recording of the events after the failure, monitoring of the meteorological parameters, *etc.*

PV solar plants in accordance with the power distribution systems legal regulations use transformers by means of which solar energy generated by PV solar plant is given to the power grid [5-7, 18-21].

Schematics of PV solar plant is given in fig. 1.

Practice shows that the energy efficiency of PV solar plant annually decreased from 0.5-1%. The lifetime of PV modules depends on the solar cell technology used as well. For monocrystalline and polycrystalline silicon solar cells most manufacturers give a warranty of 10/90 and 25/80 which means: a 10-year warranty that the module will operate at above 90%

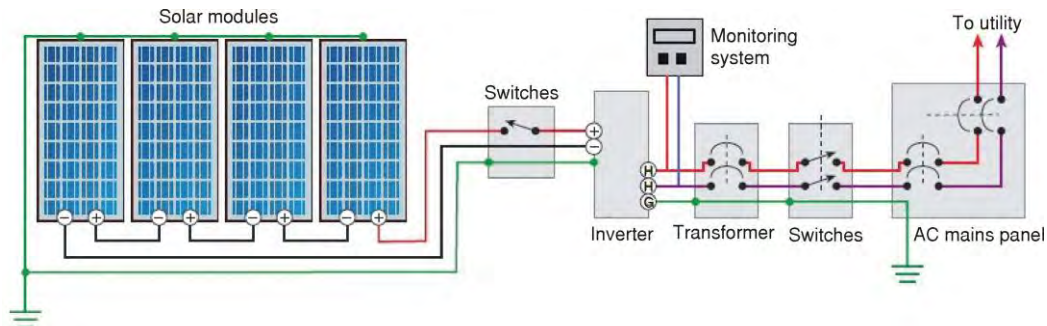


Figure 1. Schematics of a PV solar plant

of nominal power and up to 25 years above 80%. The practical lifetime of the silicon-made PV modules is expected to be at least 30 years [10, 18-20].

PV solar plants represent environmentally clean source of energy. PV solar plant components (solar modules, inverters, monitoring system, conductors, *etc.*) are manufactured by cutting edge, environmentally friendly technologies. PV solar plants operate noiseless, do not emit harmful substances and do not emit harmful electromagnetic radiation into the environment. Solar plant recycling is also environmentally friendly. For 1 kWh of PV solar plant generated electrical energy emission of 0.568 kg CO₂ into the atmosphere is reduced. [22, 23].

Fixed PV solar plant

Fixed PV solar plant denotes plant with solar modules mounted on fixed metal supporters under optimal angle in relation to the horizontal surface and all are oriented towards south (fig. 2). To install fixed PV solar plant of 1 MW it is necessary to provide around 20.000 m². Maintenance cost of the fixed PV solar plants are much lesser than the maintenance cost of the tracking PV solar plants. Installation costs for the fixed PV solar plant are around 3.5 €/W. Its drawback is in that solar modules do not follow sun radiation so that on the yearly level one does not gain optimal amount of the electricity [8, 21, 24].



Figure 2. Fixed PV solar plant

One-axis tracking PV solar plant

One-axis tracking PV solar plant denotes a plant where solar modules installed under the optimal angle are adapted towards the Sun by revolving around the vertical axis during the day from the east towards the west, following the Sun's azimuth angle from sunrise to sunset (fig. 3). For solar modules revolving electromotors are used using electrical energy from the batteries of the power grid. For the rotor revolving monitoring a centralized software system is used. In case software system fails solar modules can be directed towards the Sun manually. It is also possible to manually set the tilt of the solar modules in relation to the horizontal surface in steps from 5° from $0-45^\circ$. One-axis tracking PV solar plant gives the shadow effect of solar modules situated on neighbouring rotors so that for its installation it is necessary to provide around 60000 m^2 . Available literature reports the efficiency of one-axis tracking PV solar plant is 20-25% larger than the efficiency of the fixed PV solar plant.

Maintenance costs of the one-axis tracking PV solar plants are much higher than the maintenance costs of the fixed PV solar plants. Installation costs for the one-axis tracking PV solar plant are around 5.5 €/W , which is 30% more than the costs for the fixed PV solar plant. Drawback of one-axis tracking PV solar plant is in that year round there is no automatic adapting of the solar module tilt towards the Sun [19-21, 24-27].



Figure 3. One-axis tracking solar power plant

Dual-axis tracking PV solar plant

Dual-axis tracking PV solar plant denotes a plant where the position of solar modules is adapted towards the Sun by revolving around the vertical and horizontal axis. These PV solar plants follow the Sun's azimuth angle from sunrise to sunset but, they also adjust the tilt angle to follow the minute-by-minute and seasonal changes in the Sun's altitude

angle. Solar modules are oriented towards the Sun by means of the appropriate electromotors. Photo sensors mounted on the array send signals to a controller that activates the motors, causing the array angles to change as the Sun's altitude and azimuth angles change during the day. Efficiency of the dual-axis tracking PV solar plant is 25-30% bigger than the efficiency of the fixed PV solar plant. For the installation and function of dual-axis tracking PV solar plant a substantially bigger surface is necessary than for the fixed PV solar plant.

Maintenance costs of dual-axis tracking PV solar plants are higher than the maintenance costs of one-axis tracking PV solar plants. Installation costs for the dual-axis tracking PV solar plant are around 7.5 €/W, which is 47% more than the costs for the fixed PV solar plant [19-21, 24-27].

When designing a large PV solar plant it is very important to optimize energy yield and occupation of land. The paper [28] gives original simulation tool with the appropriate models to calculate the energy yield for different PV solar trackers with a flat PV module grid-connected system. Based on this, the relationship between the yearly average gains and land occupation has been analyzed for several tracking strategies and it is found that the energy gains associated to one north-south axis tracking referenced to static surfaces, ranges from 18% to 25%, and from 37% to 45% for the dual-axis tracker for reasonable ground cover ratios [28].

Until December 2008 Spain installed 2382 MW, Germany 698 MW, USA 260 MW, Korea 100 MW, Italy 70 MW, Portugal 60 MW, and other countries 102 MW PV solar plants. Worldwide more fixed than tracking PV solar plants were installed [29].

PVGIS

PVGIS (*Photovoltaic Geographical Information System* – PVGIS © European Communities, 2001-2008) is a part of the SOLAREC action aimed at contributing to the implementation of renewable energy in the EU. SOLAREC is an internally funded project on PV solar energy for the 7th Framework Programme, PVGIS has been developed at the JRC (Joint Research Centre) of the European Commission within its Renewable Energies Unit since 2001 as a research GIS oriented tool for the performance assessment of solar PV systems in European geographical regions. From the very start of its functioning PVGIS was envisaged to be locally used, however access to the PVGIS database and estimations was drawn as open system access for professionals and the general European public as well by means of the web-based interactive applications. PVGIS provides data for the analysis of the technical, environmental, and socio-economic factors of solar PV electricity generation in Europe and supports systems for EU countries solar energy decision-makings.

PVGIS methodology comprises solar radiation data, PV module surface inclination and orientation, and shadowing effect of the local terrain features (*e. g.* when the direct irradiation component is shadowed by the mountains), thus PVGIS represents immensely important PV implementation assessment tool that estimates dynamics of correlations between solar radiation, climate, atmosphere, the Earth's surface and the PV technology used. Several fast web applications enable an easy estimation of the PV electricity generation potential for selected specific locations in Europe [10, 30].

In order to calculate electricity generated by the fixed PV solar plants, one-axis and dual-axis tracking PV solar plants today PVGIS software packages easily found on the Internet are used [30, 31]. These programmes can produce the following data: average daily, monthly, and yearly values of the solar irradiation taken on square meter of the horizontal surface or the

surface tilted under certain angle in relation to the horizontal surface, change in the optimal tilting angle of the solar modules during the year, relation of global and diffused sun radiation, average daily temperature, and daily, monthly, and yearly electricity generated by the fixed PV solar plants, one-axis, and dual-axis tracking PV solar plants, *etc.* A typical PVGIS value for the performance ratio (PV system losses) of PV solar plants with modules from monocrystalline and polycrystalline silicon is taken to be 0.75 [10, 30].

Results and discussion

This section will interpret the results obtained upon the study of the electricity generated by fixed PV solar plants, one-axis and dual-axis tracking PV solar plants of 1 MW with monocrystalline silicon solar modules in the area of Sokobanja processed by the software cited in the literature [30]. This programme shows that the temperature losses of the plant are 9.7%, that losses due to solar irradiation reflection are 2.9% and that losses on conductors, inverters, in junction boxes are 14%, *etc.*

This programme gives a map which when appears activates the programme, spots the location of the PV solar plant to be, sorts out the type of solar cells and inputs the power and type of PV solar plant (fixed, one-axis and dual-axis tracking PV solar plants).

Graphics of the ratio of diffused and global solar radiation for Sokobanja during the year is given in fig. 4.

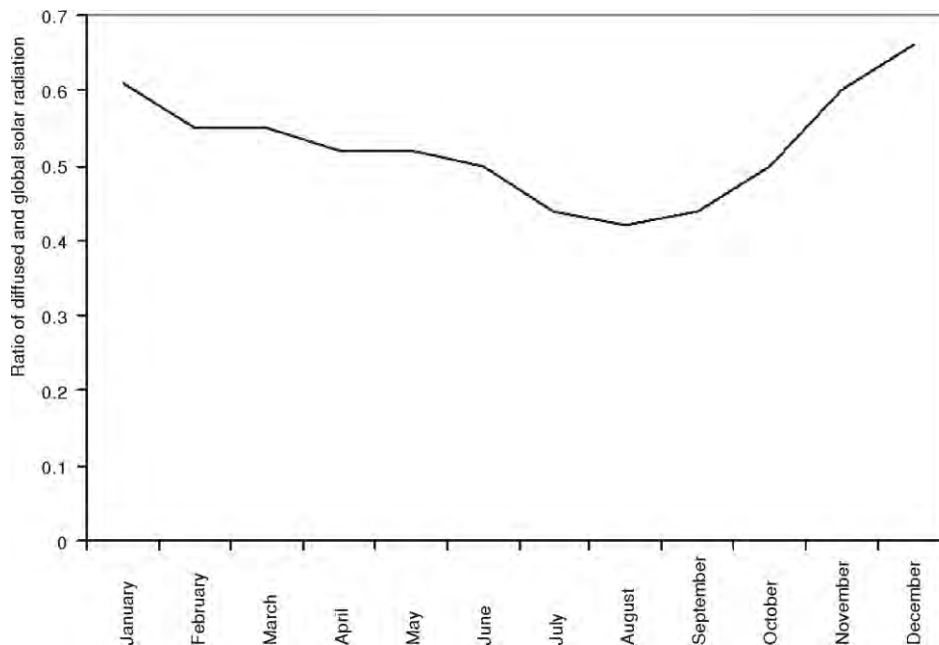


Figure 4. Graphics of the ratio of diffused and global solar radiation for Sokobanja during the year

Graphics show that the portion of diffused in the global solar radiation is decreasing from January till August, and is increasing from September till December. Calculations show that the average value of the ratio of diffuse and global solar radiation during the year is 0.5258 (52.58%). These results are congruent with the results shown in tab. 1 that refers to the

degree of overcast in the course of the year in Sokobanja: average value of the overcast in the course of the year is 52.75% and average value of the ratio of diffuse and global solar irradiation during the year for Sokobanja is 52.58 %.

Graphics of the change in optimal angle of solar moduls for Sokobanja during the year is given in fig. 5.

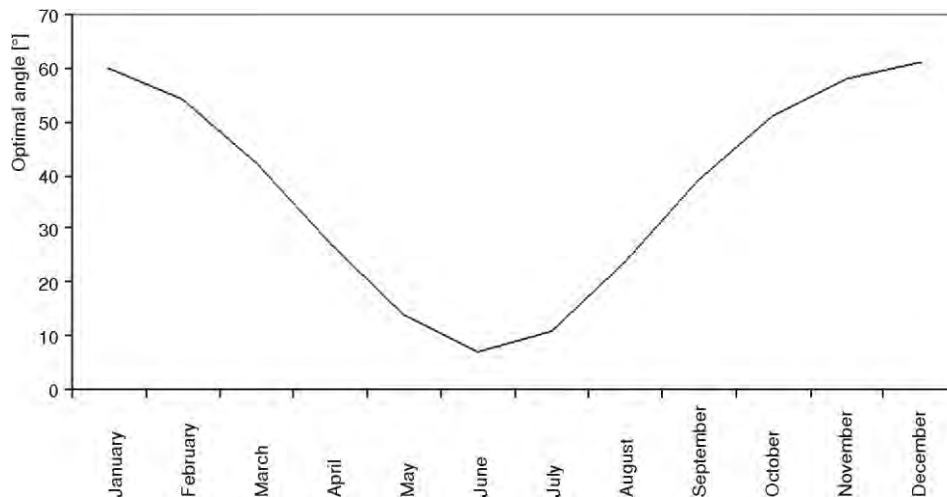


Figure 5. Graphics of the change in optimal angle of solar moduls for Soko banja during the year

Change in optimal angle of solar moduls is caused by the change of the Sun's height during the year. Calculations have shown that the optimal angle of solar moduls in fixed PV solar plant year round is 33° in relation to the horizontal surface.

Solar irradiation on the horizontal and optimally inclined sufrage obtained by PVGIS for Soko banja is shown in tab. 3.

Table 3. Solar irradiation on the horizontal and optimally inclined sufrage obtained by PVGIS for Sokobanja

Month	Solar irradiation on the horizontal sufrage (0°) [kWhm ⁻² per day]	Solar irradiation on the optimally inclined sufrage (33°) [kWhm ⁻² per day]
January	1380	2090
February	2140	2980
March	3220	3900
April	4450	4800
May	5310	5230
June	5920	5590
July	6310	6100
August	5580	5890
September	4150	4990
October	2740	3740
November	1580	2310
December	1120	1700
Year	3670	4110

Based on the obtained data tab. 3 shows that solar irradiation on the optimally inclined surface (33°) is by 10.7% bigger than the solar irradiation on horizontal surface annually.

Results of the calculations for the average daily, monthly, and yearly sum of global solar irradiation per square meter received by the modules of the given PV systems (fixed PV solar plants, one-axis, and dual-axis tracking PV solar plants) of 1 MW in Sokobanja are given in tab. 4.

Table 4. Results of the calculations for the average daily, monthly and yearly sum of global solar irradiation per square meter received by the modules of the given PV systems (fixed PV solar plants, one-axis and dual-axis tracking PV solar plants) of 1 MW in Sokobanja

Month	Fixed PV solar plant of 1 MW (optimal inclination of modules is 32°, orientation (azimuth) = 0°)		Inclined one-axis tracking PV solar plant of 1 MW (optimal inclination is 35°)		Dual-axis tracking PV solar plant of 1 MW	
	Average daily sum of global solar irradiation per square meter received by the modules of the given system [kWhm ⁻²]	Average sum of global solar irradiation per square meter received by the modules of the given system [kWhm ⁻²]	Average daily sum of global solar irradiation per square meter received by the modules of the given system [kWhm ⁻²]	Average sum of global solar irradiation per square meter received by the modules of the given system [kWhm ⁻²]	Average daily sum of global solar irradiation per square meter received by the modules of the given system [kWhm ⁻²]	Average sum of global solar irradiation per square meter received by the modules of the given system [kWhm ⁻²]
Jan	2.07	64.2	2.44	75.7	2.46	76.4
Feb	2.97	83.1	3.54	99.1	3.56	99.7
Mar	3.89	121	4.73	147	4.76	148
Apr	4.80	144	5.97	179	6.06	182
May	5.25	163	6.67	207	6.86	213
Jun	5.62	168	7.48	224	7.77	233
Jul	6.12	190	8.30	257	8.60	267
Aug	5.90	183	7.69	238	7.86	244
Sep	4.98	149	6.38	191	6.49	195
Oct	3.72	115	4.56	141	4.60	143
Nov	2.30	69	2.71	81.4	2.73	81.8
Dec	1.69	52.3	1.98	61.4	2.00	61.9
Yearly average	4.11	125	5.21	159	5.32	162
Total for year	1500		1900		1940	

Graphics of the electricity generated yearly by the fixed PV solar plant (optimal inclination of solar modules is 32°), inclined one-axis tracking PV solar plant (optimal

inclination of solar modules is 35°), and dual-axis tracking PV solar plant of 1 MW in Sokobanja is given in fig. 6.

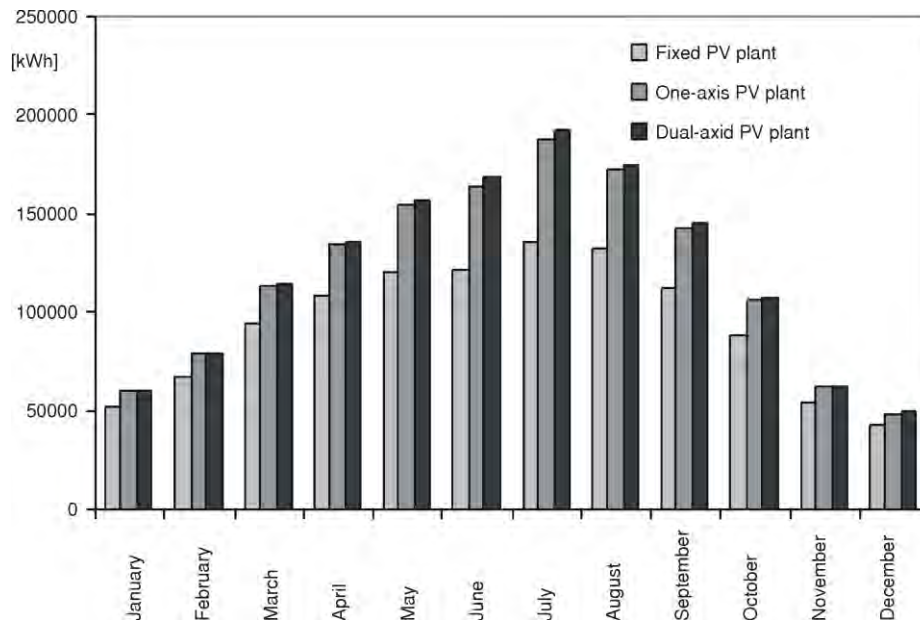


Figure 6. Graphics of the electricity generated yearly by the fixed PV solar plant (optimal inclination of solar modules is 32°), inclined one-axis tracking PV solar plant (optimal inclination of solar modules is 35°), and dual-axis tracking PV solar plant of 1 MW in Sokobanja

Figure 6 shows that the biggest yield of the electrical energy monthly is one generated by the dual-axis tracking PV solar plant, somewhat smaller yield is gained by the inclined one-axis tracking (optimal inclination of solar modules is 35°) and the smallest yield is gained by the fixed PV solar plants of 1 MW with monocrystalline silicon solar modules on optimally inclined surface (32°) in Sokobanja.

Graphics of the electricity that can be generated by the fixed PV solar plant (optimal inclination of modules is 32°), inclined one-axis tracking (optimal inclination of modules is 35°), and dual-axis tracking PV solar plants of 1 MW in Sokobanja is given in fig. 7.

On the basis of the obtained results one can conclude that by one-axis tracking PV solar plant one can get 20.42% and by dual-axis tracking PV solar plant 22.06% more electrical energy in comparison to the fixed PV solar plant of 1MW.

Investment costs and return of the invested funds

To install fixed PV solar plant, one-axis tracking PV solar plant, and dual-axis tracking PV solar plants of 1 MW one needs around 3500000, 5500000, and 7500000 €, respectively. In Sokobanja by fixed PV solar plant of 1 MW one can generate 1130000 kWh, by one-axis tracking PV solar plant of 1 MW one can generate 1420000 kWh, and by dual-axis tracking PV solar plant of 1 MW one can generate 1450000 kWh of electric energy.

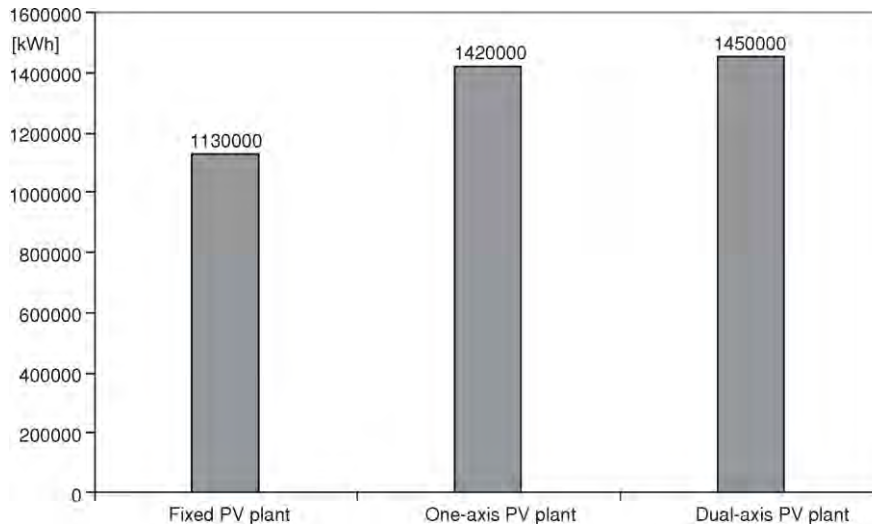


Figure 7. Graphics of the electricity that can be generated by the fixed PV solar plant (optimal inclination of modules is 32°), inclined one-axis tracking (optimal inclination of modules is 35°), and dual-axis tracking PV solar plants of 1 MW in Sokobanja

If one does not include the maintenance expenditures in case of fixed PV solar plants of 1 MW in Sokobanja the invested funds would be according to the current prices for 1 kWh of solar electricity in Serbia, returned in 13.47 years; for one-axis tracking PV solar plant of 1 MW this could be done in 16.84 years, and for dual-axis tracking PV solar plant in 22.49 years. If in tracking PV solar plants one calculates their maintenance costs return of the funds would take longer than before mentioned.

Conclusions

Based on all the above said it is evident that fixed and tracking PV solar plants are increasingly used worldwide. Up to now four PV solar plants were installed in schools in Ruma, Varvarin, Belgrade, and Kula in Serbia. Government decree of the Republic of Serbia envisages private or state investors in Serbia can install PV solar plants of up to 5 MW. Serbia has no PV solar plants of 1 MW. Sokobanja, as a famous spa that pays considerable attention to the environmental protection and according to its morphological characteristics and climate parameters is quite convenient for the installation of PV solar plant. Installation of PV solar plant in Sokobanja would contribute to the environmental protection and electricity supply for the local inhabitants.

Based on the results obtained in this paper one can conclude that average ratio of diffuse and global solar radiation in Sokobanja during the year is around 0.5258; that the optimal angle of monocrystalline silicon solar modules in fixed is 32° and in one-axis tracking PV solar plant is 35°; that during the year on one square meter of monocrystalline silicon solar modules (optimal inclination of modules is 32°) in fixed PV solar plant sum of global solar irradiation intake is 1500 kWh, in inclined one-axis tracking PV solar plant (optimal inclination of modules is 35°) sum of global solar irradiation intake is 1900 kWh, and in dual-axis tracking PV solar plant sum of global solar irradiation intake is 1940 kWh. On a yearly

basis by fixed PV solar plant one can generate 1130000 kWh, by means of one-axis tracking PV solar plant 1420000 kWh, and by dual-axis tracking PV solar plant 1450000 kWh of electricity. Results show that by one-axis tracking PV solar plant one gets 20.42% more electricity in comparison to the fixed PV solar plant. In case of dual-axis tracking PV solar plant one gets 22.06% more electricity in comparison to the fixed PV solar plant. Fixed PV solar plant of 1 MW with monocrystalline silicon solar modules could satisfy 86% of the yearly needs for the electrical energy of the "Zdravljak" hotel and special "Novi stacionar" hospital in Soko banja.

According to the current costs in the world, installation costs of the fixed PV solar plant of 1 MW amount to 3500000 €, one-axis tracking PV solar plant 5500000 € and dual-axis tracking PV solar plant 7500000 €. According to the current selling price of kilowatt hour of the electricity generated by PV solar plant in Serbia invested funds in the installation of the fixed PV solar plant would be regained in 13.47 years, and in one-axis tracking PV solar plant and dual-axis tracking PV solar plant in 16.84 and 22.49 years, respectively.

Having in mind that tracking PV solar plants are much more expensive than the fixed ones, that they require more space and more funds to maintain them in comparison to the fixed PV solar plants, we think that Sokobanja would be most economical place to install the fixed PV solar plants. Fixed PV solar plant of 1 MW in Sokobanja would have a positive impact on air quality change, as envisaged annual electricity production of 1130000 kWh to reduce CO₂ emissions in the amount of 641840 kg per year.

Acknowledgment

This paper was done with the financial support of the Project TR 33009 approved by the Ministry of Science and Technological Development of the Republic of Serbia.

References

- [1] Oka, S., Sedmak, A., Đurović-Petrović, M., Energy Efficiency in Serbia – Research and Development Activity, *Thermal Science*, 10 (2006), 2, pp. 5-32
- [2] Oka, S., Sedmak, A., Đurović-Petrović, M., Energy Efficiency in Serbia, National Energy Efficiency Program – Strategy and Priorities for Future, *Thermal Science*, 10 (2006), 4, pp. 7-16
- [3] ***, Study of the Energy Potential of Serbia for the Use of Sun Radiation and Wind Energy, NPPE, Register no. EE704-1052A, Ministry of Science and Environmental Protection, Belgrade, 2004
- [4] Schneider, D. R., *et al.*, Mapping the Potential for Decentralized Energy Generation Based on RES in Western Balkans, *Thermal Science*, 11 (2007), 3, pp. 7-26
- [5] Pavlović, T., Čabrić, B., Physics and Techniques of Solar Energy, Gradjevinska knjiga, Belgrade, 2006
- [6] Radosavljević, J. M., Pavlović, T. M., Lambić, M. R., Solar Energy and Sustainable Development, Gradjevinska knjiga, Belgrade, 2010
- [7] Pavlović, T., Milosavljević, D., Development of PV Solar Power Plants in the World, *Proceedings, International Scientific Conference, Book 14 "Contemporary Materials 2010"*, Department of Natural-Mathematical and Technical Sciences, Academy of Sciences and Arts of the Republic of Srpska, 2010, Banja Luka, Republic of Srpska, 2011, pp. 249-259
- [8] Blinc, R., *et al.*, How to Achieve a Sustainable Future for Europe, *Thermal Science*, 12 (2008), 4, pp. 19-25
- [9] Marković, D., *et al.*, The White Book of the Electric Power Industry of Serbia, PE Electric Power Industry of Serbia, Public Relations Sector, Belgrade, 2011
- [10] Djurdjević, D., Perspectives and Assessments of Solar PV Power Engineering in the Republic of Serbia, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15 (2011), 5, pp. 2431-2446
- [11] Pavlović, M., Radivojević, A., Changes in Functional Types of Settlements in the Commune of Sokobanja, *Bulletin of the Serbian Geographical Society*, 59 (2009), 3, pp. 93-101

- [12] Rakićević, T., Climatic Regionalization of Serbia, *Collection of Papers*, Faculty of Geography, University in Belgrade, 27, Belgrade, 1980
- [13] ***, Republic Hydrometeorological Institute, Belgrade, Meteorological Observatory Niš, Documents, period 1991-2006, Niš, Serbia
- [14] ***, Republic Hydrometeorological Institute, Documents, Period 1948-1991, Belgrade
- [15] ***, Republic Hydrometeorological Institute, Meteorological Annals, Period 1961-1984, Belgrade
- [16] ***, Republic Hydrometeorological Institute, Archive for 1985-2010, Belgrade
- [17] ***, Republic Hydrometeorological Institute, Climate Atlas, data for 1961-1990, Belgrade
- [18] Markvart, T., Castaner L., Solar Cells, Elsevier, Amsterdam, The Netherlands, 2006
- [19] Chiras, D., Aram, R., Nelson, K., Power from the Sun – Achieving Energy Independence, New Society Publishers, Gabriola Island, Canada, 2009
- [20] Messenger, R., Ventre, J., Photovoltaic Systems Engineering, 3rd edition, CRC Press, Taylor & Francis Group, Boca Ration, Fla., USA, 2010
- [21] So, J.-H., *et al.*, Performance Results and Analysis of 3 kW Grid-Connected PV Systems, *Renewable Energy*, 32 (2007), 11, pp. 1858-1872
- [22] O'Flaherty, F. J., Pinder, J. A., Jackson, C., The Role of PV in Reducing Carbon Emissions in Domestic Properties, Sustainability in Energy and Buildings *Proceedings*, 1st International Conference in Sustainability in Energy and Buildings (SEB'09), Brighton, East Sussex, UK, 2009, Part 2, pp. 107-115
- [23] Gvozdenac, D., Nakomčić-Smaragdakis, B., Gvozdenac-Urošević, B., Renewable Energy of Sources, Faculty of Technical Sciences, Novi Sad, Serbia, 2010
- [24] El-Shimy, M., Viability analysis of PV Power Plants in Egypt, *Renewable Energy*, 34 (2009), 10, pp. 2187-2196
- [25] Drewsa, A., Beyerb, H. G., Rindelhardt, U., Quality of Performance Assessment of PV Plants Based on Irradiation Maps, *Solar Energy*, 82 (2008), 11, pp. 1067-1075
- [26] Díaz-Dorado, E., *et al.*, Optimal Distribution for Photovoltaic Solar Trackers to Minimize Power Losses Caused by Shadow, *Renewable Energy*, 36 (2011), 6, pp. 1826-1835
- [27] Poulek, V., Libra, M., New Solar Tracker, *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 51 (1998), 2, pp. 113-120
- [28] Narvarte, L., Lorenzo, E., Tracking and Ground Cover Ratio, *Progress in Photovoltaics: Research and Applications*, 16 (2008), 8, pp. 703-714
- [29] ***, http://www.solarserver.com/solarmagazin/solar-report_0509_e_3.html
- [30] ***, <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps3/pvest.php>
- [31] ***, <http://sunbird.jrc.it/pvgis/apps/pvest.php?europa=>

BIOGRAFIJA

DRAGANE D. MILOSAVLJEVIĆ

Dragana D. Milosavljević je rođena u Nišu, 27. aprila 1982. godine, gde je završila osnovnu školu i prirodno-matematički smer gimnazije *Bora Stanković* sa odličnim uspehom.

Studije fizike upisala je školske 2001/ 2002. godine na Odseku za fiziku (smer: primenjena fizika) Prirodno–matematičkog fakulteta u Nišu, gde je diplomirala 18. maja 2009. godine sa prosečnom ocenom 9,23 i ocenom 10 na diplomskom ispitu.

Doktorske akademske studije fizike (oblast: *Fizika obnovljivih izvora energije*), na Departmanu za fiziku, na Prirodno-matematičkom fakultetu u Nišu, upisala je 16. novembra 2009. godine. Na doktorskim studijama sve ispite je položila na vreme sa prosečnom ocenom 10.

U zvanje istraživač-pripravnik na Prirodno-matematičkom fakultetu u Nišu izabrana je 25. novembra 2009. godine.

U zvanje istraživač-saradnik na Prirodno-matematičkom fakultetu u Nišu izabrana je 27. marta 2013. godine (odluka PMF-a br.320/1-01).

Ugovor o stipendiranju i angažovanju na projektu Ministarstva za nauku i tehnološki razvoj Republike Srbije u 2010. godini, sa Ministarstvom za nauku i tehnološki razvoj Republike Srbije, potpisala je 15. aprila 2010. godine.

Kao stipendista Ministarstva za nauku i tehnološki razvoj Republike Srbije, D. Milosavljević je u 2010-2011. godini bila angažovana na projektu OI 141030 Ministarstva za nauku i tehnološki razvoj Republike Srbije.

Ugovor o radu i angažovanju na projektu Ministarstva za nauku i tehnološki razvoj Republike Srbije TR 33009 sa Prirodno-matematičkim fakultetom u Nišu D. Milosavljević je potpisala 02. februara 2011. godine.

U školskoj 2011/2012. godini D. Milosavljević je na Departmanu za fiziku Prirodno-matematičkog fakulteta u Nišu bila angažovana za izvođenje vežbi iz predmeta na master akademskim studijama *Osnovi energetike*. U školskoj 2012/2013. godini D. Milosavljević je, na Departmanu za fiziku Prirodno-matematičkog fakulteta u Nišu, bila angažovana za izvođenje vežbi iz predmeta *Mehanika, Termodinamika i molekularna fizika* i *Osnovi energetike*.

U toku osnovnih studija D. Milosavljević je učestvovala na Međunarodnom naučnom kursu *RENEWABLE ENERGY SOURCES AND THE ENVIRONMENT, MULTIDISCIPLINARY APPROACH*, koji je u organizaciji Francuske Akademije Nauka, Instituta za nuklearne nauke *Vinča* i Univerziteta Pjer i Marija Kiri iz Pariza, održan u Vrnjačkoj banji od 17- 24. oktobra 2006. godine.

Posle diplomiranja, 22. maja 2009. godine D. Milosavljević je učestvovala na Međunarodnom naučno-stručnom skupu pod nazivom *ENERGETSKE TEHNOLOGIJE-2009.* u Vrnjačkoj banji sa izlaganjem pod nazivom *Savremene mogućnosti korišćenja obnovljivih izvora energije*.

Na Međunarodnom sajmu ekologije, energetske efikasnosti i obnovljivih izvora energije-SEEE NIŠ 2010, koji je u organizaciji sajamske agencije PRO MEDIA Consulting, održan u

Nišu od 31. maja do 2. juna 2010. godine, održala je predavanje *Savremene mogućnosti korišćenja obnovljivih izvora energije*.

U okviru akreditovanog programa *KLIMATSKE PROMENE I GLOBALNO ZAGREVANJE* kod Zavoda za unapređivanje vaspitanja i obrazovanje u Beogradu, u Smederevskoj Palanci, u maju 2010. godine, održala je predavanje profesorima i nastavnicima fizike, biologije i hemije o obnovljivim izvorima energije.

U martu 2011. godine, učestvovala je na stručnom seminaru pod nazivom: *ENERGETSKA EFIKASNOST I OBNOVLJIVI IZVORI ENERGIJE (ENERGY EFFICIENCY AND RENEWABLE ENERGY SOURCES)* sa izlaganjem *Razvoj solarnih elektrana u svetu i ekološki aspekt*, koji je održan u Regionalnoj privrednoj komori u Nišu u organizaciji Regionalne privredne komore u Nišu.

U oktobru 2011. godine D. Milosavljević je učestvovala na međunarodnom naučno-stručnom skupu pod nazivom *RENEWABLE ENERGY SOURCES AS A MODEL OF SUSTAINABLE DEVELOPMENT OF THE WESTERN BALKANS COUNTRIES* sa izlaganjem *PV elektrane* koji je održan na Univerzitetu u Nišu u organizaciji Prirodno-matematičkog fakulteta u Nišu u okviru *UNESCO* projekta, koji je realizovan pod rukovodstvom akademika Dragoljuba Mirjanića, generalnog sekretara Akademije nauka i umjetnosti Republike Srpske.

D. Milosavljević je sa radovima učestvovala na međunarodnim konferencijama *SAVREMENI MATERIJALI 2010*, *SAVREMENI MATERIJALI 2011* i *SAVREMENI MATERIJALI 2012*, koje su u organizaciji Akademije nauka i umjetnosti Republike Srpske održane u Banja Luci.

U februaru 2013. godine D. Milosavljević je učestvovala na međunarodnom simpozijumu *POLOŽAJ FIZIKE U SREDNJIM ŠKOLAMA U REGIONU* sa izlaganjem *Savremene mogućnosti korišćenja Sunčevog zračenja*.

U junu 2013. godine D. Milosavljević je učestvovala na međunarodnom naučno-stručnom skupu pod nazivom *INFLUENCE OF ENERGY EFFICIENCY OF SOLAR ENERGY ON ECONOMIC AND SUSTAINABLE DEVELOPMENT FOR THE WESTERN BALKAN REGION* sa izlaganjem *Određivanje energetske efikasnosti PV solarne elektrane na PMF-u u Nišu* koji je održan na Univerzitetu u Nišu u organizaciji Prirodno-matematičkog fakulteta u Nišu u okviru *UNESCO* projekta, koji je realizovan pod rukovodstvom akademika Dragoljuba Mirjanića.

D. Milosavljević je do sada objavila tri rada u vrhunskim međunarodnim časopisima kategorije M21, tri rada u međunarodnim časopisima kategorije M23, četiri rada u časopisima međunarodnog značaja verifikovanog posebnom odlukom kategorije M24, tri saopštenja sa međunarodnog skupa štampana u celini kategorije M33, jedan rad u istaknutom tematskom zborniku vodećeg nacionalnog značaja kategorije M44, pet radova u tematskom zborniku nacionalnog značaja kategorije M45 i jednu studiju (295 str.). Koautor je istaknute monografije nacionalnog značaja *Obnovljivi izvori energije* (M41), 364. str., koju je izdala Akademija nauka i umjetnosti Republike Srpske 2013. godine.

D. Milosavljević je učestvovala u realizaciji jednog naučno-istraživačkog projekta koje je finansiralo Ministarstvo prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije (OI 141030, 2010-2011). Sada učestvuje u realizaciji naučno-istraživačkog projekta (TR33009, 2011-2014) koje finansira Ministarstvo prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije i jednog naučno-istraživačkog projekta koje finansira Ministarstvo nauke i tehnologije Republike Srpske.

U skladu sa propisima Ministarstva za prosvetu, nauku i tehnološki razvoj Republike Srbije u sledećoj tabeli dat je indeks naučne kompetentnosti D. Milosavljević.

Indeks naučne kompetentnosti D. Milosavljević

Kategorija	Broj publikacija	Broj poena
M21 (8 poena)	3	24
M23 (3 poena)	3	9
Ukupno M21+M23	6	33
M24 (3 poena)	4	12
M33 (1 poen)	3	3
M41 (7 poena)	1	7
M44 (2 poena)	1	2
M45 (1.5 poena)	5	7.5
M64 (0.2 poena)	1	0.2
Ukupno	20	64.7