Dimenzioniranje sustava za samostalno napajanje stambenog objekta

Pulpan, Matej

Undergraduate thesis / Završni rad

2018

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **Josip Juraj Strossmayer University of Osijek, Faculty of Electrical Engineering, Computer Science and Information Technology Osijek / Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Fakultet elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija Osijek**

Permanent link / Trajna poveznica: https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:200:911981

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-04-28**

Repository / Repozitorij:

Faculty of Electrical Engineering, Computer Science and Information Technology Osijek

SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU

FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNALSTVA I INFORMACIJSKI TEHNOLOGIJA OSIJEK

Stručni studij

DIMENZIONIRANJE SUSTAVA ZA SAMOSTALNO NAPAJANJE STAMBENOG OBJEKTA

Završni rad

Matej Pulpan

Osijek, 2018. godina

FERIT
FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA I INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA OSIJEK

Obrazac Z1S: Obrazac za imenovanje Povjerenstva za obranu završnog rada na preddiplomskom stručnom studiju

Osijek,28.11.2018.

Odboru za završne i diplomske ispite

Imenovanje Povjerenstva za obranu završnog rada na preddiplomskom stručnom studiju

Ime i prezime studenta:	Matej Pulpan
Studij, smjer:	Preddiplomski stručni studij Elektrotehnika, smjer Elektroenergetika
Mat. br. studenta, godina upisa:	A4171, 25.09.2018.
OIB studenta:	54290350991
Mentor:	Doc.dr.sc. Danijel Topić
Sumentor:	
Sumentor iz tvrtke:	
Predsjednik Povjerenstva:	Doc.dr.sc. Goran Knežević
Član Povjerenstva:	Izv. prof. dr.sc. Zvonimir Klaić
Naslov završnog rada:	Dimenzioniranje sustava za samostalno napajanje stambenog objekta
Znanstvena grana rada:	**Elektroenergetika (zn. polje elektrotehnika)**
Zadatak završnog rada	U uvodnom dijelu dati osnovni teorijski pregled os sustavim za samostalno napajanje električnom energijom. Izmjeriti opterećenje nekog objekta (obiteljska kuća, vikendica ili sl.). Na temelju rezultata mjerenja napraviti dijagram opterećenja (dnevni, tjedni, mjesečni). Na temelju dijagrama opterećenja dimenzionirati sustav za samostalno napajanje objekta električnom energijom. Prikazati zaključke na temelju mjerenja i dimenzioniranja.Sumentor: Matej Žnidarec, mag.ingTema se dodjeljuje u okviru EU projekta: Renewable energy sources and energy efficiency in a function of rural development (RuRES, HUHR/1601/3.1.1/0033 financiran u okviru Interreg V-A Hungary-Croatia Co-operation Programme 2014-2020)
Prijedlog ocjene pismenog dijela ispita (završnog rada):	Izvrstan (5)
Kratko obrazloženje ocjene prema Kriterijima za ocjenjivanje završnih i diplomskih radova:	Primjena znanja stečenih na fakultetu: 3 bod/boda Postignuti rezultati u odnosu na složenost zadatka: 2 bod/boda Jasnoća pismenog izražavanja: 2 bod/boda Razina samostalnosti: 3 razina
Datum prijedloga ocjene mentora:	28.11.2018.

Potpis mentora za predaju konačne verzije rada u Studentsku službu pri završetku studija:	Potpis:
	Datum:

FERIT
FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA
I INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA OSIJEK

IZJAVA O ORIGINALNOSTIRADA

Osijek, 09.12.2018.

Ime i prezime studenta:	Matej Pulpan
Studij:	Preddiplomski stručni studij Elektrotehnika, smjer Elektroenergetika
Mat. br. studenta, godina upisa:	A4171, 25.09.2018.
Ephorus podudaranje [%]:	13

Ovom izjavom izjavljujem da je rad pod nazivom**: Dimenzioniranje sustava za samostalno napajanje stambenog objekta**

izrađen pod vodstvom mentora Doc.dr.sc. Danijel Topić

i sumentora

moj vlastiti rad i prema mom najboljem znanju ne sadrži prethodno objavljene ili neobjavljene pisane materijale drugih osoba, osim onih koji su izričito priznati navođenjem literature i drugih izvora informacija.
Izjavljujem da je intelektualni sadržaj navedenog rada proizvod mog vlastitog rada, osim u onom dijelu za koji mi je bila potrebna pomoć mentora, sumentora i drugih osoba, a što je izričito navedeno u radu.

Potpis studenta:

SADRŽAJ

1. UVOD 1
2. Energija Sunca 3
2.1. Sunčevo značenje na području Republike Hrvatske 3
2.2. Proračun Sunčevog potencijala u Republici Hrvatskoj 4
2.3. Dozračenost Sunčeve energije na vodoravnu i optimalno nagnutu plohu 5
3. FOTONAPONSKE ĆELIJE 8
3.1. Početak razvoja solarnih ćelija 8
3.2. Fotonaponski efekt 8
3.3. Izravna pretvorba Sunčeve energije zračenja u električnu energiju 9
3.4. Materijali za izradu solarnih ćelija 10
3.5. Vrste i karakteristike solarnih ćelija 11
3.6. Fotonaponski modul 12
4. SOLARNI FOTONAPONSKI SUSTAVI 14
4.1. Samostalni fotonaponski sustavi 15
4.2. Fotonaponski sustavi priključeni na elektroenergetsku mrežu 16
4.3. Hibridni fotonaponski sustavi 18
4.4. Površina potrebna za proizvodnju električne energije iz fotonaponski sustava 19
4.5. Sigurnosna zaštita fotonaponski sustava 20
4.5.1. Zaštita od direktnog udara groma 20
4.5.2. Zaštita od indirektnog udara groma 22
4.5.3. Zaštita od prevelikog napona dodira 22
5. DIMENZIONIRANJE SUSTAVA ZA SAMOSTALNO NAPAJANJE STAMBENOG OBJEKTA 24
6. ZAKLJUČAK 30
7. LITERATURA 31
SAŽETAK 33
ABSTRACT 34
ŽIVOTOPIS 35

1. UVOD

Izvore energije možemo podijeliti na dvije skupine a to su: neobnovljivi i obnovljivi izvori energije. Neobnovljivi izvori su oni izvori čije se rezerve korištenjem smanjuju. Nazivamo ih još i iscrpivim izvorima energije [1].

U neobnovljive izvore energije spadaju:

- Fosilna goriva (nafta, ugljen, plin)
- Nuklearna goriva

Obnovljivi izvori su oni izvori koji se korištenjem ne mogu iscrpiti, tj. njihov dotok se obnavlja svake godine bez smanjenja dotoka, ali je moguće iscrpiti njihov potencijal [1].

U obnovljive izvore energije spadaju:

- Hidroenergija (vodotoci, plima i oseka, energija valova)
- Biomasa i bioplin (otpad drvne industrije, otpad poljoprivredne proizvodnje)
- Energija Sunčeva zračenja
- Energija vjetra

Neobnovljivi izvori predstavljaju primarni izvor energije, zauzimaju 77.2% ukupne potrošnje primarne energije dok obnovljivi zauzimaju 22.8% u proizvodnji električne energije. Od toga najveći dio je energija vode 16.6% [2]. Rezerve neobnovljivih izvora su sve manje, s vremenom se iscrpljuju i raste im cijena. Alternativu nam predstavljaju obnovljivi izvori. Kod iskorištavanja obnovljivih izvora energije ne dolazi do štetnih emisija za okoliš, pa prema tome smatramo da je to „čista“ energija, tj. ne pridonosi zagađenju okoliša. Potencijal obnovljivih izvora je velik, osobito Sunčeva energija koja ima veliki neiskorišteni potencijal. Raznim regulativnima i strategijama se pokušava doći do sve veće upotrebe obnovljivih izvora energije i smanjenju zagađenja zbog uporabe tradicionalnih fosilnih goriva. Zadnjih nekoliko godina porasla je svijest o zagađenju i o neiskorištavanju velikih potencijala obnovljivih izvora energije [1,2]. Bilježimo sve veći porast udjela obnovljivih izvora energije u ukupnoj potrošnji primarne energije. Direktiva za obnovljive izvore utvrđuje cjelokupnu politiku za proizvodnju i promicanje energije iz obnovljivih izvora u Europskoj Uniji.

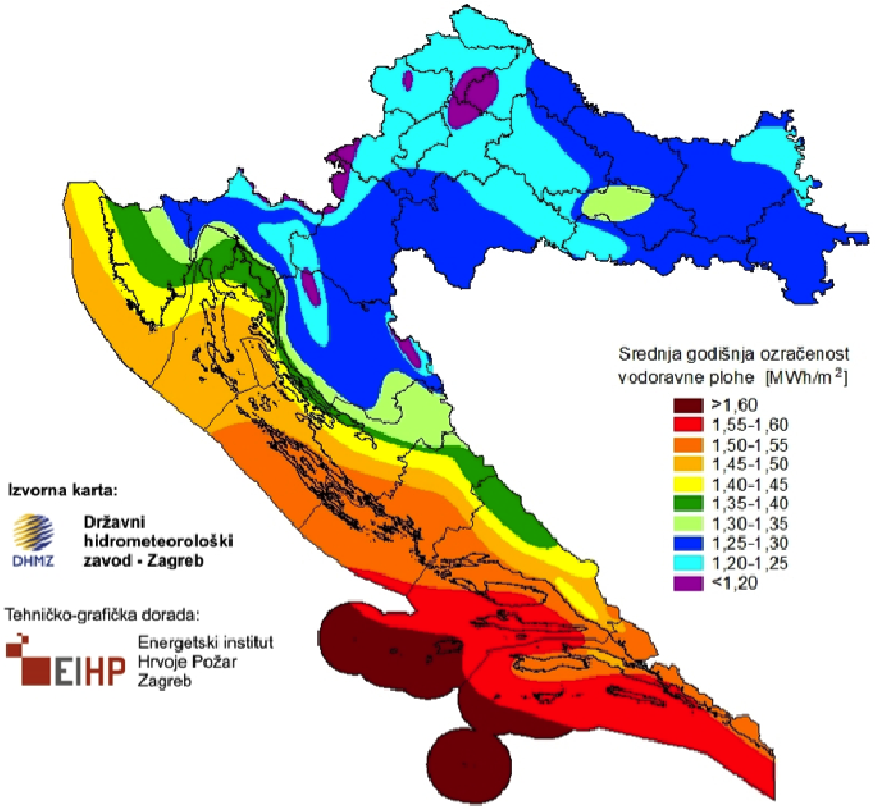
Direktiva 2009/28/EC za promoviranje korištenja obnovljivih izvora. Nazivamo ju još i direktiva 20-20-20. Osnovni cilj direktive je povećanje potrošnje primarne energije iz obnovljivih izvora na 20%, smanjenje ukupne emisije CO_2 za 20 % te povećanje energetske učinkovitosti za 20% do 2020. godine. [2]

2. Energija Sunca

Sunce je Zemlji najbliža i ujedno najvažnija zvijezda. Sunčeva energija je uzrok većine nam poznatih izvora energije. Osnovni je izvor elektromagnetskog zračenja koje putuje cijelom atmosferom i dolazi do Zemljine površine. Sunce predstavlja izvor energije koji nije iscrpiv, kažemo da je Sunce obnovljiv izvor energije. Sunce je izvor energije koja održava čitav život na Zemlji. Energija Sunca potječe od nuklearnih reakcija koje se odvijaju u središtu. Temperatura sunca u samome središtu dostiže veoma velike vrijednosti [3]. U središtu Sunca odvija se nuklearna reakcija zvana nuklearna fisija. Prilikom nuklearni reakcija dolazi do kemijskog spajanja vodikovih atoma te nastaje helij. Tokom reakcije dolazi do oslobađanje velike količine energije. Na navedeni način svake sekunde prelazi velika količina vodika u helij. Pri odvijanju te reakcije se samo mali dio mase vodika pretvori u energiju. Nastala energija se u obliku svjetlosti i topline širi svemirom. Mali dio novonastale energije dolazi i do same Zemlje [4]. U ovome radu ćemo se bazirati na direktno iskorištavanje sunčeve energije te pretvorbi sunčeve energije u električnu. Pod optimalnim uvjetima na površinu zemlje dolazi 1kW/m^2 dozračene energije. Stvarna vrijednost je nešto manja i ovisi o različitim faktorima poput lokacije, godišnjem dobu, dobu dana, vremenskim uvjetima, zasjenjenju i o još mnogo drugih faktora [4].

2.1. Sunčevo značenje na području Republike Hrvatske

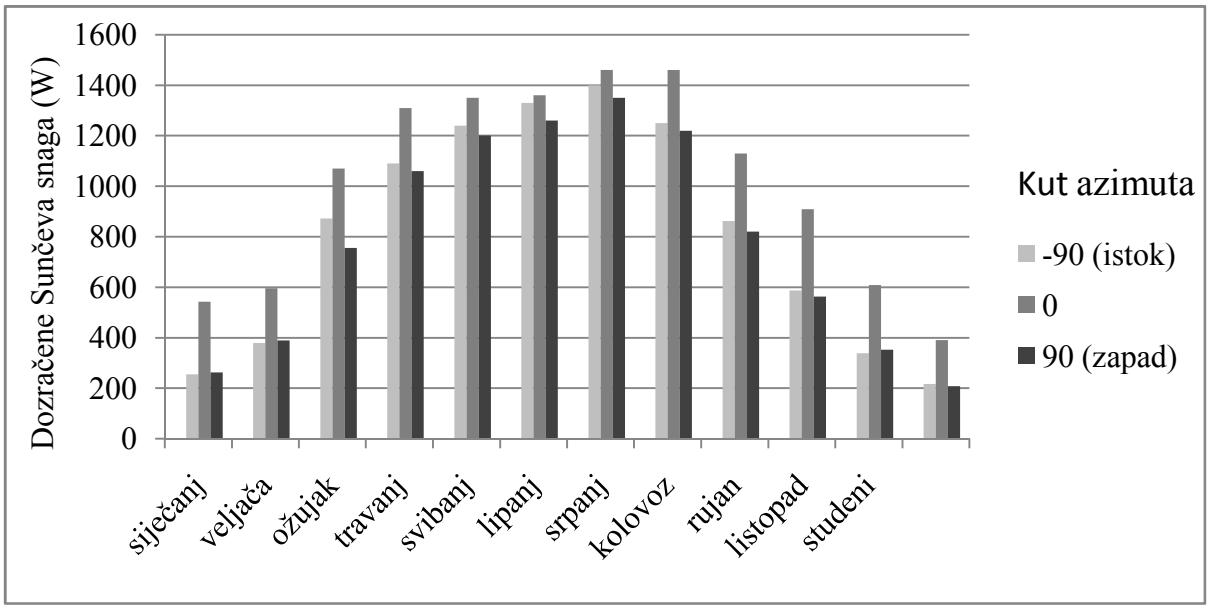
Republika Hrvatska kada gledamo prema svom geografskom položaju ima veoma dobre uvjete za proizvodnju električne energije iskorištavanjem energije sunca. Prosječna godišnja dozračena Sunčeva energija iznosi između 3-4.5 kWh/m^2d. Prosječna godišnja dozračenost na teritoriju Republike Hrvatske prikazana je grafičkim prikazom (Slika 2.1.) [5,6].



Slika 2.1. Prosječna godišnja ozračenost na području Republike Hrvatske[7].

2.2. Proračun Sunčevog potencijala u Republici Hrvatskoj

Pri dimenzioniranju sustava za samostalno napajanje objekta potrebno je poznavati kolika je dozračena Sunčeva energija, te koji je kut solarni modula optimalan za što veću korisnost sustava na lokaciji na kojoj želimo izgraditi sustav za samostalno napajanje. Odgovarajućim proračunom dolazimo do podataka vršne snage tokom cijele godine ili na određeni period za koji nas zanimaju podatci o dozračenoj Sunčevoj energiji. Postoji više programa i aplikacija kojima možemo izvršiti proračune. Za potrebe izrade ovoga završnoga rada korištena je internetska aplikacija „PHOTOVOLTAIC GEOGRAPHICAL INFORMATION SYSTEM“ [8]. Uporabom aplikacije možemo usporediti i simulirati dozračenu Sunčevu energiju ovisno o kutu azimuta i kutu nagiba. Omogućuje godišnji proračun dozračene Sunčeve energije za bilo koje mjesto. Na taj način možemo odabrati povoljan kut nagiba za postavljanje samostalnih sustava napajanja tako da iskoristimo što veću Sunčevu dozračenu energiju i samim time nam vrijeme amortizacije bude što kraće.



Slika 2.2. Grafički prikaz dozračene Sunčeve snage.

Na slici (Slika 2.2) vidimo različite vrijednosti Sunčeve jakosti kroz godinu za grad Osijek, za tri različita azimuta te nagib od 40 stupnjeva.

2.3. Dozračenost Sunčeve energije na vodoravnu i optimalno nagnutu plohu

Pri proračunu učinkovitosti rada te samome dimenzioniranju solarnog sustava potrebno je poznavati snagu ukupnog Sunčeva zračenja koje upada na Zemlju. Odnosno potrebno je poznavati dozračenu energiju koja upada na nagnutu površinu solarnog modula. Usporedimo li područje Republike Hrvatske, pogotovo priobalje i Europe prema energiji Sunčeva zračenja dozračenoj na vodoravnu plohu. Možemo vidjeti da Hrvatska ima dosta bolje uvjete za iskorištavanje Sunčeve energije naspram drugi zemalja Europe, što možemo vidjeti u tablici [Tablica2.1.]. Republika Hrvatska nalazi se pri samome dnu ljestvice zemalja Europske Unije po instaliranoj solarnoj snazi solarnim sustavima, iako imamo velike potencijale. Možemo lako ustvrditi da u Republici Hrvatskoj nije iskorištena usporedna prednost nad ostalim zemljama koja je prikazana u tablici, pogledom uporabe energije Sunca. Što ne znači da u skorijoj budućnosti se usporedna prednost neće iskoristiti[4].

Tablica 2.1. Usporedba Hrvatske i Europe prema dozračenoj Sunčevoj energiji tijekom jednoga dana[4].

Lokacija	Godišnji prosjek ozračenosti kWh/m^2d	Srpanj, prosjek ozračenosti kWh/m^2d	Siječanj, prosjek ozračenosti kWh/m^2d
Dubrovnik	4.4	7.0	1.8
Split	4.2	6.6	1.7
Istra	3.4	6.0	1.2
Slavonija	3.4	6.0	1.0
Zagreb	3.2	5.7	0.9-1.0
Srednja Europa	3.0-3.2	5.2-5.5	0.7-0.9
Sjeverna Europa	2.6-3.0	5.2-5.5	0.4-0.6
Južna Europa	4.4	7.2	1.8-2.6

Uporabom fotonaponskog modula čija površina plohe prati gibanje Sunca povećava se direktna komponenta Sunčeva zračenja na fotonaponski modul. U zimskim mjesecima Sunce je bliže Zemlji naspram ljeti, time se povećava direktna komponenta Sunčeva zračenja. Uporabom fotonaponskog modula koji prati gibanje sunca u svim mjesecima smanjuje se difuzno zračenje jer na takav modul dopire zračenje samo s djela neba. Sustavi koji prate gibanje sunca imaju opravdanu svrhu samo kod specijalne pretvorbe Sunčeva zračenja u električnu energiju i toplinsku. Usporedbu dozračene Sunčeve energije na optimalno nagnutu plohu fotonaponskog modula u jednom danu na raznim dijelovima Europe možemo vidjeti na sljedećoj tablici: [Tablica2.2.] [4]

Tablica 2.2. Usporedba Sunčeve dozračene energije na optimalno nagnutu plohu tijekom jednoga dana promatrano na raznim dijelovima Europe [4].

Lokacija	Godišnji prosjek dnevne ozračenosti kWh/m^2d
Dubrovnik	5.0-5.2
Split	5.0
Istra	4.2
Slavonija	4.2
Zagreb	3.4-3.5
Srednja Europa	3.2-3.0
Sjeverna Europa	2.8-3.0
Južna Europa	4.4-5.6

3. FOTONAPONSKE ĆELIJE

3.1. Početak razvoja solarnih ćelija

Fotonaponski sustavi izravno pretvaraju Sunčevu energiju u električnu pomoću fotonaponski ćelija. Možemo reći da je solarna ćelija specijalna poluvodička komponenta, dioda. Kada se obasja sunčevom svjetlošću izravno pretvara dio svjetlosne energije u istosmjernu struju. Budući da pojedine solarne ćelije generiraju vrlo nizak napon spajaju se serijsko paralelnim kombinacijama u solarne module. Povezivanjem solarni modula dobijemo solarne generatore tj. solarne elektrane. Nekoliko istraživača u Bell Laboratories u New Yorku (Pearson, Fuller i Chapin) 1954. godine izradili su prvu solarnu ćeliju od silicija. Koja je imala veoma malu korisnost od nekakvih 6%. Tvorci su prvog solarnog modula pod imenom Bellova solarna baterija. Cijena proizvodnje prvih solarnih ćelija je bila veoma visoka . Tako ona svoju prvu komercijalnu primjenu pronalazi 1958. godine. Upotrebljava se u svemirskim istraživanjima na satelitima. Gdje je cijena bila više prihvatljiva u odnosu na ostale troškove. Naftnom krizom 1973. godine kada je uočeno da ne postoje neograničene količine fosilnih goriva povećan je interes za obnovljivim izvorima energije. Nesreća u Černobilu 1986. godine potaknula je razvoj jeftinijih i jednostavnijih solarni ćelija za svestranu upotrebu. Unatoč mnogim ulaganjima u istraživanja i razvoj solarne tehnologija. Posljednjih nekoliko godina, cijena solarnih ćelija je i dalje velika. Velika cijena solarnih ćelija znatno poskupljuje cijeli fotonaponski sustav [8].

3.2. Fotonaponski efekt

Fotonaponski efekt 1939. godine u laboratoriju svoga oca Antoine-Cesara, otkriva Edmond Becquerel (1820.-1891.). Edmond Becquerel opisuje fotonaponski efekt kao proizvodnju električne energije. Fotonaponski efekt je pojava kod koje djelovanjem sunčevog zračenja nastaje napon. Sunčevim zračenjem određene valne duljine (vidljivi dio spektra sunčevog zračenja, ili ultraljubičasto zračenje) osvjetljavanjem određenih materijala dolazi do otpuštanja viška elektrona na materijalu. Kada zatvorimo strujni krug. Pojavom viška elektrona dolazi protjecanja električne struje krugom. Nakon otkrića fotonaponskog efekta prošlo je dosta godina. Bilo je potrebno čak 40 godina, da bi 1883. godine američki izumitelj Charles Fritts napravio prvu solarnu ćeliju. Obložio je selen iznimno tankim slojem zlata, tako da bi sloj bio proziran na svijetlosti i dobio je učinak pretvorbe energije [9].

3.3. Izravna pretvorba Sunčeve energije zračenja u električnu energiju

Kada obasjamo solarnu ćeliju svijetlom. Solarna ćelija apsorbira sunčevo zračenje koje upada na njenu površinu. Fotonaponskim efektom na krajevima ploče inducira se električni napon. Obasjana svjetlom solarna ćelija postaje električni izvor energije. Sunčevo zračenje je skup elektromagnetski valova. Pri razmatranju apsorpcije i emisije sunčeva zračenja. Sunčevo zračenje možemo razmatrati kao snop čestica. Taj snop čestica nazivamo fotoni. Tako kod proračuna fotostruje solarne ćelije moramo znati koliki je tok fotona koji dolaze na samu ćeliju. Svaki foton posjeduje nekakvu određenu količinu energije. Elektromagnetski spektar je cjelokupno zračenje koje nastaje u svemiru. Elektromagnetska zračenja razlikuju se samo po frekvenciji.

Kada se električni naboji kreću u elektromagnetskom polju nastaje svijetlost. Kada je atom potaknut dodatnom energijom izvana on odašilje svjetlost. Valom predočavamo zračenje pobuđenih elektrona. Fotoni su čestice bez naboja koje se gibaju brzinom svjetlosti c_0. Energija fotona prikazana je Einsteinovom relacijom(3-1) [3]

$$E = h \cdot v = h\frac{c_0}{\lambda} \tag{3-1}$$

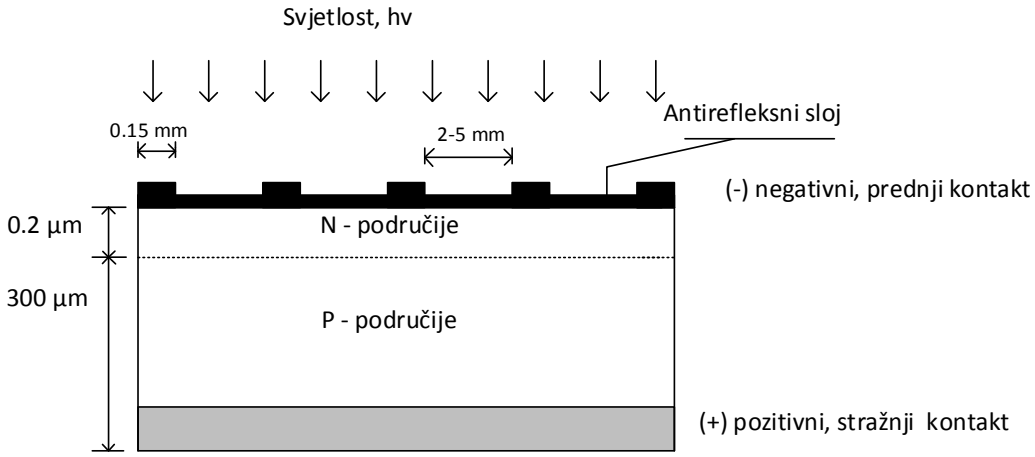
Pri čemu je[4]:

h – Planckova konstanta, (6.625 · 10-34 Js)

v – frekvencija promatranog elektromagnetskog zračenja

c_0 – brzina svijetlosti

λ – valna duljina



Slika 3.1. Silicijeva solarna ćelija [3].

Silicijeva solarna ćeliji prikazana je na gornjoj slici (slika 3.1). Na površini pločice nalazi se P-tip silicija difudirane primjese. Može se koristiti fosfor. Na tankom površinskom sloju nastaje područje N-tipa poluvodiča. Potrebno je skupiti naboje nastale apsorpcijom fotona iz sunčeva zračenja. Da bismo mogli skupiti nastale naboje. Na prednjoj površini ćelije stavljena je metalna rešetka koja pokriva veoma malenu površinu od svega nekakvih 5%. Postavljena je tako da gotovo i ne utječe na apsorpciju Sunčeva zračenja što dolazi na ćeliju. Gornja, ili prednja strana ćelije može biti prekrivena protureflekšnim prozirnim slojem. Protureflekšnim sloj smanjuje refleksiju sunčeva zračenja, samim time povećava se korisnost ćelije. Kada osvijetlimo solarnu ćeliju, na njezinim krajevima se inducira električni napon. Solarna ćelija ponaša se kao poluvodička dioda, tj. poluvodički PN spoj. Propušta električnu energiju odnosno vodi u jednom smjeru dok u drugom zapire.

3.4. Materijali za izradu solarnih ćelija

Silicij je i dalje osnovni materijal koji se koristi pri izradi fotonaponski ćelija. Od svih ostalih poluvodički materijala upravo je silicij najviše istražen. Ćelije na bazi silicija dokazale su pouzdanost kako na satelitima u svemiru tako i na objektima na Zemlji. Drugi materijali poput galijevog arsenida (GaAs) i kadmijevog telurida pokazale su se puno skuplji. Osnovni nedostatak silicija je skupo pročišćavanje [10].

3.5. Vrste i karakteristike solarnih ćelija

Razlikujemo nekoliko vrsta solarni ćelija koje se koriste u današnje vrijeme, glavne razlike su kristalna struktura materijala i materijali koji se koriste pri izradi samih ćelija. Ovisno o vrsti ćelije imamo i različite parametre ćelija. Temeljni parametri su prikazani u tablici, (tablica 3.5.) neki od temeljnih parametara su napon otvorenog kruga U_{ok}, gustoća struje kratkog spoja J_{ks}, stupanj djelovanja ćelije te materijali od kojih su izrađene [3].

Tablica 3.1. Temeljni parametri solarni ćelija [4].

Vrsta ćelije	U_{ok} , V	J_{ks} , mA/cm^2	η
monokristalna Si-ćelija	0.65	30	0.17
polikristalna Si- ćelija	0.60	26	0.15
amorfna-Si ćelija	0.85	15	0.09
CdS / Cu2S	0.5	20	0.10
CdS / CdTe	0.7	15	0.12
GaAlAs / GaAs	1	30	0.24
GaAs	1	20	0.27

Monokristalne silicijeve ćelije imaju korisnost od nekakvih 17%. Što bi značilo da u ispitnim uvjetima jedan solarni modul napravljen od monokristalnih silicijevih ćelija sa svojom površinom od jednoga kvadratnoga metra može apsorbirati i pretvoriti 1000 W/m2 sunčevog zračenja u nekakvih 170 W električne energije. Za proizvodnju monokristalnih ćelija potrebno je apsolutno čist silicij. Monokristalni štapići se režu iz silicija i potom se od njih rade tanke ploče. Moduli načinjeni od te vrste fotonaponske ćelije nudi garanciju od 20-25 godina u 80% natpisnih pločica proizvođača [4,10].

Polikristalna silicijeva ćelija ima korisnost oko 15 %. Ekonomski je isplativija proizvodnja polikristalnih ćelija u odnosu na proizvodnju monokristalnih silicijevih ćelija. Silicij se u tekućem stanju ulijeva u kalupe te se potom reže na ploče. Tijekom skrućivanja tekućeg materijala stvaraju se različite kristalne strukture različitih veličina. Na krajevima kristalnih struktura dolazi do grešaka što uzrokuje manji stupanj iskorištenja. Pouzdani proizvođači tipično daju garanciju na polikristalne fotonaponske ćelije na 20 godina. Očekuje se kako će moduli fotonaponskih ćelija kristalnog silicija ostati dominantna tehnologija

fotonaponskih ćelija barem do 2020. godine, s predviđenim udjelom od oko 50% do tog vremena [4,10].

Amorfne silicijeve ćelije imaju korisnost između 5% i 10% . Stupanj korisnosti je dosta nizak. Samim tima naspram drugih ćelija potrebna je puno veća površina za proizvodnju iste količine električne energije. Cijena materijala je manja naspram drugih ćelija što odmah pojeftinjuje izradu takvih ćelija. Ukoliko se nanese tanak sloj silicija na nekakvu podlogu dobijemo tanko slojnu silicijevu ćeliju.[4,10].

Galij arsenid je poluvodič napravljen kemijskim vezanjem galija (Ga) i arsena (As). Galij arsenid dobar je za upotrebu u višeslojnim solarnim modulima. Pogodan za upotrebu u jednoslojnim modulima. Zbog visoke apsorpcije sunčeva zračenja moguće je izrađivati od galij arsenida vrlo tanke ploče. Usporedimo li galij arsenid ploče sa silicijevim pločama manje su osjetljive na toplinu. Izrada solarnih ćelija od galij arsenida zahtijeva velike financijske troškove. Takve se ćelije koriste u svemirskim programima. Korisnost ovakvih ćelija je oko 30%. Što bi značilo da takve ćelije odnosno moduli napravljeni od galij arsenida mogu u testnim uvjetima apsorbirati i pretvoriti 1000 W/m2 u nekakvih 300W električne energije. Na površini od samo jednog kvadratnog metra[4,10].

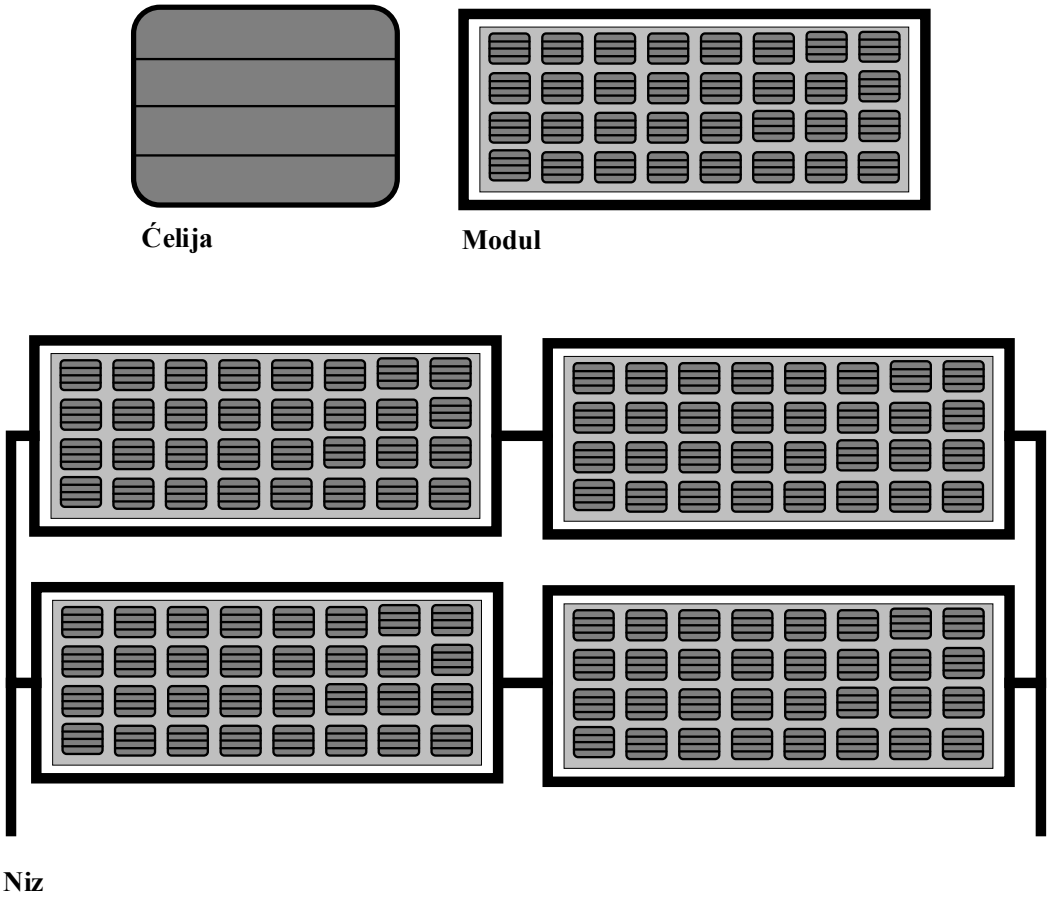
Kadmij telurijeve (CdTe) ploče imaju korisnost od oko 16%. Što znači da mogu u testnim uvjetima pretvoriti 1000 W/m2 sunčevog zračenja u 160W električne energije. Za što je potrebna površina ploče od jednog metra kvadratnog. Kadmij teleurid je kemijski spoj dva elementa to su metal kadmij i polu metal telurij. Zbog svojih dobrih svojstava i relativno jeftine tehnologije izrade pogodan je za uporabu u tankom solarnim modulima. Kadmij je otrovan i postoje sumnje na kancerogenost. Zbog otrovnosti kadmij telurijeve ćelije nisu u širokoj upotrebi[4,10].

3.6. Fotonaponski modul

Jedna solarna ćelija nam može dati napon od svega 0.5V. Što je relativno jako malo. Zbog jako malog napona jedne ćelije vrlo je rijetka upotreba samo jedne ćelije. Da bismo dobili željene napone sustava koristimo solarne module. Solarne ćelije se povezuju u nizove, te se takvi povezani nizovi ćelija postavljaju u kućišta otporna na sve vremenske prilike. Kao nekakva naponska osnova fotonaponskog modula se uzima 12V. Da bismo dobili modul navedenog napona potrebno je povezati serijski 36 ćelija koje moraju biti istih karakteristika.

Povezivanjem modula različitih karakteristika dolazi do struja izjednačenja. Module također povezujemo u različite nizove da bismo dobili željene karakteristike sustava. Fotonaponske module spajamo u seriju kada želimo dobiti veći ukupni izlazni napon sustava napajanja. Solarne module možemo povezivati i paralelno u slučaju da nam je želja dobiti veće izlazne struje modula. Solarni sustavu napajanja se uglavnom sastoje od raznih kombinacija spojeva modula.

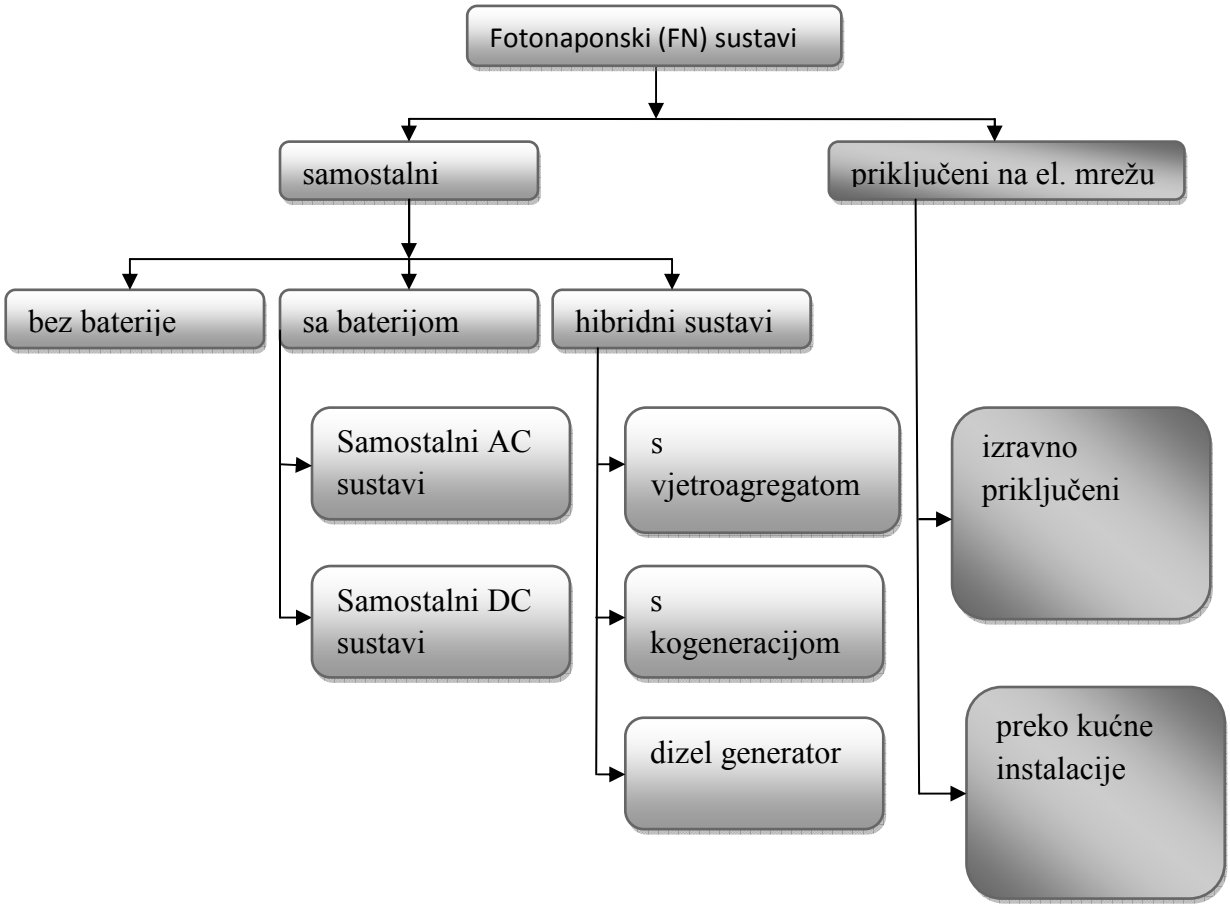
[10,11].



Slika 3.2. Ćelija, modul, niz [11].

4. SOLARNI FOTONAPONSKI SUSTAVI

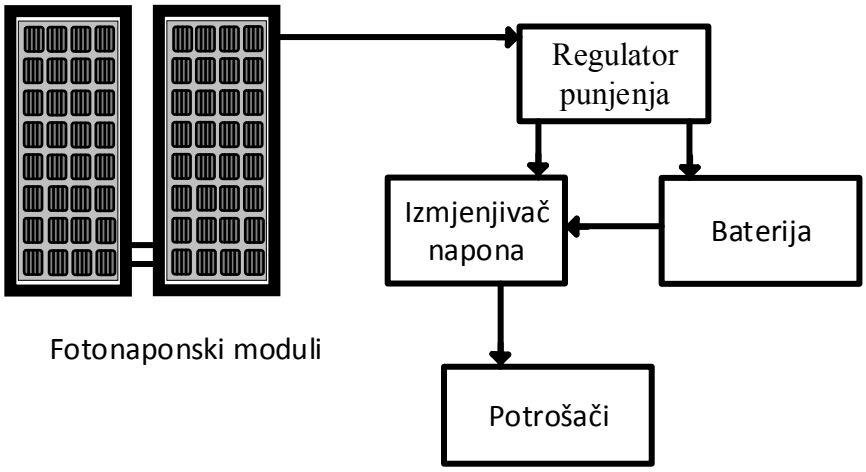
Fotonaponski sustav je sustav zadužen za fotonaponsku pretvorbu Sunčeva zračenja u električnu energiju. Zadaća fotonaponskog sustava je napajanje različitih uređaja u raznim uvjetima. Solarne fotonaponske (FN) sustave možemo podijeliti u dvije osnovne kategorije: fotonaponski sustavi koji su priključeni na elektroenergetsku distribucijsku mrežu (engl. *on-grid*) i samostalni fotonaponski sustavi koji nisu priključeni na elektroenergetsku mrežu (engl. *stand-alone systems*). Samostalni sustavi, odnosno sustavi koji nisu priključeni na mrežu mogu biti izvedeni sa pohranom energije ili bez pohrane energije. Što ovisi jedino o tome dali će sustav sadržavati spremnik energije ili ne. Spremnik energije je obično baterija. FN sustavi slikovito su prikazani na sljedećoj slici (slika 4.1.) [3,8].



Slika 4.1. Podjela fotonaponski sustava [3].

4.1. Samostalni fotonaponski sustavi

Samostalni fotonaponski sustavi su sustavi koji nisu priključeni na distribucijsku elektroenergetsku mrežu. (Slika 4.1) Samostalni FN sustavi mogu biti sustavi sa pohranom ili bez pohrane električne energije. FN sustavi sa pohranom energije zahtijevaju baterije u kojima se akumulira proizvedena energija koja se naknadno po potrebi može koristiti. Zadaća samostalnog FN sustava je kao što samo ime kaže samostalno napajanje određenog objekta sa električnom energijom. Objekti koje možemo napajati takvim sustavom su razni od prometne signalizacije pa sve do stambeni objekata koji se nalaze u nepristupačnim predjelima gdje ne postoji elektroenergetska mreža. Takav sustav proizvodi dovoljne količine energije za napajanje tih objekata. Višak proizvedene energije to jest kada se ta proizvedena energija ne iskorištava 100% se skladišti u baterije koje su većeg kapaciteta. Baterije se dimenzioniraju prema potrebama FN sustava napajanja takvog objekta [8].



Slika 4.1. Samostalni fotonaponski sustav [6].

Dijelovi samostalnog FN sustava su:

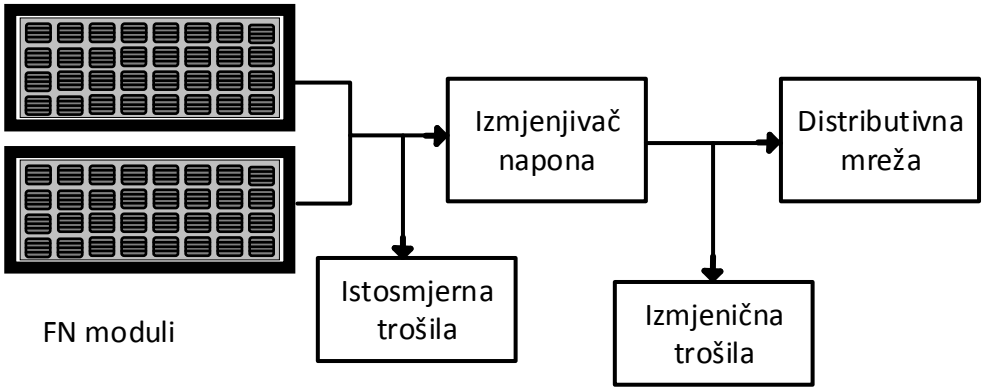
- fotonaponski moduli
- regulator punjenja baterije
- izmjenjivač napona (ako imamo izmjenična trošila)
- baterija
- potrošači

4.2. Fotonaponski sustavi priključeni na elektroenergetsku mrežu

Fotonaponski sustavi napajanja priključeni na električnu mrežu su sustavi koji su kao što samo ime sustava govori priključeni na elektroenergetsku mrežu. FN sustav se spaja preko izmjenjivača napona na distribucijsku električnu mrežu. FN sustavi proizvodi istosmjernu električnu energiju tj. istosmjernu struju. Istosmjernu struju moramo pretvoriti u izmjenični napon mrežne frekvencije, potrebno je koristiti izmjenjivače. Kako bi napajali izmjenična trošila ili radili paralelno s elektroenergetskom mrežom. FN sustavi povezani na mrežu rade tako da je elektroenergetska mreža „glavna“ naspram FN sustav. Elektroenergetska mreža određuje frekvenciju i napon. U slučaju nestanka napona distribucijske mreže prekida se rad izmjenjivača. FN sustav tada prekida sa isporukom proizvedene električne energije u mrežu. Zbog velike mogućnosti kvara nastalog na mreži, sustav bi napajao mjesto kvara. Kod FN sustava spojenih na mrežu koji napajaju objekte na kojima se i nalaze. FN sustavi osim električne energije predane u distribucijsku mrežu, moraju zadovoljiti potrošnju električne energije koja je potrebna trošilima objekta [8,10].

Spajanje FN sustava na mrežu može se izvesti na dva načina. Prvi način spajanja FN sustava na električnu mrežu je takav da proizvedena električna energija iz sustava prvenstveno služi za napajanje električnom energijom trošila koja se nalaze u objektu na kojem je i instaliran FN sustav. Proizvedeni višak se mjeri preko brojila i predaje na mrežu. U slučaju da nedostaje električne energije za napajanje trošila ta se energija nadoknađuje tako što se uzima direktno iz elektroenergetske mreže [8].

Drugim načinom spajanja se FN sustav preko izmjenjivača napona i električnog brojila spaja direktno sa distribucijskom elektroenergetskom mrežom. Sva proizvedena električna energija FN sustavom se predaje u električnu mrežu [8].



Slika 4.2. Fotonaponski sustav priključen na elektroenergetsku mrežu [11].

Temeljne potrebne komponente za fotonaponski sustav priključen direktno na elektroenergetsku mrežu prikazane su na slici (Slika 4.3.) [3]. To su:

- fotonaponski moduli
- razvodna glavna kutija sa pripadajućom zaštitnom opremom
- sklopka za odvajanje strujnog kruga FN sustava i mreže
- izmjenjivač napona DC/AC
- kabeli izmjeničnog i istosmjernog strujnoga kruga
- brojilo predane električne energije u mrežu
- brojilo preuzete električne energije iz mreže

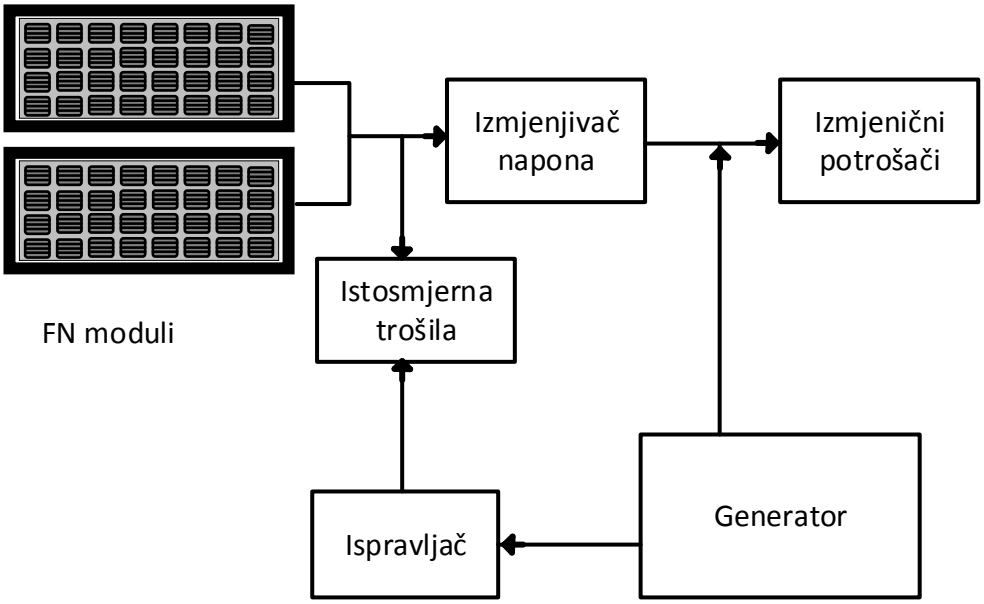
Prednosti samostalnog FN sustava spojenih na elektroenergetsku mrežu za distribucijsku proizvodnju električne energije su: [3]

- proizvodi se električna energija bez dodatnog zagađenja okoliša, nema ispuštanja štetnih plinova u okoliš
- proizvedena energija se proizvodi u blizini samoga mjesta trošila
- osigurana pouzdana i sigurna opskrba električnom energijom
- troškovi održavanja fotonaponskih postrojenja znatno su niži od održavanja centraliziranih proizvodnih objekata
- lakše je i brže pronaći lokaciju za instalaciju fotonaponskog sustava u odnosu na centralizirane sustave za proizvodnju električne energije
- jednostavno i brzo instaliranje sustava te puštanje sustava u pogon

4.3. Hibridni fotonaponski sustavi

Fotonaponski sustavi mogu biti izvedeni s pomoćnim uređajem kao npr. vjetroagregatom, kogeneracijom i najčešće agregatom na dizel. Takve fotonaponske sustave nazivamo hibridni fotonaponski sustav. Kod takvih sustava proizvedenom energijom se napajaju električna trošila a višak energije se skladišti u baterije. U slučaju da ne postoje uvjeti za dovoljnu proizvodnju električne energije u FN modulima, izvor električne energije za napajanje potrebnih trošila biti će baterije sustava. U slučaju da ni baterije nemaju uskladištenu dovoljnu količinu energije. Tada se uključuje agregat na dizel ili biodizel i proizvodi dovoljnu količinu električne energije za napajanje trošila spojenih na takav hibridni sustav.

Shema Hibridnog FN sustava za napajanje istosmjerni i izmjenični trošila prikazana je na slici (Slika 4.4.)[3].



Slika 4.4. Samostalni hibridni fotonaponski sustav s pomoćnim izvorom napajanja, generatorom [3].

Potrebne komponente za izradu hibridnog FN sustava su iste kao i za samostalni FN sustav samo što imamo generator kao dodatak sustava u slučaju smanjene mogućnosti isporuke električne energije trošilima spojenim na sustav. Hibridni FN sustav samostalnog napajanja je skuplji za izvedbu za cijenu agregata. Velika prednost ovakvog sustava je to što

sustav može isporučiti potrebnu količinu električne energije bez obzira na vremenske prilike koje se mijenjaju (npr. zasjenjenje FN modula snijegom) i količinu uskladištene energije u bateriju.

4.4. Površina potrebna za proizvodnju električne energije iz fotonaponski sustava

Ovisno o vrsti fotonaponski modula koje koristimo, odnosno ovisno o materijalu izrade ćelija modula. Ovisno o vrsti materijala ćelije mijenja se korisnost ćelije pa nam je potrebna i drugačija površina za određenu snagu pojedinog modula. Potrebna površina modula bitna je za male fotonaponske sustave za koje nemamo preveliku površinu za postavljanje istih. Gdje želimo na što manjoj površini fotonaponskog modula ostvariti što veću snagu te ako imamo određenu površinu za postavljanje modula želja nam je dobiti na toj površini što veću snagu modula a samim time i što veću proizvodnju električne energije. Tablicom (Tablica 4.1.) napravljena je usporedba potrebne površine za smještanje modula snage 1kW ovisno o vrsti ćelije [3].

Tablica 4.1. Potrebna površina za fotonaponski sustav snage 1 kW [4].

Vrsta ćelije	Potrebna površina
monokristalne ćelije	$7m^2$-$9m^2$
ćelije visokog stupnja djelovanja	$6m^2$-$7m^2$
polikristalne ćelije	$7.5m^2$-$10m^2$
bakar-indij-diselenid	$9m^2$-$11m^2$
Kadmijev telurid	$12m^2$-$17m^2$
amorfni silicij	$14m^2$ -$20m^2$

Bez obzira dali se radi o samostalnom FN sustavu ili o FN sustavu spojenom na elektroenergetsku mrežu ili pak o hibridnom FN sustavu, FN moduli predstavljaju najskuplji dio investicije. Ostala oprema za izgradnju FN sustava iznosi manje od 50% ukupni troškova [3].

4.5. Sigurnosna zaštita fotonaponski sustava

Svako elektroenergetsko postrojenje potrebno je zaštititi od neželjeni događaja, pa tako moramo zaštititi i fotonaponski sustav. Fotonaponski sustav potrebno je zaštititi od direktnog i indirektnog udara groma. FN sustavi se obično postavljaju na najviše točke zgrada tj. krovove ili na veliku površinu kao samostalni objekt. Samim time FN sustavi su izloženi atmosferskim pražnjenjima u obliku direktnog udara groma ili prenaponima koji su posljedica udaljeni udara groma. FN sustav je potrebno zaštititi i od prevelikog napona dodira.

4.5.1. Zaštita od direktnog udara groma

Grom nastaje kratkotrajnim pražnjenjem statičkog atmosferskog elektriciteta između oblaka i zemlje. Naponi groma su reda sto milijuna volti. Jakost groma iznosi nekoliko desetaka tisuća ampera, u veoma kratkom periodu. Direktnim udarom groma u FN sustav možemo očekivati veliku materijalnu štetu pa čak i uništenje cijelog sustava. Da bismo osigurali siguran i neprekidan rad sustava tijekom njegovog životnog vijeka potrebno je predvidjeti i osigurati cjelokupnu zaštitu sustava. Prilikom projektiranja i dimenzioniranja sustava potrebno je osigurati adekvatnu zaštitu od neželjenih događaja. Kod gromobranski instalacija imamo nekoliko bitnih elemenata u zaštiti od direktnog udara groma u FN sustav. Osnovi element zaštite je gromobranska hvataljka. Gromobranska hvataljka je najistureniji odnosno najviši dio gromobrana. Zadaća hvataljke je da na sebe privuče i preuzme udar groma i tako zaštiti objekt na kojemu se hvataljka nalazi. Potom je zadaća gromobranske instalacije da sigurno veliku struju kao posljedicu udara groma odvede od hvataljke u zemlju. Za to se postavlja jedan ili više gromobranski odvoda ovisno o proračunu gromobranske zaštite. Gromobranski odvodi moraju izdržati veliko zagrijavanje uzrokovano prolaskom velikih struja groma. Struja groma putuje odvodom do uzemljivača koji su ukopani u zemlju. Uzemljivači velike struje groma odvode u zemlju. Otpor uzemljivača mora biti što manji. Kako bi pad napona na njima uzrokovan prolaskom velikih struja groma bio što manji. Na slici (Slika 4.6) možemo vidjeti primjer zaštite FN sustava od direktnog udara groma s hvataljkama, koje su najviši dijelovi sustava [3,8,12].

Slika 4.6. Zaštita FN sustava s hvataljkama [8].

4.5.2. Zaštita od indirektnog udara groma

Prenaponi se javljaju u slučaju udaljenog udara groma u nadzemne vodove ili dijelove elektroenergetski postrojenja. Takav udaljeni udar groma stvara struje groma koje putuju lijevo i desno od mjesta udara i putuju sve do trafostanica ili elektrana. Putni val uzrokuje velike poraste prenapona, koji mogu trajno oštetiti sustave i trošila spojena na sustave. Od prenapona se štitimo prenaponskom zaštitim odnosno katodnim odvodnicima prenapona. Takva zaštita se postavlja na sve naponske razine nekog postrojenja. Odvodnici prenapona u FN sustavu predstavljaju zaštitu od atmosferskih prenapona uzrokovani atmosferskim pražnjenjem na izmjenjivač napona koji je spojen na električnu mrežu. Kao i za ostalu opremu koja se nalazi u objektu. Izmjenjivač napona koji je povezan na mrežu potrebno je štiti od atmosferskih pražnjenja. Atmosferska pražnjenja mogu se pojaviti na metalnim okvirima fotonaponskih modula. Fotonaponski moduli obično su postavljeni na najviše točke objekta tako su najizloženiji atmosferskim pražnjenjima. Od atmosferski pražnjenja na okvir modula štiti se katodnim odvodnikom prenapona na istosmjernoj DC strani. Odvodnici prenapona na izmjeničnoj strani AC štite izmjenjivač napona. Izmjenjivač napona vezan je za električnu mrežu i ostala trošila u objektu. Pa takav katodni odvodnik štiti od prenapona koji dolaze iz električne mreže.

Katodni odvodnici prenapona na istosmjernoj DC strani odabiru se prema naponu praznog hoda fotonaponskog sustava. Napon praznoga hoda istosmjerne strane računa se pomoću ukupnoga broja fotonaponski modula. Katodni odvodnicu prenapona izmjenične i istosmjerne strane, metalni okviri fotonaponski modula, nosači modula i ostali metalni dijelovi sustava povezuju se na zajedničku sabirnicu za izjednačavanje potencijala[3,8,12].

4.5.3. Zaštita od prevelikog napona dodira

Zaštita od prevelikog napona dodira izvodi se izjednačavanjem potencijala. Izjednačavanje potencijala je galvansko povezivanjem svih metalnih dijelova sustava koji pod normalnim radom FN sustava nisu pod naponom. Vodič za izjednačavanje potencijala galvanski povezuje sve metalne dijelove objekta na sabirnicu za zajedničko izjednačavanje potencijala. Vodič za izjednačenje potencijala naziva se zaštitni vodič. Zaštitni vodič se uvijek označava zelenožutom bojom.

Izjednačavanje potencijala potrebno je izvesti za cijeli objekt. Izvodi se zbog sprječavanja unošenja opasnih vanjskih prenapona u objekt. Izjednačavanje potencijala štiti

od raznih kvarova na instalacijama koje mogu doći u dodir sa metalnim kućištima Izjednačavanjem potencijala izvodi se radi sprječavanja pojave razlike potencijala u objektu. U raznim objektima i različitim energetskim postrojenjima uvijek postoji velik broj instalacija s vodljivim dijelovima koje nije moguće u potpunosti međusobno izolirati [3,8,12].

5. DIMENZIONIRANJE SUSTAVA ZA SAMOSTALNO NAPAJANJE STAMBENOG OBJEKTA

Proveden je proračun sustava za samostalno napajanje stambenog objekta. Objekt se nalazi u gradu Splitu. Objekt ima funkciju kuće za odmor. Sustav mora samostalno napajati sva potrebna trošila. Sustav je dimenzioniran tako da je osigurana dostatna količina električne energije za sva navedene trošila u trajanju sedam dana, korištenje električne energije za napajanje trošila predviđeno je proračunom. Vrijeme oporavka sustava je trideset dana. Proračunom smo izračunali potrebnu energiju za napajanje objekta. Prema potrebama objekta za električnom energijom dimenzioniran je sustav samostalnoga napajanja. Sustav radi nazivnim naponom od 31V za navedeni napon nisu potrebni serijski nizovi modula. Snaga jednoga modula dana je u proračunu a iznosi 250W. Prema potrebama za električnom energijom i prema dozračenoj Sunčevoj energiji izračunano da je neophodno postaviti dvanaest paralelni nizova. Za postavljanje sustava je potrebno ukupno 12 modula.

Tablica 5.1. Osnovni parametri sustava.

Lokacija	Split

Napon sustava V_s [v]	31
Dubina pražnjenja baterije t_z	0.8
Korisnost baterije η_{Ah}	0.9
Samostalni dana n_A	7
Vrijeme oporavka sustava n_E	30
Učestalost korištenja h_B	1

Kao što je već navedeno lokacija sustava će biti u gradu Splitu. Nazivni napon sustava prema ulaznome naponu iznosi 31V. Ulazni napon određen je naponom praznoga hoda modula. Napon sustava smije odstupati. Što znači da ulazni napon izmjenjivača mora biti u granicama 19V-33V, što su ujedno granice ulaznoga napona izmjenjivača . Zbog očuvanja i produljenja vijeka baterije dubinu pražnjenja smo uzeli 80% prema nazivnim podatcima

baterije. Prema razmatranju potreba objekta i korištenju objekta u godini dana odabrali smo da sustav mora biti samostalan 7 dana, tokom kojih bi se koristila električna energija proizvedena dimenzioniranim sustavom. Za vrijeme oporavka uzeli smo 30 dana. Sustav se mora oporaviti, napuniti ispražnjenu bateriju, te biti spreman za rad punim kapacitetom nakon navedenog perioda.

Tablica 5.2. Potrošači sustava.

Potrošač	AC/DC	P[w]	T[h]	E_{AC}	η	E_{DC}[Wh/d]
5 rasvjetni tijela (10W)	AC	50	4	200	0.93	215
TV	AC	60	3	180	0.93	194
Štednjak	AC	900	2	1800	0.93	1936
Perilica rublja	AC	900	1	900	0.93	968
Usisavač	AC	750	0.2	150	0.93	162
Hladnjak	AC			400	0.93	431
Ostali mali uređaji	AC			200	0.93	215
		E_V=Σ E_{DC}				4121

Pod potrošače smatramo sva trošila kojima sustav mora osigurati nesmetan rad. Navedena trošila i njihova potražnja za električnom energijom sa navedenim vremenom uključenosti su navedeni u tablici (Tablica 5.2.).

- P - snaga uređaja [w]
- T – vrijeme korištenja uređaja[h]
- E_{AC} – izmjenična energija [Wh/d]
- η – korisnost elektroenergetskog izmjenjivača
- E_{DC} – ukupna potrebna istosmjerna energija [Wh/d]
- AC/DC - izmjenični uređaj AC, istosmjerni uređaj DC

Tablica 5.3. Trajni potrošači.

Trajni potrošači	AC/DC	P[w]	T[h]	E_{AC}	η	E_{DC}[Wh/d]
Punjač	DC	1	24			24
Energetski pretvarač	DC	15	24			360
		E_0=Σ E_{DC}				384

Pod trajne potrošače smatramo potrošače koji imaju potrebu za cjelodnevnom potrošnjom. trajni potrošači dimenzioniranog sustava su navedeni u tablici (Tablica 5.3.). Imaju zadaću održavati kapacitet baterije te odgovarajući napon sustava dvadeset četiri sata dnevno.

Tablica 5.4. Potrebna proizvedena energija

Srednja dnevna energija $E_D = h_B * E_V + E_0$ [Wh/d]	4505
Srednje dnevna energija $Q_D = E_D / V_s$ [Ah/d]	93.85

Snagom trošila i okvirnim vremenom korištenja došli smo do podataka za potrebnom električnom energijom. Uzmemo li potrebnu energiju svih trošila možemo izračunati srednju dnevnu energiju potrebnu za nesmetan rad svih trošila predviđenim vremenom korištenja.

Tablica 5.5. Kapacitet baterije

Korisni kapacitet baterije $K_N = n_A * (E_V + E_0)/V_s$ [Ah]	657
Minimalni kapacitet baterije $K = K_N/t_z = n_A * (E_V + E_0)/(V_s)$ [Ah]	821

Za neometani rad samostalnog sustava napajanja potrebna je baterija. Baterija služi kao spremnik električne energije. Proračun baterije je proveden prema formulama prikazanim u tablici. Proračun baterije i iznos minimalnog i korisnog kapaciteta prikazan je tablicom (Tablica 5.5.).

Tablica 5.6. Potrebno dnevno punjenje baterije

Potrebno dnevno punjenje $Q_L = (1/\eta_{Ah})*(\ Q_D + K_N/n_E)$ [Ah/d]	129

Za neometan rad sustava također bitno je i dnevno punjenje baterije. Ispražnjen kapacitet se mora nadopuniti. Da bismo osigurali autonomnost sustava potrebno je proračunati koliki kapacitet se tokom jednoga dana mora nadopuniti. Proračun je proveden i prikazan tablicom (Tablica 5.6).

Tablica 5.7. Osnovni podatci fotonaponskog modula.

Napon sustava V_s [V]	31
Struja modula I_{MO} [A]	8.06
Snaga modula P_{MO} [W]	250
Broj modula u nizu n_{MS}	1

Nagib[°]	50	Azimut[°]	0

Osnovni podatci fotonaponskog modula prikazani su tablicom (Tablica 5.7.). Osnovni napon praznog hoda modula iznosi 37.7 V. Dok je nazivni napon modula 31 V. Napon jednoga modula odgovara nam ulaznome naponu sustava, Te nemamo potrebe za serijskim spajanjem modula zbog povećanja ulaznoga napona. Struja i snaga modula navedeni su u tablici. Na snagu i struju modula ne možemo utjecati, određeni su prilikom proračuna i izrade modula [14].

Tablica 5.8. Potrebno dnevno punjenje tijekom godine.

Mjesec	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.
Q_L	129	129	129	129	129	129	129	129	129	129	129	129
E_H	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Q_H	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Q_{PV}	129	129	129	129	129	129	129	129	129	129	129	129

- Q_L potrebno dnevno punjenje [Ah/d]
- E_H pomoćna energija (pomoćni izvori) [Wh/d]
- $Q_{H=}$ E_H/1.1*V_s [Ah/d]
- Q_{PV}= $Q_L - Q_H$ [Ah/d]

Tablica 5.9. Dozračena sunčeva energija.

Mjesec	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.
H_g	3.1	4.1	5.6	6.53	7.06	7.53	8.33	8.16	6.67	5	3.13	2.73
Y_R	3.1	4.1	5.6	6.53	7.06	7.53	8.33	8.16	6.67	5	3.13	2.73

- H_g - dozračena sunčeva energija [kWh/m^2]
- $Y_R = H_g/1kW/m^2$ [h] aproksimirano trajanje sunčeva zračenja od $1kW/m^2$

Za proračun dozračene Sunčeve energije tijekom godine za promatranu lokaciju postavljanja samostalnog sustava napajanja korištena je internet aplikacija „PHOTOVOLTAIC GEOGRAPHICAL INFORMATION SYSTEM“[15]. Podatci proračuna sunčevog zračena dani su tablicom (Tablica 5.9).

Tablica 5.10. Ukupan potreban broj modula.

Mjesec	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.
Q_S	25	33	45	52	56	60.7	67	65.8	53.8	40.3	25.2	22

- $Q_{S=}I_{MO} * Y_R$ [Ah/d]

Mjesec	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.
$n_{SP}{}'$	10	7.58	5.55	4.8	4.5	4.12	3.73	3.8	3.92	6.20	9.92	11,4

- $n_{SP}{}' = Q_{PV}/Q_S$

Neophodan broj paralelni nizova n_{SP}	12
Ukupan neophodni broj modula $n_{M=}n_{MP} * n_{SP}$	12

Proračunana je potrebna energija tokom cijele godine, prikazano u tablici (Tablica 5.9.) pojedinačno za svaki mjesec. Ovisno o mjesečnoj dozračenoj energiji svaki mjesec za puni kapacitet rada samostalnog sustava napajanja nam je potreban određen broj modula. Potrebni broj se razlikuje za svaki mjesec ovisno o dozračenoj energiji kako je već navedeno. Da bismo osigurali neometan rad sustava moramo uzeti najveći broj modula zbog toga da sustav i u mjesecima najmanje dozračene energije radi bez prekida. Kako je prikazano u prethodnoj tablici (Tablica 5.9.). Za neometan samostalan rad sustava potrebno je 12 paralelni nizova. Potrebno je ukupno 12 fotonaponski modula. Navedenim spajanjem 12 modula sustava samostalnog napajanja osigurali smo neometan rad sustava. Svim trošilima navedenim ovim proračunom osigurana je dovoljna količina energije za neometan rad tokom navedenih perioda rada.

6. ZAKLJUČAK

Sunčeva energija nam nudi neograničenu količinu obnovljive energije, koja se nažalost ne iskorištava dovoljno. Sunčevu energiju možemo iskorištavati izravnom pretvorbom u električnu energiju pomoću fotonaponske pretvorbe. Fotonaponska pretvorba predstavlja „čistu“ energiju. Prilikom pretvorbe ne dolazi do štetnih utjecaja na okoliš. Osnova fotonaponske pretvorbe su solarne ćelije u kojima dolazi do izravne pretvorbe Sunčeve energije u električnu energiju. Solarne ćelije se povezuju u nizove. Takvi nizovi ćelija postavljaju se u kućišta otporna na vremenske uvjete. Takvo jedno kućište sa nizom ćelija nazivamo fotonaponski modul.

Modul čini osnovu svakoga fotonaponskog sustava napajanja. Da bismo došli do željeni karakteristika sustava moduli se povezuju u nizove.

Razlikujemo tri osnovne vrste fotonaponski sustava: samostalni fotonaponski sustav, fotonaponski sustav spojen na električnu mrežu i hibridni fotonaponski sustav. Samostalni fotonaponski sustav ima zadaću samostalno napajati objekt bez pomoćni uređaja. Fotonaponski sustav koji je spojen na električnu mrežu može višak proizvedene energije proslijediti u mrežu. U slučaju nedostatka električne energije sustav uzima potrebnu količinu energije iz električne mreže. Hibridni fotonaponski sustavi se sastoje od fotonaponskog sustava i pomoćnog uređaja. Pomoćni uređaj može biti dizel agregat ili nekakav drugi uređaj za proizvodnju električne energije. Hibridni sustav ima zadaću samostalno napajati objekt. Energiju koju ne može proizvesti fotonaponski dio hibridnog FN sustava, sustav nadoknađuje pomoćnim uređajima.

Ovim radom napravljeno je dimenzioniranje samostalnog fotonaponskog sustava napajanja. Sustav ima zadaću opskrbiti sva trošila stambenog objekta sa dostatnom električnom energijom. Sustav je samostalan bez spoja na mrežu ili pomoćni uređaja. Sustav se sastoji od 12 paralelni nizova. Za izgradnju navedenoga sustava potrebno je ukupno 12 modula navedenih karakteristika u proračunu.

7. LITERATURA

[1] D. Šljivac, Z. Šimić, Obnovljivi izvori energije 2009.

[2] Direktiva obnovljivih izvora energije, https://ec.europa.eu/energy/en/topics/renewable-energy/renewable-energy-directive

[3] Lj. Majdandžić, Fotonaponski sustavi, priručnik, Tehnička škola Ruđera Boškovića u Zagrebu

[4] Lj. Majdandžić, Obnovljivi izvori energije, Graphis, Zagreb

[5] Sunčevo zračenje na području Republike Hrvatske, Priručnik za energetsko korištenje Sunčevog zračenja, Zdeslav Matić.

[6] Slika : Samostalni fotonaponski sustav, https://solarserdar.wordpress.com/2011/06/11/fotonaponski-sustavi-hcoie/

[7] Slika: Prosječna godišnja ozračenost na području Republike Hrvatske , http://www.solvis.hr/hr/advice/suncevo-zracenje-na-podrucju-hrvatske/

[8] H. Häberlin, Photovoltaics system design and practice, Berne University of Applied Sciences, Switzerland, 2012.

[9] Fotonaponski efekt, https://www2.pvlighthouse.com.au

[10] P. Mohanty, T. Muneer, M. Kolhe, Solar Photovoltaic System Applications, A Guidebook for Off-Grid Electrification, Springer

[11] Slika: Fotonaponski sustav priključen na elektroenergetsku mrežu, http://e-learning.gornjogradska.eu/energijaekologijaengleski-ucenici/2-energija-sunca-i-fotonaponske-celije/

[12] Franjo Majdandžić: Uzemljivači i sustavi uzemljenja, Elektrotehnički fakultet, Osijek, 2004.

[13] Renewables 2017 Global Status Report, (Paris: REN21 Secretariat).

[15] Solar projekt, Hrvatska, projektni management za solarnu i fotonaponsku tehnologiju: http://solarprojekt.hr

[15] Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS), http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis

SAŽETAK

Sunce je neograničen izvor energije koji je dostatan za sve potrebe čovječanstva za energijom. No, ipak ne iskorištava se dovoljno. Sunčevu energiju možemo iskorištavati izravnom fotonaponskom pretvorbom.

Osnova fotonaponske pretvorbe su solarne ćelije. Modul čini više ćelija povezanih u niz. Takav niz postavlja se u kućište otporno na vremenske uvjete. Modul je osnova svakoga solarnoga sustava napajanja.

Razlikujemo tri osnovne vrste fotonaponski sustava: samostalni fotonaponski sustav, fotonaponski sustav spojen na električnu mrežu te hibridni fotonaponski sustav.

Izrađen je proračun sustava za samostalno napajanje stambenog objekta.

Ključne riječi: Sunčeva energija, obnovljivi izvori energije, solarna ćelija, fotonaponski modul, fotonaponski sustavi napajanja.

ABSTRACT

The Sun is unlimited source of energy that is sufficient for all the energy humankind needs. But, still it is not used enough. Solar energy can be exploited with direct photovoltaic conversion.

The bases of photovoltaic conversion are solar cells. The module makes multiple cells that are connected in a row. Such a row is placed in a housing that is resilient to the weather conditions. The module is basis of every solar power system.

We distinguish three basic types of photovoltaic systems: stand-alone system, on-grid system and hybrid photovoltaic system.

The estimate of the system for stand-alone supply of the housing facility was calculated.

Key words: Solar energy, renewable energy sources, solar cell, photovoltaic module, photovoltaic supply system

ŽIVOTOPIS

Matej Pulpan, rođen 10. ožujka 1993. godine u Požegi. Završio osnovnu školu „Mladost“ Jakšić. Poslije upisuje srednju Tehničku školu u Požegi, smjer tehničar za računalstvo. Srednju školu završava 2013. godine te stječe zvanje tehničar za računalstvo, s temom maturalnoga rada (Antensko mjerilo stojnih valova). Nakon srednje škole upisuje Fakultet elektrotehnike, računarstva i informacijski tehnologija, preddiplomski stručni studij elektrotehnike, smjera elektroenergetika.