

Izgradnja fotonaponske elektrane za vlastitu potrošnju

Buljat, Tajana

Undergraduate thesis / Završni rad

2019

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **Istrian University of applied sciences / Istarsko veleučilište - Università Istriana di scienze applicate**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:212:004022>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-01-15**



Repository / Repozitorij:

[Digital repository of Istrian University of applied sciences](#)



image not found or type unknown



Istarsko veleučilište
Università Istriana
di scienze applicate

ZAVRŠNI RAD br.

IZGRADNJA FOTONAPONSKE ELEKTRANE ZA VLASTITU POTROŠNJU

Tajana Buljat

PULA, rujan 2019.

Sažetak

U cilju smanjenja korištenja energije iz konvencionalnih oblika znatna se sredstva ulažu u razvoj tehnologija proizvodnje energije iz obnovljivih izvora. Kako Sunce predstavlja neiscrpan izvor energije, sve se više ulaže u iskorištenje njegovih potencijala.

Fotonaponski sustavi pretvaraju svjetlost u električnu istosmjernu struju (DC) iskorištavanjem fotoelektričnog efekta. Dovođenjem Sunčevog svjetla na solarnu ćeliju, ona ga apsorbira te se fotonaponskim efektom na njenim krajevima pojavljuje elektromotorna sila te na taj način solarna ćelija postaje izvor električne energije.

Prema studijama koje su provedene postupak proizvodnje te sam vijek trajanja fotonaponskih ćelija puno manje onečišćuju okoliš od fosilnih goriva, čime se doprinosi ekološkoj osviještenosti.

Summary

In order to reduce the usage of energy from conventional forms, considerable resources are invested in the development of renewable energy technology. As the Sun represents an inexhaustible source of energy, it is increasingly invested in the exploitation of its potential.

Photovoltaic systems convert light into electric DC (DC) by taking advantage of photoelectric effect. By bringing solar light to the solar cell, it absorbs it and the photovoltaic effect at its ends generates an electromotive force, and in this way the solar cell becomes a source of electricity.

According to the studies conducted in the production process, the lifespan of photovoltaic cells is much less polluting the environment than fossil fuels, contributing to ecological awareness.

SADRŽAJ

1. UVOD.....	1
1.1. Opisi i definicija problema.....	1
1.2. Cilj i svrha rada.....	1
1.3. Hipoteza rada.....	1
1.4. Metode rada.....	2
1.5. Struktura rada.....	2
2. OBNOVLJIVI IZVORI ENERGIJE.....	3
2.1. Energija vode.....	4
2.2. Biomasa.....	5
2.3. Energija vjetra.....	6
2.4. Energija Sunčeva zračenja.....	6
3. FOTONAPONSKI SUSTAVI.....	9
4. FOTONAPONSKA ELEKTRANA ZA VLASTITU POTROŠNJU, JGL d.d.....	13
4.1. Dijelovi fotonaponske elektrane.....	15
4.2. Proračun isplativosti elektrane.....	21
4.3. Proračun vršnog opterećenja.....	21
4.4. Proračun opterećenja izmjenjivača po MPPT-u.....	22
4.5. Odabir kabela i proračun pada napona po stringu.....	22
4.6. Proračun struje opterećenja IB na izmjeničnoj strani.....	23
4.7. Proračun pada napona.....	23
4.8. Izračun ušteda električne energije.....	24
5. ZAKLJUČAK.....	29

LITERATURA

POPIS SLIKA

POPIS TABLICA

1. UVOD

1.1. Opis i definicija problema

U današnje vrijeme sve veće prenapučenosti planeta te ekološke osviještenosti potrebno je u sve većoj mjeri koristiti energiju koje nije štetna za okoliš te koja je dostupna odmah i u neograničenim količinama.

Direktna pretvorba energije Sunca u fotonaponskim elektranama u električnu energiju predstavlja jedan od najčišćih i ekonomski jedan od najisplativijih načina dobivanja električne energije. Kako fotonaponski sustavi obično zahtijevaju minimalno 30m² površine za 1 kW snage, u većini slučajeva moguće je graditi samo male fotonaponske elektrane.

1.2. Cilj i svrha rada

Cilj ovog rada je upoznati se sa principom rada fotonaponskih sustava te mogućnostima iskorištenja na taj način dobivene električne energije. Svrha rada je približiti i pojasniti te ukazati na važnost korištenja električne energije dobivene iz fotonaponskih sustava u cilju dodatnog povećanja ekološke osviještenosti i smanjenja korištenja energije iz fosilnih goriva.

1.3. Hipoteza rada

Hipoteza ovog rada je da su fotonaponski sustavi kao obnovljivi izvori energije bolje rješenje od neobnovljivih izvora za dobivanje energije zbog svoje neiscrpnosti, dostupnosti i potencijala bilo gdje na planeti.

1.4. Metode rada

U svrhu izrade ovog seminarskog rada koristit će se sljedeće metode:

- Metoda sinteze - postupak spajanja, povezivanja izdvojenih elemenata i procesa u jedinstvene cjeline
- Metoda deskripcije - postupak jednostavnog opisivanja činjenica i procesa te potvrđivanja njihovih odnosa i veza.
- Deduktivna metoda - na temelju općih postavki dolazi se do konkretnih pojedinačnih zaključaka ili se iz jedne ili više tvrdnji izvodi nova tvrdnja koja proizlazi iz prethodnih tvrdnji
- Metoda kompilacije – preuzimanje nekih dijelova tuđih opažanja i zaključaka
- Metoda komparacije.

1.5. Struktura rada

Završni rad pod nazivom "Izgradnja fotonaponske elektrane za vlastitu potrošnju" u svojoj strukturi obuhvaća 5 osnovnih dijelova, uključujući uvodno poglavlje i zaključak.

U uvodnom dijelu obradit će se problematika i predmet istraživanja, definirati ciljevi i svrha istraživanja prikazat će se metode koje će se koristiti prilikom izrade rada te predložiti sadržaj i struktura rada.

Drugo poglavlje rada posvećeno je opisu obnovljivih izvora energije s posebnim naglaskom na važnost korištenja energije Sunca. U poglavlju su opisani i osnovni principi iskorištavanja energije Sunca te prednosti i nedostaci.

Treće poglavlje ovoga rada donosi detaljan opis dobivanja električne energije pomoću fotonaponske ćelije. U poglavlju su opisane i vrste fotonaponskih ćelija, nadomjesni model te podjela fotonaponskih sustava s obzirom na mogućnost priključenja na mrežu.

U četvrtom poglavlju opisana je izgradnja male fotonaponske elektrane u vlasništvu JGL d.d., detaljno obrazloženi razlozi njezine izgradnje te navedene uštede energije.

Na kraju završnog rada nalazi se popis korištene literature.

2. OBNOVLJIVI IZVORI ENERGIJE

Kao što sama riječ kaže obnovljive izvore energije nije moguće iscrpiti ali je moguće iscrpiti njihove potencijale, dio njih je moguće transportirati dok ostatak se mora iskoristiti u trenutku njihove pojave.¹

Napretkom tehnologije i društva organiziraju se programi u svrhu što boljeg iskorištavanja obnovljivih izvora energije za dobivanje električne energije te što bolje iskoristivosti njihovih otpadnih produkata u svrhu ponovljene obrade ili grijanja čime se povećava učinkovitost. Vrijednost dobivene energije obnovljivih izvora je znatno manja kada je se usporedi sa istim vrijednostima fosilnih goriva te im ta činjenica omogućava manje veličine elektrana i širu rasprostranjenost. Kao takvi, to su sustavi koji doprinose samoodrživosti elektroenergetskog sustava te su manje ovisni o primarnim energentima (trenutno smo više ovisni o isporukama ugljena, plina i nafte).

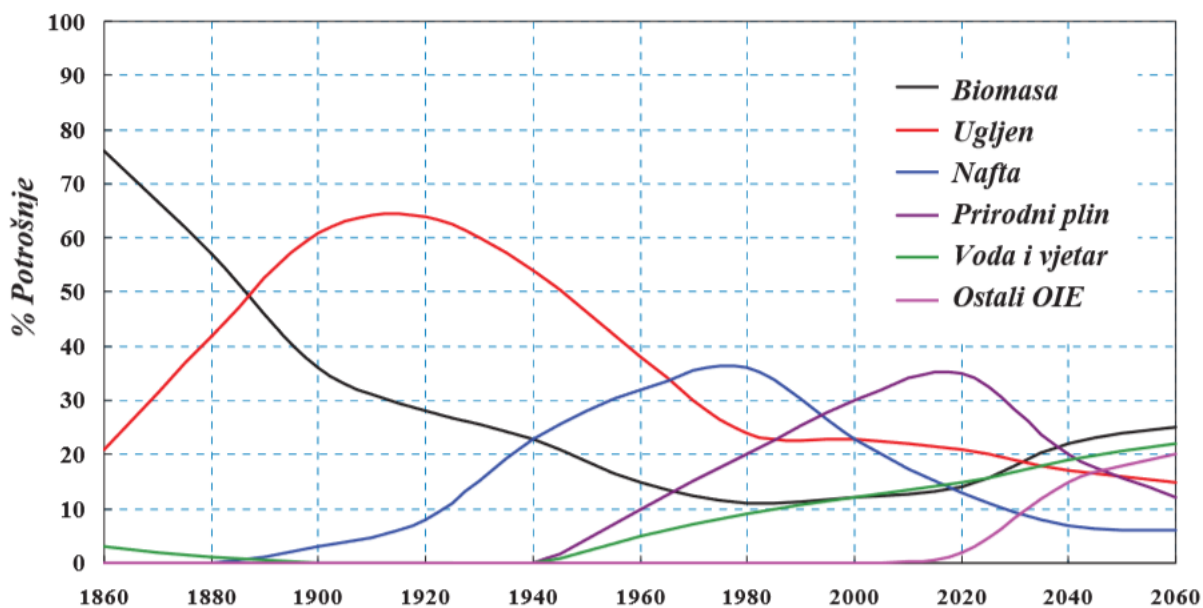
Mogućnost prirodnih oblika energije koji se obnavljaju s vremenom se mijenja, što znači da je snaga tih energetske izvora funkcija vremena i da nije konstantna. Te promjene mogu biti vrlo brze (snaga vjetrova ovisi o trećoj potenciji njegove brzine), brze (snaga plime i oseke razmjerna je koti morske razine, intezitet zračenja Sunca ovisi o dijelu dana i naoblaci), polagane (vodene su snage razmjerne količini vode koja protječe vodotokom) i vrlo polagane (toplina mora).

Zbog promjenjivosti snage takvim se prirodnim oblicima energije ne mogu zadovoljiti potrebe potrošača, jer se one najčešće ne poklapaju sa mogućnostima iskorištavanja, pa su potrebni drugi oblici energije da bi se uskladile potrebe i proizvodnja. Vrlo je važna spoznaja da se od prirodnih oblika energije koji se obnavljaju u svom prirodnom obliku, na veće udaljenosti mogu prevesti samo drvo, otpaci i biomasa.²

¹ Šimić Z.: **OBNOVLJIVI IZVORI ENERGIJE** (skripta), <http://oie.mingorp.hr/UserDocsImages/OIE%20Tekst.pdf>, str.5, (21.03.2019)

² Udovičić B.: **ELEKTROENERGETSKI SUSTAV**, Kigen d.o.o., Zagreb, 2005., str.33

Slika 1: Tri vala fosilnih godina i potreba za obnovljivim izvorima energije



Izvor: Šimić Z.: OBNOVLJIVI IZVORI ENERGIJE (skripta), <http://oie.mingorp.hr/UserDocImages/OIE%20Tekst.pdf>, str.2, (21.03.2019)

2.1. Energija vode

Voda je 800 puta gušća od zraka tako da već i mala njena strujanja mogu uzrokovati stvaranje energije. Ukupna snaga oborina procjenjuje se na 4.04×10^{10} W. Vrlo mali dio tog potencijala se može iskoristiti. Pretpostavlja se da se može iskoristiti samo 0.010-0.015%.

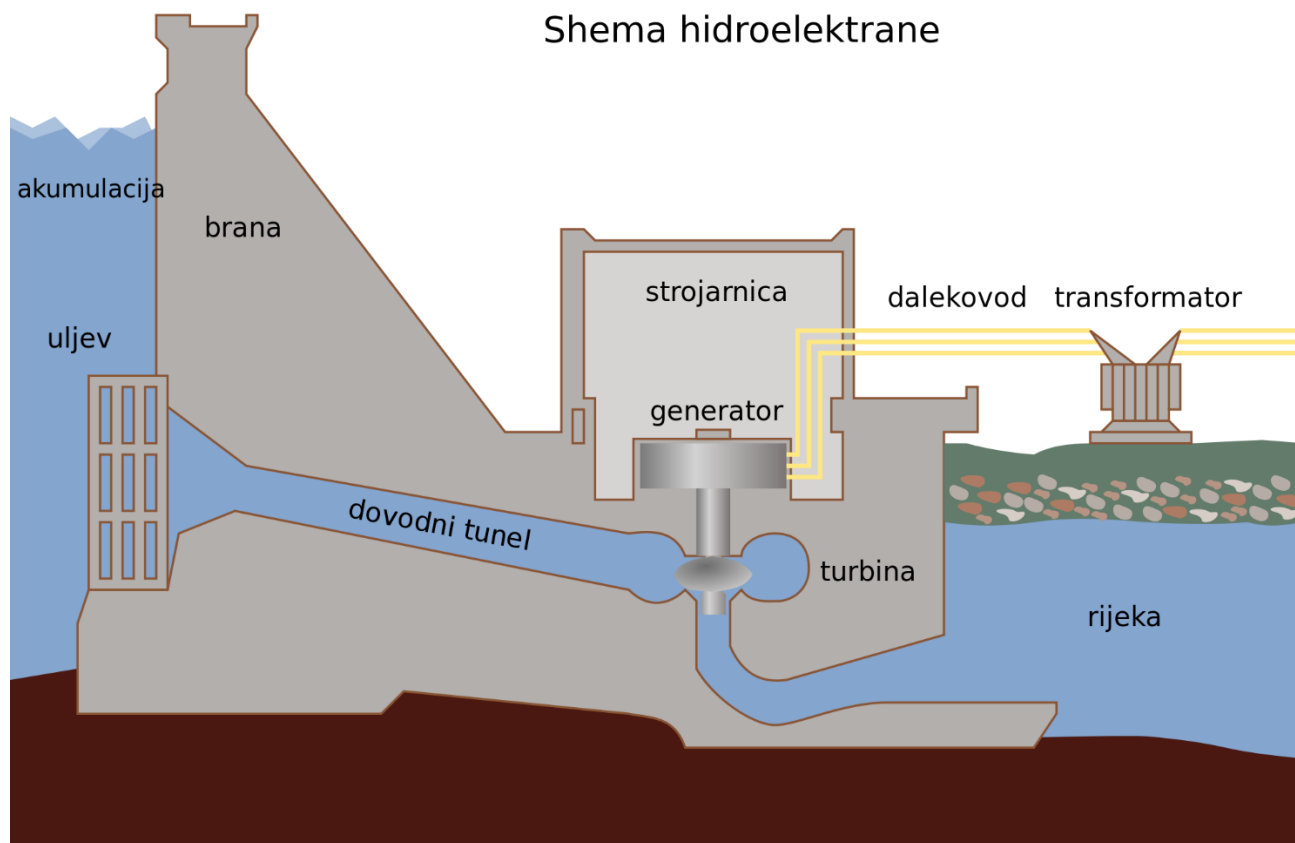
Najčešći princip rada hidroelektrana je da se voda nalazi na određenoj visini, spremljena iza brane te ima pad. Njezina gravitacijsko potencijalna energija pretvara se u kinetičku energiju koja tjera vodne turbine. Turbinom se kinetička energija pretvara u mehaničku energiju vrtnje. Rotirajuća osovina turbine goni generator koji proizvodi električnu energiju.³

Male hidroenergetske sustave čine instalacije kojima se dobije do 50MW izlazne snage, a česti su na malim rijekama ili onim manjima koje služe kao ispomoć većim. Kina je danas najveći proizvođač ove vrste energije sa više od 45000 malih hidroelektrana.

³ Udovičić B.: ELEKTROENERGETSKI SUSTAV, Kigen d.o.o., Zagreb, 2005., str.33-34

S druge strane, snaga valova te plime i oseke je drugi potencijal iz ove grupe koji još treba dodatno istražiti i usavršiti ali svakako pokazuje perspektivu.⁴

Slika 2: Shema hidroelektrane



Izvor: WIKIPEDIA, Hidroelektrana, ><https://hr.wikipedia.org/wiki/Hidroelektrana><, (28.05.2019)

2.2. Biomasa

Pod pojmom biomasa se podrazumijevaju biljni i životinjski proizvodi kao što su drvo i njegovi prerađeni oblici, razne biljne stabljike, poljoprivredni ostaci, životinjski izmet, komunalni i industrijski otpad. Svojom izgaranjem u mogućnosti je proizvesti vodenu paru koja

⁴ WIKIPEDIA, Renewable energy, >https://en.wikipedia.org/wiki/Renewable_energy<, (01.04.2019)

se može dalje koristiti za grijanje kućanstava ili pogonska para u industriji. Važno je naglasiti da upotreba biomase ne ubrzava proces klimatskih promjena.⁵

2.3. Energija vjetra

Energija vjetra je drugi najzastupljeniji obnovljivi izvor električne energije, odmah nakon energije vode. Vjetar predstavlja horizontalno gibanje velikih količina mješavine plinova (zraka) sa područja višeg tlaka ka području nižeg tlaka.

Zagrijavanjem se smanjuje njegova gustoća te se on izdiže u visinu i uzrokuje niski tlak zraka dok time hladniji, teži, zrak pada prema površini Zemlje te uzrokuje visoki tlak zraka.

Baš ta energija koja nastaje kao posljedica razlike tih tlakova je energija vjetra koja ovisno o lokaciji može biti različitog intenziteta.

Zadnjih par desetljeća se pojačano počelo ulagati u ove tehnologije u vidu vjetroelektrana iako je iskoristivost energije vjetra poznata od davnina.⁶

2.4. Energija Sunčeva zračenja

Sunce je nakupina goleme količine plinova. Jake gravitacijske sile velikim brzinama ubrzavaju te atome plinova prema Sunčevu središtu. Takva vrsta gibanja podiže unutrašnju temperaturu i tlak pri čemu trga elektrone iz atoma i miješa jezgre i elektrone u plazmu. U takvim okolnostima zbiva se termonuklearna fuzija vodika, a kao rezultat te fuzije oslobađa se velika količina energije, nastaje helij i dolazi do nestanka mase. Energija koja tako nastaje u središtu Sunca protuteža je unutrašnjim gravitacijskim silama. Ako se reakcija fuzije uspori, gravitacijske sile ponovno ubrzaju atome prema središtu, a nakon toga se povećaju reakcije fuzije te se ponovo uspostavi ravnoteža.

⁵ **OBNOVLJIVI IZVORI ENERGIJE** brošura, ><http://ekologija.ba/wp-content/uploads/2017/05/Obnovljivi-izvori-energije.pdf><, str.12, (01.04.2019)

⁶ Pandžić H., Rajšl I.: **OBNOVLJIVI IZVORI ENERGIJE** (priručnik), Diozit d.o.o. Slavonski brod, 2016., str.92.

Ta energije koja nastane fuzijom unutar Sunca prenosi se na površinu odakle se emitira u Svemir. Godišnja energije koja dođe do Zemlje (1.05×10^9 TWh) iznosi 70% od ukupne odaslane (1.5×10^9 TWh) dok se 30% reflektira u Svemir. Zaključno s tim brojkama vidimo da je godišnja energija Sunčeva zračenja veća od ukupnih zaliha ugljena i nafte.

Veći dio Sunčeve energije pretvara se posredno procesima nastajanja energije (fotosinteza, isparavanje, strujanje), a manji dio služi kao izravan izvor energije.⁷

U velikom je porastu iskoristivost ove vrste energije te se sve više i više ulaže u razvoj tehnologije koja bi iskorištavala Sunčevu energiju. Danas u tu tehnologiju ubrajamo fotonaponske sustave, solarne panele, koncentrirane solarne energije (CSP), solarne arhitekture i umjetne fotosinteze.

Solarne tehnologije možemo podijeliti na aktivne i pasivne solarne energije ovisno o načinu na koji hvataju, pretvaraju i distribuiraju solarnu energiju.

Aktivne solarne tehnologije obuhvaćaju solarnu toplinsku energiju, korištenje solarnih kolektora za grijanje, pretvarajući svjetlost u električnu energiju, izravno pomoću fotonaponskih (PV) ili neizravno korištenjem koncentrirane solarne energije (CSP).

Pasivne solarne tehnologije uključuju orijentiranje zgrade prema Suncu, odabir materijala s povoljnom toplinskom masom ili svojstvima raspršivanja svjetlosti te projektiranjem prostora kojim prirodno cirkulira zrak.⁸

Toplinsko koncentrirano Sunčevo zračenje može se koristiti direktno iskorištavanjem topline za peći u svrhu taljenja metala vrlo visoke čistoće ili pak zagrijavanje kotla te proizvodnju pare koja će pokretati turbinu i stvarati okretnu mehaničku energije koja će se generatorom pretvarati u električnu energije.

Najkorišteniji sustavi je fotonaponski. U početku je naišao na prepreku visoke cijene i malim stupnjem djelovanja jer po noći uopće nema proizvodnje energije dok je najveća svakog neoblačnog ljetnog podneva. Danas njegova upotreba rapidno raste jer su se cijene smanjile drastično te je time došla do izražaja njegova jednostavna primjena.

Nešto kompliciranija ali jeftinija od fotonaponske je kolektorska primjena Sunčeva zračenja u svrhu pripreme tople vode za zagrijavanje i sanitarne potrebe.

Period od 2000.-2010. pokazao je najbrži rast ukupnog korištenja Sunčeva zračenja u Europskoj Uniji, sa prosječnom godišnjom stopom rasta od oko 24%. Vodeće države sa

⁷ Udovičić B.: **ELEKTROENERGETSKI SUSTAV**, Kigen d.o.o., Zagreb, 2005., str.4

⁸ **WIKIPEDIA**, Renewable energy, >https://en.wikipedia.org/wiki/Renewable_energy<, (01.04.2019)

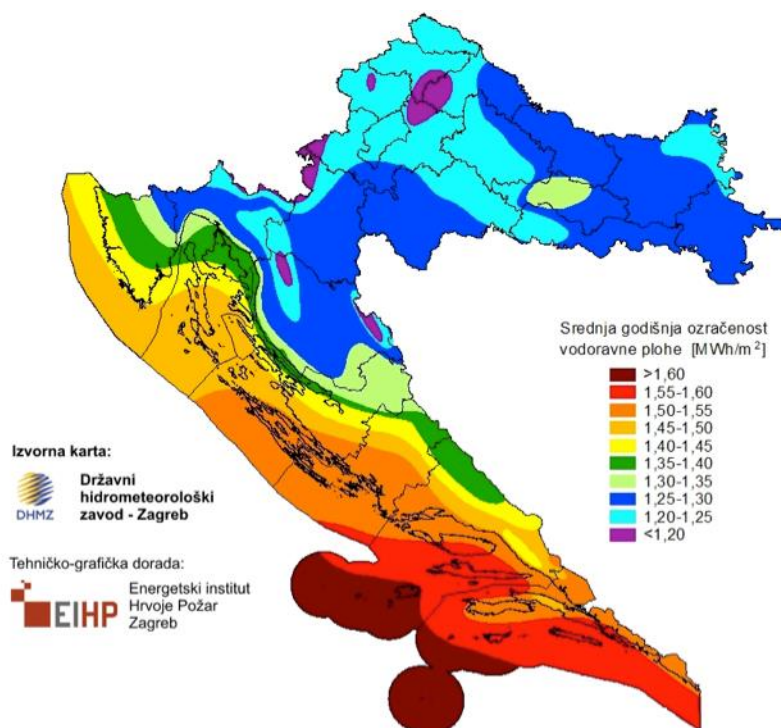
najbržim postotkom rasta iskorištavanja su Belgija sa 50,6% godišnje, slijedi ju Španjolska sa oko 42% godišnje, Italija 37,88% i Njemačka 28,86%.

Najveći udio u ukupnom pridobivanju Sunčeva zračenja ima Njemačka sa oko 40% u 2010. godini te Španjolska sa oko 28% te se u te dvije zemlje ostvaruje više od dvije trećine sveukupna pridobivanja energije Sunčeva zračenja u EU.

Korištenje Sunčevim zračenjem fotonaponskim putem uračunava se u energetske balance također konvencijom da je stupanj djelovanja fotoćelija 100% (što je jako daleko od istine), dakle 1kWh bruto proizvodnje odgovara 3,6 MJ dozračene Sunčeve energije.⁹

Snaga zračenja koje dopire do Zemljine površine, a mogla bi se iskorištavati, mijenja se tijekom dana i godine te ovisi i o položaju plohe na koju zračenje dopire. Potencijalna je energija zračenja maksimalna energija koja dopire do površine Zemlje kroz suhu i čistu atmosferu, a ovisi o zemljopisnoj širini i nadmorskoj visini. Ona postaje manja sa smanjenjem nadmorske visine i s povećanjem zemljopisne širine.¹⁰

Slika 3: Srednja godišnja ozračenost ravne plohe na području RH



Izvor: Com-eng d.o.o., > http://www.com-eng.hr/?page_id=461<, (28.05.2019)

⁹ Kalea M.: **OBNOVLJIVI IZVORI ENERGIJE**, Kiklos-Krug knjige d.o.o., Zagreb, 2014., str.64-65

¹⁰ Udovičić B.: **ELEKTROENERGETSKI SUSTAV**, Kigen d.o.o., Zagreb, 2005., str.44

3. FOTONAPONSKI SUSTAVI

Fotoelektrični efekt je emisija elektrona ili drugih slobodnih nosača kada svjetlost udari u materijal. Elektroni koji se emitiraju na ovaj način mogu se nazvati fotoelektronima.. Tijekom perioda od 1886.-1902. godine Hallwachs i Lenard detaljno su istraživali fenomen fotoelektrične emisije. Hallwachs je povezo cinkovu ploču s elektroskopom. Dopustio je da ultraljubičasto svjetlo padne na cinkovu ploču i primijetio da je cinkova ploča postala nenabijena ako je u početku negativno nabijena, pozitivno nabijena ako je u početku bila nenabijena, i pozitivnije nabijena ako je inicijalno pozitivno napunjena.

Iz tih opažanja zaključio je da su neke negativno nabijene čestice emitirane od strane cinkove ploče kada su bile izložene ultraljubičastom svjetlu. Nekoliko godina kasnije, Lenard je primijetio da, kada je dopušteno ultraljubičastom zračenju da padne na emiter ploču izolirane staklene cijevi koja obuhvaća dvije elektrode, struja teče u krugu. Čim se ultraljubičasto zračenje zaustavi, struja se također zaustavlja. Time je pokrenut koncept fotoelektrične emisije.¹¹

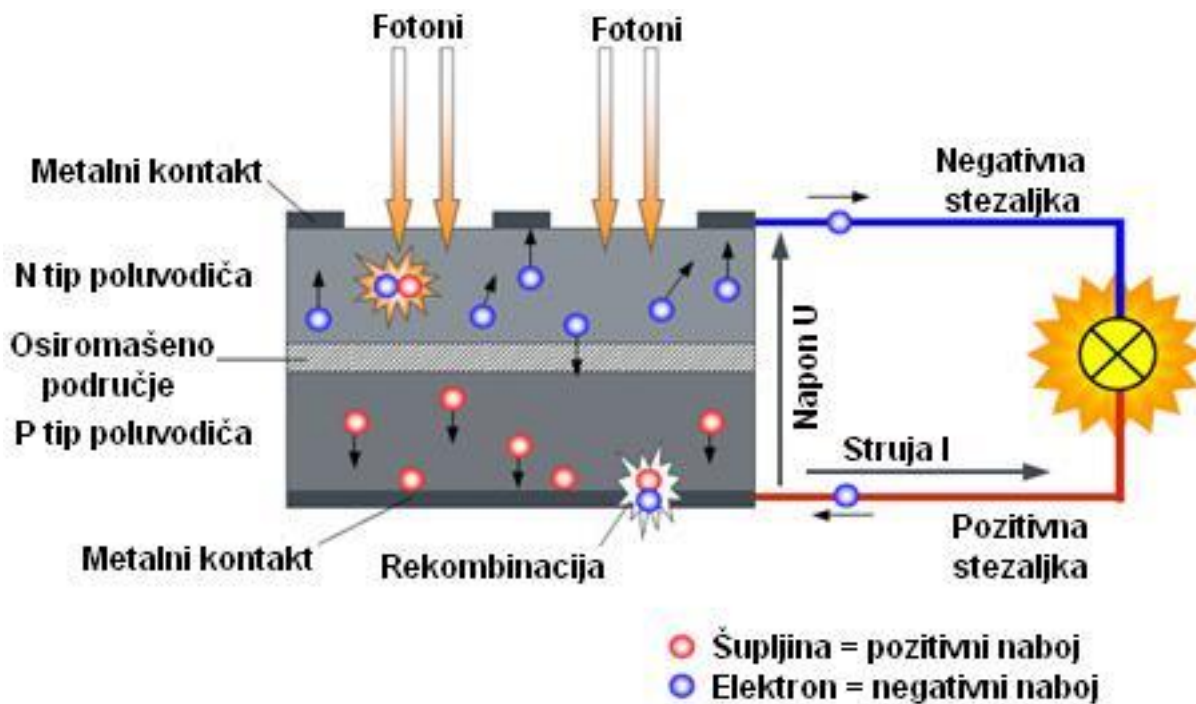
Fotonaponski efekt otkrio je Edmond Becquerel 1839. kada je dvije ploče platine i zlata uronio u kiselinu te izložio sunčevu zračenju. Godine 1921. njemački fizičar Albert Einstein objavio je znanstvenu potvrdu fotonaponskog efekta, te tom zaslugom dobio Nobelovu nagradu za fiziku.

Sunčeva energija koja se emitira prema Zemlji može se sagledati kao skup fotona osnovnih nosioca energije prilikom čega foton zadovoljavajuće energije pogodi elektron u neutralnom p-n poluvodičkom spoju. Poluvodič p-tipa sadrži slobodne elektrone te se formira kada se kristal silicija (4 valentna elektrona) dopira nekim 3-valentnim elementom (npr. bor), a n-tip sadrži slobodne šupljine (nedostatak elektrona) i formira se dopiranjem silicija 5-valentnim elementom (npr. fosfor). Na njihovima spojištima nastaje neutralno područje sa elektronskim poljem. Da bi u sudaru došlo do prebacivanja elektrona kroz to polje on treba dobiti energiju najmanje jednaku tom polju. To znači da svi fotoni koji imaju energiju manju od potrebne ne mogu ostvarili fotoefekt, dok oni drugi koji imaju veću energiju od potrebne ostvaruju izbacivanje samo jednog elektrona.¹²

¹¹ WIKIPEDIA, Photoelectric effect, >https://en.wikipedia.org/wiki/Photoelectric_effect<, (04.07.2019)

¹² OBNOVLJIVI IZVORI ENERGIJE brošura, ><http://ekologija.ba/wp-content/uploads/2017/05/Obnovljivi-izvori-energije.pdf><, str.87, (01.08.2019)

Slika 4: Fotonaponska konverzija u PN spoju



Izvor: WIKIPEDIJA, Solarna fotonaponska energija, >https://hr.wikipedia.org/wiki/Solarna_fotonaponska_energija<, (01.08.2019)

Fotonaponski paneli se dijele u osnovne tri vrste:

Monokristalni $\eta = 15 - 20\%$

Polikristalni $\eta = 13 - 16\%$

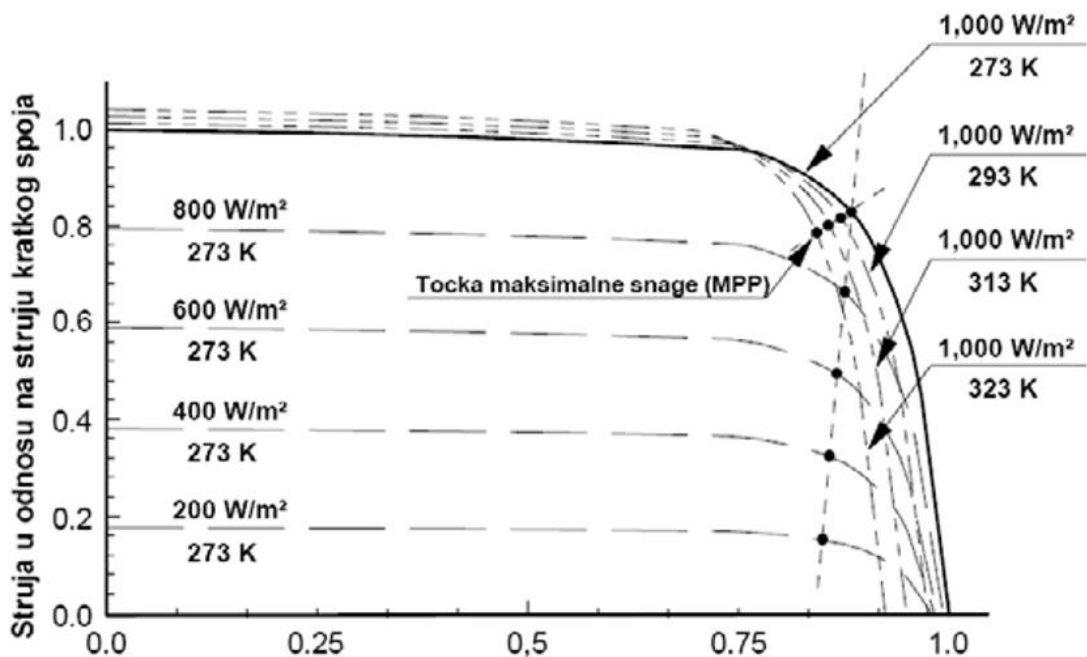
Tanki film $\eta = 7 - 10\%$

Glavna razlika ovih panela je u načinu njihove proizvodnje. Razvoj tehnologije zadnjih godina je u drastičnom napretku što se tiče proizvodnje solarnih ćelija. Najčešći materijal sa 98% udjela u proizvodnji poluvodičkih komponenti je silicij.¹³

Strujno naponska karakteristika FN ćelije je slična onoj poluvodičke diode, ali kao izvor električne energije. U praksi je dobro pratiti I-U karakteristike na nivou modula u koji se FN ćelije spajaju. O njihovu načinu povezivanja u module ovisi izlazni napon i snaga koju želimo postići.

¹³ Odak, T. et al.: **FOTONAPONSKI SUSTAVI S PRAĆENJEM POZICIJE SUNCA**, Polytechnic & Design, Tehničko veleučilište u Zagrebu, Zagreb, Vol 5, 2017, No.3, p. 174

Slika 5: Napon u odnosu na napon otvorenog kruga



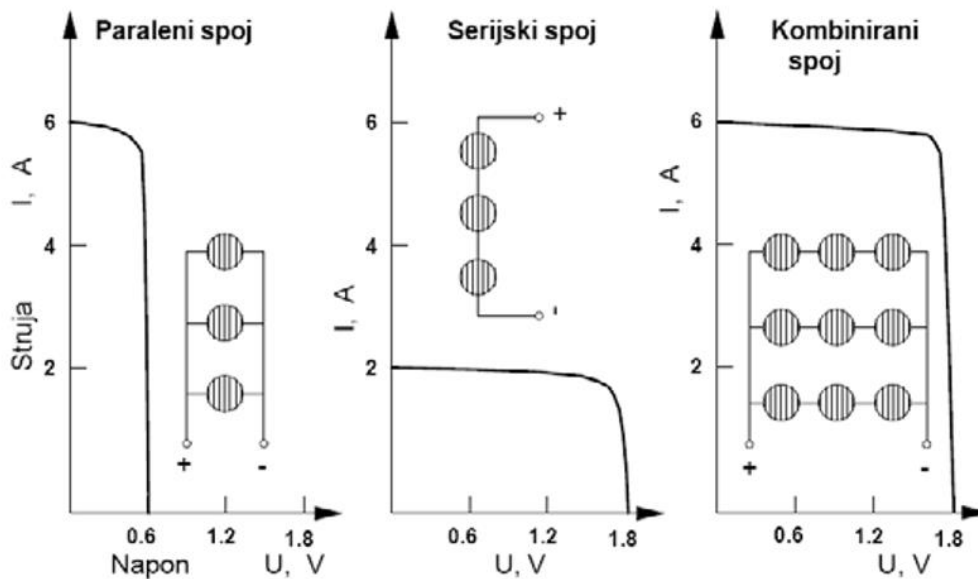
Izvor: Šimić Z.: **OBNOVLJIVI IZVORI ENERGIJE** (skripta), <http://oie.mingorp.hr/UserDocImages/OIE%20Tekst.pdf>, str.88, (01.08.2019)

Praktične izvedbe FN ćelija karakterizira napon otvorenog kruga, struja kratkog spoja te stupanj djelovanja. Kod instalacije FN modula treba paziti na to da stupanj djelovanja FN ćelije pada sa porastom temperature (skoro 0,5% za +1°C).

Moderne instalacije za FN primjene uključuju uređaje za praćenje točke maksimalne snage ovisno o promjeni opterećenja i promjeni snage Sunčeva zračenja.¹⁴

¹⁴ Šimić Z.: **OBNOVLJIVI IZVORI ENERGIJE** (skripta), <http://oie.mingorp.hr/UserDocImages/OIE%20Tekst.pdf>, str.88, (01.08.2019)

Slika 6: U-I karakteristika za različita spajanja fotonaponskih ćelija



Izvor: Šimić Z.: OBNOVLJIVI IZVORI ENERGIJE (skripta), <http://oie.mingorp.hr/UserDocsImages/OIE%20Tekst.pdf>, str.89, (01.08.2019)

U primjeni FN ćelija razlikujemo tri segmenta: potrošački proizvodi, otočna proizvodnja i rad na mreži. Dominantnost u primjeni je u neekonomičnim instalacijama spojenima na mrežu. Sve ostale primjene su ekonomične. Potrošački proizvodi poput satova i najrazličitijih uređaja imaju svoju dodatnu vrijednost koja opravdava ugradnju FN ćelija. Samostalne instalacije zbog izdvojenosti mogu imati ekonomsku opravdanost bilo u industrijskim primjenama ili u elektrifikaciji udaljenih naselja.

Poticajnim mjerama se stimulira neekonomične FN primjene sa ekološkim i razvojnim argumentima. Referentna cijena FN ćelije se obično izražava po vršnoj snazi. Za proizvodnju električne energije iz fotonaponskih ćelija, koja bi bila blizu ekonomičnosti, potrebno je višestruko smanjenje cijene vršne snage (otprilike 4x na ispod 1 €/W za cijenu od 0,1 €/kWh).

Uobičajeno samostalna primjena FN panela uključuje i uređaj za kontrolu punjenja i pražnjenja baterije za optimalni rad i produljenje životnog vijeka baterije.

Za primjene spojene na mreži akumulatori nisu nužni, osim u hibridnom radu, ali je zato nužan pretvarač istosmjernog u izmjenični napon. Ovisno o propisima za mrežni priključak potrebno je zadovoljit još neke dodatne kriterije.

FN ćelije predstavljaju jedno od najdinamičnijih područja kada je riječ zajedno o istraživanju, razvoju, proizvodnji i primjeni novih izvora energije.¹⁵

4. FOTONAPONSKA ELEKTRANA ZA VLASTITU POTROŠNJU, JGL d.d.

Tvrtka JGL d.d. sa sjedištem u Rijeci, osnovana je 1991. godine, kao prvo, potpuno privatno, farmaceutsko dioničko društvo u Hrvatskoj. Međutim, pravi počeci bili su 10-tak godina ranije, kada je u okvirima Zdravstvene ustanove Ljekarna „JADRAN“ Rijeka, nastao centralni laboratorij za izradu galenskih i magistralnih pripravaka. To je jezgra iz koje je 1991. godine nastao „JADRAN“ – Galenski laboratorij d.d., današnji JGL, tvrtka za proizvodnju i promet farmaceutskih i kozmetičkih proizvoda. Danas je JGL internacionalna farmaceutska tvrtka, specijalizirana za razvoj i proizvodnju sterilnih proizvoda s dodanom vrijednošću u oftalmologiji i otorinolaringologiji. Unaprjeđenjem kvalitete života kroz brigu o zdravlju svojih kupaca, JGL nudi proizvode svih tehnoloških oblika u raznim legislativnim kategorijama, poslujući na 34 inozemna tržišta. Propulzivni, održivi rast tijekom proteklih 26 godina temeljio se na ulaganju u znanja zaposlenih, strategijama razvoja i lansiranja novih proizvoda, kao i širenja na nova tržišta.¹⁶

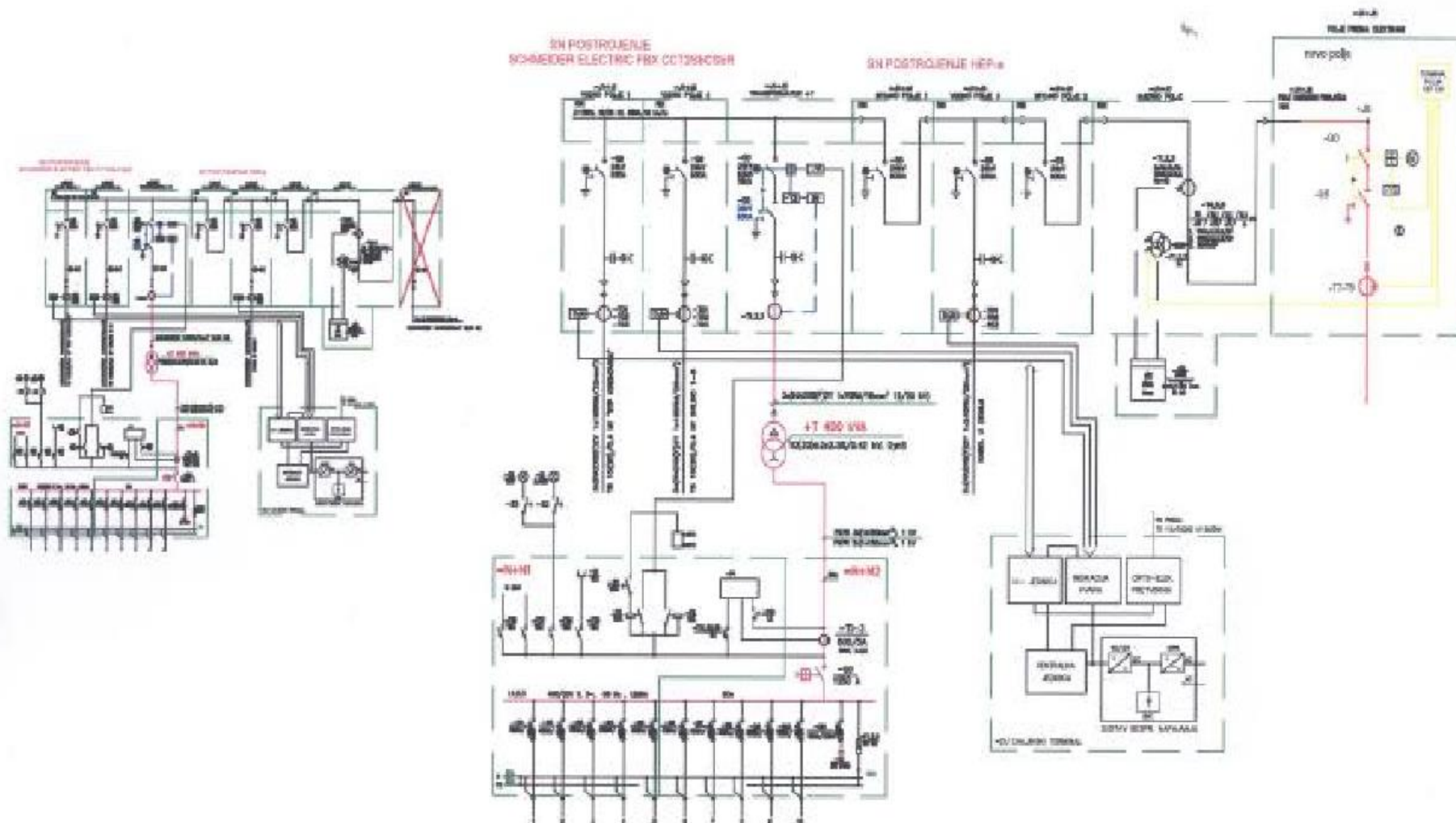
Projekt je zamišljen kao izvedba fotonaponske elektrane snage 180 kW temeljene na tehnologiji fotonaponskih modula. Planirano je elektranu izvesti na krovu postojećeg objekta koji se sastoji od prizemlja i prvog kata, s krovom na dvije vode. Na građevini je planirano fotonaponske module postaviti na dvostrešnu krovnu plohu, koja ima nagib u odnosu na horizontalu od 5°, na odgovarajuću aluminijsku potkonstrukciju paralelno s krovnim panelima (bez izdizanja). Paneli se postavljaju na način da se izbjegnu međusobna zasjenjenja. Objekt je položen u smjeru sjever-jug, uz blagi otklon prema istoku od 10°. Proizvedenom električnom energijom će se primarno podmirivati potrebe vlastitih potrošača, a eventualni višak energije će se isporučivati u EE mrežu.¹⁷

¹⁵ Ibidem, str. 89-90

¹⁶ Vidović B.: Elektrotehnički projekt fotonaponske elektrane, No. 17-25, Rijeka, 2018., str. 57

¹⁷ Ibidem, str 46.

Slika 7: Fotonaponska elektrana za vlastitu potrošnju, JGL d.d.



Izvor: Vidović B.: Elektrotehnički projekt fotonaponske elektrane

4.1. Dijelovi fotonaponske elektrane

Dijelovi fotonaponske elektrane su:

- GENERATORSKI BLOK - fotonaponski moduli, serijski povezani u nizove (string), smješteni na krovu te postavljeni i pričvršćeni na odgovarajuću aluminijsku potkonstrukciju
- IZMJENJIVAČKI BLOK - izmjenjivač za pretvorbu istosmjerne električne energije u izmjeničnu, u sklopu izmjenjivača vrši se mjerenje svih bitnih parametara u radu elektrane te postoji mogućnost daljinskog nadzora rada elektrane, također u sklopu izmjenjivača bit će smješтана i prenaponska zaštita DC strane, konfiguracija nizova (stringova) je napravljena na način da nije potrebna nadstrujna DC zaštita
- SPOJNO IZMJENIČNO POLJE - prihvata izmjeničnog izlaza s izmjenjivača s diferencijalnom strujnom zaštitom i prekidačem u razdjelniku RO-FN te odvod prema razdjelniku RP-TS.

Generatorski blok se sastoji od serijski povezanih fotonaponskih modula u nizove (string). Dva niza od po 20 u seriju povezana modula, snage 290Wp, tip kao Hanwha Q.Cells Q.Plus BFR-G4.1 290 ili jednakovrijedan, bit će spojena na svaki od dva ulaza (MPPT-a) svakog izmjenjivača. Ukupno će se postaviti 720 modula snage 290 Wp što daje snagu FN polja od 208,8 kWp.

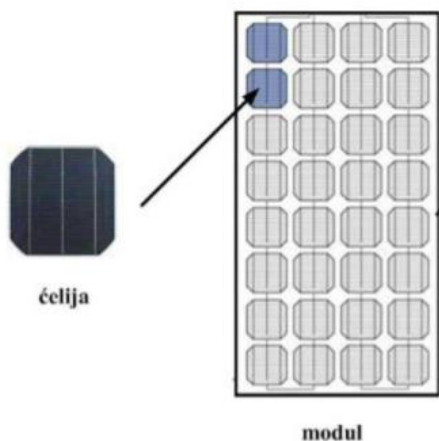
Fotonaponski moduli se postavljaju na, ovisno o krovnom pokrovu, odgovarajuću aluminijsku potkonstrukciju. Aluminijska potkonstrukcija se polaže paralelno s krovnom plohom, te se nosačima pričvršćuje na krovnu plohu. Moduli se na potkonstrukciju pričvršćuju krajnjim i srednjim zakačkama. Solarni kabel modula se pričvršćuje na aluminijsku potkonstrukciju, tip kao proizvođača NIKA KONSTRUKCIJE d.o.o. ili jednakovrijedan.

Potkonstrukciju je potrebno galvanski vezati na postojeću instalaciju zaštite od munje. Nakon konačnog odabira potkonstrukcije, FN modula te ostalog pričvrsnog materijala za postavljanje generatorskog bloka potrebno je izvršiti statičku provjeru krovišta.

Izabran je FN modul sastavljen iz 60 fotonaponskih ćelija od polikristaličnog silicija ukupne snage 290 Wp mjerene pri snazi sunčevog zračenja od 1000W/m².¹⁸

¹⁸ Ibidem, str. 47

Slika 8: Shematski prikaz veze fotonaponske ćelije i fotonaponskog modula



Ukupan broj modula: 720

Ukupan broj nizova: 36

Broj modula u nizu: 20

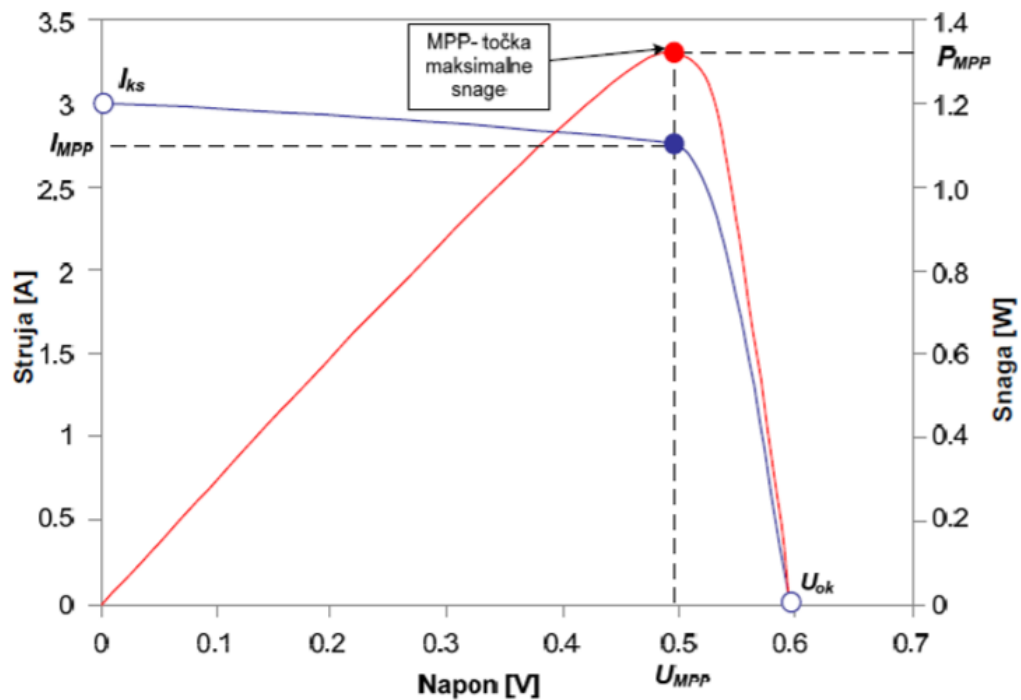
Izvor: Vidović B.: Elektrotehnički projekt fotonaponske elektrane

Tablica 1: Karakteristike modula prema STC: 1000W/m², 25°C, AM 1,5

	Polikristal
Maks. radna snaga (P_{mpp})W	290
Maks. radni napon (U_{mpp}) V	32,29
Napon otvorenog kruga (U_{ok}) V	39,48
Maks. radna struja (I_{mpp}) A	8,98
Struja kratkog spoja (I_{ks}) A	9,52
Stupanj korisnosti	>17.4%
Površina modula m ²	1,670
Temp. Koeficijent I_{sc} (a) %/°C	0,04%/°C
Temp. Koeficijent V_{oc} (b) %/°C	-0.29%/°C
Temp. Koeficijent (TC P_{mpp})	-0.40%/°C
NOCT (800 W/m ² - 20°C - 1 m/s)	45±3°C

Izvor: Vidović B.: Elektrotehnički projekt fotonaponske elektrane

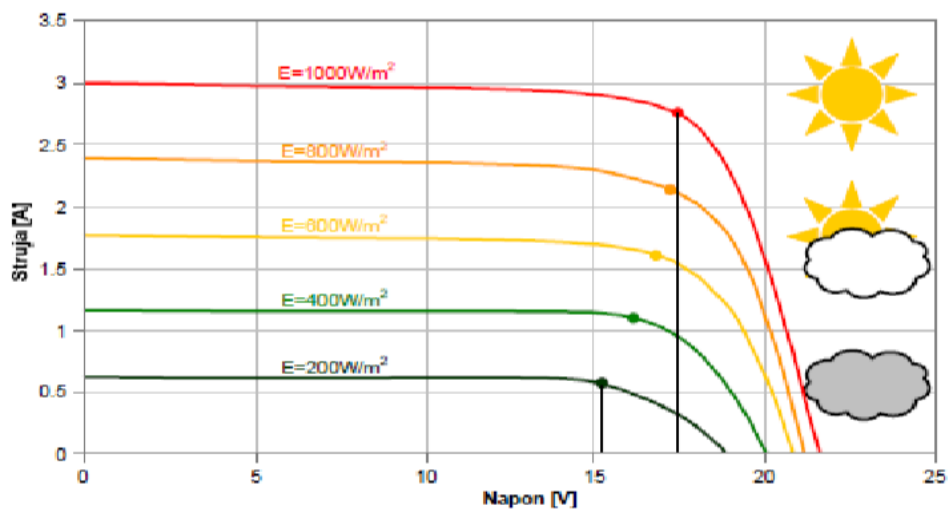
Slika 9: Strujno – naponska karakteristika i krivulja maksimalne snage za jednu FN ćeliju



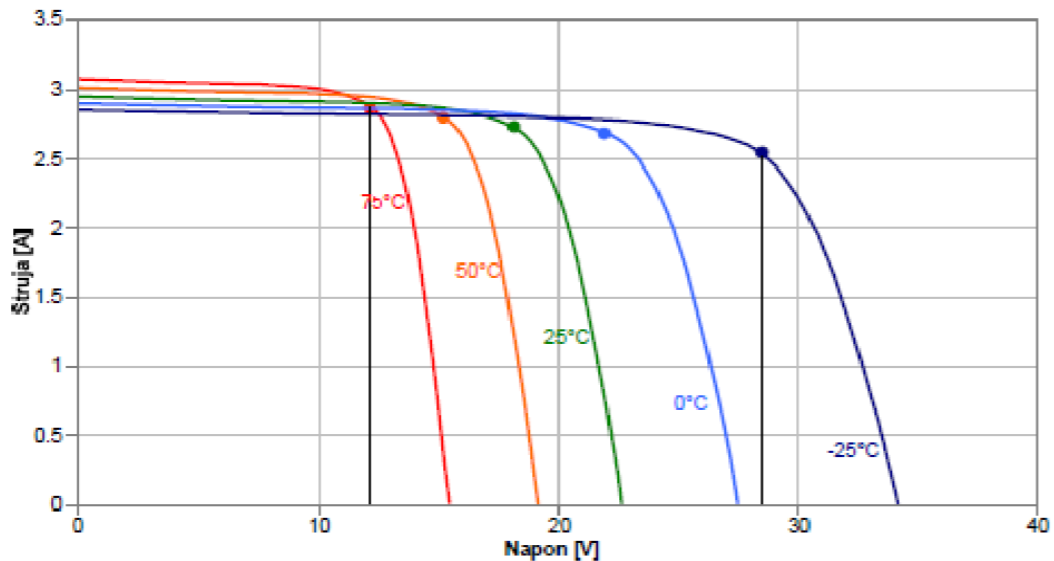
Izvor: Vidović B.: Elektrotehnički projekt fotonaponske elektrane

Strujno naponska karakteristika FN ćelije značajno se mijenja u ovisnosti o radnoj temperaturi i naravno o naoblaci, odnosno intezitetu sunčeva zračenja.¹⁹

Slika 10: Strujno-naponska ovisnost FN ćelije o jakosti sunčeva zračenja i temperaturi okoline



¹⁹ Ibidem, str. 49



Izvor: Vidović B.: Elektrotehnički projekt fotonaponske elektrane

Izmjenjivački blok pretvorom istosmjernog DC napona modula u AC napon mreže vrši se s 9 trofazna, mrežom vođena, izmjenjivača jedinične snage 20 kW. Konfiguracija nizova (stringova) je tako napravljena da se na svaki ulaz izmjenjivača spajaju po dva paralelna niza pa nije potrebna nadstrujna DC zaštita. Izabran je izmjenjivač proizvođača Fronius (Austrija), tip Symo 20.0-3-M, ili jednokovrijedan.²⁰

Slika 11: Tehničke karakteristike izmjenjivača

Tip	Symo 20.0-3-M
DC primarna (ulazna) strana	
2 ulaza; MPP1/3 stringa – MPP2/ 3 stringa	
Max. snaga PV generatora (Wp)	30000
Napon (U_{mmp}) V	200-800
Startni napon V	200
Maksimalni napon V	1000
Maks. ulazna struja (ulaz 1/2) A	33,0/27,0
AC sekundarna (izlazna) strana (3f)	
Maksimalna snaga (W)	20000
Napon (V)	400/230
Maks. izlazna struja (A)	28,9
Frekvencija (Hz)	50/60 Hz (45-65)
Učinkovitost (η_{EU})	97,9%
Faktor snage	0-1 ind./cap.
THD%	1,3%
Noćna potrošnja (W)	< 1W

Izvor: Vidović B.: Elektrotehnički projekt fotonaponske elektrane

²⁰ Ibidem. Str 50

Ugrađene zaštitne jedinice u izmjenjivaču:

- sklopka na izmjeničnoj strani,
- nadzor pojave dozemnog spoja (kvara), nadzor mreže,
- zaštita zamjene polariteta na istosmjernoj strani,
- nadzor diferencijalne struje kvara u svim polovima

Izmjenjivač se automatski odvoji od distributivne mreže ukoliko:

- je previsoki ili preniski napon mreže,
- je previsoka ili preniska frekvencija mreže,
- je impedancija mreže (Z_{ac}) veća od postavljene,
- ispadne jedna faza mreže na koju je izmjenjivač priključen,
- se pojavi dozemni kvar ili diferencijalna struja kvara

Izmjenjivač su u izvedbi IP66 te su povoljni za vanjsku montažu. Bez obzira na navedeno, predlaže se izgradnja nadstrešnice kako bi se izmjenjivači zaštitili od direktnog udara sunca. Izmjenjivač ima mogućnost ugradnje DC prenaponske zaštite, a također ima ugrađenu komponentu koja služi za daljinski nadzor rada elektrane, Fronius Datamanager 2.0. Datamanager 2.0 se ugrađuje samo u jedan od 9 izmjenjivača, ostalih 8 imaju u sebi ugrađenu komponentu Datcom koje se međusobno povezuju. Spoj na internet moguće je ostvariti bežično te se vrijednosti PV sustava direktno šalju na internet portal Fronius Solar web.

Razdjelnik RO-FN bit će smješten izvan objekta (uz fasadu) u neposrednoj blizini izmjenjivača te ga je potrebno zaštititi od atmosferskih prilika odgovarajućom zaštitnom nadstrešnicom. S izmjenične strane izmjenjivačkog bloka dolaze dovodi na sabirnice RO-FN preko diferencijalne zaštitne sklopke i zaštitnog prekidača. Sa sabirnice RO-FN, preko prekidača snage, s termomagnetskim članom i isklopnim svitkom, i pomoćnim kontaktima, odlazi odvod prema razdjelniku RP-TS objekta G16.²¹

Elektroinstalacija treba biti izvedena kabelima tipa FG16(O)R, H07V-K i solarnim kabelima odgovarajućeg presjeka i broja žila. Kabele polagati na kableske staze bez pokrova, a s pokrovom na krovu i fasadi objekta (kableske staze na fasadi obojati prema željama investitora kako bi elementi bili što sličniji elementima postojećih gurli objekta, a sve kako se

²¹ Ibidem, str. 50-51

ne bi narušila estetika objekta). Svi kabeli moraju biti zaštićeni od preopterećenja i kratkog spoja odgovarajućim osiguračima i prekidačima u razdjelnicima te moraju odgovarati zahtjevima norme IEC 60332-1 s obzirom na širenje plamena (teška gorivost i samogasivost plašta).

Od predviđenog DATA CENTRA u susjednom objektu G400 do izmjenjivača, kao i između izmjenjivača (za njihovo međusobno povezivanje), treba položiti standardni kabel, tip kao U/UTP cat.5e ili jednokovrijedan, dijelom u cijevi podžbukno i nažbukno u kanalici ili, ako je moguće (ukoliko budu udovoljeni svi tehnički parametri), komunikaciju riješiti bežično, ugrađenim Fronius Datamanager 2.0 unutar jednog izmjenjivača (ostalih 8 izmjenjivača se UTP kabelom međusobno povezuju preko komponente Datcom). Komunikacija služi za daljinski nadzor rada elektrane putem nadzornog sučelja te interneta. Ugradit će se i senzori (vjetar, iradijacija, temperatura modula, okolna temperatura) za izvještavanje o meteorološkim prilikama, senzori se povezuju na Fronius sensor card koji se ugrađuje u jedan od izmjenjivača te se pristup podacima vrši preko prethodno spomenute Fronius Datamanager 2.0 komponente. Osim navedenog, položiti će se i signalni kabel 2 x FG16OR 7x1,5 potreban za razmjenu informacija fotonaponske elektrane i susjednog postrojenja HEP ODS-a.

Objekt na koji se postavlja fotonaponska elektrana ima izvedenu instalaciju za zaštitu od djelovanja munje te je predviđeno uklapanje instalacije FN elektrane u postojeći sustav zaštite uz dodavanje odgovarajućih gromobrinskih palica kako bi se spriječio direktni udar munje u FN module.

Izjednačenje potencijala metalnih masa, potkonstrukcije i FN modula na krovu objekta, izvest će se međusobnim povezivanjem istih i spajanjem na postojeću gromobrnsku instalaciju profilom Rf $\Phi 8$ te dodatnim spajanjem vodičem H07V-K 1x16 mm² (uz korištenje odgovarajućeg pribora) na sabirnicu za izjednačenje potencijala razdjelnika RO-FN. Ista je vodom FG16R 1x50 mm² spojena na uzemljivač objekta preko SIP-a razdjelnika RP-TS.²²

²² Ibidem, str.51

4.2. Proračun isplativosti elektrane

Tablica 2: Osnovni parametri iskoristivosti elektrane

Ukupan broj fotonaponskih modula	n	720	
Maksimalna snaga fotonaponskih modula	Wp	290	Wp
Maksimalna snaga fotonaponske elektrane	Wp	208,80	kW
Specifična godišnja proizvodnja fotonaponske elektrane		1.043,56	kWh/kWp
Godišnja proizvodnja fotonaponske elektrane		217.895	kWh
Vlastita potrošnja proizvedene energije		189.592	kWh
Isporučka proizvedene energije u mrežu		28.303	kWh
Cijena proizvedene električne energije potrošene za vlastite potrebe		0,6	kn/kWh
Cijena proizvedene električne energije predane u EE mrežu		0,26	kn/kWh
Godišnji prihod		121.114,02	kn
Koeficijent investicije fotonaponske elektrane		7.652	kn/kWp
ukupna investicija		1.597.720	kn
vrijeme isplativosti		13	godina
Ukupna ušteda energije		189.592	kWh/god
Ukupna ušteda CO ₂		51.164	kg/godina

Izvor: Vidović B.: Elektrotehnički projekt fotonaponske elektrane

4.3. Proračun vršnog opterećenja

Predviđeno vršno opterećenje:

DC – GENERATORSKI BLOK

Ukupna instalirana snaga koja se može pojaviti na DC strani izmjenjivača je **208,8 kW**

Faktor istodobnosti – 0,95

$P_{vrš} = 208,8 * 0,95 = 198,4 \text{ kW}$

AC – IZMJENJIVAČKI BLOK – PRAG ELEKTRANE

Gubici u kabelima – 1%

Učinkovitost invertera – 97,9%

Uz procijenjene gubitke u inverterima i u kabelima od 3,1% ukupna vršna snaga na AC strani izmjenjivača je: **$P_{vrš} = 180,0 \text{ kW}$**

Svaki od 9 invertera može maksimalno na AC strani dati 20,0 kW.²³

²³ Ibidem, str. 53

4.4. Proračun opterećenja izmjenjivača po MPPT-u

Tablica 3: Proračun opterećenja izmjenjivača po MPPT-u

P/U/I podaci MPPT-a	Instalirano	dozvoljeno
Snaga (2 stringa)	11600 Wp	- Wp
U _{mpp} 25°	646 V	<800 V
U _{mpp} 70°	543 V	>200 V
U _{oc} -10°	870 V	<1000 V
I _{mpp} (25°)	17,96 A	33(27) A
I _{sc} (70°)	19,4 A	49,5(40,5) A

Izvor: Vidović B.: Elektrotehnički projekt fotonaponske elektrane

4.5. Odabir kabela i proračun pada napona po stringu

Tablica 4: Strujno dimenzioniranje i dimenzioniranje pada napona

strujno dimenzioniranje

maksimalna snaga modula	Wp	290	Wp
maksimalni napon	V _{mpp}	32,29	V
maksimalna struja	I _{mp}	8,98	
napon otvorenog kruga	V _{oc}	39,48	V
struja kratkog spoja	I _{sc}	9,52	A
broj stringova	N	4	
broj modula u stringu	M	20	
faktor polaganja kabela	f _p	0,80	

Odabiremo vodič PV1-F 1x **6** koji se može opteretiti strujom od 70 56 A

dimenzioniranje na pad napona

Pad napona računamo po formuli gdje je:

dužina kabela	l	125	m
specifični otpor vodiča	ρ ₀	0,0179	Ωmm ² /m
presjek kabela	A	6	mm ²
u (%)	$= \frac{2 \cdot l \cdot I \cdot \rho}{A}$	6,70 V	1,04 %

Izvor: Vidović B.: Elektrotehnički projekt fotonaponske elektrane

4.6. Proračun struje opterećenja IB na izmjeničnoj strani

Kako bi se dobio polazni podatak za dimenzioniranje električne instalacije, a kasnije i za odabir te podešavanje zaštitnih uređaja, potrebno je izvršiti proračun jakosti struje opterećenja I_b . Proračun struje opterećenja vršen je prema sljedećim izrazima:

Za trofazni sustav :

$$I_b = \frac{P_{vr}}{\sqrt{3} \cdot U_L \cdot \cos\varphi}$$

gdje je:

I_b – struja opterećenja (tereta) (A)

P_{vr} - vršna snaga (W)

U_L - linijski napon (V)

U_f - fazni napon (V)

$\cos\varphi$ – faktor snage.

4.7 Proračun pada napona

Pad napona svih vodova kontroliran je i udovoljava odredbama članka 20 "Pravilnika o tehničkim normativima za električne instalacije niskog napona (NN br. 53/88). Dozvoljeni pad napona iznosi u (%) = 4%.

Pad napona računamo po formuli: ²⁴

a) trofazni sustav:

$$u = \frac{100 \cdot l \cdot P}{\kappa \cdot U_l^2 \cdot S} (\%)$$

gdje je: u – pad napona (%) U_f - nazivni napon (V) κ – specifična vodljivost (Sm/mm²)
 l – duljina (m) U_L - nazivni napon (V)
 P – snaga tereta (W) S - presjek vodiča (mm²)

²⁴ Ibidem, str. 54-55

Tablica 4: Proračuna pada napona na promatranim dionicama

<i>DIONICA</i>	<i>Popr. pr. voda</i> <i>s</i> (mm ²)	<i>Specifična vodljivost</i> <i>κ</i> (Sm/mm ²)	<i>Duljina</i> <i>l</i> (m)	<i>Snaga tereta</i> <i>P</i> (kW)	<i>Napon</i> <i>U</i> (V)	<i>Pad napona</i> <i>u</i> (%)
<i>Provjera pada napona na dionicama do sekundarnih razdjelnika</i>						
IZMJENJIVAČ - RO-FN	16	56	15	20	400	0,21
RO-FN - RP-TS	150	56	50	180	400	0,67

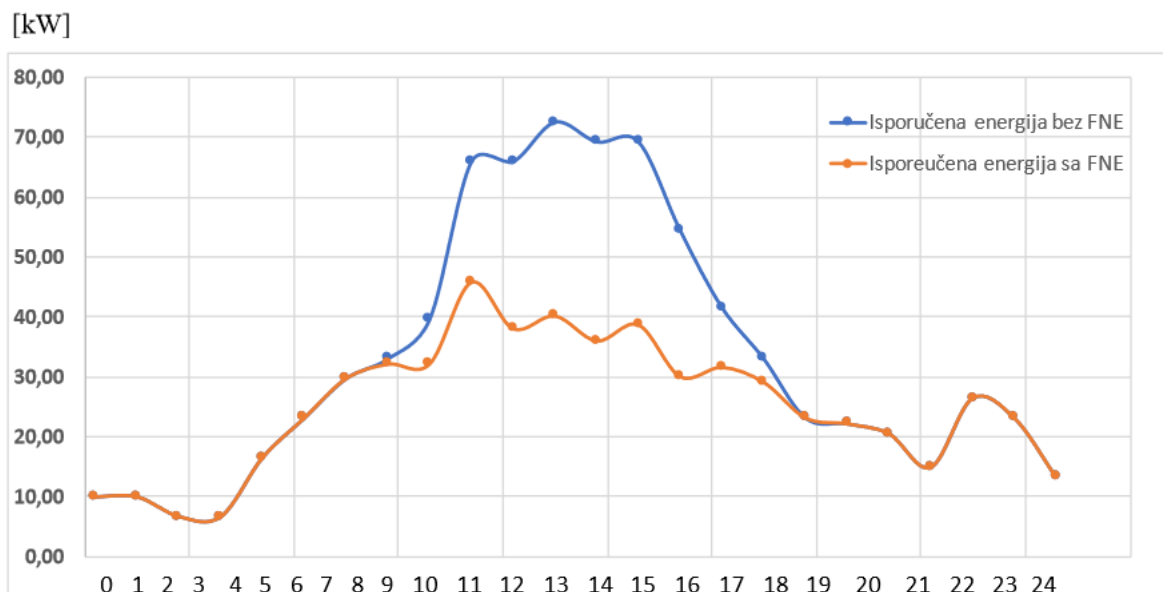
Izvor: Vidović B.: Elektrotehnički projekt fotonaponske elektrane

4.8 Izračun ušteda električne energije

Fotonaponska elektrana za vlastitu potrošnju na G16, nazivne snage 180 kW ima planiranu godišnju proizvodnju 217.895,49 kWh električne energije, od čega se za vlastitu potrošnju koristi 189.591,86 kWh. Proračun je rađen na bazi realnih klimatskih podataka, na satnoj bazi potrošnje, odnosno proizvodnje, a uzeta je u obzir i predviđena degradacija i zasjenjenost modula. Primjer preklapanja krivulje potrošnje električne energije proizvodnog pogona i proizvodnje fotonaponske elektrane, s ciljem preciznog određivanja količinu vlastite potrošnje proizvedene energije, odnosno smanjenja isporučene energije proizvodnom pogonu, za mjesec siječanj dat je na sljedećoj slici. Na sličan način izvedeno je preklapanje karakterističnih krivulja potrošnje i proizvodnje električne energije razmatranog energetskog sustava za preostale mjesece u godini.²⁵

²⁵ Ibidem, str. 64

Slika 12: Preklapanje profila opterećenja proizvodnog pogona i proizvodnje FN elektrane



Izvor: Vidović B.: Elektrotehnički projekt fotonaponske elektrane

Fotonaponska elektrana je projektirana i kapacitirana prema potrebama korisnika, raspoloživoj krovnoj površini s ciljem ostvarenja visokog udjela vlastite potrošnje.²⁶

Tablica 5: Godišnji plan proizvodnje fotonaponske elektrane

Mjesec	Specifična dnevna ozračenost horizontalne plohe [kWh/m ²]	Srednja dnevna temperatura zraka [°C]	Električna energija proizvedena u FN elektrani [kWh]	Električna energija proizvedena u FN elektrani potrošena za vlastite potrebe [kWh]
Siječanj	1,23	7,7	5.914,80	5.914,8
Veljača	2,16	7,6	9.800,08	9.800,08
Ožujak	3,55	10,7	17.811,82	13.980,60
Travanj	4,79	14,1	22.850,54	18.002,39
Svibanj	5,89	17,7	28.895,83	21.280,77
Lipanj	6,66	22,5	31.141,52	26.744,01
Srpanj	6,78	25,4	32.130,43	28.863,22
Kolovoz	5,76	25,2	26.699,32	24.296,56
Rujan	4,11	21,1	18.876,58	16.934,71
Listopad	2,62	16,6	12.605,61	12.605,61
Studeni	1,37	13,5	6.330,00	6.330,00
Prosinac	1,03	9,4	4.839,10	4.839,10
Godišnji prosjek	3,84	16,0	217.895,64	189.591,86

Izvor: Vidović B.: Elektrotehnički projekt fotonaponske elektrane

²⁶ Ibidem, str. 64

Doprinos proizvodnje energije iz obnovljivih izvora se u izračunu ušteta predstavlja kao ostvareno smanjenje isporučene energije iz distribucijske mreže.

Fotonaponska elektrana doprinosi sa 189.591,86 kWh/god koja se troši za potrebe napajanja električnih uređaja i sustava projektne cjeline. Iznos mjesečnog smanjenja isporučene energije, kao i ukupnog godišnjeg smanjenja isporučene energije prikazan je u sljedećoj tablici.

Tablica 6: Količina isporučene energije nakon provedbe mjera

Mjesec	Električna energija			Isporučena energija nakon provedbe mjera [kWh]
	Potrošnja [kWh]	Proizvodnja energije u FNE [kWh]	Potrošnja energije proizvedene u FNE [kWh]	
Siječanj	24.430,05	5.914,80	5.914,8	18.515,25
Veljača	18.947,42	9.800,08	9.800,08	9.147,34
Ožujak	19.059,33	17.811,82	13.980,60	5.078,73
Travanj	23.565,88	22.850,54	18.002,39	5.563,49
Svibanj	26.560,11	28.895,83	21.280,77	5.279,34
Lipanj	32.791,85	31.141,52	26.744,01	6.047,84
Srpanj	36.662,16	32.130,43	28.863,22	7.798,94
Kolovoz	33.842,31	26.699,32	24.296,56	9.545,74
Rujan	25.317,22	18.876,58	16.934,71	8.382,51
Listopad	24.973,55	12.605,61	12.605,61	12.367,94
Studeni	25.518,35	6.330,00	6.330,00	19.188,35
Prosinac	26.635,53	4.839,10	4.839,10	21.796,43
Ukupno godina:	318.303,77	217.895,64	189.591,86	128.711,91

Izvor: Vidović B.: Elektrotehnički projekt fotonaponske elektrane

Analizom satne proizvodnje fotonaponske elektrane, satnih opterećenja proizvodnog pogona, te satnih opterećenja sustava za grijanje/hlađenje, odnosno tehnoloških potreba zgrade, određeni su efekti smanjenja isporučene energije proizvodnom pogonu i zgradi, nakon provedbe mjere izgradnje FN elektrane.

Ukupna količina isporučene energije nakon provedbe mjera za proizvodni pogon iznosi: 139.092,00 kWh – 87.261,58 kWh = **51.830,42 kWh**

Ukupna količina isporučene energije nakon provedbe mjera za zgradu iznosi: 179.211,77 kWh – 102.330,28 kWh = **76.881,49 kWh**

Stoga, ukupna količina isporučene energije nakon provedbe mjera iznosi: 318.303,77 kWh – 189.591,86 kWh = **128.711,91 kWh**.²⁷

²⁷ Ibidem, str. 66

Predviđena srednja ukupna godišnja potrošnja električne energije proizvedene u fotonaponskoj elektrani iznosi **189.591,86 kWh/god**, što u odnosu na ukupnu godišnju potrošnju od 318.303,77 kWh/god doprinosi uštedi od **59,6%**.

Količina isporučene energije nakon provedbe mjera po izlaznoj jedinici sustava iznosi: 128.711,91 kWh/ 762.846,5 kWh= **0.169 kWh/ izlaznoj jedinici sustava**.

Količina energije iz OIE koja se koristi u proizvodnom pogonu, nakon provedbe mjere izgradnje fotonaponske elektrane iznosi 189.591,86 kWh. Dio proizvedene energije iz OIE (FN elektrane) koji se isporučuje u mrežu, odnosno koji se ne može potrošiti u proizvodnom pogonu iznosi 28.303,78 kWh, što zbrojeno s prethodnom vrijednošću daje **217.895,64 kWh**, koja odgovara ukupnoj godišnjoj proizvodnji FN elektrane.

Smanjenje isporučene energije projektnoj cjelini *proizvodni pogon* nakon provedbe mjera iznosi: 139.092,00 kWh – 87.261,58 kWh = **51.830,42 kWh**.

Smanjenje isporučene energije projektnoj cjelini *zgrada* nakon provedbe mjera iznosi 179.211,77 kWh – 102.330,28 kWh = **76.881,49 kWh**.

Apsolutni iznos ukupno ostvarenih ušteda isporučene energije iznosi: 318.303,77 kWh – 128.711,91 kWh = **189.591,86 kWh**.

Relativni iznos ukupno ostvarenih ušteda isporučene energije iznosi: (189.591,86 kWh) : (318.303,77 kWh) =**59,6%**.

Omjerom se dokazuje kako su uštede u isporučenoj energiji ostvarene prihvatljivim aktivnostima na projektnim cjelinama koje su predmet projektnog prijedloga, a ne smanjenjem potreba istih za isporučenom energijom uslijed smanjenja kapaciteta proizvodnog pogona ili promjene u načinu korištenja zgrade. Kako bi aktivnosti unutar projekte cjeline bile prihvatljive, omjer isporučene energije po izlaznoj jedinici sustava prije i nakon provedbe mjera mora biti veći od 1.

Omjer isporučene energije po izlaznoj jedinici sustava prije i poslije provedbe mjera iznosi:

(0.417 kWh električne energije/izlaznoj jedinici sustava) : (0.169 kWh/ izlaznoj jedinici sustava) = **2,47**.²⁸

²⁸ Ibidem, str. 67

Ukupno smanjenje isporučene energije iznosi:

$$318.303,77 \text{ kWh} - 128.711,91 \text{ kWh} = 189.591,86 \text{ kWh.}$$

Ukupni doprinos povećanju količine energije proizvedene iz obnovljivih izvora iznosi **217.895,64 kWh**. Ovaj iznos odgovara ukupno proizvedenoj električnoj energiji u fotonaponskoj elektrani, odnosno uključuje dio koji se troši u proizvodnom pogonu (189.591,86 kWh) te dio koji se isporučuje u mrežu, odnosno koji se ne može potrošiti u proizvodnom pogonu (28.303,78 kWh).²⁹

²⁹ Ibidem, str.67

5. ZAKLJUČAK

U današnje vrijeme sve je više fotonaponskih elektrana te je iskoristivost Sunčevog potencijala u vidu fotonaponskih modula sve više u porastu. Ovaj način predstavlja najelegantnije rješenje iskorištenje Sunčeve energije te je dvostruki dobitak kako za investitora tako i za distribucijsku mrežu. Primjerom iz tvrtke JGL d.d. prikazana je osviještenost investitora o ekologiji, željom za očuvanjem našeg Planeta te je potvrđena hipoteza ovog rada. Mijenjanjem svijesti nas kao pojedinaca utječemo na svijest okoline te time doprinosimo boljitku naših života te iskorištenju resursa koji su dostupni svuda oko nas, u bilo kojem trenutku.

LITERATURA

KNJIGE I PUBLIKACIJE

1. Kalea M.: **OBNOVLJIVI IZVORI ENERGIJE**, Kiklos-Krug knjige d.o.o., Zagreb, 2014.
2. Pandžić H., Rajšl I.: **OBNOVLJIVI IZVORI ENERGIJE** (priručnik), Diozit d.o.o. Slavonski brod, 2016.
3. Odak, T. et al.: **FOTONAPONSKI SUSTAVI S PRAĆENJEM POZICIJE SUNCA**, Polytechnic & Design, Tehničko veleučilište u Zagrebu, Zagreb, Vol 5, 2017, No.3
4. Udovičić B.: **ELEKTROENERGETSKI SUSTAV**, Kigen d.o.o., Zagreb, 2005.
5. Vidović B.: **ELEKTROTEHNIČKI PROJEKT FOTONAPONSKE ELEKTRANE**, 17-25, Rijeka, 2018.

INTERNETSKI IZVORI

1. Šimić Z.: **OBNOVLJIVI IZVORI ENERGIJE** (skripta),
><http://oie.mingorp.hr/UserDocslImages/OIE%20Tekst.pdf><
2. **OBNOVLJIVI IZVORI ENERGIJE** brošura, ><http://ekologija.ba/wp-content/uploads/2017/05/Obnovljivi-izvori-energije.pdf><
3. **WIKIPEDIA**, Photoelectric effect, >https://en.wikipedia.org/wiki/Photoelectric_effect<
4. **WIKIPEDIA**, Renewable energy, >https://en.wikipedia.org/wiki/Renewable_energy<

POPIS SLIKA

Slika 1: Tri vala fosilnih godina i potreba za obnovljivim izvorima energije.....str. 4
Slika 2: Shema hidroelektrane.....str. 5
Slika 3: Srednja godišnja ozračenost ravne plohe na području RH.....str. 8
Slika 4: Fotonaponska konverzija u PN spoju.....str. 10
Slika 5: Napon u odnosu na napon otvorenog kruga.....str. 11
Slika 6: U-I karakteristika za različita spajanja fotonaponskih ćelija.....str. 12
Slika 7: Fotonaponska elektrana za vlastitu potrošnju, JGL d.d.....str. 14
Slika 8: Shematski prikaz veze fotonaponske ćelije i fotonaponskog modulastr. 16
Slika 9: Strujno – naponska karakteristika i krivulja maksimalne snage za jednu FN ćeliju str.17
Slika 10: Strujno-naponska ovisnost FN ćelije o jakosti sunčeva zračenja i temperaturi okoline.....str. 17
Slika 11: Tehničke karakteristike izmjenjivača.....str. 18
Slika 12: Preklapanje profila opterećenja proizvodnog pogona i proizvodnje FN elektrane.....str. 25

POPIS TABLICA

Tablica 1: Karakteristike modula prema STC: 1000W/m ² , 25°C, AM 1,5.....str. 16
Tablica 2: Osnovni parametri iskoristivosti elektrane.....str. 21
Tablica 3: Proračun opterećenja izmjenjivača po MPPT-u.....str. 22
Tablica 4: Strujno dimenzioniranje i dimenzioniranje pada napona.....str. 22
Tablica 5: Godišnji plan proizvodnje fotonaponske elektrane.....str. 25
Tablica 6: Količina isporučene energije nakon provedbe mjera.....str. 26