Projektiranje i izgradnja solarne elektrane "Solvis 2"

Daraboš, Boris

Undergraduate thesis / Završni rad

2016

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

Permanent link / Trajna poveznica: https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:122:659576

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-03-29**

Repository / Repozitorij:

University North Digital Repository

Sveučilište
Sjever

Odjel Elektrotehnika

Završni rad br. 379/EL/2016

Projektiranje i izgradnja solarne elektrane „Solvis 2“

Student

Boris Daraboš, 2118/601

Mentor

Stanko Vincek, struč.spec.ing.el

Varaždin, rujan 2016. godine

Sveučilište Sjever
Sveučilišni centar Varaždin
104. brigade 3, HR-42000 Varaždin

Prijava završnog rada

Definiranje teme završnog rada i povjerenstva

ODJEL: Odjel za elektrotehniku

PRISTUPNIK: Boris Daraboš | MATIČNI BROJ: 2118/601

DATUM: 18.02.2016. | KOLEGIJ: Osnove elektrotehnike II

NASLOV RADA: Projektiranje i izgradnja solarne elektrane „Solvis 2"

NASLOV RADA NA ENGL. JEZIKU: Design and construction of solar power plant " Solvis 2 "

MENTOR: Stanko Vincek, struč.spec.ing.el. | ZVANJE: Predavač

ČLANOVI POVJERENSTVA:

1. dr.sc. Ladislav Havaš (predsjednik)
2. Stanko Vincek, struč.spec.ing.el (mentor)
3. mr.sc. Ivan Šumiga (član)
4. dipl.ing. Dunja Srpak (zamjenski član)
5.

Zadatak završnog rada

BROJ: 379/EL/2016

OPIS:

U radu je potrebno obraditi principe pretvorbe energije u električnu energiju. Nabrojati i ukratko opisati nekonvencijalne izvore energije te detaljno opisati i objasniti postupak pretvorbe energije Sunca u električnu energiju. Zatim je potrebno opisati i objasniti princip rada, navesti i objasniti vrste solarnih ćelija te na koji način se povezuju u module. Opisati i objasniti način spajanja na energetski sustav. Kroz primjer iz prakse proračunati i projektirati solarnu elektranu 150kW.

REPUBLIKA HRVATSKA
SVEUČILIŠTE SJEVER

ZADATAK URUČEN: 07.09.2016. | POTPIS MENTORA:

Sažetak

U ovom završnom radu opisuje se dobivanje električne energije iz obnovljivih izvora energije, principi pretvorbe energije iz jednog oblika u drugi, te solarna energija i njezina primjena. Detaljno je objašnjeno dobivanje električne energije pomoću solarne ćelije, načine povezivanja solarnih ćelija u solarne module, te na kraju proračun i montaža solarnih modula da bi izgradili solarnu elektranu (u ovom slučaju 150 kW).

U prva tri poglavlja nabrojene su i objašnjene osnovne komponente od kojih se sastoji svaka solarna elektrana, te načini spajanja i rada pojedine solarne elektrane.

Glavni dio rada opisuje projektiranje i montažu solarne elektrane. Tu se opisuje izbor i dimenzioniranje osnovnih komponenata za solarne sustave, te sigurnosna zaštita solarnih sustava, i tehnički proračun solarne elektrane koji nam u konačnici pomaže u procijeni mjesečne, odnosno godišnje proizvodnje električne energije.

Sadržaj

1.UVOD 1

2.VRSTE OBNOVLJIVIH IZVORA ENERGIJE 3

2.1. Geotermalna energija 3

2.2. Biomasa 4

2.3. Energija vjetra 5

2.4. Energija vode 5

2.5. Energija plime i oseke 6

2.6. Energija valova 7

2.7. Solarna energija 7

2.7.1. Sunčevo zračenje na području Hrvatske 8

2.7.2. Sunčevo zračenje na plohu pod kutom 9

3. SOLARNE ĆELIJE 11

3.1. Početak razvoja solarne ćelije 11

3.2. Fotonaponski efekt 11

3.3. Princip rada solarne ćelije 12

3.4. Karakteristika solarne ćelije 13

3.5. Serijsko i paralelno spajanje solarnih ćelija 14

3.6. Zasjenjenje solarne ćelije 15

4. SOLARNI MODULI 18

4.1. Vrste solarnih sustava 20

4.1.1. Samostalni (autonomni) sustav-otočni sustav 20

4.1.2. Mrežni sustav – pasivni i aktivni mrežni solarni sustavi 22

4.1.3. Hibridni solarni sustavi 24

5. SOLARNA ELEKTRANA SOLVIS 2 26

5.1. Tehnički opis 26
5.2. Solarna elektrana u umreženom pogonu 27
5.3. Izbor i dimenzioniranje osnovnih komponenata solarne elektrane 28
5.4. Potkonstrukcija za montažu solarnih modula 29
5.5. Sigurnosna zaštita solarnih sustava 30
6. PROCJENA PROIZVODNJE ELEKTRIČNE ENERGIJE 34
7. TEHNIČKI PRORAČUN 36
8. ZAKLJUČAK 42
9. LITERATURA 44
10. PRILOZI 46

Popis korištenih kratica

$\mathbf{CO_2}$ - ugljikov dioksid

Si – (periodni sustav elemenata) silicij

AC – izmjenična struja (eng. Alternating Current)

DC – istosmjerna struja (eng. Direct Current)

U_{OK} - napon otvorenog kruga

I_{KS} – struja kratkog spoja

P_m - maksimalna snaga (vršna snaga)

I_L - linijska struja (foto – generirana struja)

I_D - struja diode

I_{SH} - struja šant otpornika

R_s - serijski otpor

R_p - paralelni otpor

U_{PH} - napon praznog hoda

η – efikasnost

FF – fill factor (faktor punjenja)

f – frekvencija

cosφ – faktor snage

Cu – (periodni sustav elemenata) bakar

TS – transformatorska stanica

SE – solarna elektrana

Popis tablica

Tablica 5.1: Gubitci zbog ne idealnog položaja modula

Tablica 6.1: Procjena godišnje proizvodnje energije solarne elektrane „Solvis 2“

Tablica 6.2: Usporedba proizvodnje solarne elektrane i potrošnje objekta

Popis slika

Slika 2.1: Srednja godišnja ozračenost Sunčevim zračenjem

Slika 2.2: Visina Sunca, azimut i kut upada

Slika 3.1: Svemirski satelit opskrbljen solarnim ćelijama

Slika 3.2: Solarna ćelija kao strujni izvor

Slika 3.3: Karakteristika solarne ćelije

Slika 3.4: Serijski spoj solarne ćelije

Slika 3.5: Paralelni spoj solarne ćelije

Slika 3.6: Karakteristika ne zasjenjene i zasjenjene solarne ćelije

Slika 3.7: Potpuno zasjenjena solarna ćelija

Slika 3.8: Spajanje premosne diode

Slika 4.1: Polikristalni i monokristalni solarni moduli

Slika 4.2: Osnovni dijelovi solarnog modula

Slika 4.3: Samostalni solarni sustav za AC i DC trošila

Slika 4.4: Pretvarač, SMA – njemački proizvođač (lijevo), Fronius – austrijski proizvođač (desno)

Slika 4.5: Brojila predane i preuzete električne energije

Slika 4.6: Pasivni mrežni solarni sustav

Slika 4.7: Aktivni mrežni solarni sustav

Slika 4.8: Hibridni solarni sustav za AC ili DC trošila

Slika 5.1: Principijalna shema solarne elektrane priključene na elektroenergetsku mrežu

Slika 5.2: Izmjenjivač ABB Aurora Power One 27,6-TL-OUTD-S2x

Slika 5.3: Primjer podkonstrukcije tipa Megadisk

Popis priloga

Prilog 1:Dispozicija modula elektrane

Prilog 2:Shema konstrukcije elektrane

Prilog 3:Shema ožičenja elektrane

Prilog 4:Jednopolna shema elektrane

Prilog 5:Tropolna shema elektrane

1.UVOD

Konvencionalni (uobičajeni, neobnovljivi) izvori energije su oni izvori kod kojih se za pogon turbine oslobađa energija kemijskim procesom. Kod konvencionalnih izvora podrazumijevamo termoelektrane s fosilnim gorivom (ugljen, nafta, zemni plin), kao i nuklearne elektrane.

U obnovljive (nekonvencionalne) izvore energije spadaju oni izvori električne energije koji u proizvodnom procesu električne energije ili ne mijenjaju svoju kemijsku supstancu (pogonsku) ili djelovanjem pogonske supstance (goriva) ne dolazi do štetnih emisija za okoliš. Danas se sve više koriste jer nemaju negativan utjecaj na onečišćenje okoliša. Osnovni izvori energije koje nalazimo u prirodi su energija Sunca, energija Zemlje i energija gravitacije [10]. S obzirom na vremensku mogućnost njihovog iscrpljivanja, prirodni oblici energije dijele se na neobnovljive i obnovljive oblike energije.

U obnovljive oblike energije spadaju:

- Snaga vode (energija plime i oseke, energija valova),
- Biomasa (bioplin, biodizel),
- Energija Sunčevog zračenja,
- Energija vjetra,
- Unutarnja toplina Zemlje (geotermalna energija).

Obnovljivi oblici energije ne mogu se vremenski iscrpiti, ali je moguće nakon nekog vremena u potpunosti iscrpiti njihove potencijale [10]. Neke obnovljive izvore energije nije moguće uskladištiti i transportirati u prirodnom obliku (vjetar, zračenje sunca), a dio jest (voda u vodotocima i akumulacijama, biomasa i bioplin). Izvore energije koje nije moguće uskladištiti treba iskoristiti u trenutku kad se pojave ili ih pretvoriti u neki drugi oblik energije[10]. Iako se obnovljivi izvori energije troše, oni se ne iscrpljuju već se obnavljaju u određenom ritmu. Razvoj obnovljivih izvora energije (osobito od vjetra, vode, sunca i biomase) važan je zbog nekoliko razloga:

• obnovljivi izvori energije imaju vrlo važnu ulogu u smanjenju emisije ugljičnog dioksida (CO_2) u atmosferu,

• povećanje udjela obnovljivih izvora energije povećava energetsku održivost sustava,

• pomaže poboljšanju sigurnosti dostave energije na način da smanjuje ovisnost o uvozu energetskih sirovina i električne energije,

• udio obnovljivih izvora energije u budućnosti treba znatno povećati jer neobnovljivih izvora energije ima sve manje, a i njihov štetni utjecaj sve je izraženiji u zadnjih nekoliko desetljeća. [10]

2.VRSTE OBNOVLJIVIH IZVORA ENERGIJE

2.1. Geotermalna energija

Geotermalna energija dolazi od grčke riječi geo (zemlja) i therme (toplina), i znači toplina zemlje. Toplina unutrašnjosti Zemlje rezultat je formiranja planeta iz prašine i plinova, a radioaktivno raspadanje elemenata u stijenama kontinuirano regenerira tu toplinu, pa je prema tome geotermalna energija obnovljiv izvor energije[1]. Geotermalna energija se na površini zemlje može pojaviti u dva oblika, a to su gejziri i vrući izvori. Oni nastaju tako da se voda (npr. od kiše) probija duboko po raspuklinama zemlje, tamo se zagrijava te cirkulira natrag na površinu. Glavni nedostatak iskorištavanja geotermalne energije je da nema puno mjesta na Zemlji koja su pogodna za eksploataciju. Najpogodnija su područja na rubovima tektonskih ploča, to jest područja velike vulkanske i tektonske aktivnosti.[1]

Jedan od najzanimljivijih oblika iskorištavanja geotermalne energije je proizvodnja električne energije. Tu se koriste vruća voda i para iz Zemlje za pokretanje generatora, pa prema tome nema spaljivanja fosilnih goriva i kao rezultat toga nema ni štetnih emisija plinova u atmosferu. Električna energija se proizvodi u geotermalnim elektranama. Princip rada geotermalne elektrane je da se para dovodi do parne turbine koja pokreće rotor električnog generatora. Nakon što se pokrene turbina, odnosno generator, para odlazi u kondenzator gdje se kondenzira i vraća natrag u obliku vode u zemlju to jest geotermalni izvor. Sličnost proizvodnje električne energije možemo vidjeti i kod hidroelektrane, samo što kod hidroelektrane umjesto pare turbinu pokreće voda. Trenutno se koriste tri osnovna tipa geotermalnih elektrana[1].

PRINCIP SUHE PARE: koristi se iznimno vruća para iznad 235℃. Ta se para koristi za direktno pokretanje turbine generatora.

FLASH PRINCIP: koristi se vruća voda iz geotermalnih rezervoara koji su pod velikim pritiskom i na temperaturama iznad 182℃. Pumpanjem vode iz tih rezervoara prema elektrani na površini smanjuje se tlak, pa se vruća voda pretvara u paru, i tek onda pokreće turbinu. Voda koja se nije pretvorila u paru vraća se natrag u rezervoar zbog ponovne upotrebe.

BINARNI PRINCIP: voda koja se koristi kod binarnog principa je hladnija od vode koja se koristi kod ostalih principa generiranja električne energije iz geotermalnih izvora.

Kod binarnog principa vruća voda se koristi za grijanje tekućine koja ima znatno nižu temperaturu vrelišta od vode, a ta tekućina isparava na temperaturu vruće vode i pokreće turbinu generatora. Prednost tog principa je veća efikasnost postupka, a i dostupnost potrebnih geotermalnih rezervoara je puno veća nego kod ostalih postupaka. Dodatna prednost je potpuna zatvorenost sistema budući da se upotrijebljena voda vraća natrag u rezervoar pa je gubitak topline smanjen, a gotova da i nema gubitaka vode. [1]

2.2. Biomasa

Biomasa je sva organska tvar nastala od biljnog i životinjskog svijeta. Od svih obnovljivih izvora energije, biomasa je najmanje zastupljena zbog još neotkrivenih načina pretvorbe u neke druge oblike energije. Trenutno od biomase u svijetu se iskorištava oko 1,2% za hranu, 1% za papir i 1% za gorivo, te 96% biomase ostaje neiskorišteno. Od biomase se mogu proizvoditi bioplin, bio-dizel, biobenzin (etanol), a suha masa se može samljeti u sitne komadiće tako zvane pelete, koji se mogu spaljivati u automatiziranim pećima za proizvodnju topline i električne energije. Biomasa je vrlo prihvatljivo gorivo s gledišta utjecaja na okoliš jer sadrži vrlo malo štetnih tvari, koje se nalaze u fosilnim gorivima, a koje se njihovim izgaranjem emitiraju u zrak te ugrožavaju naše zdravlje i okoliš. Glavna prednost biomase u odnosu na fosilna goriva je njena obnovljivost, i dovoljno sliči fosilnim gorivima tako da je moguća njihova izravna zamjena. Biomasa se općenito može podijeliti na drvnu, ne drvnu i životinjski otpad[2].

Bioetanol – predstavlja alternativu benzinu. Proizvodi se iz šećerne trske, kukuruza, ječma, krumpira, suncokreta, drva i još nekih biomasa. Najintenzivnija proizvodnja bioetanola je u Brazilu. Europska Unija već troši znatne količine bioetanola. Hrvatska ima veliki potencijal za proizvodnju i izvoz bioetanola, ali se koristi u vrlo maloj mjeri[2].

Biodizel – predstavlja alternativu običnom dizelu proizvedenom iz fosilnih goriva. Proizvodi se najviše iz uljarica (uljane repice, soje, suncokreta, palminih ulja), biorazgradiv je i nije opasan za okoliš. U nekim zemljama Europske Unije, biodizel je već zastupljen u gorivima (u određenom postotku), te također neka vozila mogu voziti na 100%-tni biodizel[2].

Bioplin – bioplin nastaje fermentacijom otpada iz poljoprivrede, kućanstva i industrije. Sastoji se od približno 60% metana, 35% ugljičnog dioksida, te 5% smjese vodika, dušika, amonijaka, sumporovodika, ugljičnog monoksida, kisika i vodene pare. S obzirom na količinu metana koju sadržava, bioplin se može koristiti kao gorivo. Ako se

bioplin komprimira, može zamijeniti prirodni plin koji se koristi u automobilima sa motorima na unutarnje izgaranje. [2]

2.3. Energija vjetra

Vjetar je horizontalna komponenta strujanja zraka prouzročena toplinskom razlikom, odnosno razlikom tlaka susjednih područja. U osnovi, vjetar pokreće Sunčevo zračenje. Procjenjuje se da Sunce zrači na Zemlju svakog sata energiju od 10 do 14 kWh, od čega se 1% do 2% pretvara u vjetar. Budući da se proces pokretanja vjetra nikada ne zaustavlja, vjetar je obnovljiv izvor energije. [3]

Globalna cirkulacija zraka na zemaljskoj kugli uspostavlja se jer Sunce zagrijava ekvator više od ostalih dijelova. Topao zrak nad ekvatorom diže se do visine od približno 10 km i kružno raspršuje pod utjecajem Coriolisove sile (zbog rotacije Zemlje), a hladan zrak popunjava nastale praznine, stvarajući na taj način stalne vjetrove (pasate,monsune). Stalni vjetrovi svojim puhanjem potiču kruženje vode u oceanima i formiraju morske struje. Osim globalne cirkulacije zraka, važne su i opće cirkulacije atmosfere kojima se izmjenjuju velike zračne mase između polarnih, umjerenih i suptropskih širina. Strujanje zraka nad nekim područjem, općenito, može biti uzrokovano:

- primarnom cirkulacijom, zbog globalne raspodjele tlaka zraka (karakteristično za četiri godišnja doba),
- pokretnim cirkulacijskim sustavima i anticiklonama koji uzrokuju lokalne vjetrove različitih značajki, ovisno o konfiguraciji terena, svojstvima podloge i svojstvima zračnih masa uključenih u strujanje,
- cirkulacijama srednjih i lokalnih razmjera koje nisu vidljive na sinoptičkim kartama, jer su uzrokovane razlikom tlaka nastalog zbog lokalnih značajki terena. [4]

2.4. Energija vode

Hidroelektrane su energetska postrojenja u kojima se potencijalna energija vode pomoću turbine pretvara u mehaničku (kinetičku) energiju, koja se u električnom generatoru koristi za proizvodnju električne energije. Iskorištavanje energije vodnog potencijala ekonomski je konkurentno proizvodnji električne energije iz fosilnih i

nuklearnog goriva, zato je hidroenergija najznačajniji obnovljivi izvor energije (predstavlja 97% energije proizvedene svim obnovljivim izvorima)[5].

U posljednjih trideset godina proizvodnja u hidroelektranama je utrostručena, a njen udio povećan je za 50% . Ovi podaci pokazuju da se proizvodnja u hidroelektranama brzo povećava i to iz više razloga: hidroenergija je čista, nema otpada, nema troškova goriva (voda je besplatna) pod uvjetom da je ima u dovoljnoj količini, moderne hidroelektrane mogu do 90% energije vode pretvoriti u električnu energiju, puštanje hidroelektrane u pogon vrlo je brzo te se koriste za pokrivanje naglih povećanja potrošnje, umjetna jezera nastala izgradnjom hidroelektrana lokalno doprinose ekonomiji i omogućavaju navodnjavanje, vodoopskrbu, turizam i rekreaciju. [5]

Hidroenergija ipak značajno zaostaje za proizvodnjom električne energije u nuklearnim, ali i termoelektranama. Razlog takvom stanju leži u činjenici da iskorištavanje hidroenergije ima također bitna tehnička i prirodna ograničenja. Glavno ograničenje jest zahtjev za postojanjem obilnog izvora vode kroz cijelu godinu jer je skladištenje električne energije skupo i vrlo štetno za okoliš. Kako bi se izbjegle oscilacije vodostaja na određenim je lokacijama potrebno izgraditi brane i akumulacijska jezera. Izgradnja akumulacijskih jezera često zahtijeva potapanje velikih dijelova dolina a ponekad i cijelih naselja. Osim što se na taj način povećava cijena izgradnje, javlja se i problem podizanja razine podzemnih voda oko akumulacije. Razina vode naime utječe na biljni i životinjski svijet. Dolazi i do promjena odnosa sedimentacije i erozije unutar riječnog korita. Na temelju svega navedenog može se zaključiti da niti hidroenergija nije potpuno bezopasna za okoliš. Veliku opasnost mogu predstavljati i potresi pa je u nekim zonama potrebna i dodatna protupotresna zaštita. [6]

2.5. Energija plime i oseke

Plima i oseka nastaju kao posljedica gravitacijskih sila Sunca i Mjeseca. Za sada još nema većih komercijalnih dosega na eksploataciji te energije, ali potencijal nije mali. Ta se energija može dobivati na mjestima gdje su morske mijene izrazito naglašene (plimna amplituda veća od 10 m)[7]. Princip je jednostavan i vrlo je sličan principu hidroelektrane. Na ulazu u neki zaljev postavi se brana i kad se razina vode podigne, propušta se preko turbine u zaljev. Kad se zaljev napuni brana se zatvara i čeka se da razina vode padne. Tad se voda po istom principu propušta van iz zaljeva. U jednostavnijem slučaju voda se

propušta kroz turbine samo u jednom smjeru i u tom slučaju turbine su jednostavnije (jednosmjerne, a ne dvosmjerne). Glavni problemi kod takvog iskorištavanja energije plime i oseke su:

- periodičnost izvora (treba čekati da se razina vode dovoljno digne odnosno padne)
- mali broj mjesta pogodnih za iskorištavanje takvog oblika energije.

Najpoznatija elektrana koja koristi energiju plime i oseke nalazi se na ušću rijeke Rance u Francuskoj. [7]

2.6. Energija valova

Zbog djelovanja vjetra na površinu vode u nekim zonama oceana stvaraju se veliki morski valovi. Valovi se razlikuju po visini, dužini i brzini o čemu ovisi i njihova energija. Svaki val nosi potencijalnu energiju uzrokovanu deformacijom površine i kinetičku energiju koja nastaje zbog gibanja vode. Energija vala naglo pada s dubinom vala, pa na dubini od 50 m iznosi samo 2% od energije neposredno ispod površine. Energija valova obnovljiv je izvor, koji varira u vremenu (npr. veći valovi javljaju se u zimskim mjesecima). Jednostavniji oblik iskorištavanja energije valova bio bi neposredno uz obalu zbog lakšeg tj. jeftinijeg dovođenja energije potrošačima. Međutim, energija valova na pučini znatno je veća, ali je i njezino iskorištavanje puno skuplje. Amplituda valova mora biti velika da bi pretvorba bila učinkovita. [7]

2.7. Solarna energija

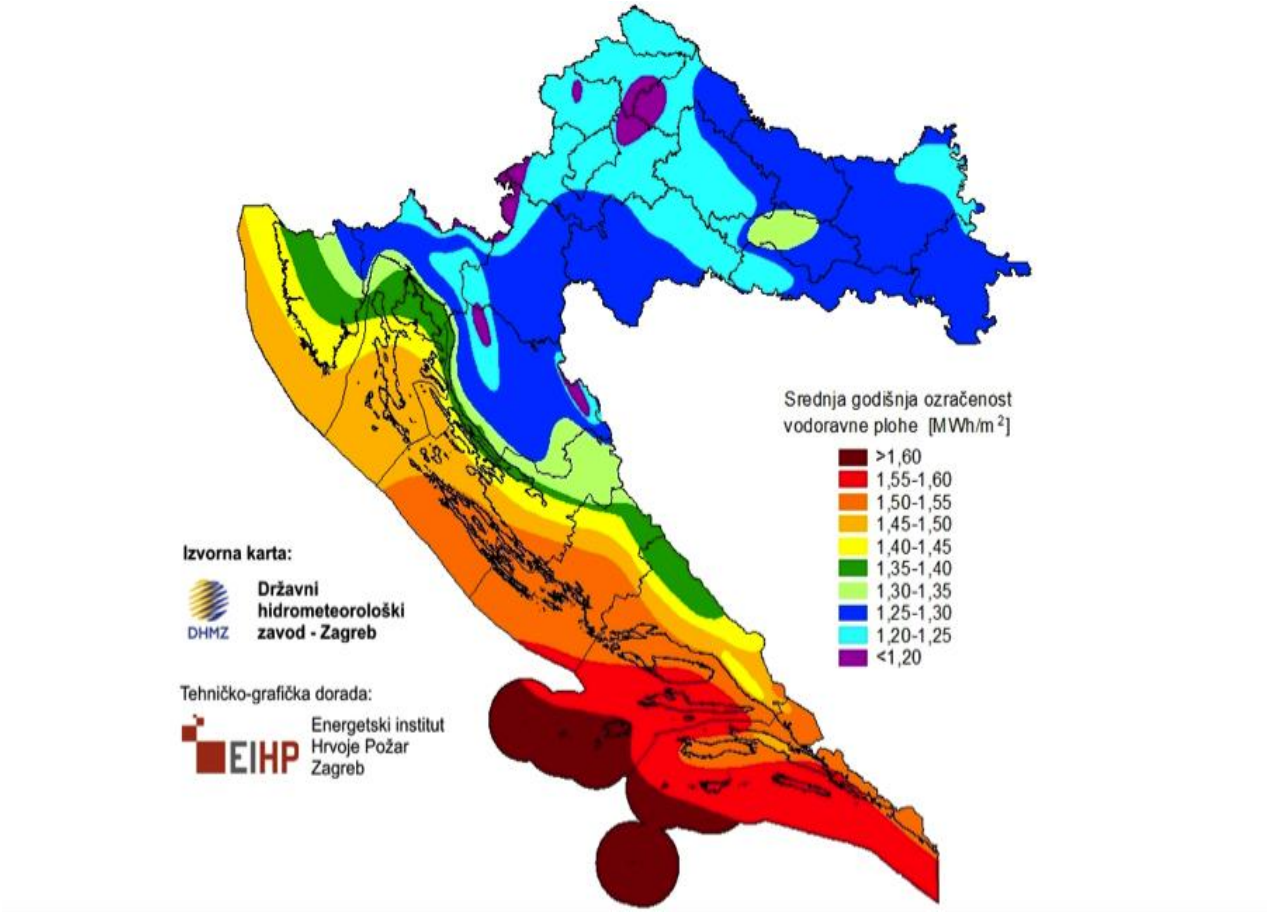
Sunce je nama najbliža zvijezda te, neposredno ili posredno, izvor gotovo sve raspoložive energije na Zemlji. Sunčeva energija potječe od nuklearnih reakcija u njegovom središtu, gdje temperatura doseže 15 000 000 °C. Radi se o fuziji, kod koje spajanjem vodikovih atoma nastaje helij, uz oslobađanje velike količine energije. Svake sekunde na ovaj način u helij prelazi oko 600 000 000 tona vodika, pri čemu se masa od nekih 4 000 000 tona vodika pretvori u energiju. Ova se energija u vidu svjetlosti i topline širi u Svemir pa tako jedan njezin mali dio dolazi i do Zemlje. [16]

Više o solarnoj energiji govorit ćemo u daljnjem dijelu rada.

2.7.1. Sunčevo zračenje na području Hrvatske

Sunce je najveći izvor energije. Ono nam daje potrebnu svijetlost, toplinu te utječe na brojne prirodne čimbenike. Da bi uspjeli pohraniti onoliku energiju koju nam Sunce daje u samo 30 min bilo bi dovoljno da cijelo čovječanstvo ima besplatnu energiju (električnu energiju) više od godinu dana. Samo jedan kWh električne energije dobivene iz Sunca smanjuje emisiju CO_2 za 1 kg [17].

Hrvatska zahvaljujući svojem geografskom položaju ima vrlo povoljne uvjete za iskorištavanje Sunčeve energije. U južnom dijelu Hrvatske godišnja proizvodnja klasičnog solarnog sustava iznosi od 1100 do 1330 kWh po instaliranom kWp snage dok u kontinentalnom dijelu Hrvatske ona iznosi od 1000 do 1100 kWh po instaliranom kWp snage [17]. Srednja godišnja ozračenost vodoravne plohe ukupnim Sunčevim zračenjem na području Republike Hrvatske prikazana je na slici 2.1.



Slika 2.1. Srednja godišnja ozračenost Sunčevim zračenjem [17]

2.7.2. Sunčevo zračenje na plohu pod kutom

Da bi dobili maksimalnu ozračenost, moramo izračunati optimalni kut zračenja. Najčešće u praksi moduli se orijentiraju prema južnoj strani (iz razloga što je ta strana tokom cijelog dana izražena sunčevim zračenjem) i postavljeni pod tim kutom.

Za proračun sunčeve energije koja upada na plohu pod kutom (slika 2-2.) najvažniji podatak je upadni kut direktnog sunčevog zračenja. Kut upada Sunca, Θ je kut između upadnih Sunčevih zraka i normale na plohu na koju upada zračenje. Pri tome je orijentacija plohe definirana njenim azimutom, α i nagibom plohe u odnosu na horizontalu, β. Kut upada Sunca može se izračunati poznavanjem geografske širine, φ, satnog kuta Sunca, ω i deklinacije, δ i orijentacijom plohe. [14]

$$\Theta(\beta,\alpha) = cos^{-1}(\cos(\beta,\alpha)), \text{ ako je } \cos(\beta,\alpha) > 0$$

$$\Theta(\beta,\alpha) = 0, \text{ ako je } \cos(\beta,\alpha) \leq 0$$

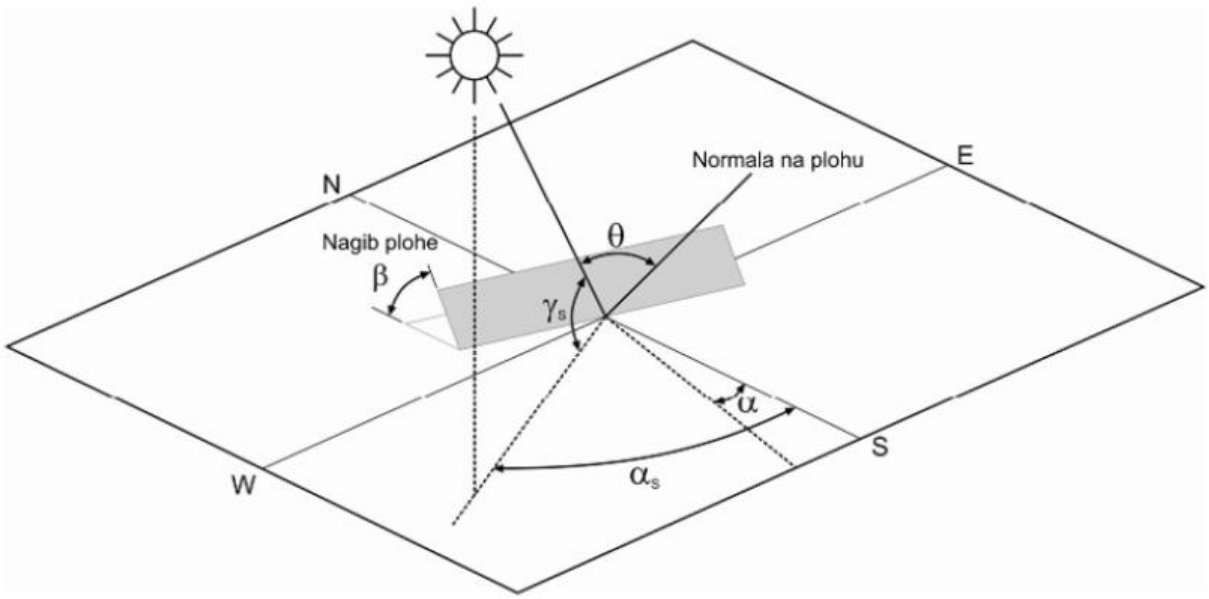
Gdje je:

$$\cos(\beta,\alpha) = cos\omega[cos\delta(cos\varphi * cos\beta + cos\alpha * sin\varphi * sin\beta)] + sin\omega[cos\delta * sin\varphi * sin\beta] + sin\omega[sin\varphi * cos\beta - cos\varphi * sin\beta * cos\alpha]$$

glavni parametar potreban za proračunavanje položaja Sunca, a predstavlja kut između spojnice središta Zemlje i središta Sunca i ravnine u kojoj leži ekvator. Visina Sunca,γ_S je kut između središta Sunčevog diska i horizontalne ravnine, a može se izračunati iz:

$$\gamma_S = sin^{-1}(sin\varphi * sin\delta + cos\varphi * cos\delta * cos\omega)$$

Sunčev azimut,α_S je kut između vertikalne ravnine koja sadrži smjer Sunca i vertikalne ravnine koja prolazi smjerom sjever – jug. Sunčev azimut se mjeri od juga na sjevernoj polutci, odnosno od sjevera na južnoj polutci. Azimut ima pozitivan predznak poslijepodne u sunčanom vremenu, dok prije sunčanog podneva poprima negativnu vrijednost.[8] [14]



Slika 2.2. Visina Sunca, azimut i kut upada [8]

3. SOLARNE ĆELIJE

3.1. Početak razvoja solarne ćelije

Prvu (silicijevu) solarnu ćeliju otkrio je 1941. godine Russell Ohl. Njezina djelotvornost bila je ispod 1%. Nakon toga, 1954. godine skupina istraživača u Bell Laboratories u New Yorku izradila je silicijevu solarnu ćeliju s djelotvornošću od 6%, i prvi solarni modul pod imenom Bellova solarna baterija. Kako je proizvodna cijena prvih solarnih ćelija bila vrlo visoka, one nisu mogle pronaći svoju komercijalnu upotrebu, nego su 1958. godine prvi puta korištene na satelitima za svemirsko istraživanje (slika 3-1.). Solarne ćelije su svoju prvu primjenu na Zemlji dočekale tek 70-tih godina prošlog stoljeća za vrijeme naftne krize. Tada se prvi put uočilo da ne postoje neograničene zalihe fosilnih goriva, te da treba potražiti i razviti nove, obnovljive energetske izvore. [12]



Slika 3.1. Svemirski satelit opskrbljen solarnim ćelijama [12]

3.2. Fotonaponski efekt

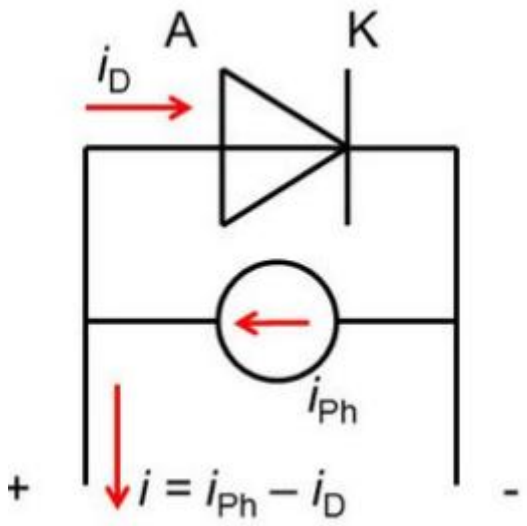
Fotonaponski efekt je otkrio Edmond Becquerel 1839. godine. On ga je opisao kao proizvodnju električne struje kada se dvije ploče platine ili zlata urone u kiselinu, neutralnu ili lužnatu otopinu te izlože na nejednolik način sunčevu zračenju. Njegovo otkriće u to doba nije pobudilo preveliki interes, ali nije bilo zaboravljeno sve do današnjih dana, kada je Europska unija ustanovila nagradu koja nosi njegovo ime i dodjeljuje se jedanput godišnje za najistaknutiji doprinos razvoju solarne pretvorbe sunčeve energije. [12]

Danas fotonaponski efekt opisujemo kao stvaranje napona (ili odgovarajuće električne struje) u materijalu nakon izlaganja svijetlu. Iako je fotonaponski efekt izravno vezan uz

fotoelektrični efekt, ta dva procesa su različita i treba ih razlikovati. Kod fotoelektričnog efekta, elektroni se oslobađaju s površine materijala nakon izlaganja dovoljnoj količini energije sunčevog zračenja. Fotonaponski efekt je drugačiji, kod njega se oslobođeni elektroni provode između molekula različitih spojeva materijala (kroz različite valencije), što rezultira povećanjem napona između dvije elektrode. [13]

3.3. Princip rada solarne ćelije

Princip rada solarne ćelije možemo najjednostavnije opisati ako solarnu ćeliju promatramo kao svjetlosnu diodu (foto diodu). Ukoliko na svjetlosnu diodu djelujemo sa nekim izvorom svjetlosti, energija svjetla stvara slobodne nositelje električnog naboja. To najjednostavnije možemo vidjeti ako solarnu ćeliju promatramo kao strujni izvor kojemu je paralelno spojena dioda, kao što je prikazano na slici 3.2.

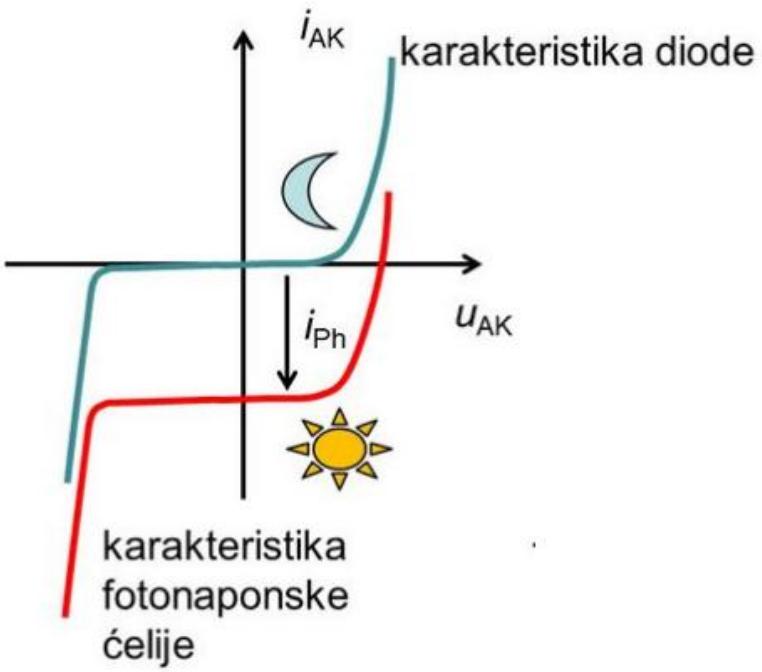


Slika 3.2. Solarna ćelija kao strujni izvor [6]

Strujni izvor ovisno o razini osunčanja predstavlja konstantnu struju stvorenu energijom fotona (fotoelektričnu struju). Ukoliko je dioda jače osunčana, struja je jača, a ako je osunčanje manje struja je slabija.

3.4. Karakteristika solarne ćelije

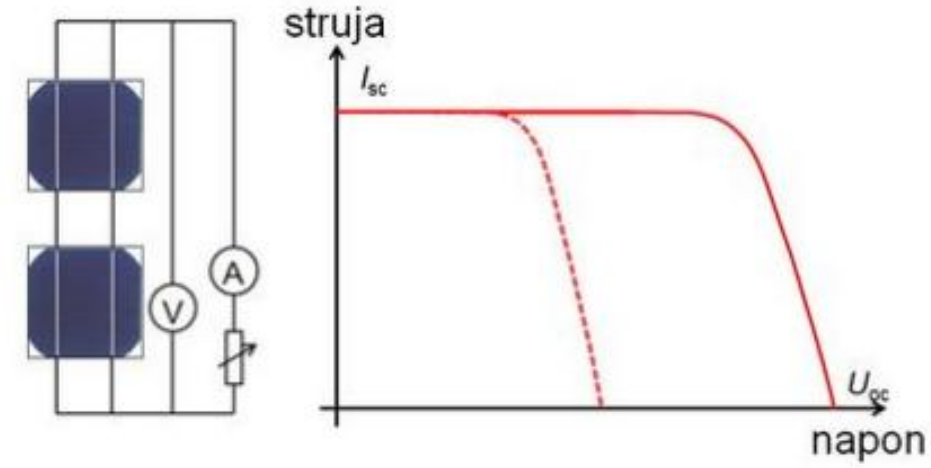
Karakteristiku solarne ćelije također možemo prikazati pomoću karakteristike obične diode. Ta karakteristika nam pokazuje karakteristiku solarne ćelije kada na nju ne djelujemo sa izvorom svijetlosti. Ukoliko na ćeliju djelujemo sa nekim izvorom svijetlosti, ta karakteristika „klizi“ prema dolje i dobivamo vanjsku karakteristiku solarne ćelije pri nekom konstantnom osunčanju kao što je prikazano na slici 3.3.



Slika 3.3. Karakteristika solarne ćelije [6]

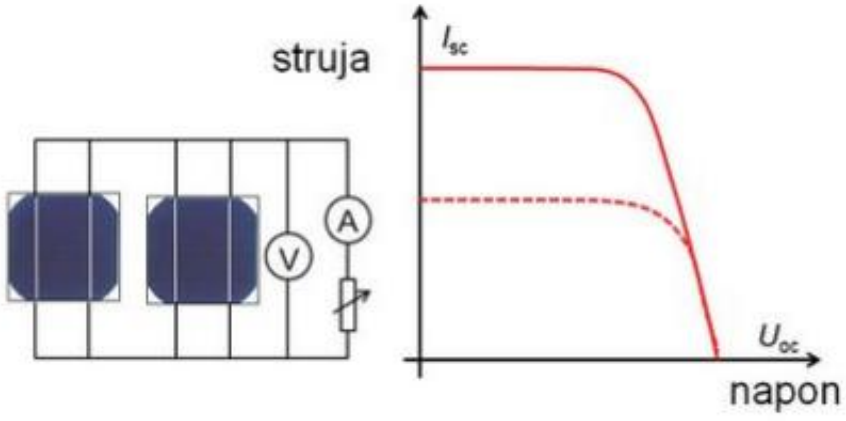
3.5. Serijsko i paralelno spajanje solarnih ćelija

Serijskim spajanjem solarnih ćelija rasti će napon niza (stringa), a struja će ostati nepromijenjena kao što je prikazano na slici 3.4.



Slika 3.4. Serijski spoj solarne ćelije [6]

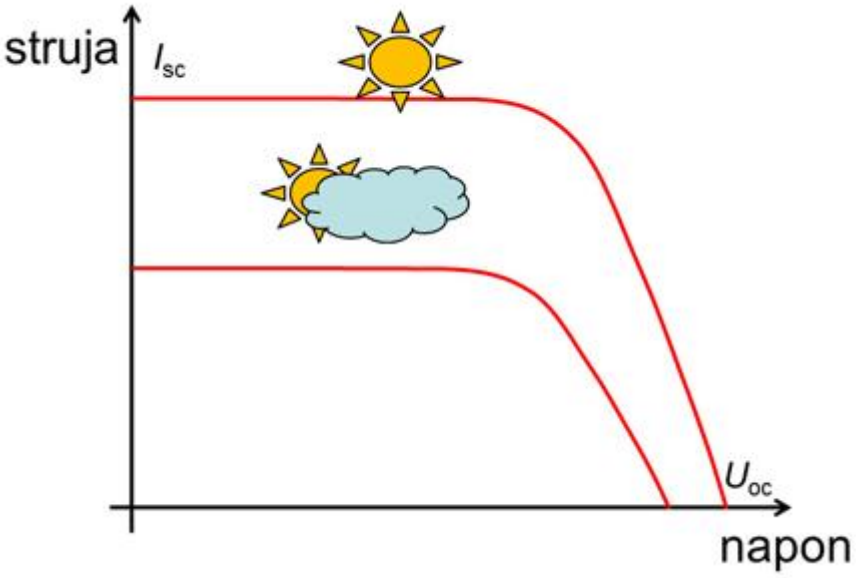
Paralelnim spajanjem solarnih ćelija, struja na njima se zbraja, a napon ostaje nepromijenjeni kao što je prikazano na slici 3.5.



Slika 3.5. Paralelni spoj solarne ćelije [6]

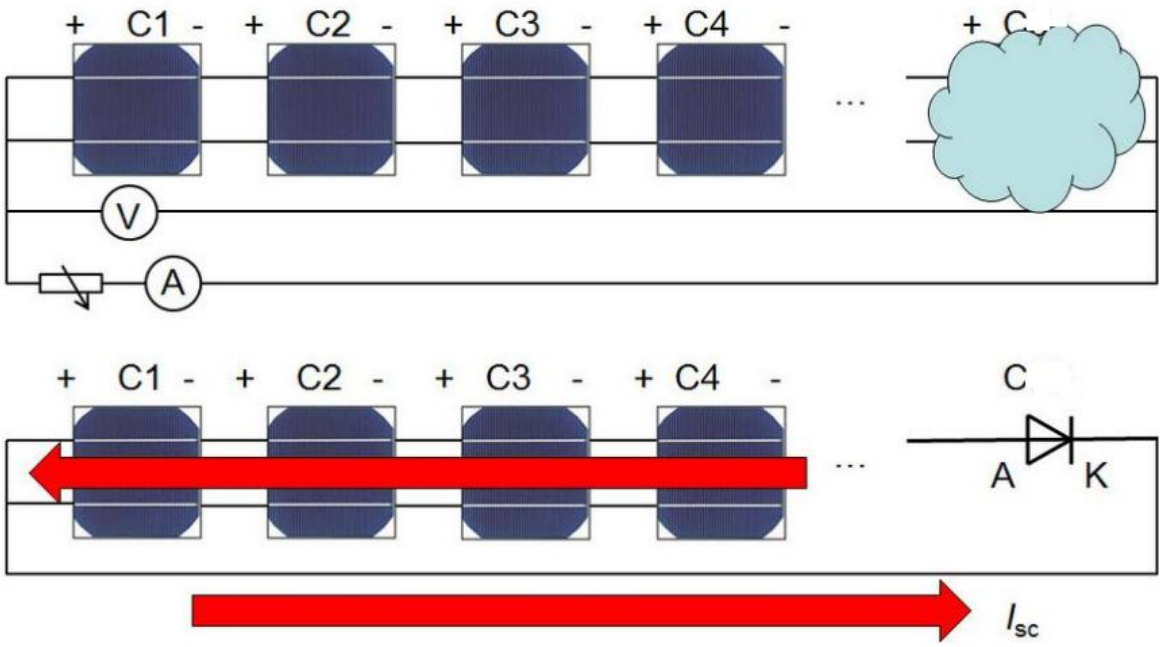
3.6. Zasjenjenje solarne ćelije

Zasjenjenje solarne ćelije je efekt kada jedna ćelija u nizu nije osunčana istim intenzitetom kao ostale. To se može desiti i kada je modul prekriven snijegom ili lišćem. Zasjenjenje samo jedne ćelije predstavlja problem na cijelom modulu zbog toga jer će ta ćelija imati manju struju od ostalih ne zasjenjenih ćelija i samim time cijeli niz ćelija će imati manju struju, to jest zasjenjenje ćelija će ograničiti struju cijelog modula. (slika 3.6.)



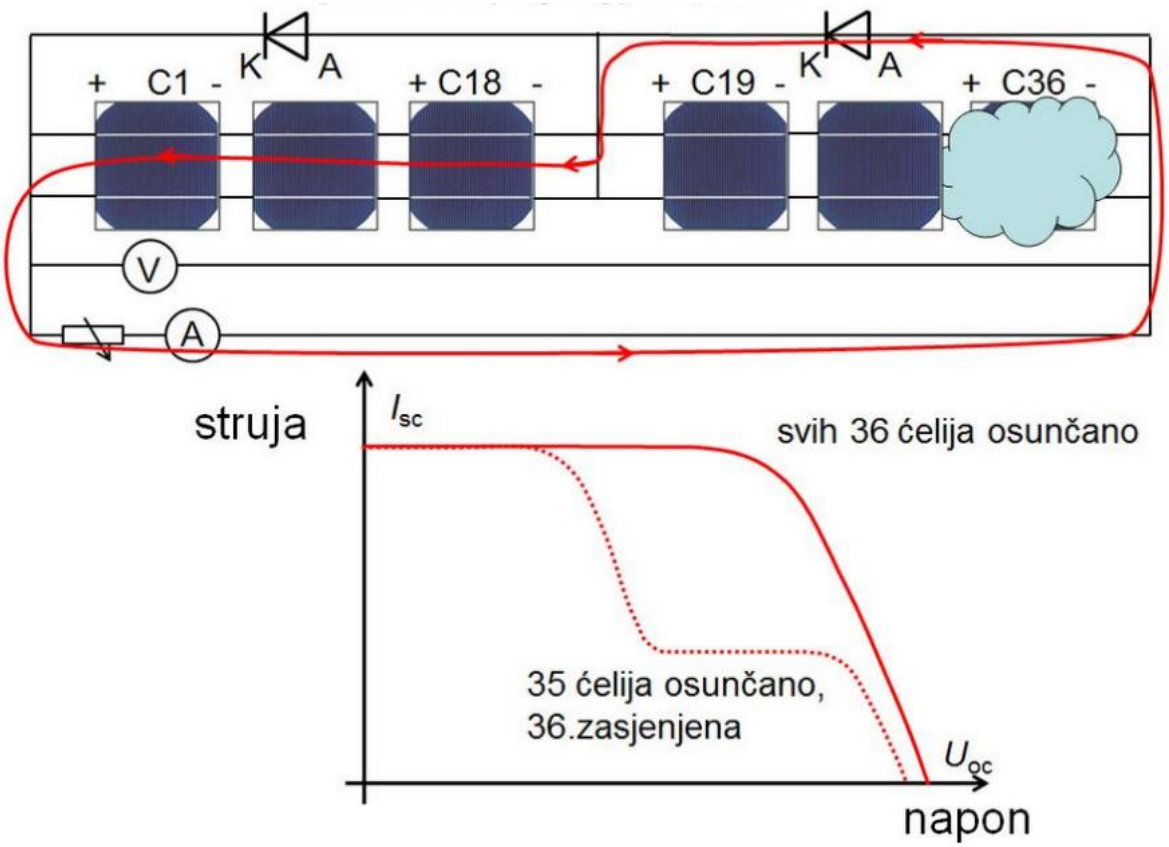
Slika 3.6. Karakteristika ne zasjenjene i zasjenjene solarne ćelije [6]

Ponekad imamo slučaj da ćelija nije djelomično nego potpuno zasjenjena. Tada ta ćelija više ne proizvodi fotoelektričnu struju nego se ponaša kao obična dioda.



Slika 3.7. Potpuno zasjenjena solarna ćelija [6]

U tom slučaju ta ćelija predstavlja trošilo i sva struja modula će prolaziti tom ćelijom koja će se jako zagrijavati. Drugim riječima možemo reći da se na tom mjestu troši sva snaga koju proizvede solarni modul. Taj efekt se još naziva „hot spot“ efekt ili vruća točka modula. Ta pojava može se spriječiti upotrebom premosne (bypass) diode. Na slici ćemo prikazati taj problem ukoliko imamo solarni modul od 36 ćelija.



Slika 3.8. Spajanje premosne diode [6]

Problem bi se u potpunosti riješio kada bi svaka ćelija imala svoju premosnu diodu, ali u praksi se to ne radi. U praksi se najčešće spaja jedna premosna dioda na svakih 15 ili 20 solarnih ćelija. Kod današnjih solarnih modula od 36, 48, 60 ili 72 solarne ćelije spajaju se 3 premosne diode i one su ugrađene u spojnu kutiju. Zadatak premosne diode je sprječavanje razarajućeg reverznog napona na zasjenjenoj ili tzv „crnoj“ ćeliji. Korištenjem premosne diode, kroz zasjenjenu ćeliju praktički ne teče struja, te se samim time ne zagrijava i nema opasnosti od proboja.

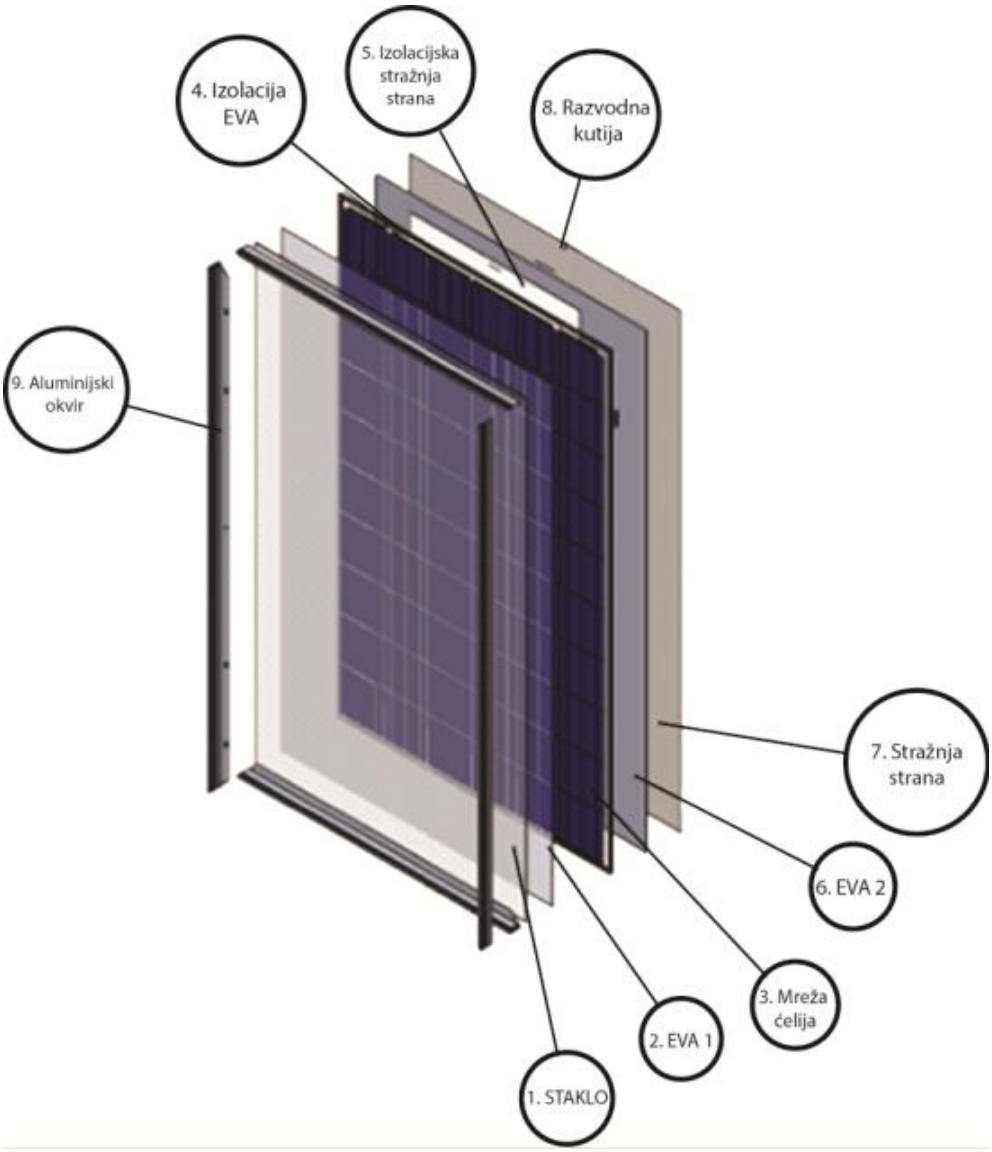
4. SOLARNI MODULI

Solarni modul se sastoji od više međusobno serijski i paralelno spojenih solarnih ćelija kako bi njegova ukupna izlazna snaga bila što veća. U današnje vrijeme solarni moduli se izrađuju u različitim oblicima i sa različitim brojem solarnih ćelija. Dvije najpoznatije vrste solarnih modula su polikristalni solarni modul i monokristalni solarni modul (slika 4.1). Da li je solarni modul polikristalni ili monokristalni ovisi o solarnim ćelijama od kojih je napravljen.



Slika 4.1.Polikristalni i monokristalni solarni modul

Danas se izrađuju solarni moduli sa kombinacijom od 36 solarnih ćelija čija je izlazna snaga do 175 W, zatim solarni moduli sa kombinacijom od 48 solarnih ćelija čija maksimalna izlazna snaga iznosi 225 W. Ipak u današnje vrijeme najveća potražnja je za solarnim modulima sa 60 solarnih ćelija čija izlazna snaga iznosi čak 275 W, te za solarnim modulima od 72 solarne ćelije čija izlazna snaga doseže čak 350 W. Dijelovi solarnog modula prikazani su na slici 4.2 te ćemo ih objasniti zajedno sa izradom solarnog modula.



Slika 4.2. Osnovni dijelovi solarnog modula

Princip izrade solarnih modula i nije previše zahtjevan, ali da bi napravili kvalitetan solarni modul moramo koristiti kvalitetne materijale i moramo koristiti posebne strojeve za solarnu tehnologiju koji nisu baš jeftini. Sami proces izrade solarnog modula počinje kada na kaljeno staklo, koje mora biti anti refleksijsko iz razloga da ne odbija sunčeve zrake i da hvata direktnu i difuznu svijetlost stavljamo prvi sloj termoplastičnog EVA filma (etilen vinil acetat). Nakon toga na staklo se stavljaju stringovi (serijski spojene solarne ćelije) koje se spajaju tj. leme u posebnom stroju za solarne tehnologije koji se zove Komax. Nakon što na staklu imamo određeni broj stringova (najčešće 6 komada) nad njima se vrši interkonekcija tj. njihovo paralelno spajanje. Nakon toga modul se prekriva sa još jednim slojem EVA filma te još sa tedlarom koji je ustvari tvrdi vodonepropusni papir koji nam služi kao odlična vodootporna zaštita. Zatim se moduli stavljaju u laminator gdje se

određeno vrijeme (ovisno o EVA filmu) laminiraju na 150 ℃. Nakon toga na modul se ugrađuje spojna kutija, te se na njega stavljaju aluminijski okviri da bi bio robusniji, ali i zbog lakše montaže.

4.1. Vrste solarnih sustava

Solarni sustav možemo drugim riječima nazvati solarna elektrana. On sadrži minimalno jedan solarni modul i sve druge komponente kao i solarna elektrana ovisno o njegovoj vrsti. Cilj solarnog sustava je osigurati rad istosmjernim i izmjeničnim trošilima sa ili bez nekog drugog alternativnog izvora električne energije.

Najjednostavniji solarni sustav (bez pretvarača), napaja samo istosmjerna trošila, a ako se na njega spoji pretvarač, tada može napajati i izmjenična trošila.

Ovisno o načinu rada, postoje sljedeće vrste solarnih sustava:

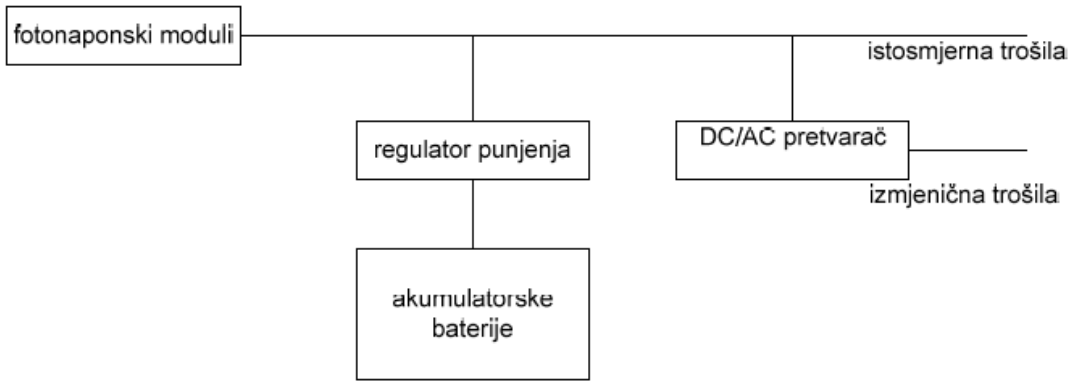
- Samostalni (autonomni), za čiji rad mreža nije potrebna,
- Mrežni, spojen na električnu mrežu:
    a. Pasivni, kod kojih mreža služi samo kao pričuvni izvor,
    b. Aktivni, kod kojih mreža može pokrivati manjkove, ali i preuzimati viškove električne energije iz solarnih modula,
- Hibridni, koji su zapravo samostalni i povezani s drugim (obnovljivim) izvorima.[12]

4.1.1. Samostalni (autonomni) sustav-otočni sustav

Kao što sama riječ govori, samostalni sustavi za svoj rad ne koriste druge alternativne izvore električne energije. Ti sustavi svoju primjenu nalaze na mjestima gdje ne postoji elektroenergetska mreža, pa samim time možemo reći da nam pružaju potpunu energetsku neovisnost.

Samostalni solarni sustavi sastoje se od minimalno jednog solarnog modula koji je preko regulatora punjenja spojen na akumulator. Akumulator nam je potreban ukoliko želimo koristiti električnu energiju tijekom noći ili kad nema dovoljno sunčevog svijetla.

Na akumulator možemo direktno spojiti istosmjerna trošila, a ako želimo koristiti neko izmjenično trošilo, tada između akumulatora i izmjeničnog trošila moramo spojiti pretvarač.



Slika 4.3. Samostalni solarni sustav za AC i DC trošila [12]

DC-AC pretvarač (invertor):

Pretvarač je elektronički sklop koji istosmjernu struju koju proizvede solarni modul, ili koja je pohranjena u solarnom akumulatoru pretvara u izmjeničnu koja se šalje u elektroenergetsku mrežu ili koristi za napajanje trošila (slika 4.4.). Prema izvoru istosmjernog napona mogu se podijeliti u dvije skupine:

- Pretvarači za sustave neovisne o električnoj mreži (stand-alone)

Izvor istosmjernog napona je baterija. Pretvarač pretvara baterijski napon u regulirani izmjenični napon stabilnog iznosa i frekvencije. Valni oblik napona može biti sinusni ili sličan pravokutnome (modificirani sinus). Sinusni pretvarači prikladni su za napajanje svih vrsta trošila, ali su skuplji od pravokutnih.[18]

- Pretvarači za sustave povezane s javnom električnom mrežom (mrežom vođeni)

Na ulaz ovih pretvarača direktno su spojeni solarni moduli, a na izlaz javna elektroenergetska mreža. Istosmjerni napon modula pretvara se u izmjenični, pri čemu postoji sinkronizacija s mrežnim naponom. Baterija u ovom slučaju nije potrebna. Tok električne energije je uvijek od modula prema mreži.[18]



Slika 4.4. Pretvarač, SMA - njemački proizvođač (lijevo), Fronius - austrijski proizvođač (desno) [12]

Regulator napona (punjenja) – DC kontroler:

Regulator napona je uređaj koji spajamo između solarnog modula i akumulatora, a njegova osnovna zadaća je da kontrolira punjenje akumulatora pazeći da se akumulator ne prepuni ili da se do kraja ne isprazni. Regulator napona također služi kao sigurnosni uređaj za cijeli sustav zbog toga jer integrira zaštitu od kratkog spoja na potrošačima.

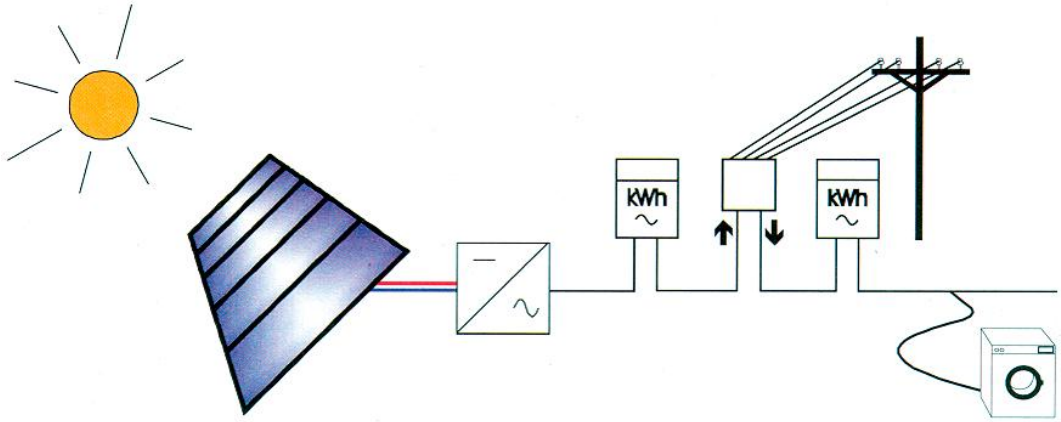
Solarne baterije:

Solarne baterije ili solarni akumulatori nam služe za pohranjivanje električne energije koju proizvede solarni modul. Kao što smo već spomenuli, najveću potrebu za solarnim akumulatorima imamo tokom noći i onda kada nam solarni modul ne može dati dovoljnu električnu energiju.

4.1.2. Mrežni sustav – pasivni i aktivni mrežni solarni sustavi

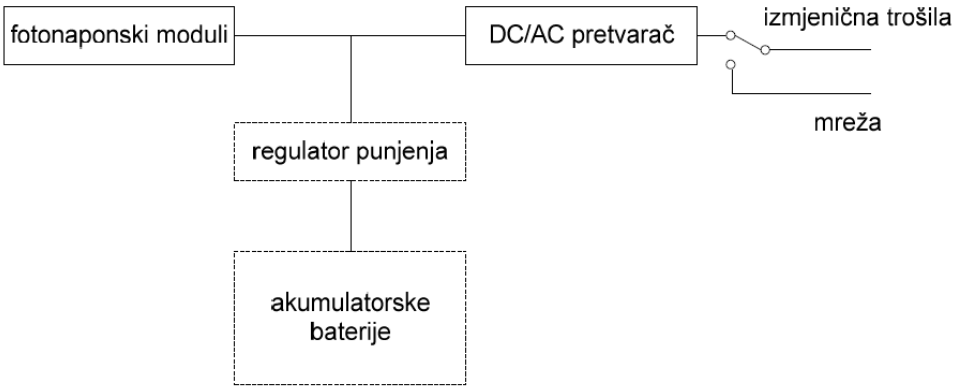
Mrežni solarni sustavi su projektirani tako da prvo napajaju svoje potrošače. Ukoliko nemaju dovoljnih kapaciteta električne energije, tada električnu energiju preuzimaju iz elektroenergetske mreže. Ukoliko ti sustavi proizvode više električne energije nego što potrošači troše, tada te viškove predaju elektroenergetskoj mreži. Možemo reći da nam u ovom slučaju mreža služi kao „dodatni akumulator“. U mrežnom sustavu, osim opreme koju smo već spominjali u samostalnim sustavima, potrebna su nam još dva električna brojila. Jedno brojilo nam služi za mjerenje dobivene snage koju koristimo iz elektroenergetske mreže, a drugo brojilo nam služi za mjerenje viškova

energije, odnosno količinu električne energije koju je sustav predao u elektroenergetsku mrežu.



Slika 4.5. Brojila predane i preuzete električne energije [12]

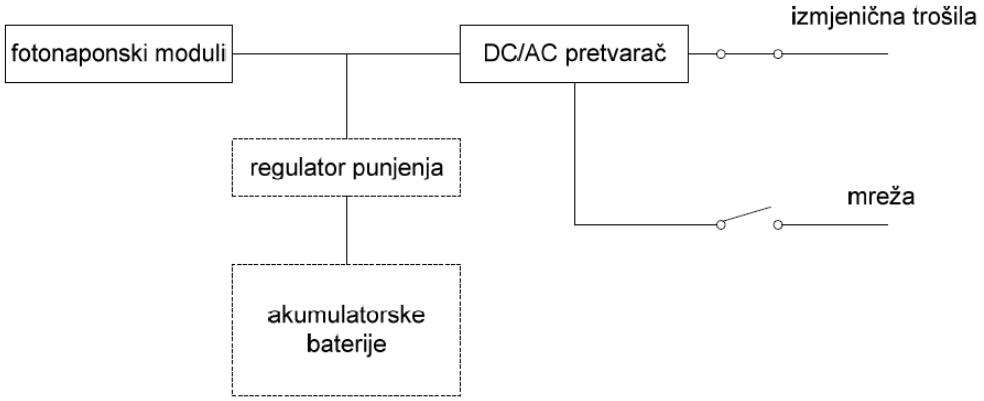
Pasivni mrežni solarni sustavi (slika 4.6.) električnu mrežu koriste samo uvjetno, odnosno rade kao samostalni sustavi, a ako ne mogu proizvesti dovoljno električne energije za napajanje svih trošila, tada razliku preuzimaju iz elektroenergetske mreže. Kod pasivnih mrežnih solarnih sustava važno je napomenuti da oni viškove proizvedene električne energije ne predaju u elektroenergetsku mrežu.



Slika 4.6. Pasivni mrežni solarni sustav [12]

Aktivni, mrežni solarni sustavi (slika 4.7.) mrežu koriste aktivno, odnosno drugim riječima možemo reći da im elektroenergetska mreža služi kao dodatni izvor električne energije. Princip rada im je potpuno isti kao i kod pasivnih mrežnih solarnih sustava samo

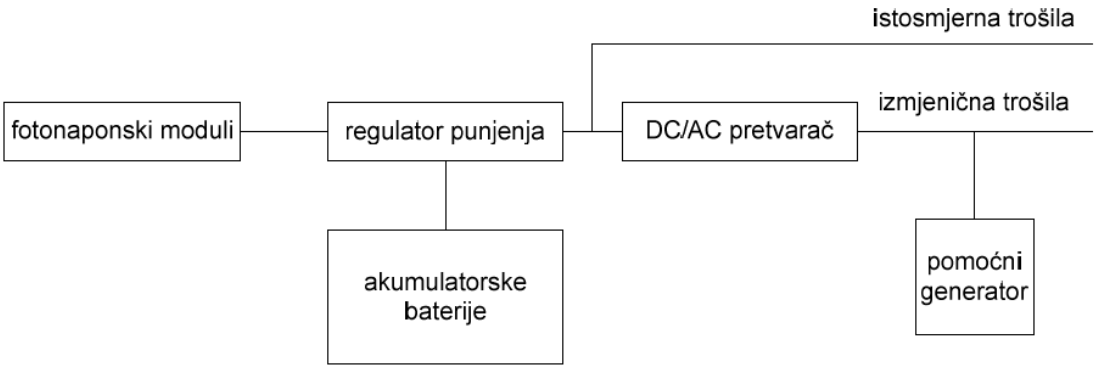
što oni osim što nedostatke električne energije preuzimaju iz elektroenergetske mreže, viškove koje proizvode predaju elektroenergetskoj mreži.



Slika 4.7. Aktivni mrežni solarni sustav [12]

4.1.3. Hibridni solarni sustavi

Hibridni solarni sustavi (slika 4.8.) su u stvari isti kao i mrežni solarni sustavi samo što oni imaju i drugi alternativni izvor električne energije. Danas se kod hibridnih solarnih sustava najčešće kao alternativni izvor električne energije koristi dizel agregat. Princip rada je također sličan samostalnim mrežnim sustavima. Solarni moduli proizvode električnu energiju i pune akumulatore. U slučaju potrebe za više električne energije, paralelno sa solarnim modulom radi i drugi alternativni izvor (npr: dizel agregat) koji u najčešćem slučaju pomogne solarnom modulu samo dopuniti akumulator te se nakon toga ugasi. Sustav je tako i projektiran, da se alternativni izvori isključuju nakon što dopune akumulator, jer samim time imamo uštedu (npr: u ovom slučaju gorivo za agregat).



Slika 4.8. Hibridni solarni sustav za istosmjerna ili izmjenična trošila [12]

5. SOLARNA ELEKTRANA SOLVIS 2

Na krovu zgrade planira se izgraditi solarna elektrana za proizvodnju električne energije koja bi se zatim po poticajnoj cijeni predavala u javnu elektroenergetsku mrežu. Površina raspoloživog krova je oko 2000m^2. Na danu površinu potrebno je optimalno rasporediti module, odrediti njihov broj, kut nagiba, azimut modula, predložiti način učvršćenja nosive konstrukcije, način električnog spajanja, predložiti solarni izmjenjivač, procijeniti ukupne troškove instalacije, te godišnju proizvodnju električne energije. Na metalnu potkonstrukciju bi se postavilo 690 solarnih modula SOLVIS SV60-235 hrvatskog proizvođača Solvis d.o.o. Energiju bi u mrežu predavalo pet trofaznih izmjenjivača Aurora Power One 27,6-TL-OUTD-S2x proizvođača ABB. Očekivana godišnja proizvodnja električne energije je 171,33MWh. Solarnu elektranu potrebno je osmisliti tako da radi automatski u svim vremenskim uvjetima. Svi dijelovi i komponente moraju biti takve kakvoće kako bi se uz minimalne potrebe održavanjem osigurao siguran pogon i maksimalni radni vijek elektrane.

5.1. Tehnički opis

Zbog povoljnog geografskog položaja na području Varaždinske županije potencijali za proizvodnju električne energije su visoki. Tipična očekivana proizvodnja po kW instalirane snage iznosi oko 1050kWh godišnje.

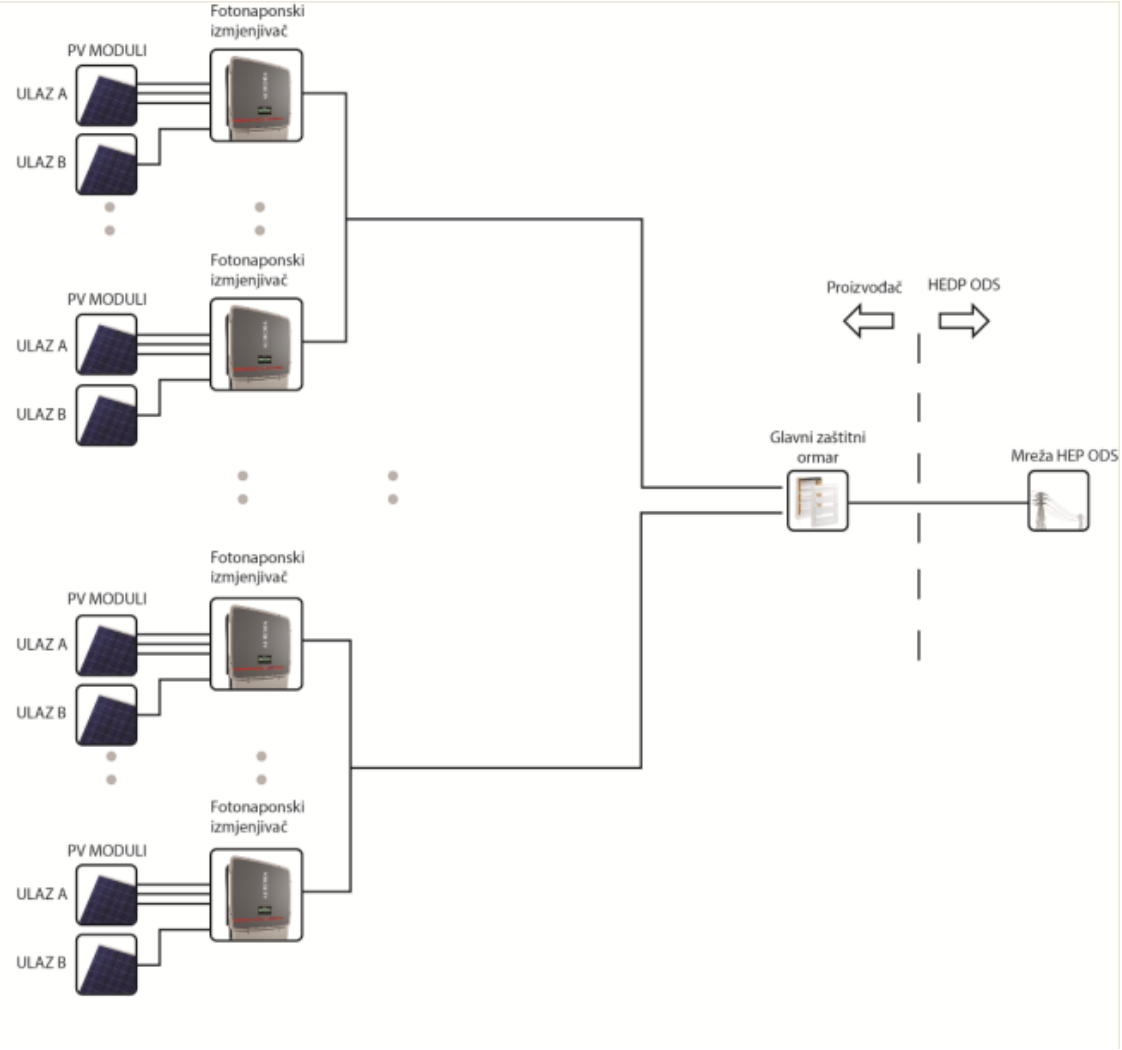
Solarna elektrana je nazivne snage izmjenjivača 150kW i vršne snage solarnog generatora 162,15kW. Elektrana treba raditi paralelno s elektrodistribucijskom mrežom te biti stalno priključena na istu.

Osnovni tehnički podaci solarnog sustava:

1. Pogonsko sredstvo: Sunce
2. Instalirana snaga: 150 kW
3. Nazivni napon: 3 x 230 / 400 V
4. Nazivna frekvencija: 50 Hz
5. Nazivni faktor snage: 1
6. Način pogona: paralelno sa distribucijskom mrežom
7. Namjena: pretežito za vlastite potrebe, prodaja viška proizvedene energije po tržišnoj cijeni.

5.2. Solarna elektrana u umreženom pogonu

Glavni dijelovi solarne elektrane priključene na elektroenergetsku mrežu su solarno polje i solarni izmjenjivači. Principijelna shema solarne elektrane priključene na elektroenergetsku mrežu prikazana je na slici 5-1.



Slika 5.1. Principijelna shema solarne elektrane priključene na elektroenergetsku mrežu

Solarno polje sastoji se od međusobno serijski povezanih solarnih modula. Moduli se sastoje od niza sunčanih ćelija spojenih u vodootpornom kućištu. Sunčeva energija se u sunčanim ćelijama direktno pretvara u istosmjernu električnu energiju. Istosmjerni napon potrebno je pretvoriti u izmjenični napon odgovarajućeg iznos i frekvencije (400 V 50 Hz). Pretvorbu istosmjernog napona u izmjenični vrši solarni izmjenjivač. Osnovni dio izmjenjivača je poluvodički most sastavljen od upravljivih poluvodičkih sklopki koje visokom frekvencijom prekidaju istosmjerni napon i pretvaraju ga u izmjenični. Takav napon se filtrira i predaje elektroenergetskoj mreži. Osim pretvorbe istosmjernog u

izmjenični napon izmjenjivač obavlja ostale zadaće potrebne za siguran rad sustava. Uz samu elektranu ugrađuju se i mjerni i komunikacijski uređaji koji omogućuju daljinsko praćenje proizvodnje električne energije.

5.3. Izbor i dimenzioniranje osnovnih komponenata solarne elektrane

Solarni moduli:

Za ugradnju su odabrani solarni moduli SV60-235. Radi se o standardnom energetskom solarnom modulu sa 60 serijski spojenih polikristalnih silicijskih ćelija dimenzija 156 mm x 156mm. Ćelije su međusobno zalemljene bakrenim pokositrenim vodičima i laminirane između stakla izvrsnih optičkih i mehaničkih svojstava s prednje i polimernog zaštitnog filma sa stražnje strane. Aluminijsko kućište modula je galvanski zaštićeno od korozije. Nazivna snaga modula je 235 W. Sunčane ćelije tijekom vremena zbog nepovratnih procesa unutar modula gube snagu. Dimenzije modula su 1663 mm x 998 mm x 35mm. Težina modula je 21,5kg. Solarno polje ukupno sadrži 690 modula odnosno ukupna snaga solarnog polja je 162,15 kWp.

Izmjenjivači:

Kod dimenzioniranja izmjenjivača za zadano solarno polje odabran je izmjenjivač koji svojim ulaznim naponskim i strujnim ograničenjima pokriva radno područje solarnog polja u svim uvjetima. Sustav je projektiran za maksimalni napon $1000V_{DC}$ uz temperaturu okoline -10℃. S obzirom na navedeno i na snagu polja, odabran je izmjenjivač ABB Aurora Power One 27,6-TL-OUTD-S2x prikazan na slici 5-2.

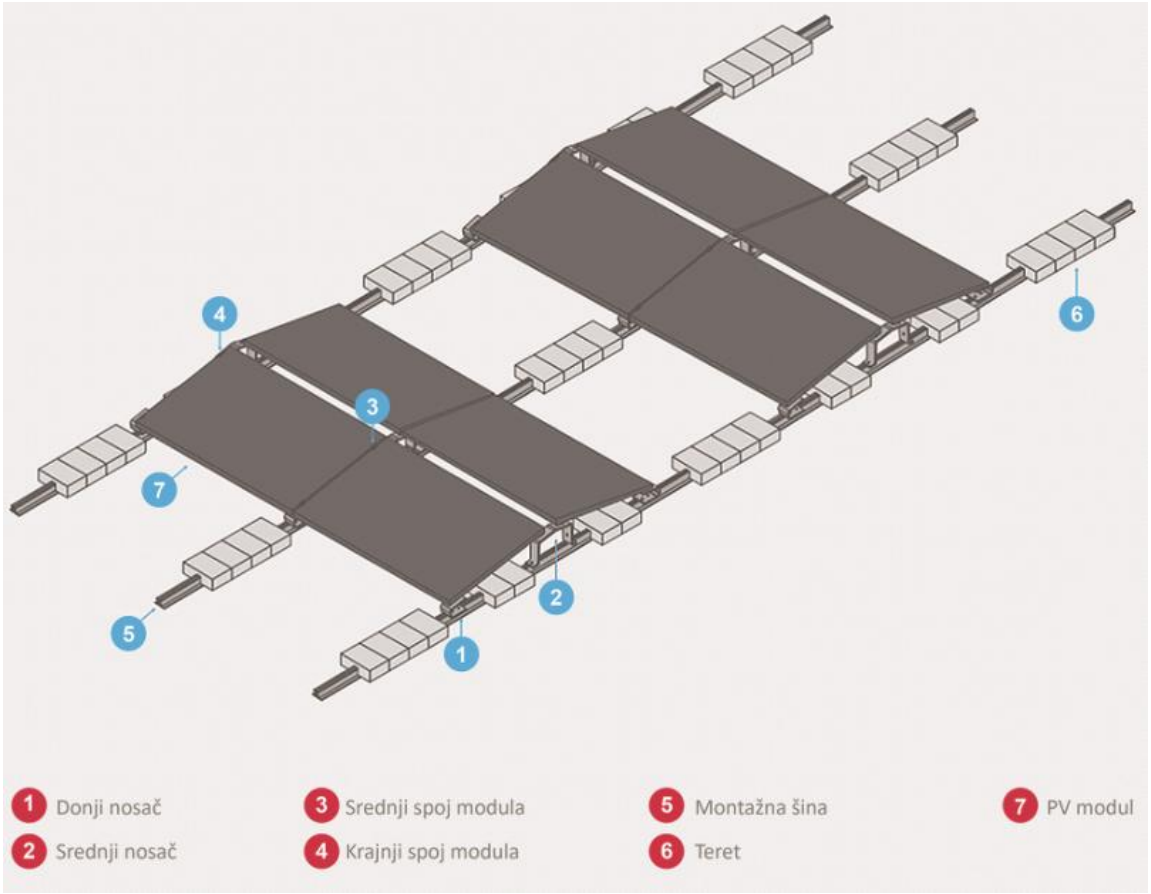


Slika 5.2. Izmjenjivač ABB Aurora Power One 27,6-TL-OUTD-S2x

Izlazne električne karakteristike (napon, struja, snaga) solarnog polja u potpunosti odgovaraju ulaznim električnim karakteristikama izmjenjivača u cijelom temperaturnom opsegu rada elektrane. Izmjenjivač ima ugrađen jedan sustav za praćenje točke maksimalne snage (MPPT – Maximum Power PointTracking). Izmjenjivač ABB Aurora Power One 27,6-TL-OUTD-S2x je izmjenjivač bez transformatora, nazivne snage 30 kW i najveće učinkovitosti 98% te ima ugrađen vrlo napredan sigurnosni sustav zaštite od otočnog rada.

5.4. Potkonstrukcija za montažu solarnih modula

Na potkonstrukciju proizvođača Megadisk postavljaju se međusobno povezani solarni moduli (slika 5-3.)



Slika 5.3. Primjer potkonstrukcije tipa Megadisk

Na krov objekta solarni moduli će na potkonstrukciji biti postavljeni s razmakom do 0,18m koji u potpunosti izbjegava gubitke izazivane zasjenjenjem od modula. Potkonstrukcija na ravnom dijelu krova će biti samostojeća opterećena balastom, dok će na

rešetkastoj konstrukciji donje šine biti povezane sa čeličnim pocinčanim šelnama. Moduli će biti postavljeni pod nagibom 10° i u skladu s orijentacijom građevine u smjeru istok-zapad. Iako se ne radi o optimalnom položaju solarnih modula obzirom na proizvodnost sustava, odabran je ovaj položaj kako bi se pojednostavili zahtjevi za potkonstrukciju i montažu. U tablici 5-1. prikazani su gubitci zbog ne idealnog položaja modula.

Tablica 5.1. Gubitci zbog ne idealnog položaja modula

Gubici zbog nagiba modula u odnosu na idealni nagib uz idealni azimut	5,20%
Gubici zbog orijentacije modula u odnosu na idealni azimut uz optimalni nagib	10,80%
Ukupni gubici zbog ne idealnog položaja elektrane u odnosu na optimalni položaj	11,60%

5.5. Sigurnosna zaštita solarnih sustava

Zaštita od prenapona i nadstruje – gromobranska instalacija

Grom nastaje kratkotrajnim pražnjenjem statičkog atmosferskog elektriciteta između oblaka i zemlje, a ima napon od sto milijuna volti, jakost struje nekoliko desetaka tisuća ampera, u razdoblju od 1-100 ms, uz naglo zagrijavanje zraka do 30000 ℃.

Da bi se osigurao siguran i neprekidan rad solarne elektrane, kroz njen životni vijek potrebno je predvidjeti cjelokupnu zaštitu od atmosferskih i induciranih prenapona već u fazi projektiranja solarne elektrane. Zaštita mora biti osigurana ne samo na izlaznoj strani izmjenjivača, već i na izlaznoj strani solarnih modula. Solarne elektrane su obično instalirane na krovovima ili na velikim zelenim površinama, što u startu predstavlja veću vjerojatnost od udara groma (atmosferskih prenapona). Posljedice udara groma na solarne module imat će posljedice i na ostalu elektroničku opremu, što dovodi do velikih financijskih gubitaka.[12]

Okvir solarnih modula kao i cijela nosiva konstrukcija trebaju biti uzemljeni prema važećim propisima. Solarno polje i ulaz izmjenjivača će se od prenapona uzrokovani atmosferskim pražnjenjima štititi odvodnicima prenapona tipa II. Nadstrujna zaštita izmjenične strane izmjenjivača treba biti izvedena koristeći osigurače – sklopku četveropolne izvedbe nazivne struje 63 A. U zaštitnom ormaru se također nalazi RCD sklopka nazivne struje 63 A i diferencijalne struje 300 mA.

Odvodnici prenapona

Odvodnici prenapona predstavljaju zaštitu od atmosferskih proboja za izmjenjivač, kao i za ostalu opremu koja se nalazi u objektu. Izmjenjivač se štiti od atmosferskih pražnjenja, koja se mogu pojaviti na okvirima solarnih modula odvodnikom prenapona na istosmjernoj strani. Odvodnici prenapona na izmjeničnoj strani štite izmjenjivač i ostala trošila od prenapona koji dolaze iz električne mreže. Odvodnici prenapona na istosmjernoj strani odabiru se prema naponu praznog hoda solarnog izvora (ukupnog broja spojenih modula). Odvodnici prenapona na istosmjernoj i izmjeničnoj strani, kao i okviri solarnih modula, spajaju se na sabirnicu za izjednačenje potencijala. Zaštita mora biti osigurana ne samo na izlaznoj strani izmjenjivača, nego i na izlaznoj strani solarnih modula.[12]

Izjednačenje potencijala

Izjednačenje potencijala je galvansko povezivanje svih metalnih masa. Vodič za izjednačenje potencijala priključuje sve metalne vodove objekta na sabirnicu za izjednačenje potencijala. Pri tome postoji mogućnost da se međusobno spaja više vodova koji se onda priključuju preko glavnog vodiča za izjednačenje potencijala na sabirnicu izjednačenja potencijala. Vodič za izjednačenje potencijala označava se kao zaštitni vodič žutozelenom bojom. Glavno izjednačenje potencijala obuhvaća cijeli objekt, a izvodi se zbog sprječavanja unošenja opasnih vanjskih potencijala u objekt, zbog sprječavanja pojave razlike potencijala u objektu u kojem uvijek postoji velik broj instalacija s vodljivim dijelovima koje nije moguće međusobno izolirati. U svakom objektu mora postojati sabirnica za izjednačenje potencijala i na nju se spajaju svi vodljivi dijelovi: zaštitni vodiči PE, PEN vodiči, uzemljenja, cijevi i metalni dijelovi drugih instalacija. Glavno se izjednačenje potencijala izvodi vodičima čiji presjek ne smije biti manji od polovice presjeka najvećeg zaštitnog vodiča u objektu, ni manji od 6 mm^2.[12]

Uzemljivači i sustavi uzemljenja

Bitan dio gromobranske instalacije je i uzemljivač. On mora dobro provesti struju groma u zemlju, to jest njegov otpor mora biti što manji. Taj otpor ovisi o karakteristikama zemljišta u koje se ukopava uzemljivač i o geometriji samog uzemljivača. Karakteristika zemljišta bitna za izvedbu dobrog uzemljivača jest specifičan otpor tla, a on se definira kao otpor koji struji pruža kocka od homogenog zemljišta s veličinom stranice 1 m. Ako je specifičan otpor veći, onda se mora ići na izvedbu uzemljivača većih dimenzija, kako bi se ukupan otpor smanjio. Ako konstrukcija solarnih modula nije vodljivo spojena s gromobranskom instalacijom, potrebno je tu istu konstrukciju izravno spojiti sa uzemljenjem.[12]

Uzemljivači najčešće dolaze u sljedećim izvedbama: trakasti (u obliku metalne trake koja se zakapa u zemlju, a traka je najčešće od pocinčanog čelika, rjeđe od bakra), štapni (u obliku metalne šipke ili cijevi koja se ukapa okomito u zemlju) i temeljni (metalni vodiči koji se postavljaju u temelje objekta i preko velike površine betona dolaze u kontakt s okolnom zemljom). Prilikom prolaska struje kroz uzemljivač i njezina daljnjeg rasprostiranja kroz zemlju, stvara se na zemlji raspodjela potencijala najčešće u obliku tzv. potencijalnog lijevka. To znači da je potencijal najviši uz sam uzemljivač, a s povećanjem udaljenosti od uzemljivača naglo opada. [12]

Brojilo električne energije

Brojilo električne energije treba biti trofazno, dvosmjerno s intervalnim izravnim mjerenjem energije i pohranjivanjem krivulje opterećenja. Brojilo omogućuje mjerenje vršne snage, daljinsko očitanje i pohranjivanje krivulje opterećenja, s razredom točnosti za radnu energiju 1, a za jalovu energiju 2.

Priključak na električnu mrežu

Priključak elektrane na mrežu je trofazan. Nazivni napon na mjestu priključka elektrane na distribucijsku mrežu je 0,4 kV. Elektrana će se priključiti na način da će se na trasu postojećih glavnih vodova između transformatorske stanice TS 10(20)0,4 kV „Solvis“ i objekta Solvis pomoću kojih se isti napaja električnom energijom (dvostruki

kabel PP00-A 4 x 150mm^2) interpolirati ormar ispred samog objekta kako bi se omogućilo spajanje solarne elektrane „SOLVIS 2“.

6. PROCJENA PROIZVODNJE ELEKTRIČNE ENERGIJE

Procjena očekivane godišnje proizvodnje energije solarne elektrane „SOLVIS 2“ provedena je u programskom paketu PV Syst v5.53 i iznosi 171334 kWh (tablica 6-1.). Stvarna proizvodnja elektrane može odstupati zbog meteoroloških razloga i načina održavanja elektrane. Najveća mjesečna proizvodnja se očekuje u srpnju i to 23030 kWh, a najmanja mjesečna proizvodnja u prosincu i to 4156 kWh. Omjer proizvodnje u najizdašnijem prema najoskudnijem mjesecu je 5,54. Prosječna mjesečna proizvodnja je 14614,17kWh.

Tablica 6-1. Procjena godišnje proizvodnje energije solarne elektrane „Solvis 2“

	Ozračenost vodoravne plohe ukupnim Sunčevim zračenjem	**Srednja dnevna temperatura zraka**	**Ozračenost nagnute plohe ukupnim Sunčevim zračenjem**	**Električna energija proizvedena u modulima**	**Električna energija predana u mrežu**
Mjesec	kWh/m2	°C	kWh/m2	kWh	kWh
Siječanj	34,1	-1,3	394	5575	5404
Veljača	53,9	1,3	625	8790	8570
Ožujak	94,9	5,4	1032	14471	14144
Travanj	129	10,3	1362	18622	18211
Svibanj	160,6	15,1	1638	21924	21448
Lipanj	170,4	18,3	1720	22660	22165
Srpanj	177	19,8	1794	23533	23030
Kolovoz	153,1	18,9	1594	20949	20496
Rujan	116,4	15,3	1263	16941	16577
Listopad	73,8	10,1	846	11553	11277
Studeni	37,2	4,9	441	6041	5856
Prosinac	26,4	0,5	312	4311	4156
GODINA	1226,8	9,883333333	13021	175370	171334

Ekonomski pokazatelji sustava isplativosti i investicija

Na temelju računa za električnu energiju napravljena je bilanca energije na temelju koje je moguće procijeniti godišnje uštede na električnoj energiji zbog priključenja solarne elektrane „SOLVIS 2“. Usporedba proizvodnje solarne elektrane i potrošnje objekta prikazana je u tablici 6.2.

Tablica 6.2. Usporedba proizvodnje solarne elektrane i potrošnje objekta

	Siječanj	Veljača	Ožujak	Travanj	Svibanj	Lipanj
Proizvodnja iz solarne elektrane kWh	5404	8570	14144	18211	21448	22165
Potrošnja objekta kWh	33345	30571	33899	45577	43102	43476
	Srpanj	Kolovoz	Rujan	Listopad	Studeni	Prosinac
Proizvodnja iz solarne elektrane kWh	23030	20496	16577	11277	5856	4156
Potrošnja objekta kWh	67976	73344	56152	61577	58907	59396

7. TEHNIČKI PRORAČUN

Za pravilan izbor opreme istosmjernog i izmjeničnog razvoda potrebno je provesti:

- Kontrolu pada napona,
- Kontrolu kratkog spoja,
- Dokaz selektivnosti,
- Kontrolu zagrijavanja vodiča,
- Proračun otpora uzemljenja.

Snaga solarnih modula :

Jedan solarni modul:

- snaga 235 W pri STC uvjetima
- Napon otvorenog kruga iznosi 37,2 V
- Napon u točki maksimalne snage iznosi 30,1 V
- Struja kratkog spoja iznosi 8,39 A
- Struja u točki maksimalne snage iznosi 7,81 A

Za jedan niz (string) od serijski spojenih 23 modula vrijedi:

$$U_{max} = n * U_{OK} = 23 * 37{,}2 = 855{,}6\ V$$

Na -10℃ napon otvorenog kruga iznosi

$$U_{max} = n * U_{OK} * \left(U_{OK} * \left(\frac{-0{,}41}{100} * \Delta T\right)\right) = 23 * 37{,}2 * \left(37{,}2 * \left(\frac{-0{,}41}{100}\right) * (-35)\right)$$
$$= 978{,}37\ V$$

Dozvoljeni ulazni istosmjerni napon je 1000 V. Zaštita od prenapona na ulazu kao i zaštita od krivog polariteta na ulazu je ugrađena u inverteru.

Proračun kabela na ulaznoj strani invertora:

Za jedan niz (string) serijski spojenih modula vrijedi $I_{max} = 8{,}39\ A$ (struja kratkog spoja)

Upotrijebljeni spojni kabel 2x PV1-F 6 mm^2, čija je maksimalna dozvoljena struja 44 A. To vrijedi za svaki niz (string) modula, jer se moduli spajaju serijski pa se struja ne mijenja.

Proračun kabela na izlaznoj strani invertora:

Maksimalna izlazna struja izmjenjivača $I_{maxIZ} = 48\ A$, a maksimalna ograničena snaga je 30 kW

Izlazna struja prema maksimalnoj izlaznoj snazi:

$$I_{\max(AC)} = \frac{P}{\sqrt{3} * 400} = \frac{30000}{1{,}73 * 400} = 43{,}35\ A$$

Odabrani kabel NYY-J 5x16 mm^2 ima maksimalno dozvoljeno opterećenje 86 A/fazi.

Proračun kabela na izlaznoj strani sunčeve elektrane:

Maksimalna izlazna snaga izmjenjivača $P_{max} = 150000\ W$

$$I_{\max(AC)} = \frac{P}{\sqrt{3} * 400} = \frac{150000}{1{,}73 * 400} = 216{,}5\ A$$

Odabrani kabel NAYY-0 4x185 mm^2 ima maksimalno dozvoljeno opterećenje 285 A/fazi.

Proračun kabela na izlaznoj strani sunčeve elektrane od +RSE1 do TS 20/0,4 KV SOLVIS:

Proračun je određen za najnepovoljniji slučaj (minimalno opterećenje od strane objekta uz maksimalnu proizvodnju solarne elektrane) što rezultira maksimalnim strujnim opterećenjem vodova od +RSE1 do TS 20/0,4 KV Solvis. Strujno opterećenje vodova jednako je nazivnoj struji elektrane.

Maksimalna izlazna snaga izmjenjivača $P_{max} = 150000\ W$

$$I_{\max(AC)} = \frac{P}{\sqrt{3} * 400} = \frac{150000}{1{,}73 * 400} = 216{,}5\ A$$

Ugrađeni kabel 2xPP00-A 4x150 mm^2 ima maksimalno dozvoljeno opterećenje 2 kabela 526 A/fazi.

Proračun pada napona na istosmjernoj strani izmjenjivača:

Kako su moduli podijeljeni u deset grupa proračunava se pad napona za najnepovoljniji slučaj to jest za niz (string) od 23 modula koja su najudaljenija od izmjenjivača, a upotrijebljen je bakreni kabel presjeka 6 mm^2.

Otpor vodiča R iznosi:

$$R = \frac{\varphi * 2 * l}{S} = \frac{0{,}0174 * 2 * 60}{6} = 0{,}348\ \Omega$$

Gdje je:

- φ – specifičan otpor bakra $\left(\frac{\Omega * mm^2}{m}\right)$
- l – duljina vodiča (m)
- S – presjek vodiča (mm^2)

Pad napona se računa kao:

$$U = I_{max} * R = 7{,}81 * 0{,}348 = 2{,}717\ V$$

Gubici na istosmjernom razvodu stringa za najnepovoljniji slučaj (najudaljeniji string) iznose

$$P_{gub} = I_{MPP}^2 * R = 7{,}81^2 * 0{,}348 = 21{,}22\ W$$

$$P_{gub\,\%} = \frac{21{,}22W}{23 * 235W} * 100 = 0{,}3926\%$$

Pri nominalnoj snazi solarne elektrane gubici na ulazu za jedan string u najnepovoljnijem slučaju iznose 0,3926%.

Proračun pada napona na izmjeničnoj strani izmjenjivačaod izmjenjivača do +RSE ormara elektrane:

Izlaz iz izmjenjivača spojen je sa NYY-J 5x16 mm^2 kabelom sa +RSE ormarom. Za spajanje najudaljenijeg izmjenjivača potrebno je 35 m kabela. Impedancija toga kabela iznosi 1,1445 Ω/km.

$$u_{\%} = \frac{\Delta u}{U_n} * 100 = \frac{\frac{P_n}{\sqrt{3} * U_{ln}} * Z}{U_{fn}} * 100 = 0{,}75\%$$

Maksimalni pad napona na spojnom kabelu za najudaljeniji izmjenjivač iznosi 0,75%, što je zadovoljavajuće jer je iznos pada napona manji od 3%.

Proračun maksimalnih gubitaka na izmjeničnoj strani izmjenjivača od izmjenjivača do +RSE ormara elektrane:

Gubici na kabelu računaju se prema:

$$P_{gub} = 3 * I^2 * R$$

Otpor vodiča R po fazi za 16 mm^2 kabel, dužine 35m iznosi

$$R = \frac{\varphi * l}{S} = \frac{0{,}0174 * 35}{16} = 0{,}038\ \Omega$$

Gubici su tada:

$$P_{gub} = 3 * I^2 * R = 3 * 43{,}3^2 * 0{,}038 = 213\ W$$

$$P_{gub\,\%} = \frac{P_{gub}}{P_n} * 100 = \frac{213}{30000} * 100 = 0{,}71\%$$

Maksimalni gubici na spojnom kabelu za najudaljeniji izmjenjivač iznosi 0,71%, što je zadovoljavajuće jer je iznos maksimalnih gubitaka manji od 3%

Proračun pada napona na izmjeničnom kabelu od +RSE do +RSE1 ormara elektrane:

Izlaz iz ormara +RSE je sa NAYY-0 4x185 mm^2 kabelom sa +RSE1 ormarom. Za spajanje je potrebno 25m kabela. Impedancija toga kabela iznosi 0,1857 Ω/km

$$u_{\%} = \frac{\Delta u}{U_n} * 100 = \frac{\frac{P_n}{\sqrt{3} * U_{ln}} * Z}{U_{fn}} * 100 = 0{,}43\%$$

Maksimalni pad napona na spojnom kabelu između ormara elektrane iznosi 0,43%, što je zadovoljavajuće jer je iznos pada napona manji od 3%.

Proračun maksimalnih gubitaka na izmjeničnom kabelu od od +RSE do *RSE1 ormara elektrane:

Gubici na kabelu računaju se prema:

$$P_{gub} = 3 * I^2 * R$$

Otpor vodiča R po fazi za 185 mm^2 kabel, dužine 25m iznosi

$$R = \frac{\varphi * l}{S} = \frac{0{,}0282 * 25}{185} = 0{,}00381\ \Omega$$

Gubici su tada:

$$P_{gub} = 3 * I^2 * R = 3 * 216{,}5^2 * 0{,}00381 = 535\ W$$

$$P_{gub\,\%} = \frac{P_{gub}}{P_n} * 100 = \frac{535}{150000} * 100 = 0{,}3566\%$$

Maksimalni gubici na spojnom kabelu između ormara elektrane iznosi 0,3566%, što je zadovoljavajuće jer je iznos maksimalnih gubitaka manji od 3%.

Proračun pada napona na izmjeničnom kabelu od +RSE1 do TS 20/0,4 kV SOLVIS:

Izlaz iz ormara +RSE1 je sa 2xNAYY-0 4x150 mm^2 kabelom sa TS 20/0,4 kV Solvis. Za spajanje je potrebno 100 m kabela. Impedancija toga kabela iznosi 0,222 Ω/km

$$u_{\%} = \frac{\Delta u}{U_n} * 100 = \frac{\frac{P_n}{\sqrt{3} * U_{ln}} * Z}{U_{fn}} * 100 = 1{,}04\%$$

Maksimalni pad napona na spojnom kabelu između +RSE1 do TS 20/0,4kV Solvis iznosi 1,04%, što je zadovoljavajuće jer je iznos pada napona manji od 3%.

Proračun maksimalnih gubitaka na izmjeničnom kabelu od +RSE1 do TS 20/04 kV SOLVIS:

Gubici na kabelu računaju se prema:

$$P_{gub} = 3 * I^2 * R$$

Otpor vodiča R po fazi za 2x150 mm^2 kabel, dužine 100m iznosi

$$R = \frac{\varphi * l}{S} = \frac{0{,}0282 * 100}{2 * 150} = 0{,}0094\ \Omega$$

Gubici su tada:

$$P_{gub} = 3 * I^2 * R = 3 * 216{,}5^2 * 0{,}0094 = 1{,}322\ W$$

$$P_{gub\,\%} = \frac{P_{gub}}{P_n} * 100 = \frac{1{,}322}{150000} * 100 = 0{,}881\%$$

Maksimalni gubici na spojnom kabelu između +RSE1 do TS 20/0,4kV Solvis iznosi 0,881%, što je zadovoljavajuće jer je iznos maksimalnih gubitaka manji od 3%.

Ukupni proračunati gubici:

Ukupni gubici računaju se sumiranjem gubitaka koji nastaju na ulaznom krugu u izmjenjivače, na krugu od izmjenjivača do spojnog ormara +RSE i na krugu od ormara +RSE do ormara +RSE1:

$$P_{ul_{in}} = 0{,}3926\%$$

$$P_{iz} = 0{,}71\%$$

$$P_{inv} = 0{,}3566\%$$

$$P_{spoj} = 0{,}881\%$$

Ukupni gubici P_{uk} iznose 2,3402% pri maksimalnoj proizvodnji električne energije. Prosječni gubici bit će oko 1,17% što je zadovoljavajuće jer je iznos prosječnih ukupnih gubitaka manji od 3%.

8. ZAKLJUČAK

Cilj završnog rada je bio upoznati načine pretvorbe solarne energije u električnu energiju, te komponente od kojih se sastoji solarni sustav i na koji način rade.

Solarna elektrana „Solvis 2“ radi kao aktivni mrežni sustav, što znači da iz elektroenergetske mreže preuzima električnu energiju koja joj nedostaje za napajanje trošila, te ukoliko proizvede višak električne energije tada ga predaje u elektroenergetsku mrežu. Solarna elektrana „Solvis 2“ čija je maksimalna snaga 150 kW pokriva samo 10% mjesečne potrošnje električne energije tvrtke Solvis.

U današnje vrijeme sve se više traže nove ideje za iskorištavanje obnovljivih izvora energije. Energija koja svakodnevno stiže na Zemlju i koja nas okružuje (sunce, vjetar, valovi…) može nam biti dovoljna za potpunu neovisnost od primarnih izvora (elektroenergetske mreže), ali najveći problem je skladištenje te energije. Iako je tehnologija kod solarnih akumulatora nešto napredovala, ipak njihovi kapaciteti nisu dovoljno veliki da ispune sve naše potrebe, a i cijena im je vrlo visoka.

Sveučilište
Sjever

SVEUČILIŠTE SJEVER

IZJAVA O AUTORSTVU
I
SUGLASNOST ZA JAVNU OBJAVU

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

Ja, Boris Daraboš pod punom moralnom, materijalnom i kaznenom odgovornošću, izjavljujem da sam isključivi autor završnog rada pod naslovom Projektiranje i izgradnja solarne elektrane Solvis 2 te da u navedenom radu nisu na nedozvoljeni način (bez pravilnog citiranja) korišteni dijelovi tuđih radova.

Student/ica:
(upisati ime i prezime)

(vlastoručni potpis)

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

Ja, Boris Daraboš neopozivo izjavljujem da sam suglasan s javnom objavom završnog rada pod naslovom Projektiranje i izgradnja solarne elektrane Solvis 2 čiji sam autor.

Student/ica:
(upisati ime i prezime)

(vlastoručni potpis)

9. LITERATURA

[1] Internet, preuzeto 13.05.2016.

www.izvorienergije.com/geotermalna_energija.html

[2] Internet, preuzeto 13.05.2016.

www.tehno-dom.hr/obnovljivi-izvori-energije/energija-biomase

[3] Internet, preuzeto 13.05.2016.

www.izvorienergije.com/energija_vjetra.html

[4] Internet, preuzeto 13.05.2016.

www.vjetroelektrane.com/energija-vjetra

[5] Internet, preuzeto 15.05.2016.

www.izvorienergije.com/energija_vode.html

[6] Internet, preuzeto 16.05.2016.

www.schrack.hr/alternativni-izvori/photovoltaik/osnove-o-fn-celiji-i-modulu

[7] Internet, preuzeto 18.05.2016.

www.obnovljivi.com/energija-oceana/71-iskoristavanje-energije-valova-i-plime-i-oseke-u-energetici

[8] prof.dr.sc Mladen Andrassy: Sunčevo zračenje

[9] Internet, preuzeto 28.05.2016.

www.izvorienergije.com/princip_rada_fotonaponskih_celija.html

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

[11] Ivan Debelec, Marko Vraničar: Paneli sunčanih ćelija

[12] Ljubomir Majdandžić: Fotonaponski sustavi

[13] Internet, preuzeto 28.08.2016.

http://powerlab.fsb.hr/enerpedia/index.php?title=ENERGETSKE_TRANSFORMACIJE

[14] Matić, Zdeslav: "Sunčevo zračenje na području Republike Hrvatske, Priručnik za energetsko korištenje Sunčevog zračenja", Energetski institut Hrvoje požar, Zagreb, (2007)

[15] Adolf Goetzberger, JoachimKnobloch, BernhardVoss: CrystallineSiliconSolarCells

[16] Internet, preuzeto 28.08.2016.

http://www.izvorienergije.com/energija_sunca.html

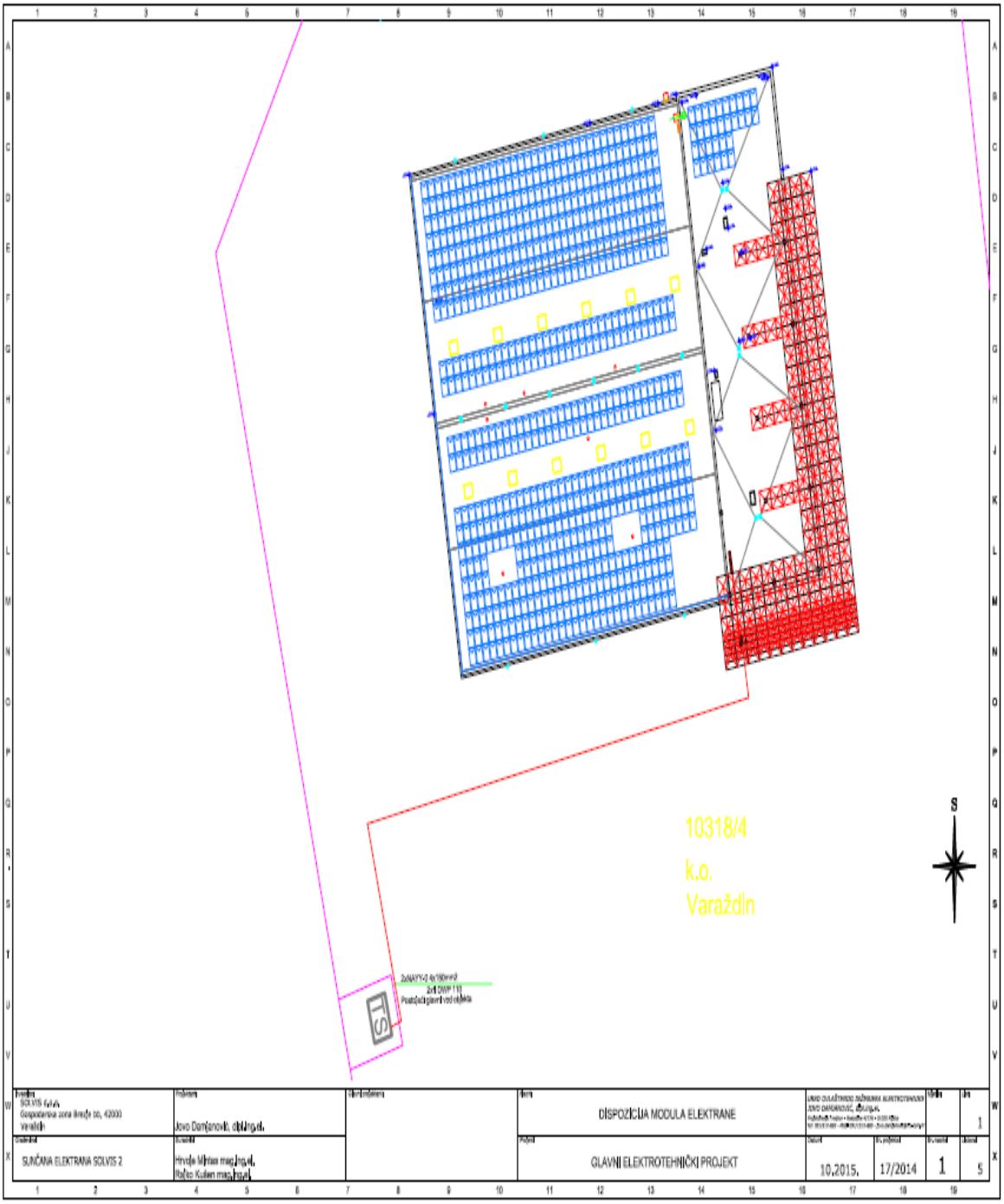
[17] Internet, preuzeto 17.05.2016.

http://www.solvis.hr/hr/advice/suncevo-zracenje-na-podrucju-hrvatske/

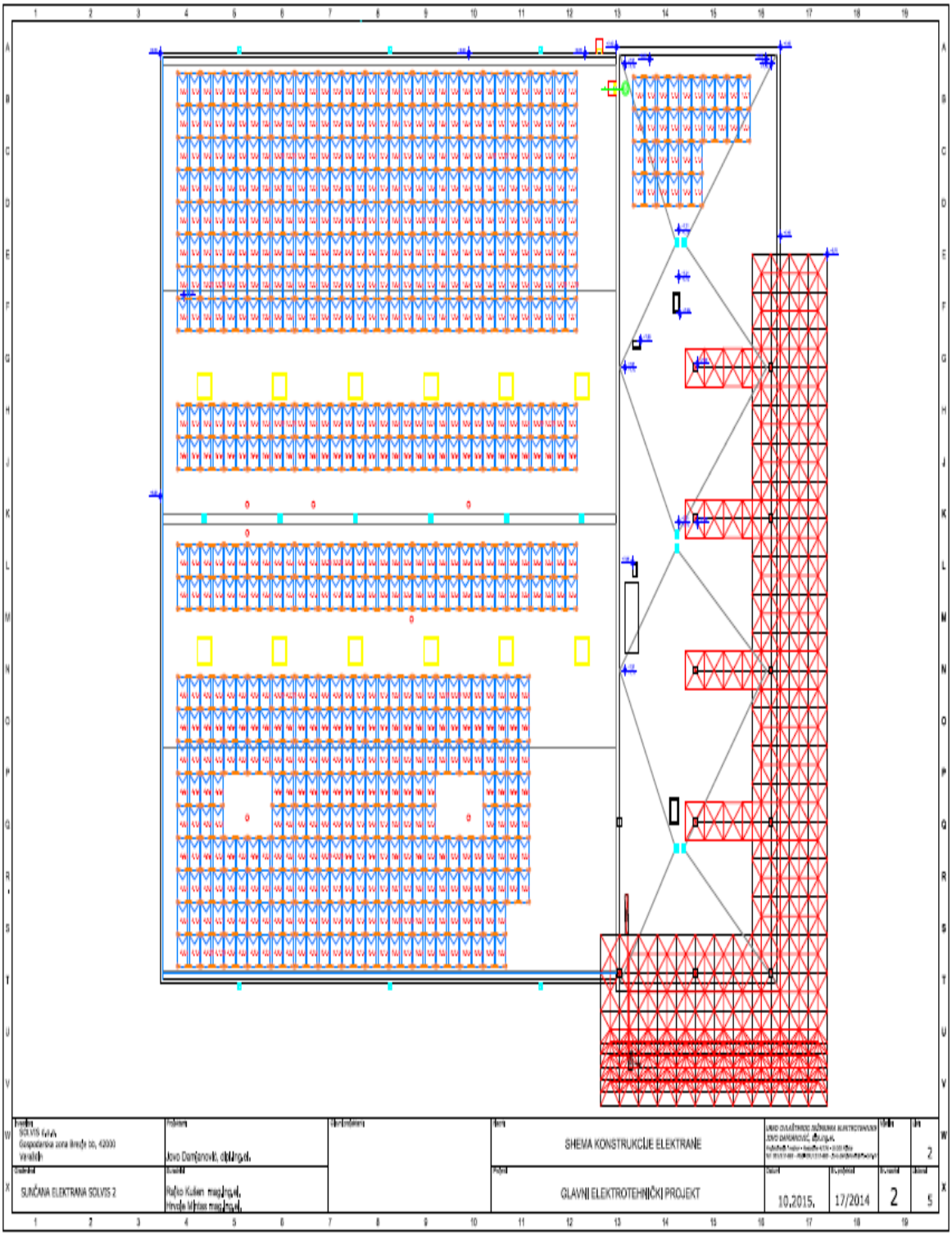
[18] Internet, Preuzeto 15.04.2016.

http://www.veneko.hr/proizvodi-izmjenjivaci-i-ispravljaci.html

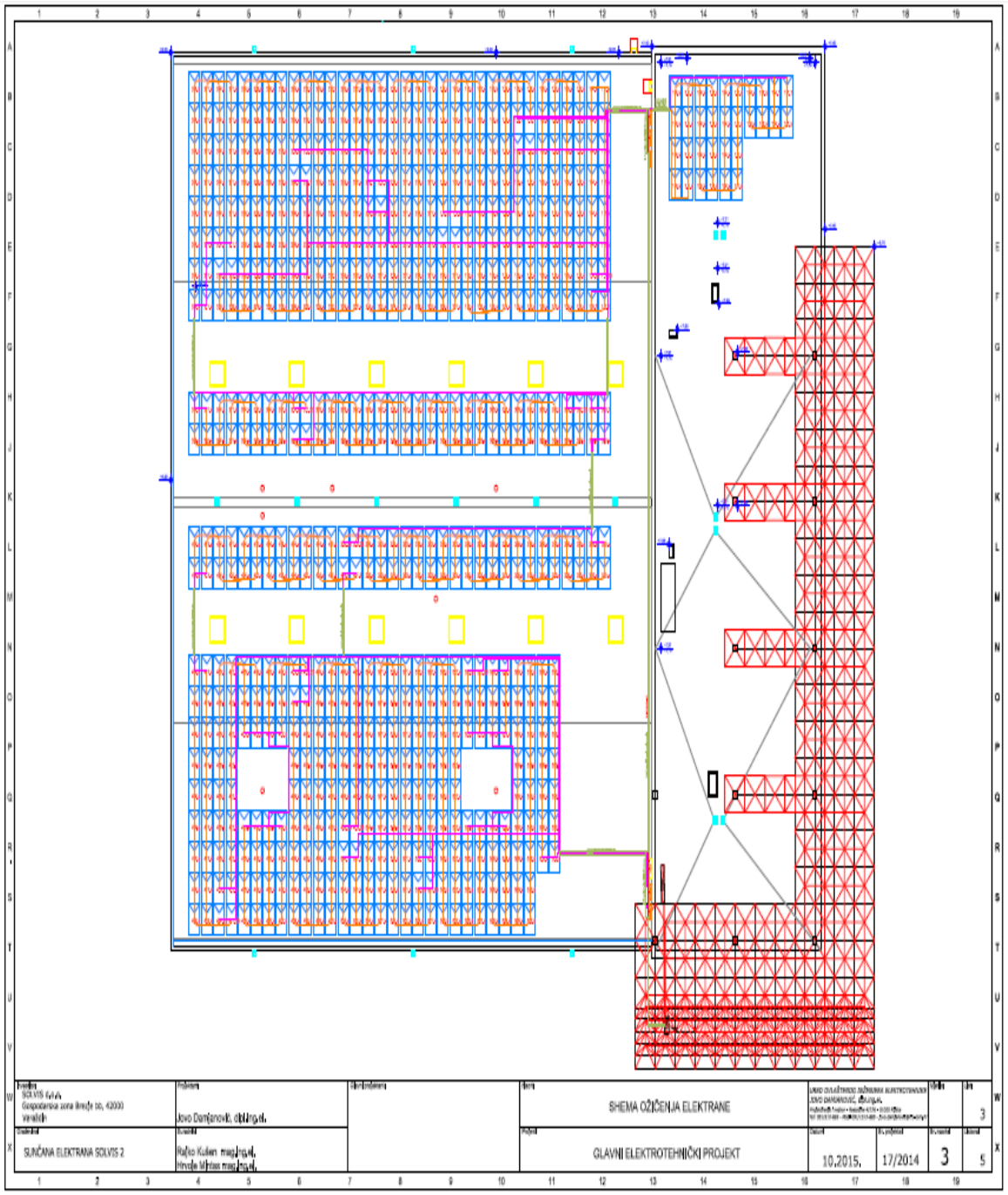
10. PRILOZI



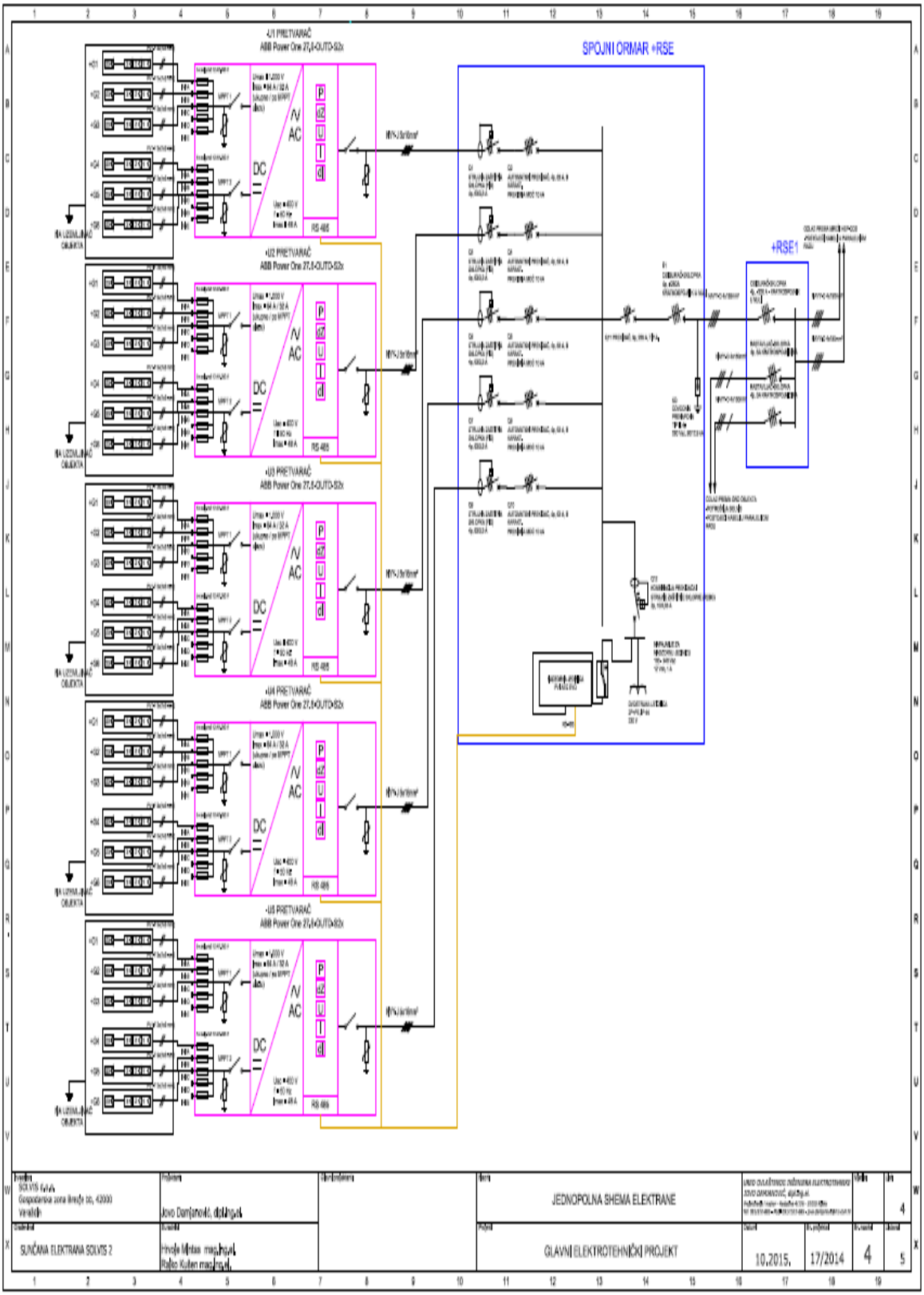
Prilog 1:Dispozicija modula elektrane



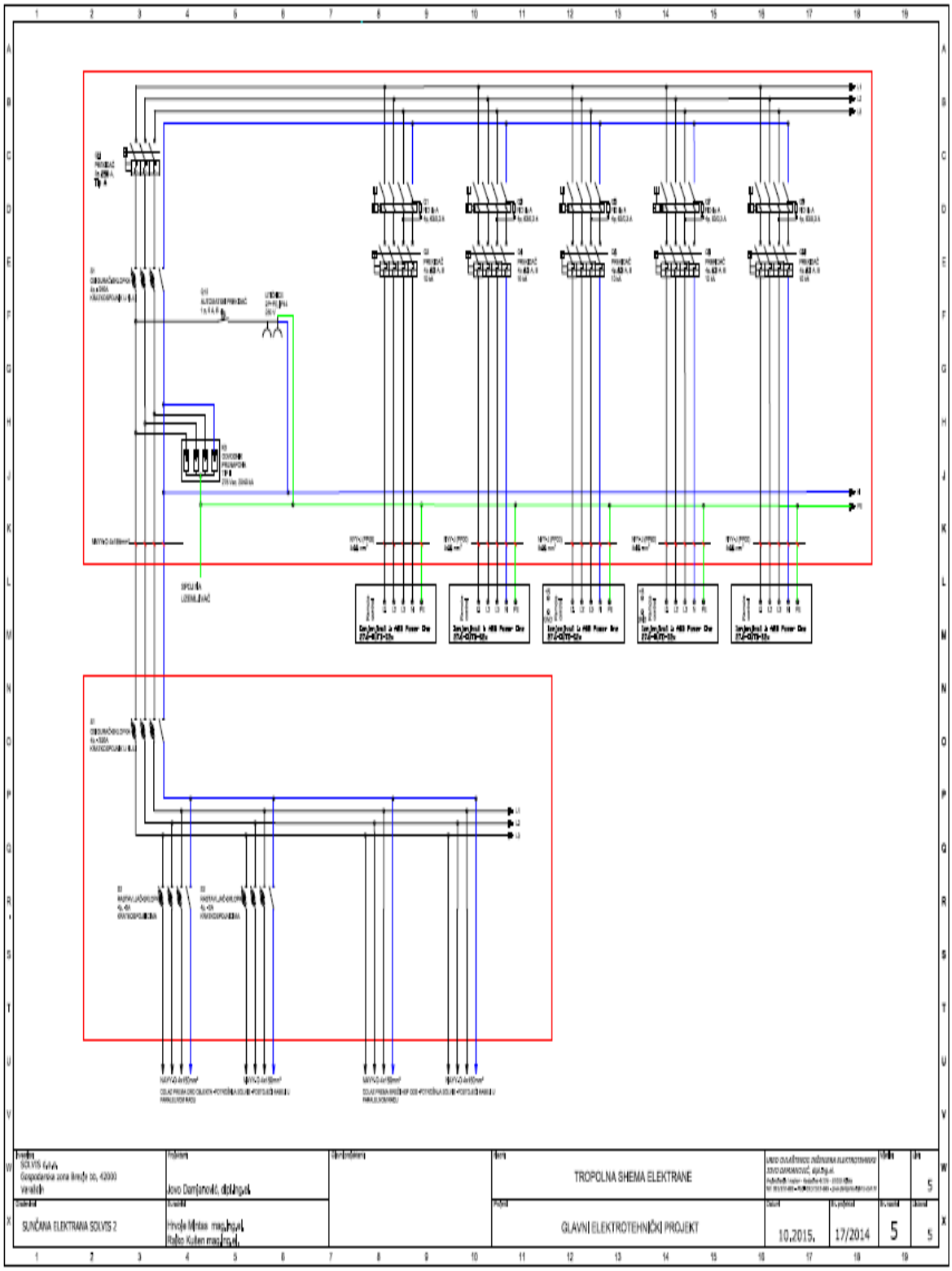
Prilog 2:Shema konstrukcije elektrane



Prilog 3:Shema ožičenja elektrane



Prilog 4:Jednopolna shema elektrane



Prilog 5:Tropolna shema elektrane