

OBNOVLJIVI IZVORI ENERGIJE

SOLARNA ENERGETIKA

Čedomir Zeljković

Univerzitet u Banjoj Luci
Elektrotehnički fakultet

UNIVERZITET U BANJOJ LUCI
AKADEMSKA MISAO
Banja Luka - Beograd, 2018.

Čedomir Zeljković

OBNOVLJIVI IZVORI ENERGIJE: SOLARNA ENERGETIKA

Recenzenti

Prof. dr Vladimir Katić, Univerzitet u Novom Sadu

Prof. dr Željko Đurišić, Univerzitet u Beogradu

Izdavači

Univerzitet u Banjoj Luci / Elektrotehnički fakultet

Akademска misao, Beograd

Štampa

Akademска misao, Beograd

Lektor

Tijana Gajić

Tiraž

300 primjeraka

CIP - Каталогизација у публикацији
Народна и универзитетска библиотека
Републике Српске, Бања Лука

620.97(075.8)

621.472(075.8)

662.997(075.8)

ЗЕЉКОВИЋ, Чедомир, 1978-

Obnovljivi izvori energije : solarna energetika / Čedomir Zeljković.

- Banja Luka : Univerzitet u Banjoj Luci, Elektrotehnički fakultet ;

Beograd : Akademска misao, 2018 (Beograd : Akademска misao). - X,

290 str. : ilustr. ; 25 cm

Tiraž 300. - Dodaci: str. 275-286. - Bibliografija: str. 271-274. - Registar.

ISBN 978-99955-46-30-4

COBISS.RS-ID 7699224

© Univerzitet u Banjoj Luci i Akademска misao, 2018.

Sva prava zadržana. Nije dozvoljeno da bilo koji dio ove knjige bude snimljen, emitovan ili reprodukovani na bilo koji način, uključujući, ali ne ograničavajući se na fotokopiranje, fotografiju, magnetni ili bilo koji drugi vid zapisa, bez prethodne dozvole izdavača.

*Potom reče Bog: „Neka budu svetila na svodu nebeskom,
da dele dan i noć, da budu znaci vremenima i danima i godinama,“
(Postanak 1,14)*

PREDGOVOR

Solarna energetika se u okviru predmeta Obnovljivi izvori energije na Elektrotehničkom fakultetu u Banjoj Luci izučava od 2008. godine. Profesor Nikola Rajaković, gostujući profesor sa beogradskog Elektrotehničkog fakulteta i prvi šef Katedre za elektroenergetiku u Banjoj Luci, vizionarski je insistirao da se nastavni plan obogati ovim predmetom, smatrajući da smo na pragu svijetle budućnosti primjene solarnih sistema. Moram da priznam da sam u početku bio veoma skeptičan u pogledu takvog poteza, cijeneći da fotonaponski sistemi sa znatno višim investicionim troškovima po kilovatu instalisane snage, ne mogu da budu konkurencija drugim tehnologijama za proizvodnju električne energije. Iako sumnjičav, vrijedno sam se prihvatio posla i kontinuirano gradio zadatke za vježbe, koristeći se u potpunosti stranom literaturom. Iz dana u dan, shvatao sam da je profesor Rajaković itekako bio u pravu, posmatrajući kako cijena fotonaponskih sistema opada, a njihova instalisana snaga u svijetu vrtoglavu raste. Sa razvojem solarne tehnologije, stasavao je i naš predmet. Nastavni materijali su svake godine bili sve bogatiji. Asistent na predmetu Obnovljivi izvori energije bio sam do 2014. godine, kada sam biran u zvanje nastavnika. Od nastavnih materijala na predavanjima koristio sam dijelove knjiga različitih autora, na srpskom i na engleskom jeziku, video prezentacije i internet resurse. Nije bilo teško zaključiti da je studentima neophodan sveobuhvatan udžbenik koji bi u potpunosti pratio program predmeta iz oblasti solarne energetike. Odlučio sam da skromno znanje koje sam stekao do sada, pretočim u knjigu, nadajući se da će biti na korist studentima tehničkih fakulteta i inženjerima koji se u praksi bave solarnim sistemima. Svjestan da knjiga može da bude poboljšana, primjedbe i sugestije dobromanjernih čitalaca primiću sa zahvalnošću.

Knjiga je organizovana u sedam poglavlja. U prvom poglavlju dat je kratak uvod u problematiku solarne energetike, sa aktuelnim trendovima razvoja i motivacijama za njeno detaljnije izučavanje. Drugo poglavlje je posvećeno procesima generisanja energije na Suncu, zračenju u okolini prostora i uticaju atmosfere na dospijevanje Sunčevog zračenja na površinu Zemlje. Tema trećeg poglavlja je međusobni položaj Sunca i Zemlje, odnosno pozicija Sunčevog diska na nebeskom svodu, gledano iz perspektive posmatrača sa Zemlje. U četvrtom poglavlju predstavljeni su matematički modeli za određivanje direktnе, difuzne i reflektovane komponente zračenja koje dospijevaju na solarni kolektor proizvoljne orijentacije. U petom poglavlju govori se o fotonaponskoj konverziji, kao direktnom načinu za pretvaranje

energije zračenja Sunca u električnu energiju. Tema šestog poglavlja su fotonaponski sistemi, koji su formirani kao veza fotonaponskih modula sa elektronskim pretvaračima i uređajima za skladištenje energije. Sedmo poglavlje je posvećeno ekonomskim i regulatornim aspektima solarne energetike. U dodacima datim na kraju knjige, u formi dijagrama i tabela, sistematicno su prikazani razni klimatski i energetski pokazatelji koji su neophodni za procjenu proizvodnje solarnih sistema. Takođe su opisana i dva softvera dostupna na internetu, koje čitaoci mogu da koriste pri analizi performansi fotonaponskih sistema.

Namjera mi je bila da se ova knjiga ne koristi samo na Elektrotehničkom fakultetu u Banjoj Luci, nego i na drugim fakultetima elektrotehnike u regionu. Iz tog razloga ilustrativni primjeri, te meteorološki i energetski podaci prikazani su za dvanaest gradova u okruženju u kojima egzistiraju elektrotehnički fakulteti.

Želim da se zahvalim članovima Katedre za elektroenergetiku, na čelu sa profesorom Petrom Matićem, koji su mi nesobično pružali podršku i oslobođali me raznih dužnosti na fakultetu, u namjeri da ova knjiga što prije ugleda svjetlost dana. Posebnu zahvalnost dugujem asistentu Predragu Mršiću, koji je sa mnom bistrio mnoge probleme i nejasnoće tokom razvoja predmeta Obnovljivi izvori energije, a na kraju i detaljno pročitao rukopis knjige, te iznio niz korisnih sugestija. Značajan broj nedostataka otklonjen je i zahvaljujući asistentu Bojanu Ercegu, koji je takođe pročitao rukopis u cijelosti.

Najtoplje se zahvaljujem recenzentima, cijenjenim profesorima Vladimiru Katiću sa Fakulteta tehničkih nauka u Novom Sadu i Željku Đurišiću sa Elektrotehničkog fakulteta u Beogradu, na pažljivom iščitavanju rukopisa knjige i veoma pozitivnim kritikama.

Profesoru Nikoli Rajakoviću, začetniku predmeta Obnovljivi izvori energije i jednom od rodonačelnika studija elektroenergetike u Banjoj Luci, posvećujem ovu knjigu.

U Banjoj Luci, septembra 2018. godine

Čedomir Zeljković



SADRŽAJ

1 UVOD	1
1.1 AKTUELNI TRENDovi RAZVOJA SOLARNE ENERGETIKE U SVIJETU.....	1
1.2 OSNOVNI MOTIVI ZA IZUČAVANJE SOLARNE ENERGETIKE	3
1.2.1 Neiscrpan energetski resurs.....	4
1.2.2 Ekološka prihvatljivost.....	4
1.2.3 Povoljni klimatski uslovi u našem regionu	5
1.2.4 Kontinuirani razvoj tehnologije i pad cijena	7
1.2.5 Razvoj lokalne ekonomije i jačanje energetske nezavisnosti.....	9
2 SUNCE KAO IZVOR ENERGIJE	11
2.1 OSNOVNE KARAKTERISTIKE SUNCA	11
2.1.1 Nuklearna reakcija na Suncu.....	12
2.2 PROCES ZRAČENJA ENERGIJE U SVEMIR	17
2.2.1 Osnovni pojmovi i definicije.....	17
2.2.2 Fizički zakoni zračenja.....	22
2.2.3 Specifičnosti zračenja Sunca.....	27
2.3 DOSPIJEVANJE SUNČeve ENERGIJE NA ZEMLJU	30
2.3.1 Struktura atmosfere	30
2.3.2 Integralni energetski bilans atmosfere.....	31
2.3.3 Apsorpcija zračenja u atmosferi.....	34
2.3.4 Rasijanje zračenja u atmosferi.....	36
2.3.5 Pojam vazdušne mase	37
2.3.6 Snaga i spektar zračenja na Zemljinom tlu	39
3 POLOŽAJ SUNCA NA NEBESKOJ SFERI	43
3.1 OZNAČAVANJE POZICIJA NA ZEMLJI	44
3.2 ZEMLJINA ELIPTIČNA PUTANJA OKO SUNCA	46
3.3 GEOCENTRIČNA REPREZENTACIJA POLOŽAJA ZEMLJE I SUNCA	49
3.4 SOLARNO VRIJEME	52
3.4.1 Definicija solarnog vremena	52
3.4.2 Satni ugao.....	54
3.4.3 Veza solarnog i standardnog lokalnog vremena.....	55
3.5 UGLOVI KOJI ODREĐUJU POZICIJU SUNCA	60
3.5.1 Elevacioni ugao Sunca u solarno podne.....	60

3.5.2 Pozicija Sunca u proizvoljno doba dana.....	62
3.5.3 Vremena izlaska i zalaska Sunca.....	64
3.6 DIJAGRAMSKI PRIKAZ PROMJENE POZICIJE SUNCA	66
3.6.1 Sjenke koje potiču od susjednih objekata.....	68
4 ZRAČENJE NA SOLARNI KOLEKTOR.....	75
4.1 ZRAČENJE IZVAN ATMOSFERE	77
4.2 RAČUNANJE IRADIJANSE KOLEKTORA TOKOM VEDRIH DANA	81
4.2.1 Direktna komponenta zračenja	81
4.2.2 Difuzna komponenta zračenja	86
4.2.3 Reflektovana komponenta zračenja.....	95
4.2.4 Ukupno zračenje na kolektor fiksne orijentacije	98
4.2.5 Sistemi za praćenje pozicije Sunca.....	99
4.3 RAČUNANJE INSOLACIJE KOLEKTORA TOKOM VEDRIH DANA.....	105
4.4 IRADIJANSA I INSOLACIJA UZ UVAŽAVANJE OBLAČNOSTI.....	110
4.4.1 Definicija indeksa vedrine	112
4.4.2 Veza indeksa vedrine i difuzne komponente insolacije.....	115
4.4.3 Određivanje insolacije na kolektoru proizvoljne orijentacije	118
4.4.4 Optimalni nagib kolektora u prisustvu oblačnosti	122
4.5 MJERENJE I STATISTIČKA OBLJEŽJA SUNČEVOG ZRAČENJA.....	123
4.5.1 Uređaji za mjerjenje.....	123
4.5.2 Mape potencijala Sunčevog zračenja	128
4.5.3 Tipična meteorološka godina	129
4.5.4 Vještačko generisanje podataka o Sunčevom zračenju	131
5 FOTONAPONSKA KONVERZIJA	133
5.1 ISTORIJSKI RAZVOJ FOTONAPONSKЕ TEHNOLOGIJE.....	133
5.2 OSNOVE FIZIKE POLUPROVODNIKA	136
5.2.1 Energetski nivoi i zone	136
5.2.2 Poluprovodnički materijali	138
5.2.3 Fotonaponski efekat.....	139
5.2.4 Dopiranje	144
5.2.5 P-N spoj	146
5.3 FOTONAPONSKA ĆELIJA	149
5.3.1 Osnovni model fotonaponske ćelije	151
5.3.2 Detaljniji modeli fotonaponske ćelije.....	156
5.3.3 Model sa dvije diode	157
5.4 FOTONAPONSKI MODULI I PANELI	158
5.4.1 Fotonaponski moduli	158

5.4.2 Fotonaponski paneli	160
5.5 UTICAJ IRADIJANSE I TEMPERATURE NA KARAKTERISTIKU PV MODULA	162
5.5.1 I-U karakteristika modula pri standardnim uslovima.....	162
5.5.2 Uticaj iradijanse na I-U karakteristiku modula	164
5.5.3 Uticaj temperature na I-U karakteristiku modula.....	164
5.6 NEGATIVNI UTICAJ SJENČENJA.....	167
5.6.1 Modelovanje efekta sjenčenja	167
5.6.2 Premošćavajuće diode	170
5.6.3 Blokirajuće diode	172
6 FOTONAPONSKI SISTEMI.....	175
6.1 TIPOVI FOTONAPONSKIH SISTEMA	175
6.1.1 Samostalni fotonaponski sistemi	176
6.1.2 Hibridni fotonaponski sistemi	178
6.1.3 Fotonaponski sistemi povezani sa mrežom	179
6.1.4 Fotonaponski sistemi integrirani u zgrade	182
6.2 BATERIJE	183
6.2.1 Olovne baterije	183
6.2.2 Baterije na bazi nikla.....	187
6.2.3 Baterije na bazi litijuma	188
6.2.4 Osnovni tehnički pokazatelji baterija.....	189
6.3 DC/DC PRETVARAČI	195
6.3.1 Osnovne topologije DC/DC pretvarača.....	196
6.3.2 Algoritmi za traženje tačke maksimalne snage (MPPT)	201
6.4 INVERTORI	206
6.4.1 Osnovne topologije invertora	206
6.4.2 Osnovni tehnički pokazatelji invertora	213
6.4.3 Invertorske konfiguracije kod mrežno povezanih sistema	215
6.5 PRATEĆE KOMPONENTE FOTONAPONSKOG SISTEMA	220
6.5.1 Zaštitna i sklopna oprema	222
6.5.2 Ožičenje.....	229
6.5.3 Elementi za montažu	233
6.5.4 Nadzor i upravljanje	235
7 EKONOMSKA ANALIZA.....	239
7.1 OSNOVNI POJMOVI INŽENJERSKE EKONOMIJE.....	239
7.1.1 Investitori i dobit	240
7.1.2 Prosti period otplate	240
7.1.3 Prosta stopa prinosa.....	241
7.1.4 Analiza tokova novca (Cash Flow)	242

7.1.5 Diskontovani tokova novca (Discounted Cash Flow)	243
7.1.6 Neto sadašnja vrijednost.....	244
7.1.7 Uticaj inflacije	246
7.1.8 Interna stopa prinosa.....	247
7.1.9 Svođenje investicije na godišnji nivo	248
7.1.10 Nivelisana cijena energije.....	252
7.2 OCJENA INVESTIRANJA U FOTONAPONSKI SISTEM	253
7.2.1 Određivanje troškova PV sistema	254
7.2.2 Određivanje proizvedene energije	257
7.2.3 Cijena energije iz mrežno povezanog PV sistema.....	259
7.2.4 Podsticajni mehanizmi.....	261
7.2.5 Sistem podsticaja za obnovljive izvore u Republici Srpskoj.....	263
7.2.6 Cijena energije iz samostalnog PV sistema.....	267
LITERATURA.....	271
DODATAK A: DIJAGRAMI PUTANJE SUNCA	275
DODATAK B: METEOROLOŠKI I ENERGETSKI PODACI.....	279
DODATAK C: DOSTUPNI SOFTVERSki ALATI.....	285
INDEKS	287

1

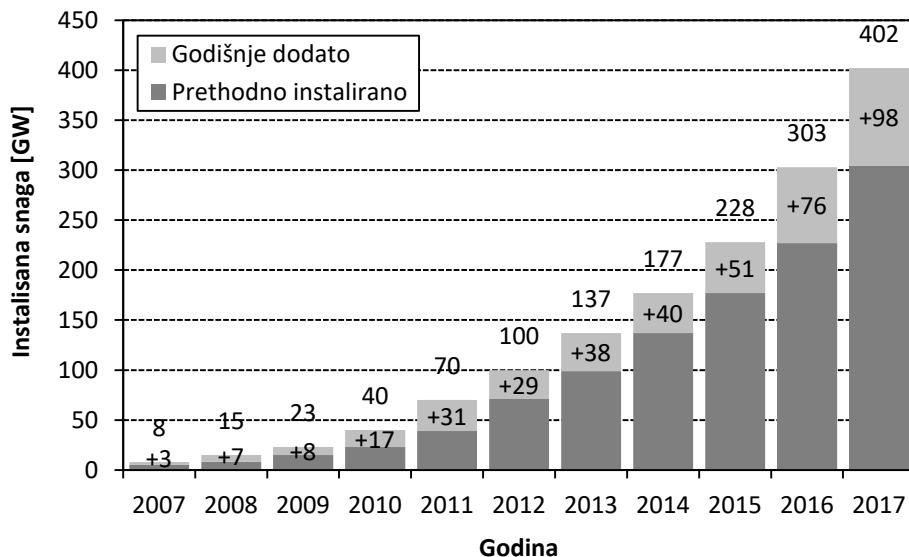
UVOD

Tokom posljednjih desetak godina solarna energija se kristališe kao respektabilan segment u globalnom energetskom miksu. U fotonaponskoj tehnologiji instalisana snaga u svijetu do kraja 2017. godine dostigla je cifru od 402 GW, što predstavlja mnogostruko povećanje u odnosu na vrijednost od 8 GW, koja je zabilježena deset godina ranije. Vrtoglavi napredak je posljedica spleta uticajnih faktora među kojima se posebno ističu: jačanje ekološke svijesti u svijetu i traženje alternative fosilnim gorivima, donošenje političkih odluka i formiranje mehanizama podrške za korišćenje obnovljivih izvora energije, te smanjenje cijena i povećanje efikasnosti fotonaponskih modula i pripadajuće elektronske opreme.

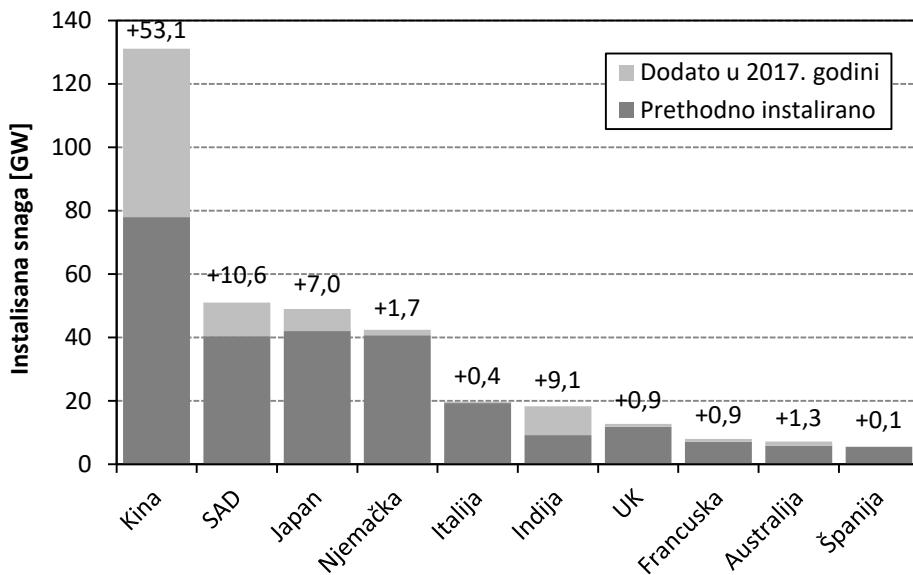
1.1 Aktuelni trendovi razvoja solarne energetike u svijetu

Instalisana snaga obnovljivih izvora energije u svijetu kontinuirano raste, a tokom 2017. godine ostvareno je dosad najveće godišnje povećanje od oko 178 GW. U okviru navedenog inkrementa sami solarni fotonaponski sistemi doprijijeli su sa 55%. Tokom 2017. godine više je izgrađeno fotonaponskih kapaciteta nego što je ukupna snaga svih novih elektrana baziranih na sagorijevanju fosilnih goriva i nuklearnoj energiji. Dijagram trenda ekspanzije ove tehnologije na svjetskom nivou prikazan je na slici 1.1. Primjetno je da već neko vrijeme godišnja stopa rasta instalirane snage fotonaponskih sistema iznosi oko jednu trećinu. Glavni nosioci razvoja su azijske zemlje, među kojima se posebno ističe Kina. Kina je svjetski lider kako po apsolutnom instalisanom kapacitetu, tako i po snazi dodatoj tokom 2017. godine.

Poređenje deset najuspješnijih zemalja prikazano je na slici 1.2. Ubjedljivo na čelu je Kina, koja je dodajući 53,1 GW tokom 2017. godine dostigla rekordnu cifru od 131,1 GW. U narednoj kategoriji su SAD (51 GW), Japan (49 GW) i Njemačka (42,4 GW), dok su u trećoj grupi Italija (19,7 GW) i Indija (18,3 GW). Iako je većina instalirane snage koncentrisana u malom broju država, na svakom kontinentu je izgrađeno bar po 1 GW, a na kraju 2017. godine kapacitet od 1 GW nadmašen je u čak 29 država.

**SLIKA 1.1**

Rast instalisane snage fotonaponskih sistema u svijetu tokom posljedne dekade

**SLIKA 1.2**

Svjetski lideri u fotonaponskoj tehnologiji

Razvoj obnovljivih izvora energije rezultat je složenog lanca uzročno-posljetičnih akcija koje se prenose od državnog zakonodavstva sve do krajnjeg korisnika. Na početku lanca je država koja identificira da postoje problemi kao što su rast potreba za energijom, iscrpljivanje zaliha fosilnih goriva, povećanje stepena zagađenja atmosfere i sve primjetnije klimatske promjene. Prve značajnije koordinisane aktivnosti većeg broja svjetskih država pokrenute su 1992. godine međunarodnom konvencijom o klimatskim promjenama pod okriljem Organizacije ujedinjenih nacija (*United Nations Framework Convention on Climate Change – UNFCCC*). Tada je definisan osnovni cilj da je emisiju gasova staklene bašte neophodno stabilizovati na nivo koji garantuje sprečavanje opasnih klimatskih promjena antropogenog karaktera. Izvorna ideja je dalje razvijana na redovnim godišnjim konferencijama, među kojima se posebno ističu one održane u Kjotu (1997), Kopenhagenu (2009) i Parizu (2015), pošto su rezultovale potpisivanjem zvaničnih dokumenata. Prema sporazumu iz Pariza, države potpisnice su se obavezale da će se posvetiti zadatku da se globalni rast temperature zadrži značajno ispod 2°C u odnosu na predindustrijsko doba. Obaveza svake države je pravljenje plana i redovno izvještavanje o preduzetim akcijama i ostvarenim doprinosima na polju smanjenja globalnog zagrijavanja. Da bi država uspjela da ostvari zacrtane ciljeve neophodno je da motiviše sve uticajne subjekte od proizvođača do potrošača energije. Najuspješniji motivacioni mehanizmi su zasnovani na kombinaciji regulatornih mjera kojima se definišu potrebne kvote (obaveze) i ekonomskih instrumenata kojima se obezbjeđuju finansijski podsticaji. Regulatorni okvir pomaže da se obaveze koje je preuzela država potpisujući međunarodni sporazum što bolje preslikaju na proizvođače i potrošače električne energije, uz neizbjježno postojanje mehanizama za praćenje procesa i kažnjavanje učesnika koji se ne pridržavaju propisanog puta. Finansijski instrumenti podrške proizvođačima energije iz obnovljivih izvora moraju kontinuirano da se prilagođavaju uslovima na tržištu i padu investicionih troškova, tako da što bolje oslikavaju realnu cijenu energije.

1.2 Osnovni motivi za izučavanje solarne energetike

Progres obnovljivih izvora energije je evidentan, a takođe i činjenica da se od svih tehnologija solarna energetika u aktuelnom trenutku razvija najintenzivnije. Možemo da izdvojimo nekoliko snažnih motiva koji govore u prilog da itekako ima smisla izučavati solarnu energetiku.

1.2.1 Neiscrpan energetski resurs

Sunce predstavlja impozantan, praktično neiscrpan izvor energije. Ova Zemlji najbliža zvijezda nalazi se na polovini svog životnog vijeka, koji se procjenjuje na oko 10 milijardi godina. Proces emitovanja energije veoma je stabilan. Energija koja dospije na Zemlju je teorijski dovoljna da višestruko pokrije sve potrebe čovječanstva. Sunčeva energija je indirektno pokretač i za ostale energetske izvore na Zemlji kao što su energija vjetra, hidroenergija, energija fosilnih goriva itd. Ukupna snaga zračenja Sunca iznosi oko $3,8 \times 10^{20}$ MW. Poređenja radi, prosječna snaga svih elektrana na svijetu je reda veličine 3×10^6 MW. Elektrane locirane u Republici Srpskoj proizvedu tipično oko 7 TWh godišnje, što dijeljenjem sa 8760 časova koliko ima godina, daje prosječnu snagu oko 800 MW. Sistematično poređenje snage zračenja Sunca sa karakterističnim vrijednostima snage na Zemlji prikazano je u tabeli 1.1.

TABELA 1.1

Poređenje snage Sunca sa drugim reprezentativnim energetskim pokazateljima

Pokazatelj	Prosječna snaga [MW]
Snaga Sunca na njegovoj površini	$3,8 \times 10^{20}$
Snaga Sunca koja dospijeva na Zemlju	1×10^{11}
Ukupna snaga potrošnje na Zemlji u svim vidovima	2×10^7
Ukupna snaga potrošnje električne energije na svijetu	3×10^6
Prosječna snaga svih elektrana u Republici Srpskoj	800

1.2.2 Ekološka prihvatljivost

Globalno zagrijavanje i klimatske promjene postaju sve očigledniji iz godine u godinu. Temperaturni rekordi, ekstremne meteorološke pojave od dugotrajnih suša do enormnih količina padavina, topljenje leda u polarnim oblastima i povećanje nivoa svjetskog mora dokazi su sa kojima se svakodnevno suočavamo. Jedan od osnovnih uzroka globalnog zagrijavanja predstavlja povećanje koncentracije tzv. gasova staklene bašte od kojih su najznačajniji vodena para i ugljen-dioksid (CO_2). Gasovi staklene bašte koji se nalaze u atmosferi apsorbuju jedan dio energije koju bi Zemlja inače izračila u svemir, te je reflektuju nazad ka tlu u vidu infracrvenog zračenja. Koncentracija gasa CO_2 ubrzano raste i tokom 2018. godine dospjela je rekordnih 410 ppm, što je za oko 45% više u odnosu na stanje pred

početak industrijske revolucije. Aktuelna strategija dogovorena na internacionalnom nivou i potvrđena Pariskim sporazumom iz decembra 2015. godine je da se rast temperature pokuša da ograniči na maksimalno 2°C u odnosu na predindustrijsko doba. Prema proračunima to otrilike znači da, u poređenju sa nivoom iz devedesetih godina prošlog vijeka, emisija CO_2 gasa do 2050. godine mora biti smanjena za oko 50%, a do 2100. godine praktično svedena na nulu.

Korišćenje fotonaponskih sistema za proizvodnju električne energije umjesto tradicionalnih parnih ili gasnih termoelektrana dovodi do višestrukog smanjenja emisije ugljen-dioksida. Iako fotonaponski sistemi tokom eksploatacije ne emituju ni malo gase CO_2 u atmosferu, određena emisija se događa za vrijeme procesa proizvodnje fotonaponskih modula. Ekvivalentni stepen emisije, koji je određen na nivou cijelog životnog vijeka, za fotonaponske sisteme bazirane na modulima od kristalnog silicijuma iznosi reda $30\text{--}50 \text{ g/kWh}$. Navedeni stepen je desetak puta manji od emisije gase CO_2 u gasnim termoelektranama i preko dvadeset puta manji od emisije koja se javlja u termoelektranama na niskokalorični ugalj. Fotonaponske elektrane ipak nisu izvori sa apsolutno najmanjom emisijom, što potvrđuje činjenica da je kod hidroelektrana i vjetroelektrana stepen emisije moguće spustiti čak i ispod 10 g/kWh .

Uz nizak nivo emisije gasova staklene bašte, fotonaponski sistemi imaju i druge povoljne ekološke karakteristike. Kako kod ove tehnologije za proizvodnju energije ne postoje obrtni dijelovi, ne javljaju se buka i vibracije. Fotonaponski moduli mogu biti postavljeni kao dio krova ili fasade zgrade, ne zauzimajući dodatni prostor, a stvarajući povoljan estetski i funkcionalni efekat. Mora se priznati da je za elektrane najvećih snaga, kod kojih su fotonaponski moduli postavljeni na tlu, neophodna prilično velika površina za montažu.

1.2.3 Povoljni klimatski uslovi u našem regionu

Među motivacionim faktorima za bavljenje fotonapskom tehnologijom posebno je važno što su zemlje Balkana pozicionirane na povolnjem geografskom položaju. Njemačka kao evropski lider u fotonapskoj tehnologiji, sa ukupnom instalisanom snagom od preko 42 GW , postigla je izvanredne rezultate, uprkos skromnoj vrijednosti prosječne insolacije na horizontalnu podlogu od svega 1055 kWh/m^2 . Poredjena radi, Banja Luka na kvadratni metar horizontalne površine godišnje dobija oko 1270 kWh energije Sunčevog zračenja, a pojedine lokacije u Hercegovini i preko 1500 kWh . I države u okruženju raspolažu solarnim potencijalom koji je na uporedivom nivou.

Za sticanje boljeg uvida u raspodjelu solarnog potencijala u zavisnosti od geografskog položaja, korisne su naredna slika i tabela. Na slici 1.3 prikazana je