

Opis i rad fotonaponske elektrane od 1 MW

Komorski, Martin

Undergraduate thesis / Završni rad

2018

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University North / Sveučilište Sjever**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:122:027226>

Rights / Prava: [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

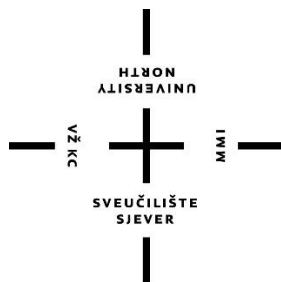
Download date / Datum preuzimanja: **2024-07-10**



Repository / Repozitorij:

[University North Digital Repository](#)





**Sveučilište
Sjever**

Odjel Elektrotehnika

Završni rad br. 424/EL/2018

Opis i rad fotonaponske elektrane od 1MW

Student

Martin Komorski, 5561/601

Mentor

dr. sc. Dunja Srpak, dipl. ing. el.

Varaždin, lipanj 2018. godine

Prijava završnog rada

Definiranje teme završnog rada i povjerenstva

ODJEL	Odjel za elektrotehniku		
PRISTUPNIK	Martin Komorski	MATIČNI BROJ	5561/601
DATUM	26.06.2018.	KOLEGIJ	Uređaji energetske elektronike
NASLOV RADA	Opis i rad fotonaponske elektrane od 1 MW		
NASLOV RADA NA ENGL. JEZIKU	Description and operation of the photovoltaic power plant of 1 MW		
MENTOR	Dunja Srpak	ZVANJE	predavač
ČLANOVI POVJERENSTVA	1. mr. sc. Ivan Šumiga, viši predavač		
	2. Miroslav Horvatić, dipl.ing., predavač		
	3. dr. sc. Dunja Srpak, dipl.ing., predavač		
	4. Stanko Vincek, struč.spec.el.teh., predavač - rezervni član		
	5. _____		

Zadatak završnog rada

BROJ	424/EL/2018
OPIS	U završnom radu potrebno je opisati glavne karakteristike fotonaponskih sustava za proizvodnju električne energije. Poseban fokus dati zakonskoj regulativi za priključenje fotonaponskih elektrana na Hrvatsku elektroenergetsku mrežu. Na primjeru rada jedne konkretne fotonaponske elektrane od 1 MW prikazati problematiku koja se pojavljuje u radu takvih elektrana na mreži.
U radu je potrebno:	<ul style="list-style-type: none">• opisati glavne karakteristike fotonaponskih sustava,• pojasniti zakonsku regulativu vezanu za priključak i rad fotonaponskih elektrana na mreži,• opisati konkretnu elektranu čiji će rad biti promatran kroz određeno razdoblje,• analizirati dobivene rezultate rada elektrane .

ZADATAK URUČEN

29.06.2018.



POTPIS MENTORA

[Handwritten signature]

SAŽETAK

U ovom završnom radu opisuje se dobivanje električne energije iz obnovljivih izvora, odnosno korištenje sunčeve energije i njezina primjena. Postoji vrlo velik potencijal za primjenu različitih oblika sunčeve energije, no stvarna iskoristivost je puno manja.

U prvom dijelu rada opisuje se općenito sunčeva energija i utjecaj sunčevog zračenja. Zatim su detaljno opisani fotonaponski moduli i sustavi koji se koriste za direktno i trenutačno pretvaranje sunčeve energije u električnu energiju bez korištenja bilo kakvih pogonskih goriva.

Glavni dio rada donosi opis zakonske regulative za postavljanje i instaliranje fotonaponskih sustava u Republici Hrvatskoj, a potom prikazuje detaljan tehnički opis sunčane elektrane Konjščina, kao i rezultate promatranja rada elektrane. Sunčana elektrana svojim radom u potpunosti zadovoljava sve zadane kriterije te ostvaruje proizvodnju veću od planirane.

POPIS KORIŠTENIH KRATICA

HEP – Hrvatska elektroprivreda

HEP-ODS - Hrvatska elektroprivreda – operator distribucijskog sustava

PEES - Prethodna elektroenergetska suglasnost

EES - Elektroenergetska suglasnost

PMO – priključni mjerni ormar

NN – niski napon

SN – srednji napon

mSE – male sunčane elektrane

HERA - Hrvatska energetska regulatorna agencija

OMM – obračunsko mjerno mjesto

HROTE – Hrvatski operator tržišta energije

MPPT- (ulazi invertera) sustav za praćenje optimalne radne točke (engl. Maximum power point tracker)

SSO – samostojeći spojni ormar

DHMZ - Državni hidrometeorološki zavod

SADRŽAJ

UVOD.....	1
1. SUNČEVA ENERGIJA.....	3
2. SUNČEVO ZRAČENJE.....	4
2.1. Sunčevo zračenje na području Hrvatske.....	4
3. FOTONAPONSKI SUSTAVI.....	6
3.1. Fotonaponski efekt.....	6
3.2. Fotonaponski moduli i sustavi.....	7
3.2.1. Fotonaponski sustavi priključeni na javnu energetska mrežu	9
3.2.2. Fotonaponski sustavi priključeni na javnu energetska mrežu preko kućne instalacije	10
3.2.3. Fotonaponski sustavi izravno priključeni na javnu energetska mrežu	11
3.3. Utjecaj zasjenjenja	12
3.4. Održavanje fotonaponskih sustava	13
4. ZAKONSKA REGULATIVA.....	14
4.1. Fotonaponski sustavi u Republici Hrvatskoj priključeni na javnu elektroenergetska mrežu preko kućne instalacije.....	14
4.1.1. Potrebna površina za proizvodnju električne energije iz fotonaponskih sustava	15
4.1.2. Sigurnosna zaštita fotonaponskih sustava.....	15
4.2. Temeljni dokumenti u postupku priključenja sunčanih elektrana na mrežu.....	16
4.2.1. Prethodna elektroenergetska suglasnost (PEES).....	16
4.2.2. Ugovor o priključenju	20
4.2.3. Elektroenergetska suglasnost (EES).....	22
4.2.4. Ugovor o korištenju mreže	23
4.2.5. Dozvola za trajni rad	25
4.3. Položaj malih sunčanih elektrana u graditeljskom zakonodavstvu i regulacijskom okviru	26
5. TEHNIČKI OPIS PROMATRANE ELEKTRANE.....	29
5.1. Općenito.....	29
5.2. Elektroenergetske instalacije.....	32
5.2.1. Polaganje panela.....	32
5.2.2. Razvod kablova	33
5.2.3. Razvodni samostojeći ormari SSO	33
5.2.4. Srednjenaponsko postrojenje i srednjenaponski vodovi	34
5.2.5. Tehničke karakteristike fotonaponskih panela.....	35
5.2.6. Tehničke karakteristike DC/AC invertera	36
5.2.7. Održavanje.....	41

5.3. Priključak na elektroenergetsku mrežu	42
5.4. Procjena proizvodnje električne energije.....	43
5.4.1. Utjecaj zasjenjenja	43
5.4.2. Procjena proizvodnje	44
6. REZULTATI PROMATRANJA RADA ELEKTRANE	45
6.1. Klimatološki podaci	45
6.1.1. Srednja dnevna ozračenost vodoravne površine i srednja mjesečna temperatura zraka ...	45
6.1.2. Zona opterećenja vjetrom.....	46
6.1.3. Zona karakterističnog opterećenja snijegom.....	47
6.1.4. Zona godišnjeg broja grmljavinskih dana	48
6.2. Iskustveni podaci o radu elektrane.....	49
6.3. Usporedba rada sunčane elektrane u različitim uvjetima	49
6.3.1. Najmanja i najveća proizvodnja.....	50
6.3.2. Proizvodnja praćena dva uzastopna dana.....	53
6.3.3. Proizvodnja praćena po godišnjim dobima	54
6.3.4. Usporedba planirane i ostvarene proizvodnje	54
7. ZAKLJUČAK.....	56
8. LITERATURA	57
POPIS SLIKA	59
POPIS TABELA.....	60

UVOD

Sunce je neiscrpan obnovljivi izvor energije koji kao najveći izvor energije u solarnom sustavu može proizvesti dovoljno solarne energije da zadovolji potrebe čovječanstva. Međutim, trenutna stvarna energetska iskoristivost je puno manja.

Sunčeva energija potječe od nuklearnih reakcija u njegovom središtu gdje postupkom fuzije nastaje helij uz oslobađanje velike količine energije koja se u vidu svjetlosti i topline širi svemirom i jednim dijelom pristizuje na Zemlju.

Iskoristivost sunčevog zračenja na području Hrvatske je izrazito mala u odnosu na povoljan geografski položaj i velik potencijal koji se kreće od 970 do 1380 kWh/m². Korištenjem solarne energije Hrvatska bi mogla u potpunosti zamijeniti potrošnju električne energije te smanjiti potrebu za uvozom energenata i negativan utjecaj na okoliš iz energetskog sektora.

Fotonaponski sustavi direktno i trenutačno pretvaraju sunčevu energiju u električnu bez korištenja bilo kakvih pogonskih goriva. Osnovne prednosti takvih sustava su distribuirana proizvodnja na mjestu gdje je to potrebno, minimalni troškovi održavanja, visoka modularnost prema potrebama korisnika te nepostojanje emisija štetnih tvari zbog čega su ugodni za okoliš. Uglavnom se koriste kao sustavi za korisnike koji nemaju mogućnost pristupa mreži ili su priključeni na mreže niskog napona i kao sustavi priključeni na mreže srednjeg napona.

Problem fotonaponskih sustava je visoka početna cijena razvoja i instalacije, kao i nestalna proizvodnja električne energije koja ovisi o sunčevom zračenju. Na proizvodnju električne energije u takvim sustavima mogu utjecati i vanjski faktori, poput utjecaja zasjenjanja, koji unatoč velikom napretku u razvoju fotonaponskih sustava nisu lako rješivi, a umanjuju korisnost fotonaponskih panela i proizvodnju električne energije.

Instalacija fotonaponskih sustava strogo je regulirana i zahtijeva poštivanje niza zakonskih odredbi. Temeljni dokumenti u pojednostavljenom postupku priključenja su tipizirani, a postupak njihovo izdavanje je maksimalno računalno olakšan.

Promatrana sunčana elektrana Konjščina ima instaliranu snagu 1MW. Sastoji se od 3900 komada fotonaponskih panela složenih u 14 linija. Električna energija elektrane proizvodi se u fotonaponskim ćelijama koje su pouzdane i dugog vijeka trajanja, a u radu ne proizvode buku niti imaju štetnih produkata. Ćelije zahtijevaju minimalno održavanje, a izgrađene su od materijala koji se mogu u potpunosti reciklirati.

Zahvaljujući povoljnom smještaju, elektrana u potpunosti ispunjava očekivanja vlasnika i ostvarenim prihodima podmiruje svoje obaveze. Rad elektrane ovisi o vremenskim uvjetima, odnosno broju sunčanih sati kroz godinu, kojih je sve više te je uz povoljne učinke efekata globalnog zatopljenja realno očekivati povećanje proizvodnje električne energije.

1. SUNČEVA ENERGIJA

Sunce je najveći izvor energije na Zemlji i najveći izvor energije u solarnom sustavu. No unatoč činjenici da je količina solarne energije koja pristizbe na Zemlju dovoljna da zadovolji potrebe čovječanstva, iskorištavanjem solarne energije trenutno se pokriva tek mali postotak energetske potrebe.

Sunčeva energija potječe od nuklearnih reakcija u njegovom središtu gdje temperatura doseže 15 milijuna °C. Ključan je postupak fuzije kod kojeg spajanjem vodikovih atoma nastaje helij uz oslobađanje velike količine energije. Na taj način svake sekunde u helij prelazi oko 600 milijuna tona vodika, pri čemu se masa od otprilike 4 milijuna tona vodika pretvori u energiju. Energija se potom u vidu svjetlosti i topline širi svemirom i jednim malim dijelom pristizbe na Zemlju. Pod optimalnim uvjetima, na površini Zemlje može se dobiti 1kW/m^2 , a stvarna vrijednost ovisi o lokaciji, godišnjem dobu, dobu dana, vremenskim uvjetima i slično [1].

Prolaskom kroz atmosferu, smanjuje se intenzitet sunčevog zračenja zbog djelomične refleksije i apsorpcije. Zračenje koje prođe kroz atmosferu se djelomično raspršuje zrakom zbog čestica sadržanih u zraku. Sunčevo zračenje koje pada na vodenu površinu sastoji se od izravnog zračenja, raspršenog zračenja koje pada na površinu s cijelog neba te zračenja reflektiranog od površine zemlje i postojećeg na površini zemlje. Zimi kada je nebo pretežito oblačno komponenta raspršenog zračenja je veća od komponente direktnog zračenja. Također, komponenta raspršenog zračenja ovisi o reflektirajućoj sposobnosti površine zemlje te se označava kao faktor refleksije različit za različite vrste podloge [2].

2. SUNČEVO ZRAČENJE

Sunčevo zračenje je kratkovalno zračenje koje Zemlja dobiva od Sunca. Izražava se u W/m^2 , a ovisno o njegovom upadu na plohe na Zemlji može biti: neposredno (zračenje Sunčevih zraka), difuzno zračenje neba (raspršeno zračenje cijelog neba zbog pojava u atmosferi), difuzno zračenje obzorja (dio difuznog zračenja koji zrači obzorje), okosunčevo difuzno (cirkum-solarno) zračenje (difuzno zračenje bliže okolice Sunčevog diska koji se vidi sa Zemlje) te odbijeno zračenje (zračenje koje se odbija od okolice i pada na promatranu plohu). Sunčevo zračenje iznosi oko $3,8 \times 10^{26}$ W, od čega Zemlja dobiva $1,7 \times 10^{17}$ W. Zemlja od Sunca godišnje dobiva oko 4×10^{24} J energije, što je deset tisuća puta više nego što iznosi ukupna godišnja potrošnja energije iz svih primarnih izvora. Prosječna jakost sunčevog zračenja iznosi oko $1367 W/m^2$ (tzv. solarna konstanta) [3].

Zbog velike udaljenosti Zemlje i Sunca, sunčevo zračenje pri ulasku u atmosferu sastoji se od snopa paralelnih elektromagnetskih valova. Djelovanjem plinova i čestica u atmosferi sunčevo zračenje može se upiti, odbiti ili nesmetano proći kroz atmosferu. Na zemljinu površinu iz atmosfere dopire izravno i raspršeno sunčevo zračenje koje se upija ili odbija na zemljinoj površini. Ukupna količina zračenja na okomitu plohu naziva se globalno zračenje, a sastoji se od direktnog, raspršenog i odbijenog sunčevog zračenja [2].

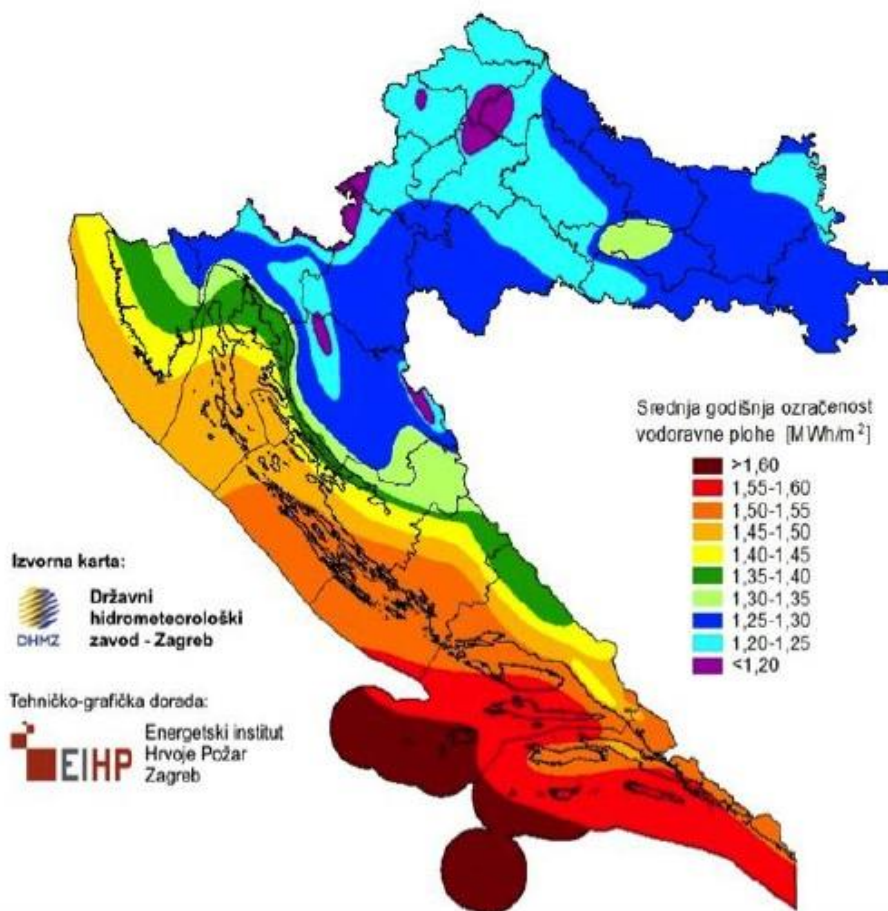
2.1. Sunčevo zračenje na području Hrvatske

Hrvatska zahvaljujući svom geografskom položaju ima povoljne uvjete i velik potencijal za iskorištavanje sunčeve energije. Taj potencijal kreće se od 970 do 1380 kWh po m^2 površine solarnog kolektora postavljenog pod optimalnim godišnjim kutom. U južnom dijelu Hrvatske godišnja proizvodnja fotonaponskog sustava iznosi od 1100 do 1300 kWh po instaliranom kWp snage, dok se u kontinentalnom dijelu Hrvatske ona kreće od 1000 do 1100 kWh po instaliranom kWp snage [4].

U Hrvatskoj je godišnji prirodni potencijal sunčeve energije veći od ukupne godišnje potrošnje energije. Čak je i stvarna vrijednost dozračne sunčeve energije veća od potrebne. Dozračna sunčeva energija ovisi o zemljopisnoj širini te se smanjuje od juga prema sjeveru, a ovisi i o klimatskim uvjetima lokacije poput učestalosti naoblake, sumaglice i drugima.

Količina sunčeva zračenja ovisi o sezoni, što uvjetuje kretanje srednje dnevne ozračenosti od oko 1 kWh/m² u prosincu do 7 kWh/m² u lipnju. Prosječna godišnja dozračna sunčeva energija kreće se od oko 1,20 do 1,60 MWh/m², ovisno o kojem dijelu Hrvatske je riječ.

Unatoč gotovo idealnim insolacijskim i klimatskim uvjetima za iskorištavanje sunčeve energije, Hrvatska ih ne koristi ni približno dovoljno. Iako postoji porast korištenja sunčeve energije, Hrvatska znatno zaostaje za područjem sjeverne i srednje Europe čiji su klimatski uvjeti znatno nepovoljniji [2].



Slika 1. Srednja godišnja ozračenost vodoravne plohe ukupnim sunčevim zračenjem [5]

3. FOTONAPONSKI SUSTAVI

3.1. Fotonaponski efekt

Sunce šalje više energije prema Zemlji u 20-ak minuta nego što svjetska populacija konzumira u cijeloj jednoj godini. Sunčeva energija ima velike prednosti: gotovo je neiscrpna, dostupna je diljem svijeta i potpuno je besplatna. Sunčeva energija može se iskoristiti i osigurati energiju u nedostatku električne energije, smanjiti troškove potrošnje električne energije ili čak zaraditi novac kao povlašteni potrošač.

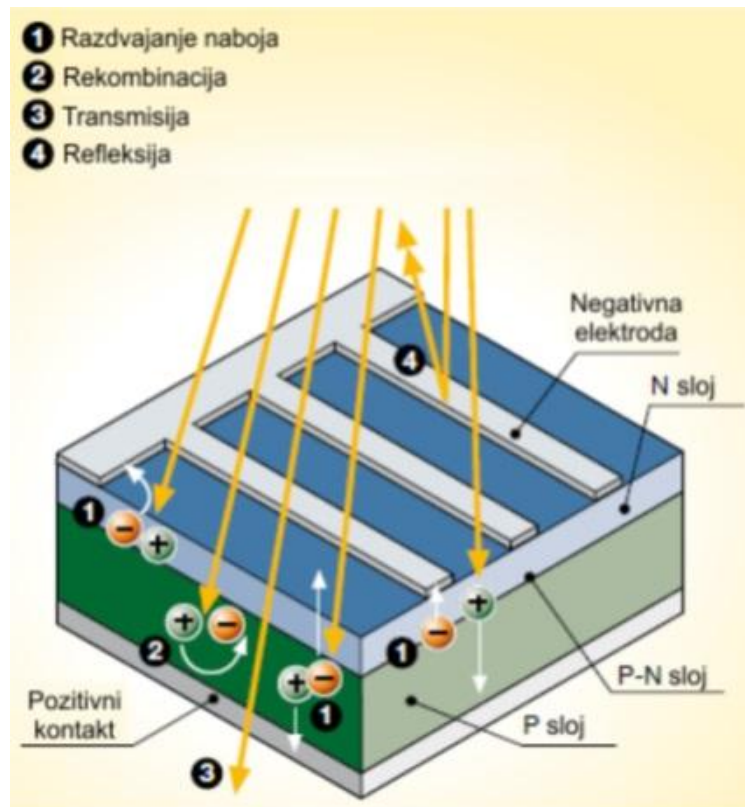
Sunce je jedan od najčišćih i najveći ekološki prihvatljiv izvor energije na Zemlji. Solarna fotonaponska energija je direktno pretvaranje svjetlosti u električnu energiju na atomskoj razini. Kada fotoni pogode fotonaponsku ćeliju, mogu se reflektirati od nje, proći direktno kroz nju ili biti apsorbirani. Samo apsorbirani fotoni u posebnom pojasu određenih materijala daju energiju za oslobađanje elektrona i proizvodnju električne struje (fotonaponski efekt). Neki materijali koji pokazuju to svojstvo omogućuju da apsorbirani fotoni svjetlosti oslobađaju elektrone (npr. poluvodiči u tzv. pn spoju). Ako se zatvori strujni krug, usmjereno gibanje tih slobodnih elektrona je električna energija [3].

Fotoelektrični efekt je prvi primijetio francuski fizičar Edmund Becquerel 1839. otkrivši da neki materijali uspijevaju proizvesti male količine električne struje kada su izloženi Suncu. 1905. godine Albert Einstein je opisao prirodu svjetlosti i fotoelektrični efekt na čemu se temelji fotonaponska tehnologija, a za što je kasnije dobio Nobelovu nagradu za fiziku. Prvi fotonaponski modul je sagradio Bell Laboratories 1954. godine, a već 1960. godine u svemirskoj industriji počelo se ozbiljnije baviti pitanjem osiguravanja električne energije na svemirskoj tehnologiji. S vremenom je tehnologija dobivala na pouzdanosti, a trošak proizvodnje je počeo opadati [5].

Solarne ćelije su izrađene od istih vrsta poluvodičkih materijala, poput silicija, koji se koriste u industriji mikroelektronike. Silicij je drugi najveći element u izobilju na Zemlji, što je istovremeno pozitivno i negativno za solarne ćelije.

Kada svjetlosna energija dolazi do solarnih ćelija, elektroni se oslobode od atoma u poluvodičkom materijalu. Ako su električni vodovi priključeni s pozitivne i negativne strane, proteći će električna energija, tj. stvorit će se energija koja se može koristiti za napajanje

potrošača. Više solarnih ćelija električki je međusobno povezano i montirano u potporne strukture okvira nazvane fotonaponski moduli koji su osmišljeni za opskrbu električnom energijom do određenog napona. Proizvedena struja je direktno ovisna o tome koliko svjetla dolazi do modula [5].



Slika 2. Fotonaponski efekt [5]

3.2. Fotonaponski moduli i sustavi

Solarni fotonaponski sustavi mogu se podijeliti u dvije osnovne skupine: fotonaponski sustavi koji nisu priključeni na mrežu i fotonaponski sustavi priključeni na elektroenergetsku mrežu.

Fotonaponski sustavi koji nisu priključeni na mrežu nazivaju se samostalnim sustavima te mogu biti sa ili bez pohrane energije i hibridni. Fotonaponski sustavi priključeni na mrežu mogu biti izravno priključeni na javnu elektroenergetsku mrežu ili priključeni na javnu elektroenergetsku mrežu preko kućne instalacije.

Fotonaponski sustavi sunčevu energiju direktno i trenutačno pretvaraju u električnu energiju bez korištenja bilo kakvih pogonskih goriva. Fotonaponska tehnologija temelji se na poluvodičkim komponentama koje pri izloženosti sunčevom zračenju generiraju elektricitet. Osnovne prednosti takvih sustava su distribuirana proizvodnja na mjestu gdje je to potrebno, neovisnost o fosilnim gorivima, pouzdanost sustava jer nemaju pokretnih dijelova, minimalni troškovi održavanja, visoka modularnost prema stvarnim potrebama korisnika te su ugodni za okoliš jer nema emisija štetnih tvari.

Problem predstavlja visoka početna cijena razvoja i instaliranja fotonaponskog sustava, kao i nestalna proizvodnja električne energije zbog ovisnosti o izvoru energije, odnosno sunčevom zračenju. Godišnja proizvodnja električne energije iz fotonaponskih sustava ovisi o kvaliteti sunčeva zračenja na mjestu instaliranja elektrana, nagibu i orijentaciji fotonaponskih modula, postojanosti zasjenjenja i tehničkim karakteristikama komponenti sustava.

Fotonaponski sustavi uglavnom se koriste kao sustavi za korisnike koji nemaju mogućnost pristupa mreži, za korisnike priključene na mreže niskog napona te kao sustavi priključeni na mreže srednjeg napona.

Fotonaponski sustavi sastavljeni su od generatora, nosive konstrukcije za ugradnju generatora, sustava za kontrolu snage elektrane i uvjeta njenog rada, prekidačkih i razvodnih sklopova, zaštitne opreme i priključnih kablova te opcionalno od sustava za pohranu električne energije.

Više mehanički i električno povezanih fotonaponskih ćelija čine fotonaponski modul koji se instalira na konstrukciju, bilo na tlu ili na nekoj građevini. Nekoliko serijski povezanih modula čine niz, a više nizova električno povezanih u paralelu za proizvodnju potrebne snage čine generator, odnosno fotonaponsko polje.

Fotonaponske ćelije koje čine fotonaponske module nisu potpuno identične zbog proizvodnih odstupanja. Posljedica toga je da struja generirana na bloku višeg napona teče prema bloku nižeg napona, što uzrokuje gubitak snage na određenom fotonaponskom modulu. Nejednakost se može pojaviti i zbog različitih iznosa ozračenosti kada dio fotonaponskih ćelija nema izravno sunčevo zračenje ili zbog pogoršanja karakteristika pojedinih ćelija uslijed dužeg vremena rada. Takve fotonaponske ćelije blokiraju protok električne energije generirane sunčevim zračenjem potpuno ispravnih fotonaponskih ćelija i nalaze se pod

naponom susjednih fotonaponskih ćelija, što može uzrokovati oštećenje fotonaponskih modula.

Da bi se izbjegli spomenuti problemi, fotonaponske ćelije u fotonaponskim modulima moraju biti električno izolirane s vanjske strane, zaštićene od atmosferskih prilika i mehaničkih naprezanja, otporne na ultraljubičaste zrake, niske temperature, nagle promjene temperature te osigurane od pregrijavanja omogućenim hlađenjem [5].



Slika 3. Fotonaponski moduli

3.2.1. Fotonaponski sustavi priključeni na javnu energetska mrežu

Fotonaponski sustavi izravno priključeni na javnu mrežu uglavnom su sustavi većih snaga. Takvi sustavi mogu sadržavati centralni izmjenjivač DC/AC i transformator, a sastoje se od više fotonaponskih modula serijski spojenih u nizove.

Svaki niz se preko spojne kutije i istosmjernih prekidača dovodi do centralnog izmjenjivača s transformatorom koji istosmjernu struju s modula pretvara u izmjeničnu sinkroniziranu s naponom i frekvencijom mreže.

Nadalje, fotonaponski sustavi mogu biti s centralnim izmjenjivačem DC/AC bez transformatora. Kod tog sustava svi fotonaponski moduli su spojeni u seriju i čine jedan niz s

određenim istosmjernim naponom. Dobivena istosmjerna struja se spaja preko istosmjernog prekidača do centralnog izmjenjivača bez transformatora. Izmjenjivač istosmjernu struju pretvara u izmjeničnu, sinkroniziranu s naponom i frekvencijom mreže.

Također, fotonaponski sustavi mogu imati serijski spojene module, a kod takvih sustava solarni generator podijeljen je na više serijski spojenih nizova. Svaki niz se preko istosmjernih prekidača dovodi do pojedinačnog izmjenjivača svakog niza koji istosmjernu struju pretvara u izmjeničnu, sinkroniziranu s naponom i frekvencijom.

Fotonaponski sustav s paralelno spojenim modulima sadržava solarni generator podijeljen na više paralelno spojenih nizova, čime se dobiva niži napon niza, odnosno veća sigurnost sustava i nešto veća struja. Svaki paralelno spojeni niz dovodi se do pojedinačnog izmjenjivača koji istosmjernu struju pretvara u izmjeničnu, sinkroniziranu s naponom i frekvencijom mreže [5].

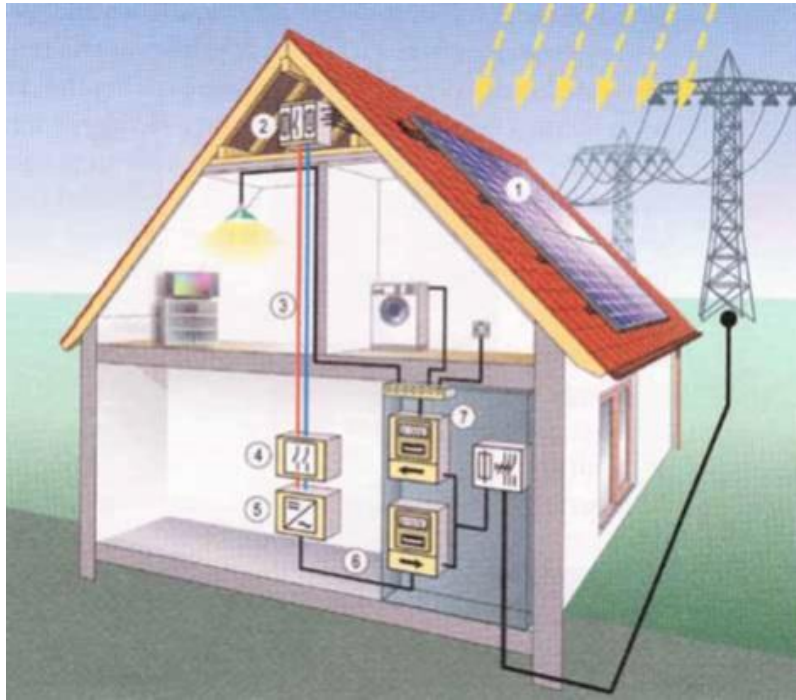
3.2.2. Fotonaponski sustavi priključeni na javnu energetska mrežu preko kućne instalacije

Takvi fotonaponski sustavi omogućuju povezivanje distribuiranih sustava na sustave priključene u pravilu na niskonaponsku razinu elektroenergetskog sustava. Temeljne komponente fotonaponskog sustava priključenog na javnu elektroenergetsku mrežu su fotonaponski moduli, spojna kutija sa zaštitnom opremom, kablovi istosmjernog razvoda, glavna sklopka za odvajanje, izmjenjivač DC/AC, kablovi izmjeničnog razvoda te brojila predane i preuzete električne energije.

S obzirom na instaliranu snagu, fotonaponski sustavi priključeni preko kućne instalacije mogu se podijeliti na sustave do 30kW, od 30 do 100kW i preko 100kW. U Hrvatskoj prema instaliranoj snazi vrijedi podjela do 10kW, od 10 do 30kW i preko 30kW.

Fotonaponski sustavi snage do 30kW ugrađuju se na krovove građevina i u fasade građevina. To su uglavnom sustavi manjih snaga, a podrazumijevaju slobodan pristup otvorenoj javnoj mreži i predaju električne energije po povlaštenoj cijeni.

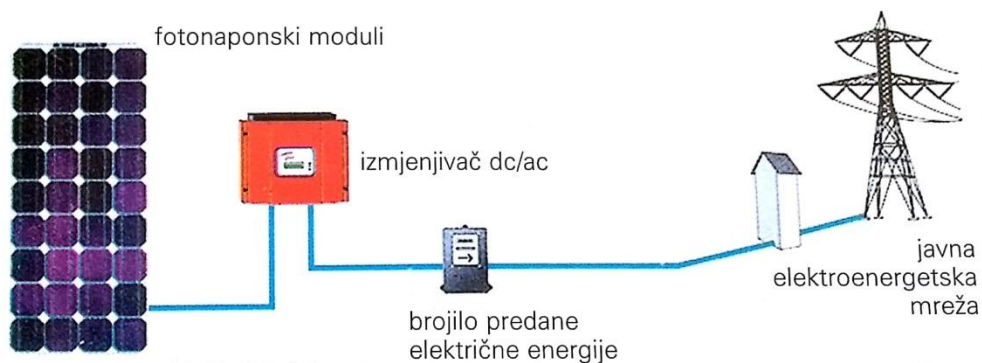
Fotonaponski sustavi snage veće od 100kW nastali su usavršavanjem rada manjih naponskih sustava. Ugrađuju se uglavnom na velike kose ili ravne površine stambenih građevina, proizvodnih hala, sportskih dvorana, ugostiteljskih objekata i slično [5].



Slika 4. Fotonaponski sustav priključen na javnu mrežu preko kućne instalacije [5]

3.2.3. Fotonaponski sustavi izravno priključeni na javnu energetska mrežu

Razvojem tržišta fotonaponske tehnologije, fotonaponski sustavi se osim na građevine ili u njihovoj blizini ugrađuju i na slobodne površine u blizini elektroenergetske mreže. Takvi su sustavi izravno priključeni na javnu elektroenergetska mrežu i svu proizvedenu energiju predaju u elektroenergetski sustav. Karakterizira ih veća snaga, a zahtijevaju i instalaciju na većim površinama [5].



Slika 5. Fotonaponski sustav izravno priključen na javnu energetska mrežu [5]

3.3. Utjecaj zasjenjenja

Do sada je ostvaren velik napredak u razvoju fotonaponskih sustava. Međutim, postoji teško rješiv problem koji može imati velik utjecaj na korisnost solarnih fotonaponskih ploča. Riječ je o zasjenjenju, problemu kojeg je u praksi gotovo nemoguće izbjeći.

Da bi fotonaponska elektrana bila što isplativija, važno je uzeti u obzir kretanje Sunca tijekom godine i područje na koje će se elektrana postaviti. Također, važno je prilikom postavljanja fotonaponskog sustava izbjeći zasjenjenje što je više moguće kako bi elektrana radila punim kapacitetom. Zasjenjenje mogu stvarati prašina, izmet ptica i snijeg koji se mogu kontrolirati urednim održavanjem fotonaponskih panela. S druge strane, trajnim zasjenjenjima poput položaja okolnih zgrada i drveća, dimnjaka i satelitskih odašiljača potrebno je posvetiti više pažnje jer je njihov utjecaj znatno veći. Ako se zasjenjenja ne mogu izbjeći, važno je pravilno optimizirati fotonaponsku elektranu ili projektirati optimizatore snage čija je uloga smanjenje utjecaja zasjenjenja. Postavljanje takvih uređaja poskupljuje cijenu samog modula, kao i cijenu fotonaponskog sustava.

Zasjenjenje, dakle, može imati veliki utjecaj na korisnost fotonaponskih ploča. Ako i mali dio solarne fotonaponske ploče bude pod utjecajem zasjenjenja, smanjuje se korisnost cijelog fotonaponskog panela. Razlog tome je što se taj fotonaponski panel sastoji od niza serijski spojenih fotonaponskih ćelija, a kada se smanji izlazna snaga pojedine ćelije, izlazna snaga cijelog sustava spojenog u seriju svodi se na razinu struje koja prolazi kroz ćeliju na kojoj se prikuplja najmanje svjetlosti [6].

Djelomično zasjenjenje ne samo da umanjuje korisnost fotonaponskog panela, nego stvara opasnost da ćelija prestane proizvoditi električnu energiju te postane trošilo. Ako sustav nije dovoljno zaštićen, utjecaj zasjenjenja može ga uništiti.

Utjecaj zasjenjenja može se smanjiti dodavanjem premosne diode ili dodavanjem nekoliko dioda unutar jednog modula, po jednu za svaku grupu od nekoliko ćelija. Može se koristiti i blokirajuća dioda ako je niz spojen paralelno, a ona u tom slučaju sprječava povratnu struju kroz module koji ne funkcioniraju ispravno [5].



Slika 6. Zasjenjenje fotonaponskih modula stranim tijelom [7]

3.4. Održavanje fotonaponskih sustava

Solarni paneli su prilično jednostavni za održavanje jer ne sadrže pokretne dijelove te rijetko kada zahtijevaju popravke. Zahtijevaju tek povremeno čišćenje kako bi se povećala proizvodnja električne energije.

Čišćenje se u pravilu provodi jednom godišnje kako bi se odstranila prvenstveno prašina i spriječila slabija proizvodnja energije koja se s istim pojavljuje. Čišćenje podrazumijeva odstranjivanje prašine, ptičjeg izmeta, čađe i sličnih nakupljenih tvari na solarnim panelima koji gomilanjem sprječavaju dotok sunčeve energije, odnosno smanjuju snagu fotonaponskog sustava i do 20%. Čišćenje je najbolje provesti u rano proljeće kako bi se paneli pripremili za nadolazeću sezonu najvećeg sunčevog zračenja.

Prirodni utjecaj kiše, rose i vjetra nikako nije dovoljan za efikasno čišćenje modula, no svakako doprinosi istom. Čišćenje od snijega se ne provodi, nego se pričekava da se snijeg otopi, a time se postiže i prirodno čišćenje ranije nakupljene prljavštine.

U slučaju vremenskih nepogoda, primjerice tuče, može nastati oštećenje zaštitnog stakla koje štiti ćelije modula te je u takvim slučajevima potrebno zamijeniti cijeli modul. Modul može raditi i s oštećenim staklom, ali tada je slabija proizvodnja [8].

4. ZAKONSKA REGULATIVA

4.1. Fotonaponski sustavi u Republici Hrvatskoj priključeni na javnu elektroenergetsku mrežu preko kućne instalacije

Temeljem Uredbe o minimalnom udjelu električne energije proizvedene iz obnovljivih izvora energije i kogeneracije, Republika Hrvatska je donijela niz poticajnih zakonskih i podzakonskih odredbi poput Pravilnika o korištenju obnovljivih izvora energije i kogeneracije, Uredbe o naknadama za poticanje proizvodnje električne energije iz obnovljivih izvora energije i kogeneracije te Pravilnika o stjecanju statusa povlaštenog proizvođača električne energije.

Navedenim zakonskim i podzakonskim propisima od 1. srpnja 2007. godine stečeni su uvjeti za ugradnju fotonaponskih sustava koji mogu dobiti status povlaštenog proizvođača električne energije, odnosno naknadu za isporučenu električnu energiju u javnu elektroenergetsku mrežu.

U Hrvatskoj je do sada instalirano desetak fotonaponskih sustava manjih snaga koji su spojeni na javnu elektroenergetsku mrežu. Većina tih sustava trenutno je u procesu dobivanja potrebne dokumentacije za stjecanje statusa povlaštenog proizvođača i Ugovora o otkupu električne energije s Hrvatskim operaterom tržišta energije. Instaliran je i jedan veći fotonaponski sustav smješten na zidu za zaštitu od buke dionice čvor Orehovica – čvor Dirače na obilaznici iznad grada Rijeke. Dvostrukom funkcijom ovog fotonaponskog sustava koji će štititi od buke i davati električnu energiju u elektroenergetski sustav HEP-a, nastoji se utjecati na povećanje ekološke svijesti ljudi i usmjeriti pozornost na pouzdanost i sigurnost električne energije proizvedene na ovaj način [5].

4.1.1. Potrebna površina za proizvodnju električne energije iz fotonaponskih sustava

Potrebna površina za određenu snagu modula ovisi o tome kakvi su fotonaponski moduli, odnosno jesu li izgrađeni od monokristalnih ili polikristalnih ćelija ili su moduli od tankog filma ili amornog silicija. Podaci o potrebnoj površini za smještaj fotonaponskih modula prikazani su u tabeli koja slijedi.

Tabela 1. Potrebna površina za smještaj fotonaponskih modula

monokristalne ćelije	7 m ² - 9 m ²
ćelije visokog stupnja djelovanja	6 m ² - 7 m ²
polikristalne ćelije	7,5 m ² - 10 m ²
bakar-indij-diselenid (CIS)	9 m ² - 11 m ²
kadmijev telurid (CdTe)	12 m ² - 17 m ²
amorfni silicij	14 m ² - 20 m ²

Potrebna površina za smještaj fotonaponskih modula bitna je i za manje fotonaponske sustave jer se u njima sa što manje površine želi postići najveća moguća snaga fotonaponskog sustava, odnosno proizvesti što više električne energije.

Korištenjem sunčeve energije u termoelektranama ili fotonaponskim modulima zauzima se najmanja površina, a proizvodi jednaka količina električne energije kao i korištenjem primjerice biomasa, čime se zauzima znatno veća površina [5].

4.1.2. Sigurnosna zaštita fotonaponskih sustava

Svaki objekt trebao bi imati gromobranksku instalaciju, temeljni uzemljivač i odvodnike prenapona na izmjeničnoj strani. Ako građevina ima solarne fotonaponske module, odvodnike prenapona morala bi imati i na istosmjernoj strani.

Budući da su fotonaponski sustavi najčešće instalirani na krovovima kuća ili na velikim slobodnim površinama, postoji vjerojatnost od atmosferskih prenapona, odnosno udara groma. Radi osiguranja sigurnog i nesmetanog rada fotonaponskih modula, potrebno je

predvidjeti zaštitu od atmosferskih i induciranih prenapona već prilikom projektiranja te provoditi mjere zaštite tijekom montaže. Zaštita mora biti u skladu s normama Europske unije: EN 60346-7-712 (električna instalacija fotonaponskog sustava), EN 61173 i EN 622305-2 (očekivani rizici fotonaponskog sustava) [5].

4.2. Temeljni dokumenti u postupku priključenja sunčanih elektrana na mrežu

Temeljni dokumenti HEP-ODS-a u pojednostavljenom postupku priključenja na mrežu su:

- Prethodna elektroenergetska suglasnost (PEES),
- Ugovor o priključenju,
- Elektroenergetska suglasnost (EES),
- Ugovor o korištenju distribucijske mreže,
- Dozvola za trajni pogon.

Navedeni dokumenti su tipizirani i postupak njihovog izdavanja je maksimalno računalno olakšan, a svi su potrebni za integrirane sunčane elektrane manje od 30kW.

Ipak, u nekim slučajevima postupak priključenja nije pojednostavljen. Riječ je o neintegriranim sunčanim elektranama, integriranim sunčanim elektranama snage veće od 30kW, integriranim sunčanim elektranama koje se grade u sklopu nove građevine te ostalim tipovima elektrana [9].

4.2.1. Prethodna elektroenergetska suglasnost (PEES)

Prethodna elektroenergetska suglasnost je dokument kojim HEP-ODS određuje uvjete priključenja korisnika mreže na elektroenergetsku mrežu HEP-ODS-a za traženu priključnu snagu na traženom mjestu. Uz PEES korisniku se dostavljaju Prilozi (situacija građevine u odnosu na postojeću mrežu, shema PMO-a i troškovnik), Ugovor o priključenju ili Predugovor o priključenju te Ugovor o otkupu koji se odnosi samo na sunčane elektrane jednostavnih građevina ako u trenutku izdavanja PEES-a nije popunjena kvota.

PEES sadržava:

- posebne uvjete za lokaciju građevine,
- stvaranje tehničkih uvjeta na mreži,
- detalje izvedbe priključka,
- obračunsko mjerno mjesto,
- uvjete koje mora ispuniti kupac,
- ekonomske uvjete,
- uvjete koje mora ispuniti elektrana,
- ostale uvjete.

Posebni uvjeti za lokaciju građevine odnose se na opće podatke važne za građenje predmetne građevine, a uvjetovani su postojanjem distribucijskih elektroenergetskih objekata na promatranoj lokaciji.

Stvaranje tehničkih uvjeta na mreži podrazumijeva sve nužne zahvate u postojećoj mreži, a koji su potrebni za ostvarivanje mogućnosti priključenja predmetne elektrane.

Detalji izvedbe priključka obuhvaćaju opterećenje priključnog NN voda u smjeru predaje/preuzimanja električne energije, mjesto priključenja na elektroenergetsku mrežu, izvedbu priključka, uređaj za odvajanje elektrane od distribucijske mreže te razgraničavanje vlasništva.

Obračunsko mjerno mjesto definira način mjerenja, kategoriju potrošnje/proizvodnje i mjernu opremu.

Uvjeti koje mora ispuniti kupac su faktor snage i zaštite od previsokog napona dodira.

Ekonomski uvjeti odnose se na obaveze i nadležnosti HEP-ODS-a i korisnika mreže, a određuju i obvezu sklapanja Ugovora o priključenju s HEP-ODS-om kod priključenja elektrane koji se pripisuje korisniku mreže.

Uvjeti koje mora ispuniti elektrana označavaju opremljenost odgovarajućim uređajem za osiguravanje primjerenog paralelnog pogona elektrane s mrežom i za sinkronizaciju, opremljenost sustavom zaštite od kvarova u mreži i elektrani te zaštitom od previsokog napona dodira, podešenje vrijednosti zaštite koje djeluju na proradu uređaja na elektrani za isključenje s mreže, a koji uvijek moraju biti usuglašeni s HEP-ODS-om, uključujući i

naknadnu podešenja. Elektrana na mjestu podešenja mora zadovoljiti uvjete kvalitete napona i elektromagnetsku kompatibilnost sukladno s važećom zakonskom regulativom. Elektroinstalacija mreže mora biti odvojena od bilo koje druge instalacije na lokaciji [9].

Ostali uvjeti označavaju obveze dostave glavnog projekta elektrane HEP-ODS-u, izvođenje elektromontažnih radova te prilagodbe i ispitivanja zaštitnih uređaja, mjesta sinkronizacije i odvajanja, smjernice za ishođenje elektroenergetske suglasnosti i priključenje te rok važenja prethodne elektroenergetske suglasnosti (dvije godine).

Žalba se može uputiti u roku od petnaest dana Hrvatskoj energetskej regulatornoj agenciji (HERA), a predaje se pisanim putem distribucijskom području HEP-ODS-a koje je izdalo PEES [9].

4.2.2. Ugovor o priključenju

Ugovor o priključenju je dokument kojim HEP-ODS i korisnik mreže uređuju svoje odnose o postupku priključenja građevine korisnika mreže na mrežu HEP-ODS-a. Sastavni dio Ugovora o priključenju je PEES.

Ugovor o priključenju obvezuje korisnika mreže na plaćanje naknade za priključenje, odnosno na plaćanje troškova priključka i eventualnog stvaranja tehničkih uvjeta u mreži definiranih u PEES. Ugovor također obvezuje HEP-ODS na realizaciju priključenja, što podrazumijeva izgradnju priključka i eventualno stvaranje tehničkih uvjeta u mreži.

U iznimnim slučajevima izdaje se Predugovor o priključenju i to kod priključaka koji obuhvaćaju radove na SN, a sadrži troškove do ishođenja dozvole za gradnju priključka.

Ugovor o priključenju sadrži:

- troškove priključenja,
- rokove izvedbe radova i dinamike plaćanja,
- međusobna prava i obveze,
- raskid ugovora,
- završne odredbe.

Troškovi priključenja odnose se na investitora elektrane koji u cijelosti snosi troškove priključenja elektrane na mrežu prema Pravilniku o naknadi za priključenje na elektroenergetsku mrežu i povećanje priključne snage, naknadu za priključenje koja ne obuhvaća obveze korisnika mreže, a koji je dužan snositi troškove ispitivanja u pokusnom radu, kao i eventualne štete koje su posljedica pokusnog rada.

Rokovi izvedbe radova i dinamike plaćanja odnose se na rok za realizaciju priključenja elektrane koji počinje teći prvom uplatom korisnika mreže, a bez koje ne započinju aktivnosti na realizaciji priključenja te na rok za prvu uplatu od minimalno 50%, a koji je osam dana od dana sklapanja ugovora o priključenju. Ostatak iznosa korisnik mreže je dužan uplatiti najkasnije do dana podnošenja zahtjeva za izdavanje EES i priključenja. Krajnji rok za podnošenje zahtjeva za EES je minimalno 10 dana prije isteka ugovorenog roka priključenja. HEP-ODS trajno priključuje korisnika mreže tek nakon provedenog pokusnog rada.

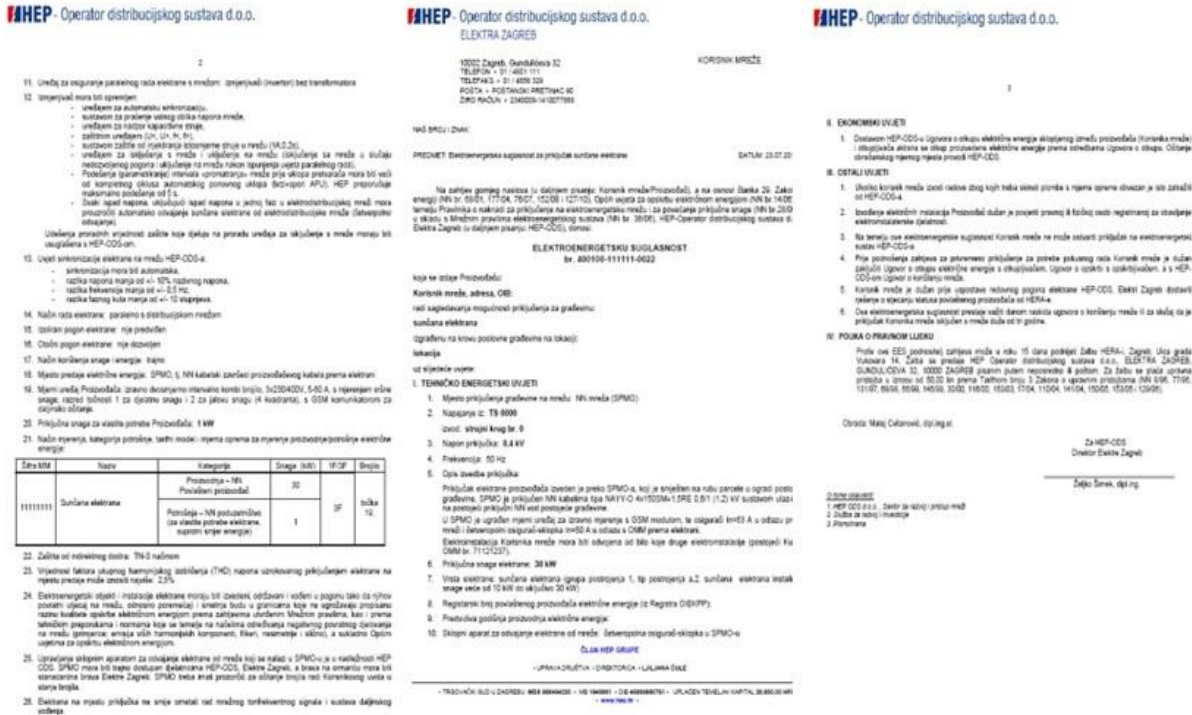
Međunarodna prava i obveze označavaju eventualno ustanovljavanje prava služnosti za potrebe izgradnje priključka na nekretninama korisnika mreže bez naknade te njima definiranu kaznu koju je HEP-ODS dužan platiti u slučaju kašnjenja realizacije priključenja.

Raskidom ugovora HEP-ODS vrši povrat uplaćenog iznosa u roku 30 dana od zahtjeva, ali umanjenog za trošak koji je HEP-ODS imao za do tada obavljene radove i usluge.

Ugovor o priključenju stupa na snagu s danom zaprimanja potpisanog ugovora od strane korisnika mreže u HEP-ODS-u. Ugovor se sklapa na određeno vrijeme, odnosno do isteka važenja PEES-a [9].

4.2.3. Elektroenergetska suglasnost (EES)

Elektroenergetska suglasnost (EES) je dokument kojim se utvrđuje pravo korisnika mreže na korištenje mreže na određen način na definiranom mjestu u mreži i za definiranu priključnu snagu.



Slika 8. Elektroenergetska suglasnost [9]

Pravo na priključnu snagu nije prenosivo na drugo priključno mjesto jer je za tu snagu na tom mjestu izgrađen priključak čije se konačno izvedeno stanje konstatira u EES.

Podnošenje zahtjeva za EES vrši se tek nakon završetka izgradnje elektrane i priključka. U pojednostavljenom postupku EES je ujedno i suglasnost na glavni projekt elektrane koji je obavezni prilog zahtjevu za EES [10].

Uz EES korisniku mreže dostavlja se i Ugovor o korištenju NN distribucijske mreže. Sklapanje Ugovora o korištenju mreže preduvjet je za pokusni rad elektrane s mrežom.

Složeniji postupak osim zahtjeva za EES zahtijeva i: Eleborat utjecaja elektrane na mrežu, Eleborat podešenja zaštite elektrane te Plan i program ispitivanja primjerenog paralelnog rada elektrane s mrežom.

EES sadrži:

- podatke o elektrani (tip elektrane, način izgradnje elektrane, podatke o izmjenjivaču i njegovoj opremljenosti, stečenost statusa povlaštenog proizvođača električne energije, predvidljivu godišnju proizvodnju i vlastitu proizvodnju električne energije te planirano vrijeme neraspoloživosti elektrane),
- tehničko energetske uvjete (prikjučna snaga, mjesto priključenja elektrane na mrežu, opis izvedbe priključka, nadležnost upravljanja uređaja za odvajanje, opis uređaja za osiguranje paralelnog rada elektrane s mrežom i za sinkronizaciju, način rada elektrane, mjerni uređaji na obračunskom mjernom mjestu, dopušteni povratni utjecaj pogona elektrane na mrežu, omjer snage KS na mjestu priključenja i priključne snage elektrane),
- ostale uvjete.

Temeljem EES korisnik mreže ne može ostvariti trajni priključak na mrežu. Uspješno okončanim pokusnim radom i dostavom konačnog izvješća o provedenim ispitivanjima u pokusnom radu potvrđuje se spremnost elektrane za primjereni paralelni pogon s mrežom. Preduvjet za trajni paralelni pogon s mrežom je pozitivna suglasnost HEP-ODS-a, Konačno izvješće te izdavanje Dozvole za trajni pogon. EES prestaje važiti s danom raskida Ugovora o korištenju mreže ili u slučaju da je korisnik mreže isključen s mreže dulje od tri godine [9].

4.2.4. Ugovor o korištenju mreže

Ugovorom o korištenju mreže HEP-ODS i korisnik mreže uređuju međusobne odnose vezano uz korištenje distribucijske mreže i javne usluge opskrbe električnom energijom temeljem izdane EES. Također, Ugovorom se uređuju međusobni odnosi o uvjetima korištenja mreže za predaju/preuzimanje proizvedene električne energije u mrežu/iz mreže, pružanju mjernih usluga, plaćanju naknade za korištenje mreže, kao i obvezama pružanja

javne usluge opskrbe električnom energijom za vrijeme kada korisnik mreže nema ugovorenu opskrbu s drugim dobavljačem.

Ugovor o korištenju mreže uređuje i pitanje pogona mreže, što se kod elektrana većih snaga čini zasebnim Ugovorom o vođenju pogona.

Ugovor o korištenju mreže sadrži mjesto predaje i preuzimanja električne energije te mjesto odvajanja. Korisnik mreže predaje proizvedenu električnu energiju na istom mjestu gdje iz mreže preuzima električnu energiju za vlastite potrebe. Mjesto odvajanja označava mjesto razgraničenja nadležnosti vođenja pogona korisnika mreže i HEP-ODS-a.

Ugovor mora zadovoljiti određene preduvjete za korištenje mreže poput dostave izvješća o provedenim funkcionalnim ispitivanjima i dokazima o ispravnosti funkcija zaštite elektrane te njenoj uskađenosti sa zaštitama u mreži, kao i dostavu dokaza ispravnosti funkcija vođenja pogona elektrane te dokaza o udovoljavanju uvjeta dopuštenog povratnog djelovanja na mrežu i kvaliteti predane električne energije u mrežu.

Kako bi se zadovoljili uvjeti korištenja mreže, korisnik mreže nema pravo omogućiti drugoj osobi priključenje na elektranu i korištenje električne energije preko svog OMM, dužan je periodički održavati elektranu, nema pravo na mjestu preuzimanja i predaje električne energije koristiti snagu veću od odobrene u EES te je odgovoran za sve posljedice štetnog utjecaja elektrane na mrežu i ostale korisnike mreže, a koji su posljedica izvanrednog i poremećenog pogona elektrane. HEP-ODS nije odgovoran za štetne posljedice na elektrani nastale uključenjem uređaja za odvajanje. Također nije dopušten otočni pogon elektrane s dijelom distribucijske mreže.

HEP-ODS osigurava korisniku mreže standardnu mjernu uslugu za OMM predaje i OMM preuzimanja električne energije, što uključuje prikupljanje obračunskih i drugih mjernih podataka te njihovu provjeru i potvrdu valjanosti, pohranjivanje mjernih podataka i upravljanje mjernim podacima, čuvanje dokumentacije OMM predaje i preuzimanja, povremenu provjeru ispravnosti mjerenja te dostavu obračunskih i drugih mjernih podataka korisniku mreže s OMM predaje i preuzimanja.

Korisnik mreže kao kupac električne energije za vlastite potrebe dužan je plaćati HEP-ODS-u naknadu za korištenje mreže prema definiranim intervalima očitavanja brojila, rokovima dostave računa korisniku, kao i dospjeću računa. Odredbe ugovora o javnoj usluzi opskrbe

električnom energijom primjenjuju se za vrijeme dok korisnik mreže koristi javnu uslugu opskrbe električnom energijom putem HEP-ODS-a.

U slučaju nepostojanja važećeg ugovora o otkupu, HEP-ODS je oslobođen plaćanja naknade za preuzetu električnu energiju. Kako se takvo što ne bi dogodilo, važno je definirati obveze HEP-a i korisnika mreže u slučaju planiranih radova na mreži, odnosno postrojenju elektrane te slučajevima privremenog uskraćivanja mogućnosti korištenja mreže. Također je važno imenovati ovlaštene osobe za vođenje pogona mreže i elektrane te međusobno komuniciranje i izvješćivanje, kao i osigurati tajnost podataka o mjernim podacima i elektrani. Korisnik mreže odgovoran je za svaku štetu nastalu u elektrani, na mreži ili kod drugih korisnika mreže nastalu kao posljedica pokusnog rada elektrane. Korištenje mreže u pokusnom radu ograničenog je trajanja i dopušteno samo uz prethodno usuglašeni plan i program ispitivanja. Ugovor o korištenju mreže primjenjuje se od dana početnog očitavanja brojila i sklapa se na neodređeno vrijeme [9].

4.2.5. Dozvola za trajni rad

Temeljem Konačnog izvješća voditelja ispitivanja u pokusnom radu elektrane, HEP-ODS izdaje Dozvolu za trajni pogon elektrane s distribucijskom mrežom. Ona predstavlja suglasnost HEP-ODS-a na Konačno izvješće o provedenim ispitivanjima, a definira datume mjerodavne za očitavanje OMM koji su nužni za otkup električne energije. Ovim dokumentom elektrana stječe pravo na trajni paralelni pogon s distribucijskom mrežom pod uvjetima definiranim u izdanoj EES i sklopljenim ugovorima [9].

TELEFON : - -
TELEFAKS : - -

HEBROJČNIK

VAŠEBROJČNIK

naslov: Dozvola za trajni pogon elektrane
s distribucijskom mrežom

DATUM

Temeljem Konačnog izvješća o ispitivanju paralelnog pogona elektrane unudžbiranog pod brojem _____ kojim je jednoznačno iskazana spremnost elektrane za primjereni paralelni pogon s mrežom, a prema točki 5.3.5.3. Mrežnih pravila elektroenergetskog sustava (NN 36/06 i 14/2008) i članku 7. stavak 4. Pravilnika o stjecanju statusa povlaštenog proizvođača električne energije (NN 88/2012), HEP-Operator distribucijskog sustava d.o.o. _____ (u daljnjem tekstu: HEP-ODS), izdaje

**DOZVOLU br. _____
za trajni pogon elektrane s distribucijskom mrežom**

za elektranu (naziv) _____
(vrsta) _____ priključne snage _____ kW korisnika mreže
_____ na lokaciji (adresa) _____
_____ k.č. br. _____ k.o. _____

Preko obračunskog mjernog mjesta (OMM) proizvođača mjeri se električna energija isporučena u mrežu.

OMM broj	Datum
Početak pokusnog rada	
Početak trajnog pogona	

Danom izdavanja ove dozvole elektrana stječe pravo na trajni pogon s distribucijskom mrežom pod uvjetima definiranim u izdanoj elektroenergetskoj suglasnosti (EES) i sklopljenim ugovorima: Ugovoru o korištenju niskonaponske distribucijske mreže, Ugovoru o vođenju pogona i Ugovoru o otkupu.

Direktor

- Dostaviti:
1. Poslužnom timu za elektrane
 2. Timu za elektrane
 3. Pismovano

ČLAN HEP GRUPE

- UPRAVA DRUŠTVA - DIREKTORICA - LJUSJANA ČUJE -

Slika 9. Dozvola za trajni pogon elektrane s distribucijskom mrežom [9]

4.3. Položaj malih sunčanih elektrana u graditeljskom zakonodavstvu i regulacijskom okviru

Stjecanje prava na izgradnju malih sunčanih elektrana dobiva se na temelju Zakona o prostornom uređenju i gradnji (NN 76/07, 38/09, 55/11, 90/11, 50/12) te Pravilnika o jednostavnim građevinama i radovima (NN 21/09, 57/10, 126/10, 48/11, 81/12).

Zakon o prostornom uređenju i gradnji u postupku vezanom uz građenje mSE zahtijeva lokacijsku dozvolu, građevinsku dozvolu, odnosno potvrdu glavnog projekta, kao i uporabnu dozvolu. Postupak dobivanja poticaja jednako je složen kao i za ostale tipove elektrana.

Male sunčane elektane se prema zakonu mogu graditi na zgradama koje su u procesu gradnje ili se tek planiraju graditi te kao samostojeći objekti.

Člankom 2. Pravilnika o jednostavnim građevinama i radovima definirano je da se bez akta kojim se odobrava građenje i lokacijske dozvole, a u skladu s glavnim projektom ili tipskim projektom za kojeg je doneseno rješenje na temelju članka 196. Zakona o prostornom uređenju i gradnji, može graditi pomoćna građevina. Ta se pomoćna građevina mora graditi na građevnoj čestici postojeće zgrade za potrebe zgrade i to kao sustav sunčanih kolektora, odnosno fotonaponskih modula u svrhu proizvodnje toplinske ili električne energije.

Člankom 3. već spomenutog pravilnika regulirano je da se radovi koji obuhvaćaju postavljanje sunčanih kolektora, odnosno fotonaponskih modula u svrhu proizvodnje toplinske ili električne energije mogu izvoditi na postojećoj zgradi. Postojeća zgrada termin je koji se odnosi na legalno sagrađenu zgradu ili legaliziranu prema odgovarajućim zakonima.

Pojednostavljena procedura u postupku izgradnje mES obuhvaća: Zakon o dopunama zakona o tržištu električne energije (NN 59/12), Tarifni sustav za proizvodnju električne energije iz obnovljivih izvora energije i kogeneracije (NN 63/12, 121/12), Pravilnik o jednostavnim građevinama (NN 81/12), Pravilnik o stjecanju statusa povlaštenog proizvođača (NN 88/12) te Pravilnik o korištenju obnovljivih izvora OIEK (NN 88/12).

Sunčana elektrana na postojećoj zgradi, odnosno integrirana elektrana je jednostavna građevina koja nema ograničenja priključne snage elektrane. Jedini sudionici u postupku priključenja su HEP-ODS i HROTE. Također, za jednostavne građevine nema upravnog postupka jer nisu uključeni stručnjaci iz nadležnih upravnih tijela poput područja prostornog uređenja i gradnje, a projektna dokumentacija dostavlja se samo HEP-ODS-u koji postaje jedini filter, odnosno zamjenjuje čitavi upravni postupak.

Odgovornost u procjeni smije li se elektrana graditi prema jednostavnoj proceduri ima ovlaštenu projektant (prema čl. 8. st. 2. Pravilnika o stjecanju statusa povlaštenog proizvođača električne energije) koji mora u idejnom projektu priložiti izjavu da je postrojenje za proizvodnju električne energije jednostavna građevina prema propisima o prostornom uređenju i gradnji. Izjava se smatra utemeljenom ako joj je priložen dokaz o legalnosti postojeće građevine na koju se elektrana postavlja. Ovlaštenu projektant može biti ovlaštenu arhitekt i ovlaštenu inženjer (građevinarstva, strojarstva i elektrotehnike).

U teoriji, kontrolu izjave vrše djelatnici HEP-ODS-a koji bi trebali samo provjeriti elemente projektne dokumentacije vezane uz priključak elektrane na mrežu te utvrditi sve potrebne elemente idejnog projekta, uključujući i izjavu. Međutim, djelatnici HEP-ODS-a nerijetko zaprimaju loše izjave s ciljem zaobilaženja Zakona o prostornom uređenju i gradnji i dobivanja većih poticaja, zbog čega nastaju problemi.

Gradnja mSE kvalitetno je regulirana postojećim zakonskim okvirom uz pretpostavku profesionalne odgovornosti voditelja projekta i ovlaštenih projektanata. Kako bi se spriječilo neodgovorno ponašanje ovlaštenih projektanata, potrebno je ograničiti priključnu snagu mSE koja se može graditi bez upravnog postupka ishoda izvan dozvole za gradnju te doraditi predmetne akte kako bi se spriječila pojava integriranih mSE izvan građevinskog područja.

Novim poticajnim propisima sunčane elektrane kao jednostavne građevine čitav postupak do priključenja i stjecanja statusa povlaštenih proizvođača vode s HEP-ODS-om. Za uspješnu suradnju nužno je uvažavanje te profesionalnost i ozbiljnost u poslu, kako komore ovlaštenih projektanata, tako i HEP-ODS-a [11].

5. TEHNIČKI OPIS PROMATRANE ELEKTRANE

5.1. Općenito

Sunčana elektrana izgrađena je u Konjščini, na k.č. 2220, 2221, 2222, 2223, 2224, 2225, 2226, 2227, 2228 k.o. Konjščina.



Slika 10. Položaj elektrane Konjščina [12]

Elektrana ima instaliranu snagu 1MW (994 kW).

Osnovni elementi elektrane su fotonaponski paneli posloženi u 14 linija. Svaka linija ima tri reda panela složenih vertikalno (portrait), dok je duljina linije varijabilna i slijedi konfiguraciju čestica. Sveukupno se sunčana elektrana sastoji od 3900 komada fotonaponskih panela. Svaki panel ima vršnu snagu 270 Wp, što daje ukupnu instaliranu snagu panela od

1.053.000 Wp. Također, elektrana ima 59 pretvarača istosmjernog u izmjenični napon, tzv. invertera ukupne snage 994 kW.

Stringovi fotonaponskih panela direktno se spajaju na invertere. Inverteri imaju u sebi ugrađenu nadstrujnu zaštitu za stringove zbog čega nije potrebno koristiti dodatne DC ormari ni prenaponsku zaštitu na DC strani jer je i ona integrirana u samom inverteru. Svaki inverter ima 2 MPPT ulaza (ulaz A i ulaz B). U slučaju spajanja više od 2 stringa, na ulaz B mora se spojiti 1 string. Na svaki od invertera koji se montiraju na nosače pričvršćene na nosivi stup podkonstrukcije panela raspoređeni su paneli čija snaga mora biti unutar dozvoljenih granica u pogledu snage i ulaznog napona.

U tabeli 2. prikazane su osnovne karakteristike invertera.

Tabela 2. Osnovne karakteristike invertera

Proizvođač	Tip pretvarača	Ulazna snaga (W)	Izlazna snaga (kW)	Broj stringova (ulaz A)	Broj stringova (ulaz B)
SMA	Sunny Tripower 17000 TL	17410	17	5	1
SMA	Sunny Tripower 15000 TL	15340	15	5	1
SMA	Sunny Tripower 12000 TL	12250	12	4	1

Zbog optimiziranja samog sustava, na invertere 17000TL spojena su po 4 stringa, a na invertere 15000TL, 12000TL, te iznimno 17000TL, spojena su po 3 stringa. Na ulaz A svakog invetera spojeni su strigovi s jednakim brojem panela, dok su na ulaz B pojedinih invertera spojeni strigovi s manjim ili jednakim brojem panela jer linije parcela nisu pravocrtne već zakošene.

Temeljni energetska blok iz kojeg je izgrađena elektrana čine tri pretvarača od 17 kW koji zajedno daju snagu bloka od 51 kW. Prednost takve kombinacije je u tome što prvi pretvarač kontrolira samo gornji red panela, drugi pretvarač kontrolira samo srednji red

panela, dok treći pretvarač kontrolira donji red panela. Time su znatno smanjeni gubici od zasjenjenja jer smanjena produktivnost donjih panela uslijed zasjenjenja ne utječe na srednje i gornje panele.

Paneli su montirani na metalnu tipsku konstrukciju, postavljeni pod kutom od 30 stupnjeva i okrenuti prema jugu. Razmak između linija panela je 3,30 m. Takvim malim razmakom između grupa panela dobiva se zasjenjenje panela u zimskim mjesecima, čime su povećani gubici, no oni su prihvatljivi s obzirom na manju osunčanost u tom razdoblju. Fotonaponski paneli opremljeni su premosnom diodom kako u trenutku zasjenjenja ne bi došlo do pregrijavanja dijela panela, a time i do njihovog oštećenja.

Za potrebe spajanja invertera na transformatorsku stanicu predviđeni su samostojeći spojni ormari (SSO). Izlazi nekoliko invertera spajaju se preko osigurača na zajedničku sabirnicu u SSO-u, koja je pak spojena na odlazni kabel prema transformatorskoj stanici. Na taj način smanjuju se troškovi kabliranja jer se na svaki SSO spaja više invertera. U SSO ormare ugrađuju se osigurači i prenaponska zaštita na AC strani.

Električna energija elektrane proizvodi se u fotonaponskim ćelijama. Upadom sunčevog zračenja na dva sloja poluvodičkog materijala generira se elektromotorna sila koja uzrokuje protok električne struje, tzv. fotonaponski efekt. Fotonaponske ćelije su pouzdane i dugog vijeka trajanja (preko 25 godina). U tijeku rada ne proizvode buku niti imaju usputnih štetnih produkata kojima bi se eventualno onečišćivala atmosfera ili tlo. Ćelije nemaju pokretnih dijelova, zahtijevaju minimalno održavanje, izgrađene su od materijala koji se poslije gotovo u potpunosti mogu reciklirati te imaju učinkovitost pretvaranja solarne u električnu energiju cca. 19%.

Izvodi svake grupe panela spajaju se na DC/AC inverter koji iz istosmjerne proizvodi izmjeničnu struju valnog oblika i iznosa koji odgovara uvjetima iz mrežnih pravila za priključenje na javnu elektroenergetsku mrežu. Inverter ujedno osigurava iskapčanje u slučaju pojave kvara, kao i sinkronizaciju na mrežu prilikom spajanja.

Cjelokupni prostor sunčane elektrane zaštićen je ogradom, a na sjevernoj strani nalaze se klizna vrata. Također, prostor je pod video nadzorom i uključuje kamere koje su predviđene vanjskoj ugradnji s mogućnošću noćnog snimanja i aktiviranja na pokret. Sustav za upravljanje video nadzorom smješten je u kontejner u blizini transformatorske stanice iz koje je izveden jedan strujni izlaz prema kontejneru. Time je osigurano napajanje za webbox

uređaj kojim se sustav pretvarača spaja na Internet, ventilator, snimač video zapisa i video kamere [12].

5.2. Elektroenergetske instalacije

5.2.1. Polaganje panela

Paneli se polažu na metalnu konstrukciju koja se sastoji od tipskih, industrijski proizvedenih elemenata s pripadajućim atestima. Podkonstrukcija se sastoji od nosivih stupova koji su donjim krajem ubetonirani u temelj i utisnuti u zemlju, držača horizontalnih nosača, horizontalnih nosača, vertikalnih nosača i držača panela. Svi spomenuti elementi su zaštićeni od korozije.

Podkonstrukcija omogućava postavljanje panela pod željenim kutom od 30 stupnjeva. Paneli se postavljaju tako da je donji rub panela na visini od 0,5 m od zemlje, a kosina 3 reda panela iznosi 4,99 m, odnosno tlocrtno projicirano na zemlju iznosi 4,32 m.

Paneli se polažu u 14 linija. Svaka linija ima 3 reda panela posloženih uspravno, a dužina je varijabilna i slijedi oblik parcele uvažavajući razmak od međe od 5 m [12].

5.2.2. Razvod kablova

Za razvod kablova po panelima koriste se pripremljene spojne kutije na svakom panelu s postojećim izvodima i pripremljenim tipskim konektorima. Krajnji izvodi svake grupe postavljaju se po utoru nosivih profila i pričvršćuju vezicama te dijelom postavljaju u metalni kabelski kanal. Koristi se kabel tipa PV1-F 6mm² koji je prilagođen vanjskoj montaži i otporan na atmosferske utjecaje. Kablovi svake grupe spajaju se direktno na pripadni pretvarač. Izlaz invertera spaja se na osigurače u pripadnom SSO ormaru i preko njih na sabirnicu koja je spojena na odlazni kabel prema budućoj transformatorskoj stanici.

Kablovi se polažu u nekoliko segmenata:

- od panela do panela: vezivanjem za dijelove podkonstrukcije,
- od krajnjih panela do pretvarača: vezivanjem za dijelove podkonstrukcije + prelazak između 2 linije panela podzemno u DWP cijevi fi 50 ili više,
- od pretvarača do SSO-a: podzemno u DWP cijevi fi 110 ili više + PK kanali montirani na podkonstrukciji + direktnim polaganjem u zemlju,
- od SSO-a do trafostanice: podzemno u DWP cijevi fi 110 ili više + direktnim polaganjem u zemlju,
- od trafostanice do susretnog postrojenja: direktnim polaganjem u zemlju [12].

5.2.3. Razvodni samostojeći ormari SSO

Razvodni samostojeći spojni ormari SSO izvode se u obliku UV stabilnog PVC samostojećeg ormara. Dolazni kablovi iz pretvarača i odlazni kablovi prema transformatorskoj stanici ulaze s donje strane. Ormar ima vrata s bravom i ključem te se montira što više u središte pretvarača koji su na njega vezani. U ormar se ugrađuje zaštitna sklopka na diferencijanu struju tip A ispod osigurača i prekidača.

Ormari SSO potrebno je opskrbiti oznakama o priključenom naponu i sistemu zaštite od indirektnog dodira te ostalim zakonom propisanim oznakama. Također, potrebno ih je opremiti elementima upravljanja i zaštite prema jednopolnoj shemi. Svaki strujni krug

potrebno je označiti da se osigura trajnost i uočljivost oznake. Svaki kabel mora imati oznaku iz koje je vidljivo na koju se opremu spaja, tip kabla, broj žila i presjek. Također, obavezno je označivanje smjera toka energije na izmjeničnoj strani, kao i staviti u ormare jednopolnu shemu na način da se svaki list stavi u najlonski omot. Ispred ormara potrebno je osigurati manipulativni prostor od minimalno 0,8 m. Iskapčanje priključka na mrežu obavlja se ručno [12].



Slika 11. Razvodni samostojeći ormar [12]

5.2.4. Srednjenaponsko postrojenje i srednjenaponski vodovi

Razvodni samostojeći spojni ormari SSO spajaju se na niskonaponski (NN) sklopni blok smješten u prostoru transformatorske stanice. Niskonaponski sklopni blok čine priključni dio za prihvat kabela, osiguračke pruge i sabirnice s kojih se prelazi kabelom ili spojnim sabirnicama na niskonaponski dio transformatora.

U trafostanicu je ugrađen prespojivi trofazni uljni transformator snage 1000 kVA, tip 8EuTBN-24x, prijenosnog omjera 10(20)/0,42 kV, spoj Dyn5, uk = 4%, ručne regulacije napona na primaru $\pm 2 \times 2,5\%$, opremljen kontaktnim termometrom. Transformator mora biti preklopivi 10(20) kV, a njime se naponski nivo podiže s 0,4 kV na 10 kV i sa svoje srednjenaponske strane se transformator veže kabelom na srednjenaponski sklopni blok.

Iz srednjenaponskog bloka se dalje srednjenaponskim kabelom elektrana veže na dislocirano susretno postrojenje u kojem se vrši sklapanje i mjerenje predane energije. Niskonaponski i srednjenaponski sklopni blok sadrži opremu koja omogućuje zaštitu transformatora i zaštitu kabela od preopterećenja te omogućuje funkciju daljinskog isklopa i ponovnog uklopa sunčane elektrane i/ili njezinih parcijalnih dijelova od strane korisnika elektrane.

Objekt je kompaktna montažna trafostanica od armirano betonskih elemenata, predviđena za ugradnju transformatora do 1000 kVA. Sastoji se iz jedne prostorije s dijelom za energetske transformator i dijelom za opremu SN i NN, s posebnim ulaznim vratima. Tlocrtna veličina objekta je 418x214 cm. Vrata i žaluzine su od eloksiranog aluminija. S unutarnje strane je glatki bijeli beton, a fasada je prani kulir. Krov je od vodonepropusnog betona premazan reflektirajućim premazom za hidroizolaciju. Temelj je nepropusna armirano betonska kada. Sva armatura unutar elemenata međusobno je spojena varenjem. Za vezu objekta na vanjsko uzemljenje i međusobnu vezu kućišta i temelja na predviđenom mjestu ugrađena je FeZn traka spojena na armaturu. Svaka vrata otvaraju se iznutra prema van bez ključa, pritiskom na kvaku. Ventilacija transformatorske stanice osigurana je prirodnom cirkulacijom zraka kroz otvore dimenzionirane za transformator 1000 kVA. Ugrađuje se na mjestu lokacije na priređenu temeljnu ploču. Dio temelja kade je pregrađen, predviđen za prihvatanje eventualno iscurjelog ulja. Prostor ispod SN i NN postrojenja služi za polaganje SN i NN kabela. Ulaz kabela izvodi se vodonepropusno kroz otvore pripremljene u zidu kade [12].

5.2.5. Tehničke karakteristike fotonaponskih panela

U sunčanoj elektrani korišteni su fotonaponski paneli tipa PANDA60YL270C-30b od 270 Wp proizvođača Yingli Solar. Tehničke karakteristike panela prikazane su u nastavku:

- maksimalna snaga [W]: 270
- maksimalno odstupanje [W]: 0/+5
- struja kratkog spoja ISC [A]: 9,06
- napon praznog hoda U_{OC} [V]: 39,0
- napon kod maksimalnog opterećenja U_{MPP} [V]: 31,1

- struja kod maksimalnog opterećenja IMPP [A]: 8,68
- maksimalni napon sistema [V]: 1000
- temperaturni koeficijent ISC [%/°C]: 0,04
- koeficijent performansa PMPP [%/°C]: -0,42
- koeficijent performansa U0C [%/°C]: -0,31
- ćelije: 60 kristalnih ćelija 156x156 mm Si monokristal
- staklo: 3,2 mm debelo kaljeno staklo
- dimenzije VxŠxD [mm] 1650x990x40
- masa [kg] 19,1
- certifikat CE.

5.2.6. Tehničke karakteristike DC/AC invertera

U sunčanoj elektrani korišteni su inverteri SMA SUNNY TRIPOWER koji služe za pretvaranje istosmjerne struje proizvedene u fotonaponskim panelima u izmjeničnu struju napona 400V/230V i frekvencije 50 Hz. Pored toga imaju ugrađene zaštitne funkcije na ulazu i izlazu, kao i funkciju za automatsku sinkronizaciju na mrežni napon. Osnovne tehničke karakteristike invertera su:

1) Tip DC/AC invertera – SMA SUNNY TRIPOWER 17000TL

Ulaz (DC):

- maksimalna ulazna snaga (uz $\cos \varphi=1$): 17410 W
- maksimalni ulazni (DC) napon: 1000 V
- napon kod maksimalnog opterećenja: 150 - 800 V
- maksimalna ulazna struja (ulaz A / ulaz B): 33 A / 11 A

- maksimalna struja po stringu kod kratkog spoja ulaz A: 40 A / ulaz B: 12,5 A
- broj neovisnih ulaznih stezaljki na ulazu ulaz A: 5/1 / ulaz B: 1/1

Izlaz (AC):

- izlazna snaga (230V, 50 Hz): 17000 W
- nominalni napon: 3 / N / PE / 400 / 230 V
- područje podešavanja nominalnog napona
- područje podešavanja frekvencije
- namještena frekvencija: 50 Hz
- maksimalna izlazna struja: 24,6 A
- mogućnost podešavanja $\cos \varphi$
- broj faznih vodiča: 3

Efikasnost:

- maksimalna efikasnost: 98,2 %
- euro faktor iskorištenja: 97,8 %

Opći podaci:

- dimenzije š x v x d: 665x690x265 mm
- težina: 59 kg
- radna temperatura: -25 do +60 °C
- samopotrošnja u noćnom radu <1 W
- stupanj zaštite IP 65

2) Tip DC/AC invertera – SMA SUNNY TRIPOWER 15000TL

Ulaz (DC):

- maksimalna ulazna snaga (uz $\cos \varphi=1$): 15340 W
- maksimalni ulazni (DC) napon: 1000 V
- napon kod maksimalnog opterećenja: 150 - 800 V
- maksimalna ulazna struja (ulaz A / ulaz B): 33 A / 11 A
- maksimalna struja po stringu kod kratkog spoja ulaz A: 40 A / ulaz B: 12,5 A
- broj neovisnih ulaznih stezaljki na ulazu ulaz A: 5/1 / ulaz B: 1/1

Izlaz (AC):

- izlazna snaga (230V, 50 Hz): 15000 W
- nominalni napon: 3 / N / PE / 400 / 230 V
- područje podešavanja nominalnog napona
- područje podešavanja frekvencije
- namještena frekvencija: 50 Hz
- maksimalna izlazna struja: 24 A
- mogućnost podešavanja $\cos \varphi$
- broj faznih vodiča: 3

Efikasnost:

- maksimalna efikasnost: 98,2 %
- euro faktor iskorištenja: 97,8 %

Opći podaci:

- dimenzije š x v x d: 665x690x265 mm
- težina: 59 kg
- radna temperatura: -25 do +60 °C
- samopotrošnja u noćnom radu <1 W
- stupanj zaštite IP 65

3) Tip DC/AC invertera – SMA SUNNY TRIPOWER 12000TL

Ulaz (DC):

- maksimalna ulazna snaga (uz $\cos \varphi=1$): 12250 W
- maksimalni ulazni (DC) napon: 1000 V
- napon kod maksimalnog opterećenja: 150 - 800 V
- maksimalna ulazna struja (ulaz A / ulaz B): 22 A / 11 A
- maksimalna struja po stringu kod kratkog spoja ulaz A: 33 A / ulaz B: 12,5 A
- broj neovisnih ulaznih stezaljki na ulazu ulaz A: 4/1 / ulaz B: 1/1
-

Izlaz (AC):

- izlazna snaga (230V, 50 Hz): 12000 W
- nominalni napon: 3 / N / PE / 400 / 230 V
- područje podešavanja nominalnog napona
- područje podešavanja frekvencije
- namještena frekvencija: 50 Hz

- maksimalna izlazna struja: 19,2 A
- mogućnost podešavanja $\cos \varphi$
- broj faznih vodiča: 3

Efikasnost:

- maksimalna efikasnost: 98,1 %
- euro faktor iskorištenja: 97,7 %

Opći podaci:

- dimenzije š x v x d: 665x690x265 mm
- težina: 59 kg
- radna temperatura: -25 do +60 °C
- samopotrošnja u noćnom radu <1 W
- stupanj zaštite IP 65

Pretvarač je opremljen nadstrujnom zaštitom stringova, sustavom za praćenje rada mreže, uređajem za automatsku sinkronizaciju na mrežu, sustavom za praćenje valnog oblika napona mreže, zaštitinim uređajima prenapona i podnapona, zaštitinim uređajima prevelike i premale frekvencije, zaštitom od injektirane istosmjerne struje u mrežu, uređajem za automatsko iskopčenje s mreže u slučaju nedozvoljenog pogona, uređajem za automatsko uključenje na mrežu i uređajem za zaštitu kod pogrešnog polariteta. Svi pretvarači međusobno su povezani komunikacijskim kablom te je moguća daljinska dijagnostika i upravljanje svim dijelovima elektrane [12].

5.2.7. Održavanje

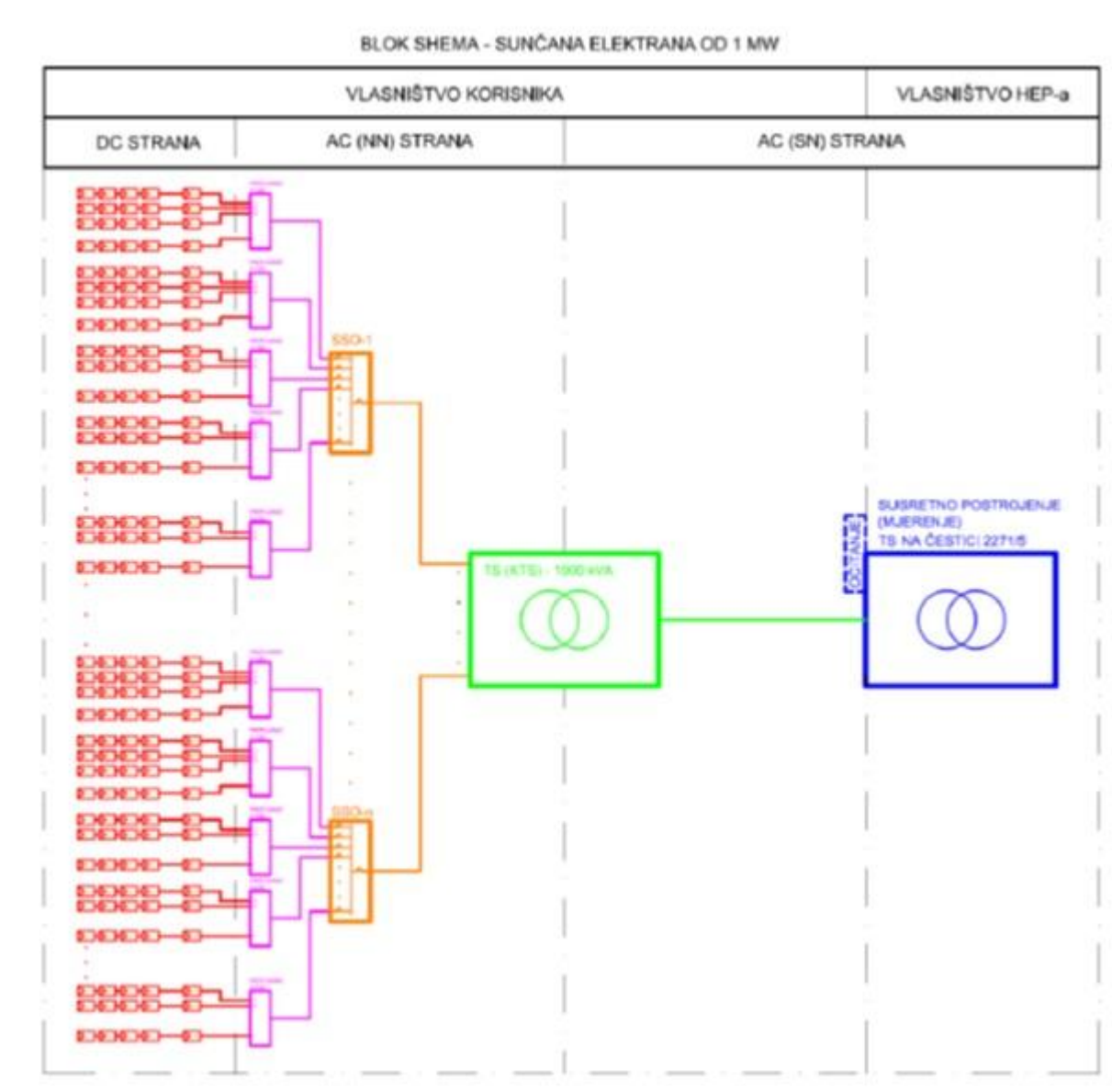
Oprema sunčane elektrane vrhunske je kvalitete i tehnologije te zbog toga zahtijeva minimalno održavanje. Održavanje treba izvoditi prema uputama i preporukama proizvođača opreme i zahtjevima tehničkih propisa i normi u pogledu zaštite na radu. Proizvođač opreme u svojim uputama propisuje periodičnost i opseg pregleda, servisiranja, ispitivanja i kontrolnih mjerenja.

Osnovne radnje održavanja su: vizualni pregled panela, čišćenje filtera na ventilatorima invertera i ormara, povremeno čišćenje fotonaponskih panela, pritezanje spojeva te pregled i obnavljanje oznaka.

Uporabni vijek osnovne opreme i uređaja je 25 godina uz redovite preglede, ispitivanja te zamjenu potrošnih i oštećenih dijelova instalacije. Održavanje se izvodi prema uputama proizvođača, a izvodi ih stručna osoba ovlaštena za održavanje elektroenergetskih objekata. Preporučljivo je izvršiti osiguranje predmetne instalacije od rizika udara munje, mehaničkog oštećenja tučom ili vandalizmom, krađe te gubitaka u proizvodnji nastalih kvarom na instalaciji [12].

5.3. Priključak na elektroenergetsku mrežu

Elektrane snage do 10000 kW priključuju se na SN sabirnice u transformatorskoj stanici, s tim da je obračunsko mjerno mjesto u transformatorskoj stanici. Izbor transformatorske stanice, kao i sabirnica ovisi o nazivnoj snazi elektrane. Za priključak svake elektrane na srednjenaponsku ili visokonaponsku mrežu radi se elaborat optimalnog tehničkog rješenja priključenja prema članku 26. Pravilnika o naknadi za priključenje na elektroenergetsku mrežu i za povećanje priključne snage [12].

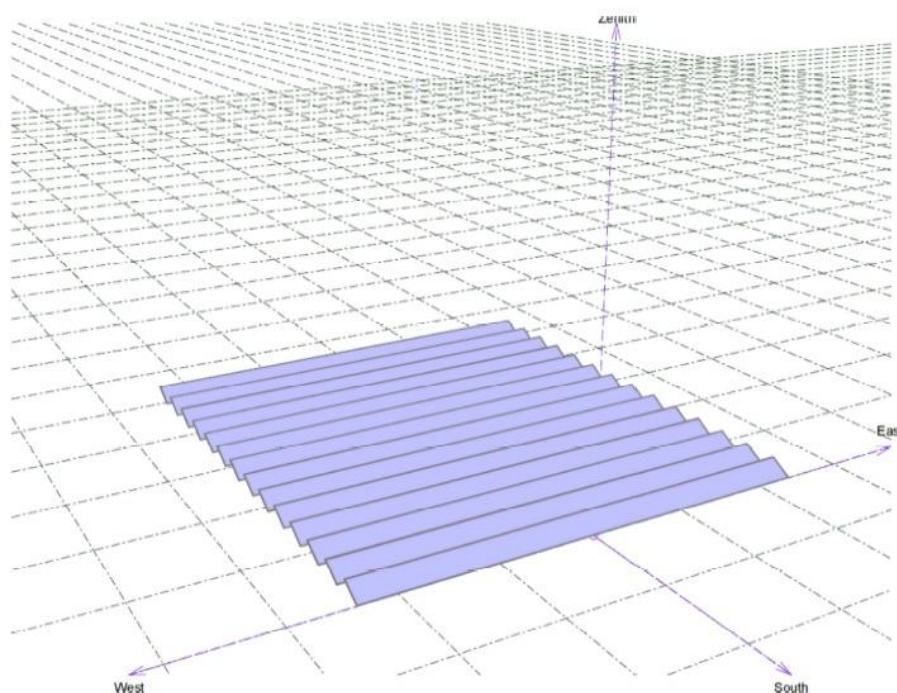


Slika 12. Blok shema spajanja elektrane na elektroenergetsku mrežu [12]

5.4. Procjena proizvodnje električne energije

5.4.1. Utjecaj zasjenjenja

3D-modeliranjem situacije u simulacijskom softveru određena je optimalna dispozicija nosive konstrukcije, odnosno fotonaponskih modula na zadanoj površini s obzirom na planiranu ukupnu snagu elektrane i položaj elektrane. Malim razmakom između grupa panela (3,30 m) dobiva se zasjenjenje u zimskim mjesecima, u postunosti prihvatljivo budući da je u tom razdoblju manja osunčanost [12].



Slika 13. 3D model utjecaja zasjenjenja [12]

5.4.2. Procjena proizvodnje

Procjena proizvodnje električne energije provedena je WEB računalnim programom Photovoltaic Geographical Information System (JRC European Commission) koji uzima u obzir statističke podatke sunčanih dana na području ugradnje sunčane elektrane te uz pomoć specijalističkog programskog alata PVSYST V5.62 vrši proračun.

Dobiveni podaci mogu odstupati od realne proizvodnje na što mogu utjecati vremenske prilike. Sunčana elektrana projektirana je za instaliranu snagu od 1 MW. Geografski podaci za ugradnju elektrane su: 46.0° N i 16.2° E. Očekivana godišnja proizvodnja iznosi 1.217.028 kWh/god. Uzimajući u obzir efekte globalnog zatopljenja, realno je očekivati još veće vrijednosti proizvedene električne energije [12].

6. REZULTATI PROMATRANJA RADA ELEKTRANE

6.1. Klimatološki podaci

6.1.1. Srednja dnevna ozračenost vodoravne površine i srednja mjesečna temperatura zraka

U tabelama koje slijede prikazani su podaci o lokaciji promatrane elektrane te vrijednosti ozračenosti i temperature zraka po mjesecima [12].

Tabela 3. Podaci o lokaciji elektrane

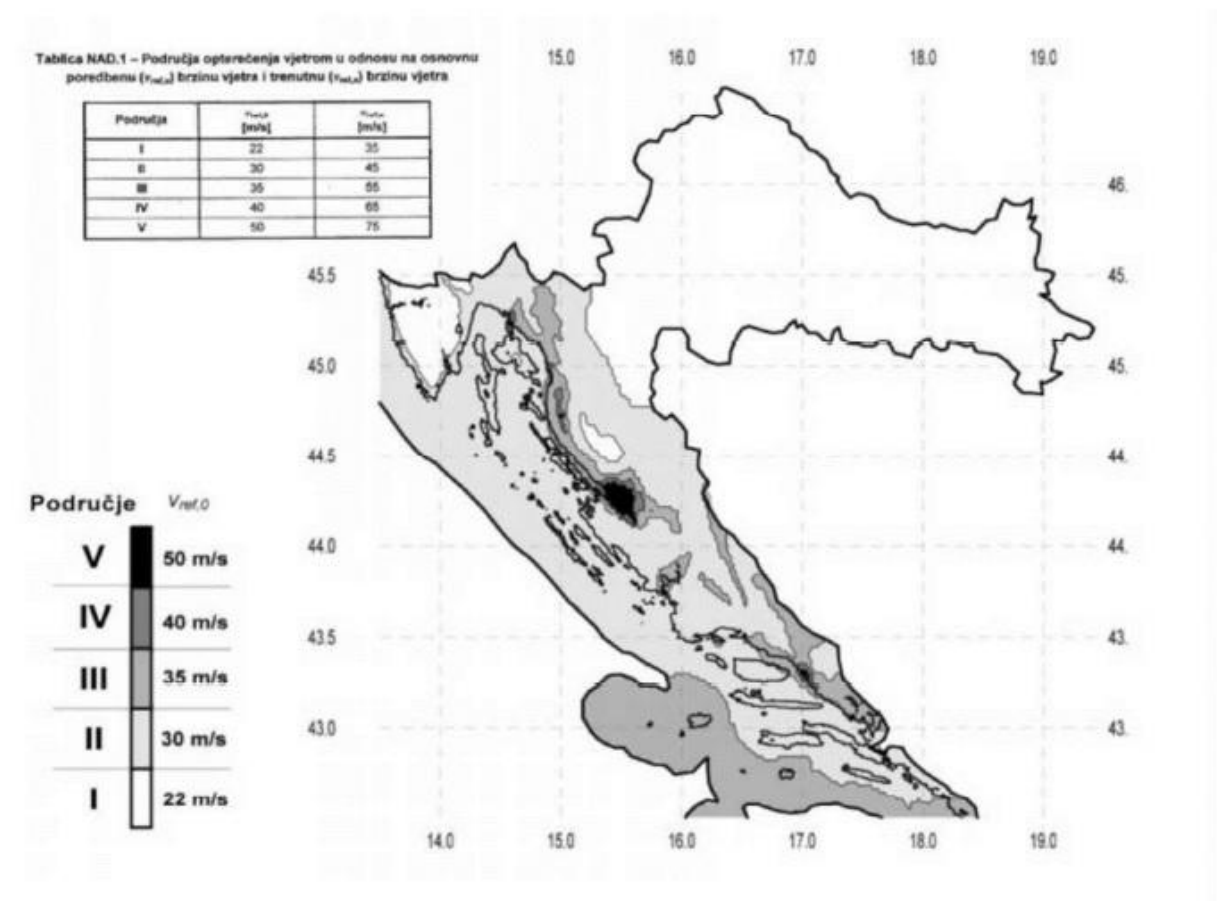
Lokacija	Konjščina
Zemljopisna širina [N]	46° 3'4''
Zemljopisna dužina [E]	16° 10'19''
Nadmorska visina [m]	162

Tabela 4. Vrijednosti ozračenosti i temperature zraka po mjesecima

Mjesec	Srednja mjesečna ozračenost vodoravne plohe [kWh/m ²]	Srednja mjesečna temperatura zraka [°C]
Siječanj	34,2	-0,1
Veljača	62,1	2,2
Ožujak	94,5	6,5
Travanj	134,4	11,2
Svibanj	171,9	16,1
Lipanj	183	19,6
Srpanj	182,1	21,0
Kolovoz	159	20,7
Rujan	112,8	16,1
Listopad	72	12,2
Studeni	39,3	6,2
Prosinac	29,04	0,8
Prosječno	106,2	11,04
I [MWh/m ²]	1,27	-

6.1.2. Zona opterećenja vjetrom

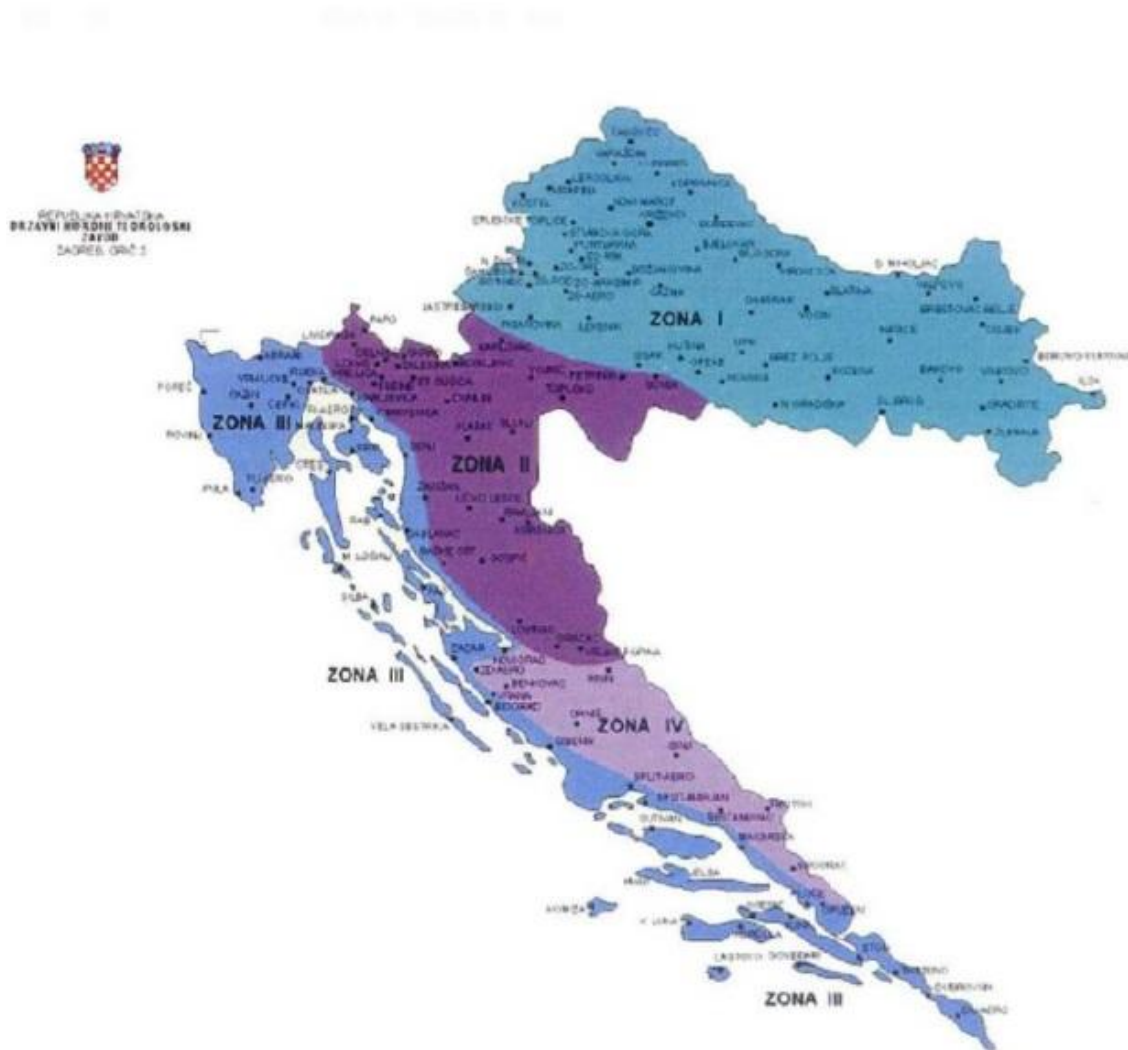
Područje na kojem je smještena elektrana nalazi se u sjeverozapadnom dijelu Hrvatske i odgovara ZONI I, odnosno području niskog opterećenja vjetrom. Upravo zbog navedenog nije bilo potrebe za specijalnim zahtjevima na statici nosive konstrukcije prilikom izgradnje [12].



Slika 14. Zona opterećenja vjetrom [12]

6.1.3. Zona karakterističnog opterećenja snijegom

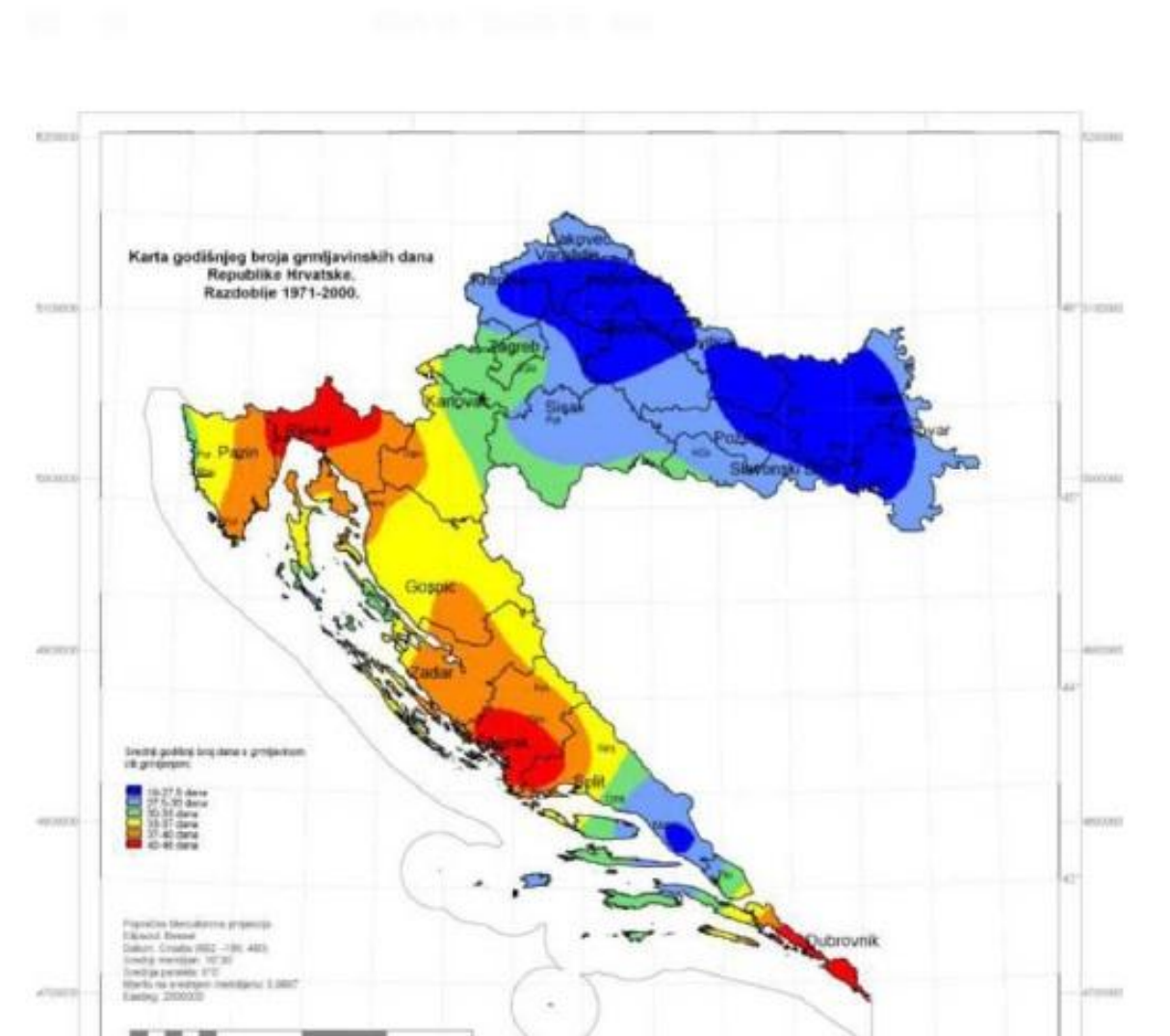
Položaj elektrane odgovara ZONI I, odnosno području srednjeg opterećenja snijegom [12].



Slika 15. Zona karakterističnog opterećenja snijegom [12]

6.1.4. Zona godišnjeg broja grmljavinskih dana

Položaj elektrane odgovara ZONI II, odnosno području nižeg broja grmljavinskih dana (27,5 – 30 dana/god) [12].



Slika 16. Zona godišnjeg broja grmljavinskih dana [12]

6.2. Iskustveni podaci o radu elektrane

Društvo Solida nekretnine d.o.o. bavi se proizvodnjom električne energije iz obnovljivih izvora, tj. iz sunčeve energije kao osnovnom djelatnošću.

Sunčana elektrana snage 1 MW puštena je u rad 2014. godine na području industrijske zone u Konjščini. Elektrana je izgrađena prema propisima struke, što podrazumijeva besprijekoran rad i ostvarivanje planiranih i zacrtanih rezultata. Elektrana u potpunosti ispunjava očekivanja vlasnika, a ostvarnim prihodima društvo podmiruje svoje obaveze, što je važno za daljnje poslovanje. Rad elektrane uvelike ovisi o vremenskim uvjetima, konkretno broju sunčanih dana u godini, kojih je sve više i pozitivno utječu na proizvodnju električne energije.

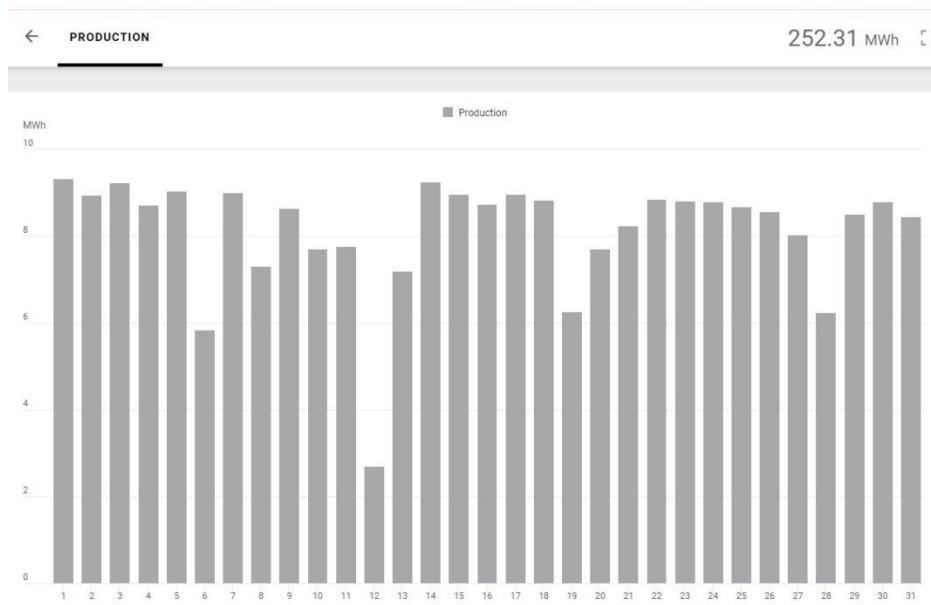
Elektrana do sada nije imala većih problema u radu. Ugrađena oprema je kvalitetna i ispunjava zahtjevne uvjete proizvodnje električne energije.

6.3. Usporedba rada sunčane elektrane u različitim uvjetima

Usporedba rada sunčane elektrane bit će napravljena na temelju podataka o proizvodnji električne energije u sunčanoj elektrani Konjščina iz 2017. godine. Podaci o proizvodnji električne energije bit će uspoređeni na temelju rada u različitim vremenskim uvjetima, kao i s dostupnim podacima s Državnog hidrometeorološkog zavoda (DHMZ) o oborinama i trajanju sisanja Sunca na mjesečnoj razini.

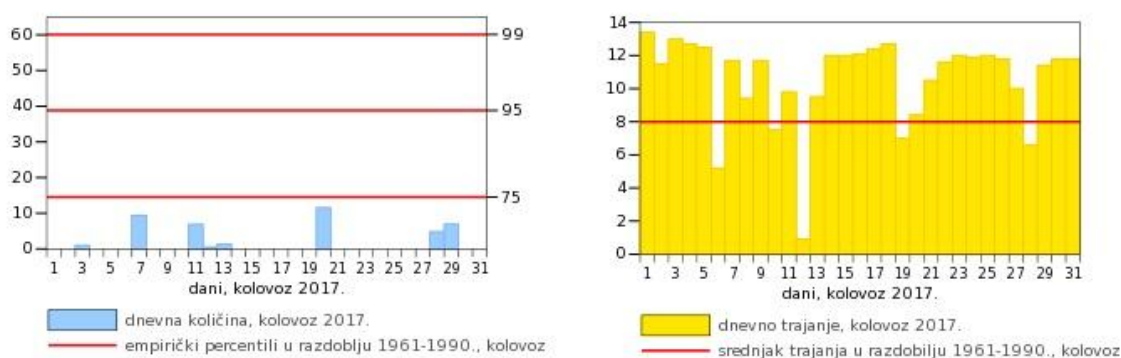
6.3.1. Najmanja i najveća proizvodnja

Očekivano, najveća proizvodnja električne energije u sunčanoj elektrani ostvarena je u najtoplijem mjesecu u godini. Riječ je o kolovozu kada je ukupno proizvedeno 252.31 MWh.



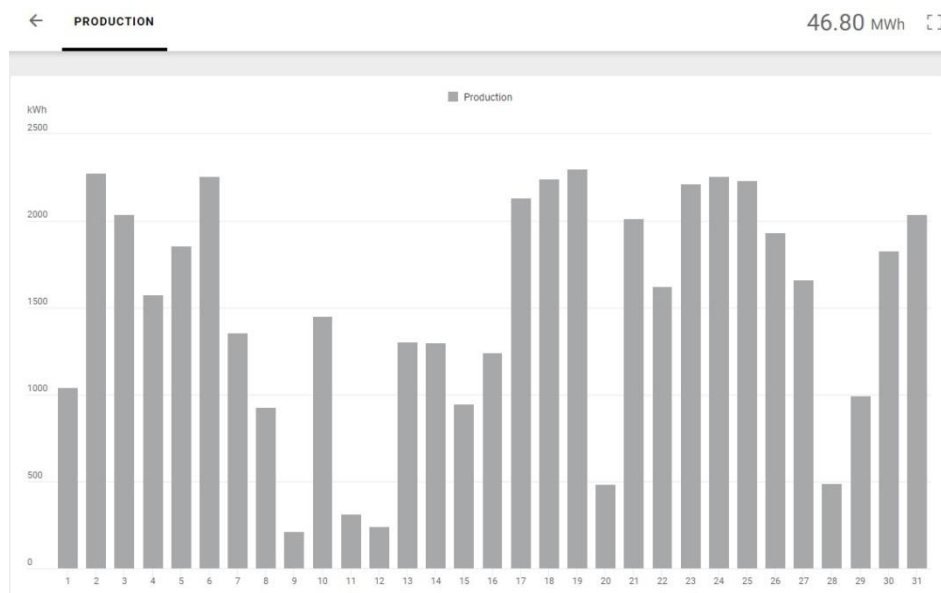
Slika 17. Najveća proizvodnja električne energije

Proizvodnja po danima u mjesecu kolovozu prilično je ujednačena. Odskače tek nekoliko dana kada je u odnosu na ostale ostvarena slabija proizvodnja (6.8., 12.8., 19.8. i 28.8.). Upravo tih dana zabilježeno je najmanje sunčanih sati i najviše oborima u mjesecu [13].



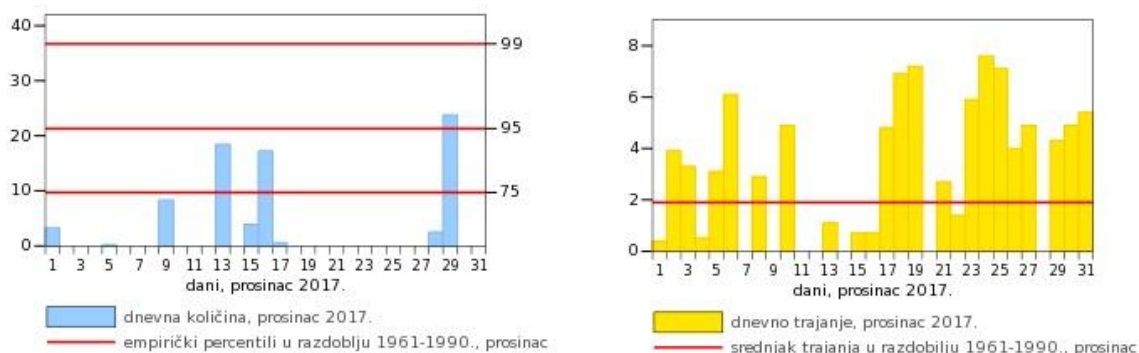
Slika 18. Količina oborina i trajanje sisanja Sunca u kolovozu 2017. [13]

Također očekivano, najmanja proizvodnja zabilježena je u prosincu kada je proizvedeno 46,80 MWh. Za razliku od kolovoza, u prosincu je dosta različita proizvodnja električne energije po danima, a kreće se između 200 i 2200 kWh.



Slika 19. Najmanja proizvodnja električne energije

Međutim, graf ukupne proizvedene energije poklapa se s grafom trajanja sisanja Sunca. Na dane s većim brojem sunčanih sati proizvodnja je veća u odnosu na dane s malo ili bez Sunca [13].



Slika 20. Količina oborina i trajanje sisanja Sunca u prosincu 2017. [13]

Dan s najvećom proizvodnjom bio je 1.7.2017. (10110,18 kWh), dok je dan s najmanjom proizvodnjom 9.2.2017. (153.62 kWh).

U nastavku slijedi tabela srednjih mjesečnih vrijednosti proizvedene električne energije i broja sunčanih sati:

Tabela 5. Srednje mjesečne vrijednosti proizvedene energije i broj sunčanih sati

MJESEC	PROIZVEDENA ENERGIJA [kWh]	BROJ SUNČANIH SATI [h]
Siječanj	1246,21	2,307
Veljača	3055,79	3,214
Ožujak	5882,38	4,419
Travanj	6197,37	6,117
Svibanj	7377,32	9,209
Lipanj	8063,324	8,533
Srpanj	8418,43	11,051
Kolovoz	8139,011	10,532
Rujan	4378,326	4,016
Listopad	4745,81	6,048
Studeni	1745,482	2,383
Prosinac	1509,83	3,145

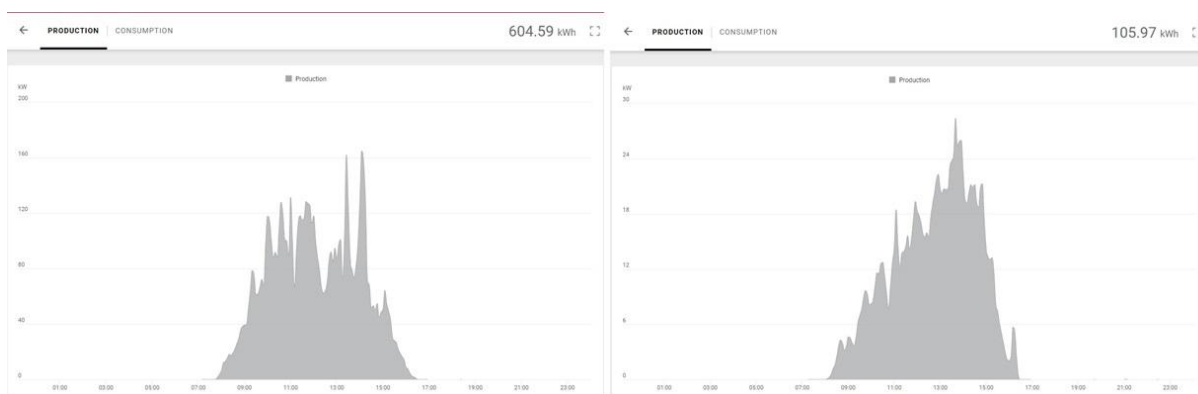
Na temelju srednjih mjesečnih vrijednosti može se izvesti zaključak kako je u mjesecima s većim brojem sunčanih sati proizvedeno više električne energije.

Unatoč navedenoj činjenici i dobivenim podacima iz elektrane kako je mjesec s najvećom proizvodnjom kolovoz, a prosinac onaj s najmanjom proizvodnjom, računanjem srednjih vrijednosti dobiveni su podaci koji ne odgovaraju navedenom. Prema srednjim vrijednostima mjesec s najmanjom proizvodnjom, a ujedno i s najmanje sunčanih sati je siječanj, dok je srpanj mjesec s najvećom ostvarenom proizvodnjom i najvećim brojem sunčanih sati.

6.3.2. *Proizvodnja praćena dva uzastopna dana*

Rad elektrane praćen dva uzastopna dana pokazuje veliku oscilaciju u proizvodnji električne energije. Budući da je zadani mjesec sijećanj, isto se je moglo i očekivati s obzirom na manji i vrlo razlićit broj sunćanih sati.

Promatrani dani su 14. i 15. sijećanj 2018. Veća proizvodnja elektrićne energije ostvarena je 14.1. i iznosila je 604,59 kWh, dok je 15.1. proizvedeno 105,97 kWh. Oba dana najveća proizvodnja elektrićne energije zabiljećena je oko 15h.



Slika 21. Prikaz proizvodnje elektrićne energije za dva uzastopna dana

6.3.3. *Proizvodnja praćena po godišnjim dobima*

Proizvodnja praćena po godišnjim dobima pokazuje oćekivane rezultate. Najviše elektrićne energije proizvodi se ljeti kada je najveći broj sunćanih sati. Sukladno tome, najmanja proizvodnja ostvaruje se zimi kada je najmanje sunćanih sati. S većim brojem sunćanih sati u proljeće poćinje porast proizvodnje te ona ne zaostaje puno za ljetom, dok u jesen proizvodnja poćinje opadati i tek je neznatno veća od proizvodnje zimi.

Sljedeća tabela prikazuje vrijednosti ostvarene proizvodnje elektrićne energije prema godišnjim dobima.

Tabela 6. Vrijednosti ostvarene proizvodnje po godišnjim dobima

GODIŠNJA DOBA	OSTVARENA PROIZVODNJA [kWh]
Proljeće	659.699,96
Ljeto	675.724,46
Jesen	271.539,46
Zima	247.028,29

6.3.4. *Usporedba planirane i ostvarene proizvodnje*

Procjena proizvodnje elektrićne energije provedena je WEB računalnim programom Photovoltaic Geographical Information System (JRC European Commission) koji uzima u obzir statistićeke podatke sunćanih dana na području ugradnje sunćane elektrane te uz pomoć specijalistićkog programskog alata PVSYST V5.62.

Dobiveni podaci mogu odstupati od realne proizvodnje na što najvećim dijelom utjeću vremenske prilike. Sunćana elektrana projektirana je za instaliranu snagu od 1 MW, a oćekivana godišnja proizvodnja iznosi 1.217.028kWh/god.

Ostvarena proizvodnja 2017. godine iznosila je 1.853.986 kWh. Proizvodnja je veća od očekivane, a rezultati s vremenom postaju sve bolji zbog većeg broja sunčanih sati na području elektrane, kao i efekata globalnog zatopljenja [12].

Tabela u nastavku prikazuje osnovne parametre Sunčane elektrane Konjščina.

Tabela 7. Osnovni parametri Sunčane elektrane Konjščina

OPIS	
Lokacija	Konjščina
Vrsta sustava	Fiksna instalacija
Snaga FN polja	1.053,00 kWp
Snaga izmjenjivača	994 kW
REZULTATI SIMULACIJE	
Izvor podataka	PVGIS
Specifična godišnja proizvodnja	1.155,77 kWh/kWp
Ukupna godišnja proizvodnja	1.217.028 kWh

7. ZAKLJUČAK

Sunce kao najveći izvor energije na Zemlji i u solarnom sustavu može proizvesti dovoljno energije da zadovolji potrebe čovječanstva. Iskorištavanjem solarne energije pokriva se mali postotak energetske potrebe, unatoč velikom potencijalu.

Hrvatska ima izrazito povoljne uvjete za iskorištavanje solarne energije zahvaljujući geografskom položaju. Ne koristi ih ni približno dovoljno te zaostaje za područjem sjeverne i srednje Europe, iako postoji porast korištenja sunčave energije.

Fotonaponski sustavi omogućuju direktno i trenutačno pretvaranje sunčeve energije u električnu bez korištenja pogonskih goriva i emisije štetnih tvari. Problem predstavlja visoka početna cijena razvoja i instaliranja fotonaponskog sustava, kao i nestalna proizvodnja električne energije ovisna o kvaliteti sunčevog zračenja i tehničkim karakteristikama komponenti fotonaponskog sustava.

Izgradnja solarnih elektrana zahtijeva poštivanje određene zakonske regulative. Proces izgradnje trenutno je izrazito složen te bi se njegovim pojednostavljivanjem potaknula izgradnja većeg broja solarnih elektrana i veće iskorištavanje sunčeve energije. Unatoč zahtjevnom postupku instalacije, sunčana elektrana Konjščina zahvaljujući kvalitetnoj opremi i povoljnom položaju, kao i sve većem broju sunčanih sati ostvaruje proizvodnju veću od planirane te pokazuje veliku isplativost uz relativno niske cijene održavanja.

Temeljem svega navedenog, zaključujem da su solarne elektrane dugoročno isplativa investicija prvenstveno za vlasnika, a potom i cjelokupnu populaciju.

Potpis: Martin Komorski

Varaždin, 20.7.2018.

8. LITERATURA

- [1] http://www.izvorienergije.com/energija_sunca.html, dostupno 22.03.2018.
- [2] Z. Matić: Sunčevo zračenje na području Republike Hrvatske, Priručnik za energetske korištenje Sunčevog zračenja, Energetski institut Hrvoje požar, Zagreb, 2007.
- [3] Lj. Majdandžić: Fotonaponski sustavi, Priručnik, Srednja škola Oroslavje
- [4] <http://www.solvis.hr/hr/advice/suncevo-zracenje-na-podrucju-hrvatske/>, dostupno 10.04.2018.
- [5] Lj. Majdandžić: Solarni sustavi, Graphis d.o.o., Zagreb, 2010.
- [6] D. Srpak, D. Pajan: Utjecaj zasjenjenja i azimuta na proizvodnju solarne elektrane, Zbornik posavetovanja komunalna energetika 2016, Maribor: Fakulteta za elektrotehniko, računalništvo in informatiko, 2016.
- [7] https://zavod.pgz.hr/documents/mali_vjetroagregati_i_fotonaponski_moduli_na_otocima_u_pgz.pdf, dostupno 18.4.2018.
- [8] http://pvtrin.eu/assets/media/PDF/Publications/project_reports/common_failures_and_improper_practices/247.6_HR.pdf, dostupno 18.4.2018.
- [9] M. Cvitanović: Temeljni dokumenti koje izdaje HEP-ODS u pojednostavljenom postupku priključenja sunčanih elektrana na mrežu, Seminar “Male sunčane elektrane u novim zakonodavnim i regulacijskim uvjetima u Hrvatskoj”, Zagreb, 2012.
- [10] M. Čavlović: Pojednostavljeni postupak priključenja sunčane elektrane kao jednostavne građevine, Seminar “Male sunčane elektrane u novim zakonodavnim i regulacijskim uvjetima u Hrvatskoj”, Zagreb, 2012.
- [11] T. Poljak, Novi položaj mSE u graditeljskom zakonodavstvu i regulacijskom okviru, Seminar “Male sunčane elektrane u novim zakonodavnim i regulacijskim uvjetima u Hrvatskoj”, Zagreb, 2012

[12] Tesla d.o.o., Klenovnik: "SUNČANA ELEKTRANA KONJŠČINA VII" , Projekt broj: FN-KON-VII-IP, tehnički opis, Horvatsko, lipanj 2013.

[13] http://klima.hr/klima_arhiva.php, dostupno 09.06.2018.

POPIS SLIKA

Slika 1. Srednja godišnja ozračenost vodoravne plohe ukupnim sunčevim zračenjem [5]	5
Slika 2. Fotonaponski efekt [5]	7
Slika 3. Fotonaponski moduli.....	9
Slika 4. Fotonaponski sustav priključen na javnu mrežu preko kućne instalacije [5].....	11
Slika 5. Fotonaponski sustav izravno priključen na javnu energetska mežu [5].....	11
Slika 6. Zasjenjenje fotonaponskih modula stranim tijelom [7]	13
Slika 7. Prethodna elektroenergetska suglasnost [9]	18
Slika 8. Elektroenergetska suglasnost [9].....	22
Slika 9. Dozvola za trajni pogon elektrane s distribucijskom mrežom [9]	26
Slika 10. Položaj elektrane Konjščina [12]	29
Slika 11. Razvodni samostojeći ormar [12]	34
Slika 12. Blok shema spajanja elektrane na elektroenergetska mrežu [12]	42
Slika 13. 3D model utjecaja zasjenjenja [12]	43
Slika 14. Zona opterećenja vjetrom [12]	46
Slika 15. Zona karakterističnog opterećenja snijegom [12]	47
Slika 16. Zona godišnjeg broja grmljavinskih dana [12]	48
Slika 17. Najveća proizvodnja električne energije	50
Slika 18. Količina oborina i trajanje sisanja Sunca u kolovozu 2017. [13]	50
Slika 19. Najmanja proizvodnja električne energije.....	51
Slika 20. Količina oborina i trajanje sisanja Sunca u prosincu 2017. [13]	51
Slika 21. Prikaz proizvodnje električne energije za dva uzastopna dana	53

POPIS TABELA

Tabela 1. Potrebna površina za smještaj fotonaponskih modula	15
Tabela 2. Osnovne karakteristike invertera	30
Tabela 3. Podaci o lokaciji elektrane	45
Tabela 4. Vrijednosti ozračenosti i temperature zraka po mjesecima	45
Tabela 5. Srednje mjesečne vrijednosti proizvedene energije i broj sunčanih sati	52
Tabela 6. Vrijednosti ostvarene proizvodnje po godišnjim dobima	54
Tabela 7. Osnovni parametri Sunčane elektrane Konjščina	55



**IZJAVA O AUTORSTVU
I
SUGLASNOST ZA JAVNU OBJAVU**

Završni/diplomski rad isključivo je autorsko djelo studenta koji je isti izradio te student odgovara za istinitost, izvornost i ispravnost teksta rada. U radu se ne smiju koristiti dijelovi tuđih radova (knjiga, članaka, doktorskih disertacija, magistarskih radova, izvora s interneta, i drugih izvora) bez navođenja izvora i autora navedenih radova. Svi dijelovi tuđih radova moraju biti pravilno navedeni i citirani. Dijelovi tuđih radova koji nisu pravilno citirani, smatraju se plagijatom, odnosno nezakonitim prisvajanjem tuđeg znanstvenog ili stručnoga rada. Sukladno navedenom studenti su dužni potpisati izjavu o autorstvu rada.

Ja, MARTIN KOMORSKI (ime i prezime) pod punom moralnom, materijalnom i kaznenom odgovornošću, izjavljujem da sam isključivi autor/ica završnog/diplomskog (obrisati nepotrebno) rada pod naslovom OPIS I RAD FOTONAPONSKE ELEKTRANE OD 1MW (upisati naslov) te da u navedenom radu nisu na nedozvoljeni način (bez pravilnog citiranja) korišteni dijelovi tuđih radova.

Student/ica:
(upisati ime i prezime)

MARTIN KOMORSKI

(vlastoručni potpis)

Sukladno Zakonu o znanstvenoj djelatnosti i visokom obrazovanju završne/diplomske radove sveučilišta su dužna trajno objaviti na javnoj internetskoj bazi sveučilišne knjižnice u sastavu sveučilišta te kopirati u javnu internetsku bazu završnih/diplomskih radova Nacionalne i sveučilišne knjižnice. Završni radovi istovrsnih umjetničkih studija koji se realiziraju kroz umjetnička ostvarenja objavljuju se na odgovarajući način.

Ja, MARTIN KOMORSKI (ime i prezime) neopozivo izjavljujem da sam suglasan/na s javnom objavom završnog/diplomskog (obrisati nepotrebno) rada pod naslovom OPIS I RAD FOTONAPONSKE ELEKTRANE OD 1MW (upisati naslov) čiji sam autor/ica.

Student/ica:
(upisati ime i prezime)

MARTIN KOMORSKI

(vlastoručni potpis)