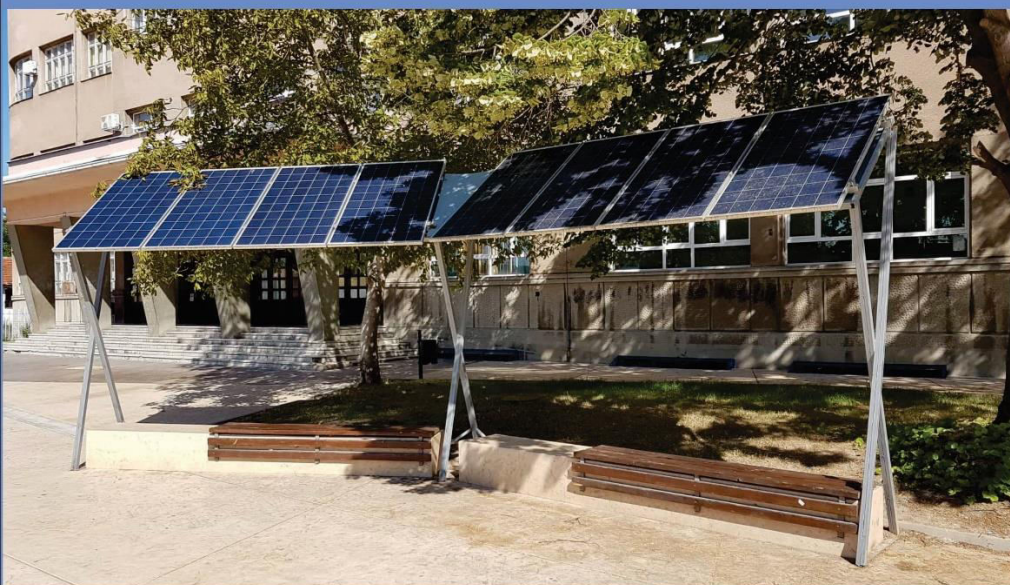


VISOKA TEHNIČKA ŠKOLA STRUKOVNIH STUDIJA NIŠ



OBNOVLJIVI I DISPERZNI
IZVORI NAPAJANJA
Dejan Blagojević

Niš 2019

dr Dejan Blagojević

**OBNOVLJIVI I DIEPSEKZNI IZVORI
NAPAJANJA**

Priručnik sa praktikumom

Niš 2019

Dosadašnji programski sadržaj uglavnom se bazirao na postupcima pororačuna i projektovanja energetske sistema baziranih na energiji dobijenoj iz obnovljivih izvora. Međutim problem efikasnosti ovih sistema kao jedna od ključnih faktora svih analiza nije bio obuhvaćen u potrebnoj i dovoljnoj meri. Inovacijom programskog sadržaja različite tehnike praćenja i procene maksimuma zračenja (MPPT) slučaju fotonaponskih sistema (PV), biće uvedene u cilju što efikasnijeg preciznijeg projektovanja sistema. Tu se podrazumevaju tehnike perturbacije i posmatranja (P&O), tehnike postepene provodnosti (incremental conductance INC), tehnika Riplijevog Korelacionog Metoda, kao i Hibridne tehnike (HMPPT). Pored toga, posebna pažnja će biti posvećena primeni i značaju upravljačkih logičkih jedinica PV sistemima i hibridnih sistema.

Značaj kontrole i proizvodnje energije i mogućnosti primene dobijene iz obnovljivih izvora biće predstavljen u interaktivnom okruženju. To će biti obrađeno kroz prikaz slučaja realizacije jednog takvog sistema na bazi modularnog pristupa.

SADRŽAJ

1. UVOD	4
1.1 SUNCE I IZVORI SUNČEVE ENERGIJE	5
1.2 SPEKTAR ZRAČENJA	8
2. SOLARNA ENERGIJA	10
<i>Slika 7. Raspodela sunčevog zračenja na području Republike Srbije</i>	12
2.1 ELEMENTI SOLARNE GEOMETRIJE	13
<i>Slika 9. Efekti refleksije i rasejanja svetlosnog talasa</i>	14
2.2 KOLIČNIK VAZDUŠNE MASE, AM	15
3. FOTO NAPONSKE ČELIJE	17
3.1 KARAKTERISTIKE FOTO ČELIJE	21
4. TIPOVI PV SISTEMA	25
4.1. KOMPONENETE PV SISTEMA	26
4.2.MPPT	27
4.3. INDIRECTNI METOD	28
4.4 DIREKTNI METOD	29
4.4.1 ICM algoritam	29
5. ODREĐIVANJE KARATERISTIKA FOTONAPONSKIH SISTEMA	31
5.1 REALNA KOLIČINA PROIZVEDENE ELEKTRIČNE ENERGIJE	31
5.2 Određivanje kapaciteta akumulatora	32
6. PVGIS STRUKTURA I OSNOVE PROGRAMSKOG PAKETA	33
6.1 OPIS RADA PROGRAMA	35
6.2. PROCENA PV ZRAČENJA	38
7.METEONORM	47
7.1 OPIS PROGRAMSKOG PAKETA	48
7.2 RAD U OKRUŽENJU METEONORMA	48
7. ZADACI ZA VEŽBU SA PRIEMERIMA	59
9. LABORATORIJSKE VEZBE	69
LITERATURA	82

1. UVOD

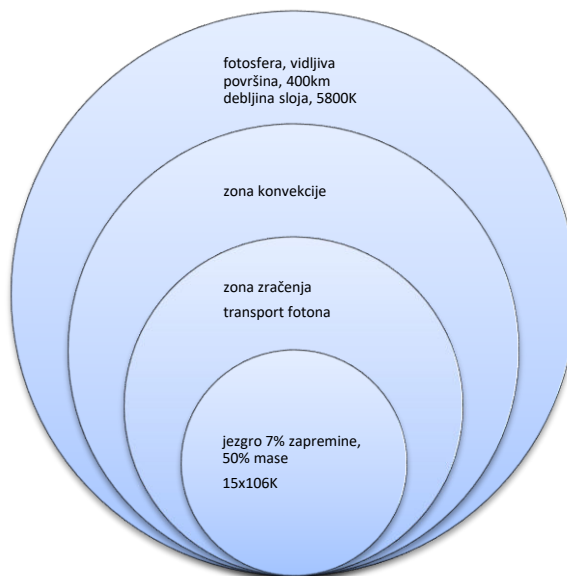
Obnovljivi izvori energije u kreiranju doba održivog razvoja dobijaju sve više i više na značaju i generalno predstavljaju dominantan deo održivog razvoja. Pažljiva analiza segmenata održivog razvoja poput ravnogernog privrednog razvoja i njegova difuzija, borba protiv siromaštva, društvena uključenost, obrazovanje, zdravlje, sigurnost snabdevanja hranom, klimatske promene, može se zaključiti da u svakom od pomenutih segmenata obnovljivi izvori imaju svoje značajno mesto.

Dobijeno mesto obnovljivih izvora, samo po sebi zahtevalo je i podršku informaciono komunikacionih tehnologija, koje imaju zadatak da na jednom mestu obezbede tehnologiju koja će optimalno da iskoristi i konvertuje postojeće prirodne resurse u energiju, koja je društvu preko potrebna. Akvizicija podataka, na jednom mestu, moćne baze podataka i njihova adekvatna primena u datim situacijama, jeste elementarna podrška, projektovanju svih vrsta sistema obnovljivih izvora. Ovo je posebno bitno, prilikom projektovanja foto naponskih sistema napajanja. Danas na tržištu postoji veliki broj programskih paketa od čije tačnosti zavisi i stepen efikasnosti fotonaponskih sistema, jer su parametri poput iradijacije, neophodni za procenu efikasnosti odnosno, utiču ozbiljno na krajnje finansijske efekte.

Inače poređenje podataka iz različitih izvora, uvek predstavlja izazov u početnoj fazi projektovanja. Osnovno poređenje se vrši kroz analizu podataka o količini godišnje iradijacije $\text{kWh/m}^2/\text{god.}$, pošto se ovaj parametar smatra najrelevantnijim za mrežne PV sisteme, imajući u vidu da je izlazni signal kvazilinearan u odnosu na količinu sunčeve energije koja pada po m^2 površine solarnog panela. U slučaju autonomnih sistema, potrebno je analizirati pre svega podatke o raspodeli sunčevog zračenja na mesečnom odnosno dnevnom nivou pri čemu se posebna pažnja posvećuje vrednosti nagiba panela.

1.1 SUNCE I IZVORI SUNČEVE ENERGIJE

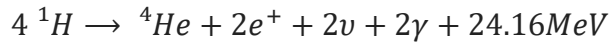
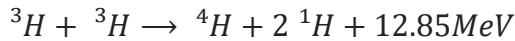
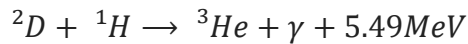
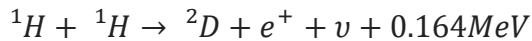
Zemlja „prima“ neophodnu energiju od Sunca, kao deo njegovog sistema. Njegova struktura jasno ukazuje na njegovu kompleksnost i stalno prisutne procese preraspodele energije.



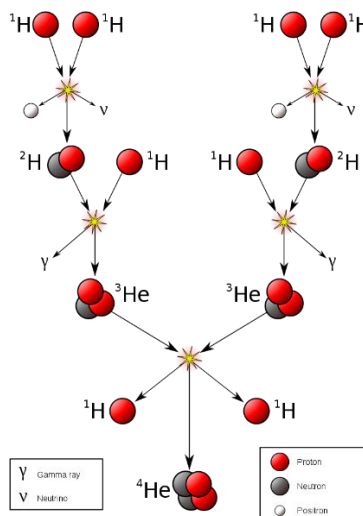
Slika 1. Zone zračenja Sunca

Prirodu sunčeve energije treba tražiti u brojnim reakcijama, čiji mehanizam je sličan i kod drugih Zvezda [1]. Zbog visokih temperatura u unutrašnjosti zvezda čestice se kreću velikim brzinama, zatim prisutna je i velika gustina u raspodeli, a samim tim je i veća verovatnoća za njihovo približavanje i realizaciju fuzije. Visoka unutrašnja temperatura Sunca uslovljena je gravitacionom silom, koja je posledica velike Sunčeve mase, usled čega dolazi do sabijanja gasa, usled čega dolazi i do zagrevanja. Promene hemijskog sastava planeta, posledica su fuzionimh reakcija p-p lanca, kao i CNO ciklusa. Bazične fuzione reakcije u jezgru Sunca odvijaju se na taj način što, u konačnom, četiri jezgra vodonika stvaraju jezgro helijma [1].

$$\Delta E = 4.5836 \times 10^{-29} \times (2.99792 \times 10^8)^2 = 4.119592 \times 10^{-12} \text{ J}$$



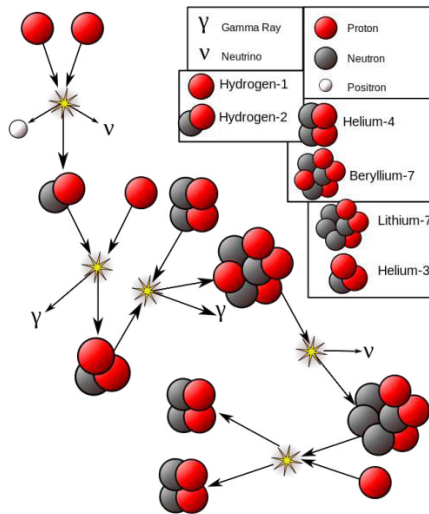
Pomenute termonuklearne reakcije su egzotermne i u njima se, na račun defekta mase (defekt mase predstavlja smanjenje mase zvezda na račun energije koju emituju), oslobađa energija koju Sunce emituje. Ove reakcije se, najvećim delom, odvijaju u takozvanom proton-protonskom (p-p) ciklusu. Ovaj ciklus je najefikasniji na temperaturama od oko 15 miliona stepeni i pri gustinama $100 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$. Prva faza ove reakcije podrazumeva da, dva protona stvaraju deuteron, pozitron i neutrino uz oslobodjenje energije. Jezgro deuterijuma - deutron, razlikuje se od jezgra atoma vodonika jer, pored protona, sadrži i neutron.



Slika 2. Prikaz p-p lanca

U toku ove reakcije oslobađa se energija od 1,44 MeV. U narednom koraku, deuterium stupa u reakciju sa još jednim protonom čime se gradi atom helijuma,

uz oslobodenje velike količine energije. U poslednjoj fazi ovog ciklusa dva izotopa helijuma grade treći, teži izotop helijuma i dva protona uz oslobodenje energije. Dobijeni protoni započinju novu lokalnu reakciju uz oslobodenje energije. Dalje, u p-p ciklusu, vodonik na zvezdama može fuziono da sagoreva i uz učešće jezgara atoma težih elemenata – ugljenika i azota. Ova jezgra imaju ulogu katalizatora. Najvažniji lanac takvih fuzionih reakcija odvija se uz učešće jezgra izotopa ugljenika ^{12}C , tzv. CNO ciklus [2].



Slika .3 Prikaz pp Be lanca

Opšte je poznato da, na Suncu svake sekunde oko 600 miliona tona vodonika pretvori se u 596 miliona tona helijuma. Preostala 4 miliona pretvara se u energiju tvrdog gama i rendgenskog zračenja i energiju neutrina. Zbog prisustva teških elemenata kao katalizatora CNO ciklus je najefikasniji na višim temperaturama (oko 20 miliona K). Za postizanje takvih temperatura potrebno je da zvezda bude masivnija. Ova energija je svima dostupna i predstavlja jedan od osnovnih dostupnih resursa. Korišćenje ovog resursa predstavlja jedna od osnovnih faktora u borbi protiv negativnog uticaja klimatskih promena [2].

Kao što je već poznato, uzrok klimatskih promena je neograničeno sagorevanje fosilnih goriva-uglja, nafte i prirodnog gasa - što su takođe i

uzročnici oslobađanja CO₂ u atmosferu u sve većoj meri. Zbog ovoga, sloj gasova staklene bašte oko Zemlje postaje deblji, što čini Zemlju sve toplijom. Međutim, zahvaljujući ljudskoj istraživačkoj prirodi, sada postoje pametniji načini za stvaranje energije.

Jedna od oblasti koja se najbrže zagreva na Zemlji je Dunavsko-Karpatiski basen, a uticaj klimatskih promena evidentan je i u Srbiji. Kao rezultat promene klime, uobičajene vremenske prilike izostaju. Slučajevi suše i poplave sve su češći, ozbiljniji i skuplji. U mnogim područjima, porast temperature i suša ograničiće poljoprivrednu proizvodnju, a to je jedan od najvažnijih sektora srpske ekonomije. Voda za piće, industrijsku i poljoprivrednu upotrebu, postaće oskudna, jer porast temperature još više ugrožava već pogođene resurse podzemnih voda u Srbiji. Šumski požari su češći i veći. Očekuje se smanjenje snežnog prekrivača i dužine zimskog perioda, što utiče na rezerve vode u zemljištu.

1.2 SPEKTAR ZRAČENJA

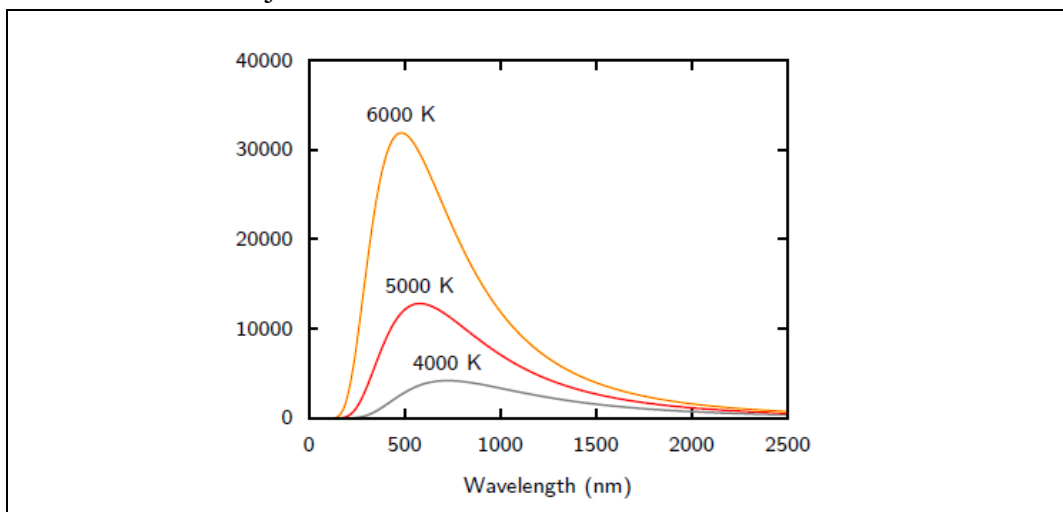
Svaki objekat u prirodi zrači energiju u zavisnosti od njegove temperature. Uobičajenačin za opisivanje koliko energije objekat odaje zračenjem je poređenje tog objekta sa teoretskom tvorevinom nazvanom crno telo. Crno telo se definiše kao savršeni emiter i savršeni apsorber. Kao savršeni emiter, crno telo isijava više energije po jedinici površine od bilo kog realnog objekta na istoj temperaturi. Kao savršeni absorber, crno telo absorbuje svo zračenje koje dospe na njega, to jest, nijedan deo zračenja se niti reflektuje niti prolazi kroz crno telo. Crno telo emituje zračenje na svim talasnim dužinama, ali gustina snage zračenja crnog tela na određenoj talasnoj dužini zavisi od njegove temperature i opisana je Plankovim zakonom:

$$E = \frac{3.74 \cdot 10^8}{\lambda^5 (e^{\frac{14400}{\lambda T}} - 1)} \quad (1.2.1)$$

Gde je E snaga zračenja po jedinici površine crnog tela, T je apsolutna temperatura crnog tela u stepenima Kelvina, a λ [nm] je talasna dužina.

Ako se Zemlja modeluje kao crno telo sa temperaturom od 288K (što je 15°C), dobija se emisijski spektar (spektar zračenja).

Površina ispod Plankove krive (kriva na slici 1) između bilo koje dve talasne dužine je površinska snaga emitovana između tih talasnih dužina, tako da je ukupna površina ispod Plankove krive jednaka ukupnoj površinskoj emitovanoj snazi u vidu zračenja.



Slika 4. Raspodela zračenja crnog tela

Primer. Svetlosni snop I_p inteziteta 3mW i talasne dužine 743nm, pada na površinu solarne ćelije. Proceniti broj upadnih fotona snopa.

$$E = \frac{hc}{\lambda} = \frac{6.625 \cdot 10^{-34} \cdot 310^8}{743 \cdot 10^{-9}} = 2.675 \cdot 10^{-19} J$$

$$n_p = \frac{I_p}{E} = \frac{3 \cdot 10^{-3}}{2.675 \cdot 10^{-19}} = 1.2 \cdot 10^{16} \text{ fotona/s}$$

2. SOLARNA ENERGIJA

Kao što je već istaknuto, Sunce je najveći izvor energije na Zemlji. Sem neposrednog zračenja koje zrači Zemljinu površinu i stvara klimatske uslove u svim pojasevima, ovo zračenje je odgovorno i za stalno obnavljanje energije veta, morskih struja, talasa, vodenih tokova i termalnog gradijenta u okeanima. Energija koja potiče iz posrednog i neposrednog sunčevog zračenja se smatra obnovljivim izvorom energije jer se njenim korišćenjem ne remeti značajno ravnoteža toka materije i energije u prirodi [1, 2].

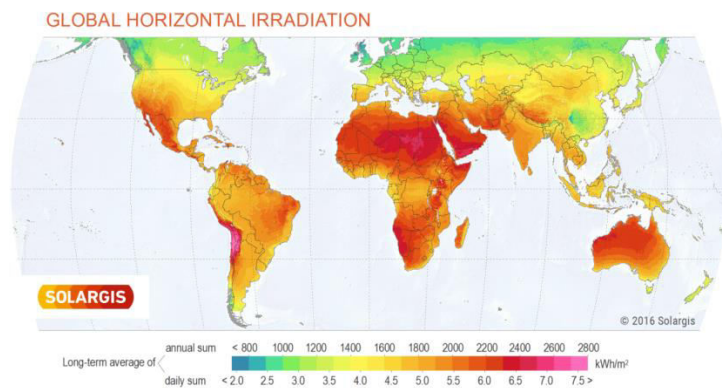
Energija koja se transportuje u formi elektromagnetog talasa, koje dospeva na površinu Zemlje se delimično apsorbuje na površini, dok drugi deo se reflektuje nazad u atmosferu. Ova konstatacija je u skladu sa osnovnim zakonima talasne i geometrijske optike. Upadna svetlost pored komponente koja direktno potiče od Sunca poseduje i difuzionu komponentu, koja nastaje zbog same prirode atmosfere (oblaci, prašina, smog i druge aerosoli) čime se bitno menja spektralna raspodela incidentne svetlosti. Ovde treba uzeti u obzir i činjenicu da i zemlja samo po sebi emituje odgovarajuće zračenje tzv. reflektujuće ili albedo. Tako da, kada se govori o globalnom sunčevom zračenju treba da uzmemo u obzir sve tri pomenute komponente.



Slika 5. Stuktura globalnog zračenja

Globalno zračenje Sunca predstavlja energiju ukupnog zračenja Sunca (direktnog i difuzionog) koja tokom nekog vremenskog perioda dospe na jediničnu površinu Zemlje. Drugim rečima predstavlja energiju insolacije u nekom vremenskom periodu. Vrednosti globalnog godišnjeg zračenja Sunca G_a izražava se u kWh/(m² god) i obavezno se definiše ugao nagnutosti površine za koju se odnosi data vrednost. Pored godišnjeg, u raznim studijama često se navode prosečne dnevne vrednosti energije zračenje Sunca G_d , koja se izražavaju u kWh/(m² dan). Osnovni parametar za procenu opravdanosti izgradnje Sola-rnih grejnih sistema (SGS) na nekoj lokaciji jeste godišnja energija globalnog zračenja Sunca na horizontalnu ravan te lokacije G_a , dakle, ukupna vrednost energije sučevog zračenja koja tokom godine dospe na m² horizontale površi na odgovarajućoj lokaciji.

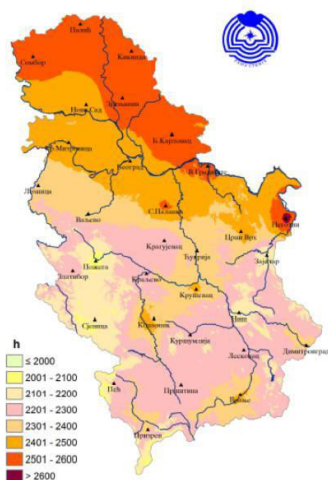
Ono što je sa tehničke strane najvažnije jeste količina izračene enrgije po jedinici ipovršine, koja je funkcija geografske širine i nadmorske visine. Ta količna je u direktnoj korelaciji sa smanjenjem nadmo-rske visine i povećanjem geografske širine.



Slika 6. insolacijska rapsodela na planeti

Na geografskoj širini od 43°, pot. energija iznosi oko 2500kWh/m² godišnje, a na geografskoj širini od 46° oko 2400kWh/m² godišnje. Stvarna energija zračenja koja dođe do površine znatno je manja od potencijalne zbog pojave

oblaka, vlage i zagađenosti atmosfere. Prosek za Srbiji iznosi oko 3.5kWh/m^2 na dan, a u primorju Crne Gore oko 4kWh/m^2 dnevno. Navedeni podaci jasno ukazuju na potencijale ovog značajnog energetskog resursa. Intezitet zračenja koje nam stoji na raspolaganju ne možemo predvideti s većom sigurnošću.



7. Осунчавање у часовима током 2012. године

Slika 7. Raspodela sunčevog zračenja na području Republike Srbije

Kao izvor energije Sunčevo zračenje je povoljnije od vetra s obzirom na predvidivost pojave, ali je nepovoljnije s obzirom na to da zračenja nema u toku noći, te da je manje intezivno tokom zime kada je potrošnja energije najveća. Postrojenja mogu raditi samo u toku dnevnog ciklusa, što se ne poklapa sa ritmom potražnje energije. Moraju se graditi dodatna postrojenja ili osigurati akumulaciju energije pomoću koje bi vršili snadbavanje potrošača noću [2].

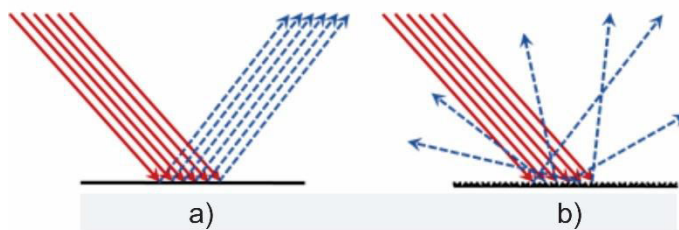
2.1 ELEMENTI SOLARNE GEOMETRIJE

Kada se govori o solarnj energiji, njenjoj prirodi i principima njene konverzije u električnu energiju, jasno je da se u obzir mora uzeti pozicija solarnih prijemnika u odnosu na sunce tokom dana, meseca i končano tokom cele godine. Logično je da neka mesta na zemaljskoj kugli su tokom godine, više izložena Suncu u odnosu na druga. Pojmovi geografske širine i dužine kao i nadmorske visine, predstavljaju početne parametre prilikom odlučivanja o isplativosti projektovanja i instaliranja PV sistema na datoj lokaciji.

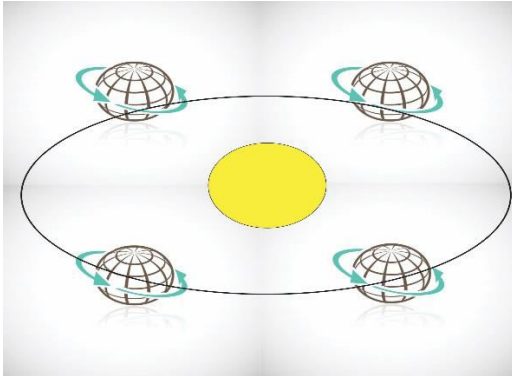
Ugao obrazovan između ravni ekvatora i prave koja spaja centre Sunca i Zemlje se zove *solarna deklinacija* i obeležava se sa δ . Ona varira između ekstremnih vrednosti od -23.45° do 23.45° . Veoma dobra aproksimacija za vrednost solarne deklinacije se dobija ako se pretpostavi jednostavna sinusna zavisnost za godinu koja traje 365 dana i prolećnu ravnodnevicu koja nastupa 81. dana u godini ($n=81$). Stvarne vrednosti solarne deklinacije blago variraju od godine do godine, ali taj uticaj se ne uzima u obzir. pretpostavljenu sinusnu zavisnost, vrednost solarne deklinacije δ za n -ti dan u godini iznosi:

$$\delta = 23.45 \sin \frac{360}{365} (n - 81) \quad (2.1.1)$$

Altitudni ugao je ugao između prave koja spaja Sunce i posmatranu tačku na Zemlji i lokalne horizontale u posmatranoj tački.



Slika 9. Efekti refleksije i rasejanja svetlosnog talasa

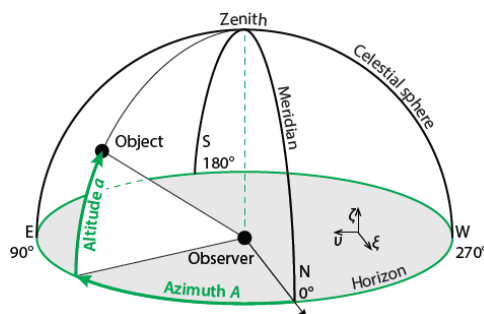


Slika 10. Pozicija zemlje u odnosu na Sunce tokom godine

21 Juna, Sunce zauzima najvišu poziciju na severnoj hemisferi. Dok 21 decembra imamo obrnutu situaciju. Ovi položaji Sunca su u direktnoj korelaciji sa količinom izračene energije po m^2 u toku dana koja se izražava $W/m^2/dan$. Insolacija predstavlja direktno sunčevo zračenje na horizontalnoj površini

.Ovo zračenje u svom spektru dominantno sadrži zračenje kratkih talasnih dužina. Pored pomenutih parametara, kao što je ranije istaknuto, ova vrednost je funkcija i doba godine i atmosferskih uslova i stepena zagađenja vazduha. Vrednost insolacije se menja i sa ekspozicijom reljefa. Ovi podaci su jako važni prilikom definisanja pravilnog položaja panela. Kada se pominje definisanje položaja panela misli se pre svega na izbor pravca i nagiba.

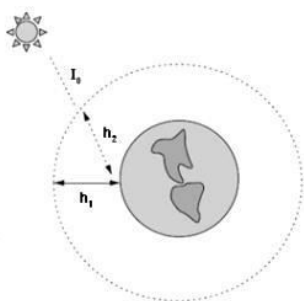
Usmeravanje solarnog panela u pravcu ekvatora, (za stanovnike severne zemljine polulopte znači usmeravanje solarnog panela u pravcu juga, odnosno za stanovnike južne zemljine polulopte usmeravanja solarnog panela ka severu i njegovo nagnjanje pod uglom geografske širine u odnosu na horizontalnu podlogu, daje najbolje performanse solarnog panela.



Slika 11 Elementni solarne geometrije

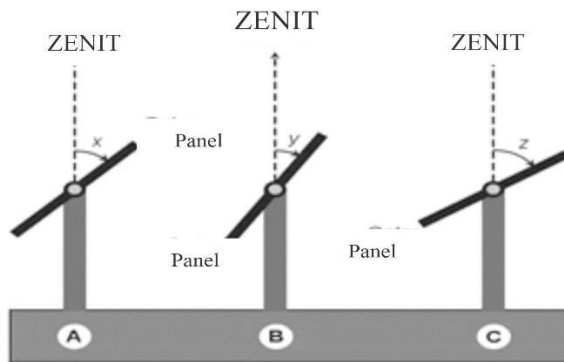
2.2 KOLIČNIK VAZDUŠNE MASE, AM

Spektar Sunčevog zračenja zavisi i od dužine puta kroz atmosferu koje zračenje treba da pređe da bi došlo do Zemljine površine. Kada se dužina puta h_2 , koju pređu Sunčevi zraci na putu kroz atmosferu, podeli sa minimalnom mogućom dužinom tog puta h_1 (što se događa kada je Sunce direktno iznad posmatranog mesta na Zemljinoj površini), dobija se veličina koja se zove *količnik vazdušne mase* ili samo vazдушna masa i obeležava se sa m .

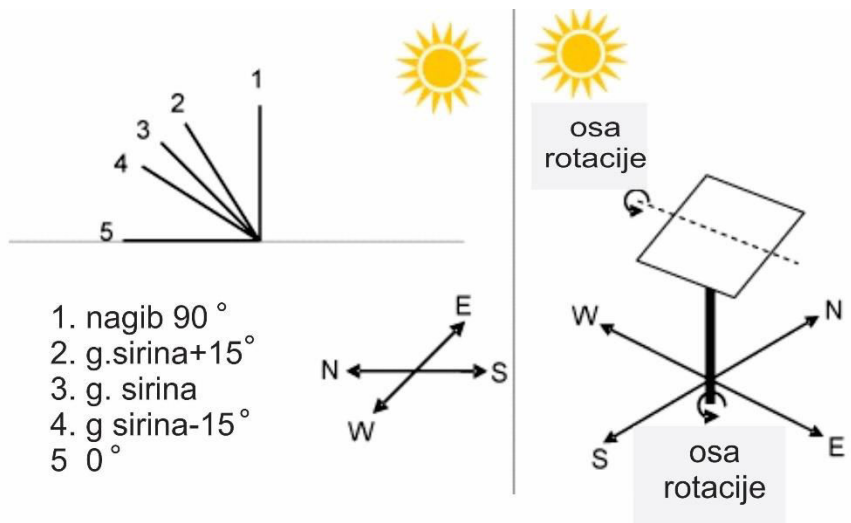


$$M = \frac{h_2}{h_1} = \frac{1}{\sin\delta} \quad (2.2.1)$$

Količnik vazdušne mase od 1 (piše se "AM1") znači da se Sunce nalazi direktno iznad posmatranog mesta na Zemlji. Po konvenciji, AM0 znači da ne postoji atmosfera, to jest da do površine Zemlje dolazi „očigledni“ ekstraterestrički fluks (fluks ekstraterestričkog zračenja koji uđe u atmosferu), A_0 . Najčešće se za prosečno sunčevo zračenje na površini Zemlje prepostavlja količnik vazdušne mase od 1.5. Kako Sunčevi zraci prolaze kroz veći deo atmosfere, manje energije dolazi do površine Zemlje, a spektar zračenja se pomera ka većim talasnim dužinama.



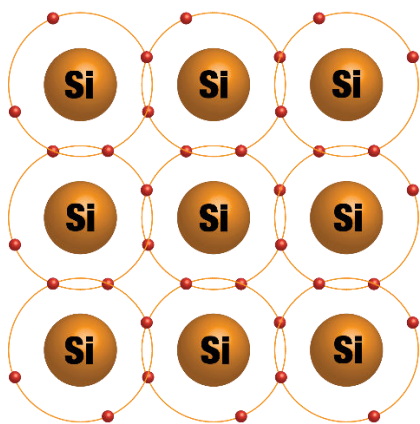
Slika 12. Pozicije panela



Slika 13 Pozicija panela pri različitim nagibnim uglovima u slučaju fiksnog panela a) i panela sa dvo osnim praćenje b)

3. FOTO NAPONSKE ČELIJE

Fotonaponske - solarne ćelije su poluprovodničke strukture, koje imaju zadatak da pretvore Sunčevo zračenje tj. toplotnu energiju u električnu energiju. Većina savremenih elektronskih komponenata izrađuje se od poluprovodničkih materijala. Iz ekonomskih i tehnoloških razloga za proizvodnju se najviše koristi silicijum (Si). Istraživanja poluprovodničkih jedinjenja su vrlo aktuelna, s obzirom da komponente na bazi ovih jedinjenja mogu biti efikasni izvori, ili, pak, detektori kako infracrvenih radijacija, tako i radijacija u vidljivom delu spektru. Silicijum spada u jedan od najrapsoratanjenijih elemnta u prirodi i ima specijalne hemijske karakteristike. Atom ^{14}Si sadrži 14 elektrona koji raspoređen na tri nivoa. Unutrašnja dva niova poptpuno su ispunjenja dok u poslednjem nivou nalazi sei 4 elektrona od mogućih 8.

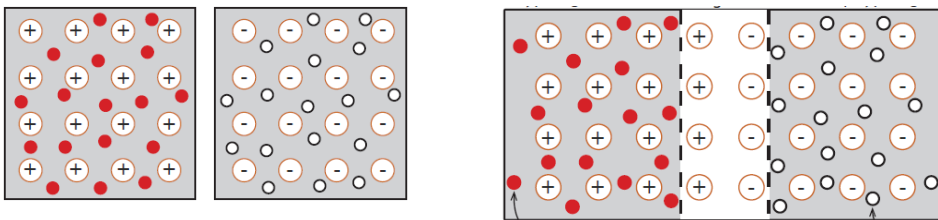


Slika 14. Kristal Si

To znači da je silicijum četvero valentan element koji ogradi svoju kristalnu rešetku tako što svaki njegov elektron iz zadnje ljuske gradi kovalentnu vezu sa po jednim odgovarajućim elektronom iz susednog atoma silicijuma. Na sobnoj temperaturi neke od postojećih kovalentnih veza nisu uvek održive, prekidaju se i dolazi do emitovanja elektrona u provodnu

zonu i nastanka šupljine na upražnjenom mestu. Različiti tipovi poluprovodnika se dobijaju dopiranjem primesa u čist silicijum. Kod n-tipa poluprovodnika glavni nosioci naelektrisanja elektroni, a kod p-tipa poluprovodnika glavni nosioci naelektrisanja su šupljine.

Posmatrajmo sada što se dešava prilikom spajanja p-tipa i n-tipa poluprovodnika (što se u praksi ostvaruje dosta složenijim tehnološkim postupkom od prostog spajanja). U tom slučaju, kako je koncentracija elektrona u n-tipu mnogo veća nego ovih u p-tipu, dolazi do difuzionog kretanja elektrona i šupljina, koje ima za cilj izjednačenje koncentracija u svim djelovima poluprovodničke strukture. Znači, elektroni počinju da se kreću od mjesta veće ka mjestima manje koncentracije, odnosno u smjeru od n-tipa ka p-tipu poluprovodnika. Slično važi i za šupljine, koje se kreću od p-tipa ka n-tipu poluprovodnika (sl 6.6a).



Slika 15. Proces formiranja PN spoja

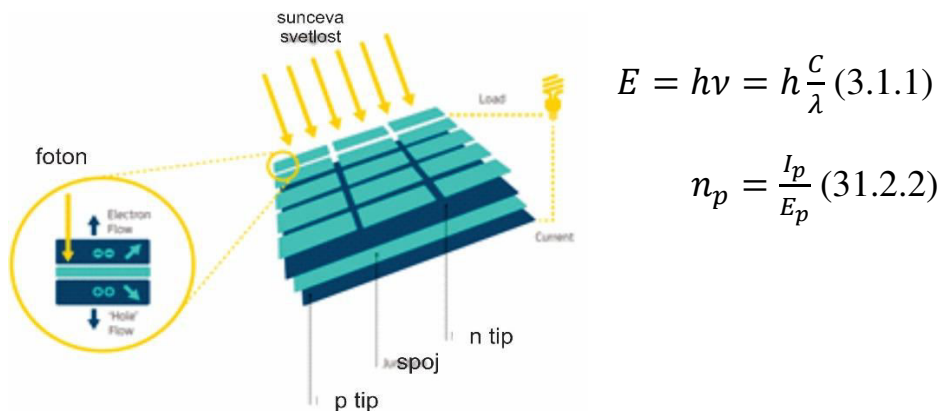
Za formiranje p-tipa poluprovodnika se koriste elementi 3. grupe periodnog sistema (najčešće bor). Ubacivanjem bora u silicijum postiže se da atomi bora zamenjuju pojedine atome silicijuma u kristalnoj rešetki. Pošto je atom bora trovalentan on će ostvariti kovalentne veze sa tri susedna atoma silicijuma. Veza sa četvrtim susednim atomom silicijuma se ne može ostvariti, poslednji elektron iz zadnje ljuske silicijuma se vezuje za atom bora koji postaje negativan a na poslednjem atomu silicijuma se manifestuje postojanje šupljine, tako da se ukupan efekat sastoji u tome da se dobija višak šupljina u dopiranom materijalu. Zbog činjenice da je atom bora prihvatio poslednji elektron iz ljuske silicijuma on se naziva akceptor.

Za formiranje n-tipa poluprovodnika se koriste elementi 5 grupe periodnog sistema (na primer fosfor). Kada atom fosfora zameni jedan atom silicijuma u rešetki doći će do ostvarivanja kovalentnih veza sa susedima kao i kod bora. Razlika je u tome da će fosforu kao petovalentnom elementu, pošto ostvari veze

sa četiri susedna atoma silicijuma, ostati jedan elektron viška. Međutim taj poslednji elektron neće ostati na zadnjoj ljusci fosfora već će doći do njegovog emitovanja u provodnu zonu, tj. dobija se jedan slobodan elektron. Zbog činjenice da petovalentne primese dovode to toga da se javlja višak negativnog naelektrisanja (koje oni “daju”) nazivaju se donorima.

Materijal za primese i njihova koncentracija u poluprovodniku će zavisiti od željenih karakteristika traženog p-n spoja. Tehnički, p-n spoj se ne ostvaruje spajanjem dva različita tipa poluprovodnika već se naknadnim ubacivanjem primesa suprotnog tipa u postojeći tip poluprovodnika stvara p-n spoj.

Pošto je u pitanju spoj dva različita tipa poluprovodnika kod kojih je u jednom višak negativnih a kod drugog višak pozitivnih naelektrisanja, doći će do difuzionog kretanja slobodnih šupljina ka n-oblasti i slobodnih elektrona ka p-oblasti. Prelaženjem slobodnih naelektrisanja iz jednog tipa u drugi, uz samu granicu spoja će doći do formiranja električnog polja. To polje će dalje predstavljati prepreku daljoj difuziji slobodnih nosilaca. Tako formirana potencijalna ba-rijera se naziva oblast prostornog naelektrisanja. Težnja slobodnih naelektrisanja da prelaze na suprotnu stranu ali to će biti onemogućeno od strane potencijalne barijere, tako da je p-n spoj u dinamičkoj ravnoteži.



$$E = h\nu = h\frac{c}{\lambda} \quad (3.1.1)$$

$$n_p = \frac{I_p}{E_p} \quad (31.2.2)$$

Slika 15. Struktura foto ćelije i princip generisanja elektrona

Strujno-naponska kriva karakteristike pokazuje ponašanje diode: Ako je anoda, elektroda na p sloju, na višem potencijalu od katode, elektrode na n sloju, onda

je dioda direktno polarisana i struja će početi da teče pri naponu od $U_0=0.7\text{ V}$ (vrednost za silicijum). Ako je diode obrnuto polarisana (inverzno), onda će struja poteći samo ukoliko se pređe inverzni granični napon od 150V, što će svakako uništiti diodu

U idelnom slučaju foto ćelija se modeluje pomocu tzv. Modela jedne diode.



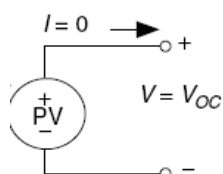
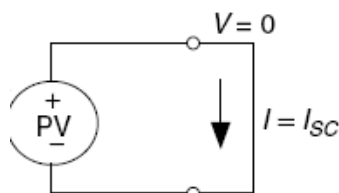
Slika 16 Ekvivalentni model foto ćelije

$$I_d = I_0 \left(e^{\frac{qV_d}{kT}} - 1 \right)$$

I_d struja diode, I_0 inverzna struja zasićenja diode, q naelektrisanje elektrona ($1,602 \cdot 10^{-19}\text{ C}$), V_d napon na diodi, k Bolcmanova konstanta ($1,381 \cdot 10^{-23}\text{ J/C}$) i T apsolutna temperatura ćelije. Kada se ćelija osvetli generiše se struja nosilaca naelektrisanja kroz p-n spoj, na prethodno opisani način, što je na zamenskoj šemi fotoćelije modelovano strujnim izvorom.

Kada se solarna ćelija osvetli onda će fotoni svetlosti prodirati u materijal (n tip je vrlo tanak sloj) i sudarati se sa atomima u blizini oblasti prostornog tovara. Ako foton ima dovoljno veliku energiju da izazove jonizaciju atoma stvoriće se novi par elektron – šupljina koji će pod dejstvom polja potencijalne barijere biti transponovani i to elektron u n tip, a šupljina u p

3.1 KARAKTERISTIKE FOTO ĆELIJE



Struja kratkog spoja

$$I = I_{SC} - I_d \quad (3.1.1)$$

$$I = I_{SC} - I_0 \left(e^{\frac{qV}{kT}} - 1 \right) \quad (3.1.2)$$

Napon otvorenog kola

$$V_{oc} = \frac{kT}{q} \ln\left(\frac{I_{SC}}{I_0} + 1\right) \quad (3.1.3)$$

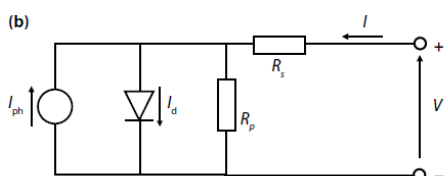
Snaga ćelije

$$P = VI = V(I_{SC} - I_0 e^{\frac{qV}{kT}} - I_0) \quad (3.1.4)$$

$$P_m = V_m I_m = V_{oc} I_{cs} F \quad (3.1.5)$$

Faktor ispunjenosti

$$FF = \frac{I_m V_m}{V_{oc} I_{cs}} \quad (3.1.6)$$



Efikasnost solarne ćelije definiše se odnosom između njene maksimalne snage P_m i snage P_u Sunčevog zračenja koje pada na površinu A ćelije

$$\eta = \frac{P_m}{P_u} = \frac{I_m U_m}{EA} \quad (3.1.7)$$

$$\eta = \frac{FF V_{oc} U I_{cs}}{EA} \quad (3.1.8)$$

Za Si

FF – 0.7-0.8

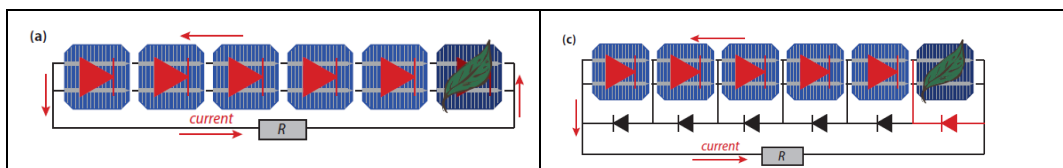
$I_{cs} \approx 35 \text{ mA/cm}^2$

$V_{oc} \approx 0.65 \text{ V}$

$\eta \approx 17-18\%$

Jako je bitno da se napravi razlika između karakteristika PV komponente na nivou modula i na nivou ćelije. Tako npr. Aparentna površina na nivou ćelije se definiše, kao samo aktivna površina ćelije, dok kod modula uzima se u obzir i površina međukontakta i krajeva modula. Definisane efikasnosti i faktora ispunjenja je manje bitno u odnosu na određujuće struje i napona modula. U idealnim uslovima, logično je očekivati, da ne postoji razlika posmatranih parametara PV ćelije odnosno PV modula. Međutim u stvarnosti je drugačije.

Dovoljno je samo uzeti u obzir termalne gubitke na spojevima među ćelijama, pa da prethodno iznesen stav bude potvrđen. Pomenuti gubici se u konačnom prenosu na manji i faktor efikasnosti modula i manji faktor ispunjenja. Pored ovoga ako se uzme u obzir i neravnomerna raspodela sunčevog zračenja po površini modula, kao neravnomernu raspodelu temperature po površini modula, razlika u vrednostima parametara ćelije i modula postaje još izraženija. Podatak o pomentim razlikama u vrednosti parametara često se nalazi u proizvođačkim specifikacijama /Sanyo HIT-N240SE10 modul, efikasnost ćelije 21.6%, efikasnost modula 19%./ Globalna nastajanja u razvoju PV industrije idu u pravcu podizanja stepena efikasnosti.



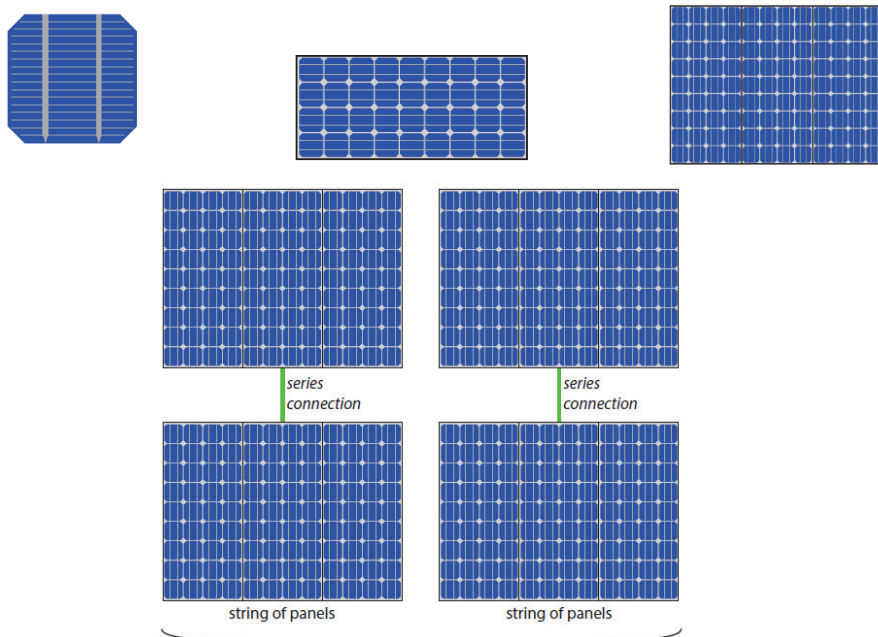
Slika 18. Efekt senčenja i uloga bypass dioda

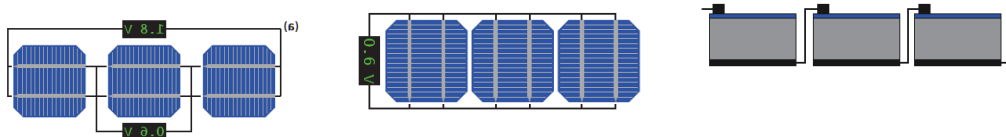
Pri proračunima proizvodnje fotonaponske elektrane jako je važno analizirati uticaj zasenčenja koji podrazumeva smanjenu iradijaciju koja dospeva do pojedinih fotonaponskih ćelija. Zasenčenje može da izazove velike gubitke za solarni energetska sistem. Iz tog razloga se fotonaponski moduli proizvode sa ugrađenim by-pass diodama. Da bi se shvatila realna uloga ovih komponenti, potrebno je razmotriti „realna fotonaponski sistem, koji je delimično „zasenčen,, /drvo, zgrada, lišće na modulu, prljavština/. Ako se vratimo na stav da je struja diode u korelaciji sa količinom sunčeve energije, koja pada na njenju površinu, kao i da jedna od glavnih karakteristike redne veze $I=const$, posmatrajući sliku 3, konstatujemo da je struja generisan u zasenčenoj ćeliji znatno manjeg inteziteta od struja generisanih u ostalim ćelijama. Samim tim ta struja će ograničiti intezitet struje cele veze I dovešće do trenutnog pada napona celog ``stringa``. Ako je na sistem priključen potrošač, termogene otpornosti R, logično je zaključiti da ce na njenu da dođe do pada napona, a samim tim i do „poteškoća,, u njegovom radu ($P=UI$) Zasenjena ćelija se u svari ponaša kao potrošač i struja kroz nju se konvertuje u toplotu. Ćelija pod senkom se ponaša kao potrošač. Struja koja protiče kroz nju se konvertuje u toplotu. Naime, zasenjena didoa postaje reverzno polarizirana, a u njoj, u nekoj tački, dolazi do proboja -kratak spoj.

Tehnika primene bypass diode –premošćujućih dioda, podrazumeva da se da paralelno svakoj od redno vezanih fotonaponskih ćelija postaviti

premošćavajuća diodu. Ako se uzme u obzir da napon na fotonaponskog ćeliji u normalnim uslovima rada (na primer, u tački maksimalne snage) oko 0.5 V, premošćavajuća dioda u normalnim uslovima rada će biti inverzno polarisana, tako da ona ne provodi struju. U slučaju kada dodje do zasenjavanja diode, stvara se pad napona na unutrašnjoj otpornosti ćelije (suprotnog polariteta u odnosu na radni napon ćelije). Kada vredost tog pada napona dostigne prag provođenja premošćavajuće diode, ona će predstavljati malu otpornosti i struja će proteći kroz nju. Kao što je već rečeno na ovaj način struja koju generišu ostale diode u rednoj vezi je na mestu zasenčene diode dobila novi efikasan kanal za njeno premošćenje.

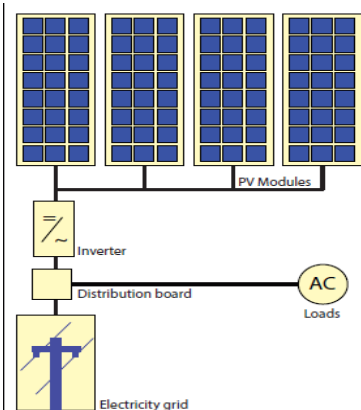
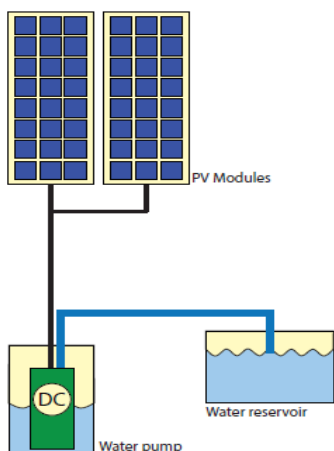
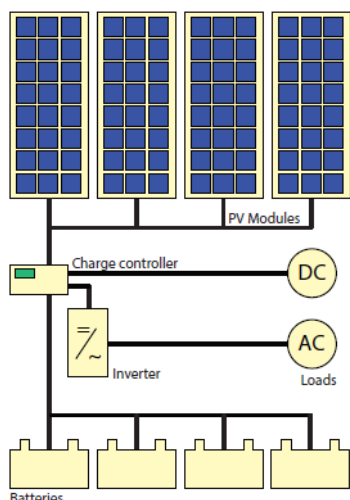
Postavljanjanje premošćavajućih dioda paralelno svakoj od redno vezanih fotonaponskih ćelija u modulu nije ekonomično. Za fotonaponske module sa 36 ćelija ubičajeno je da se koriste dve diode za premošćavanje, tako da se 18 ćelija premošćuje jednom diodom. Iz tog razloga, korist od dioda za premošćavanje nije toliko značajna ako se radi o jednom modulu, već o modulima koji se koriste za formiranja panela. Uloga premošćavajućih dioda je premošćavanje modula u slučaju zasenčenja, ali i u slučaju kvara, čime modul automatski biva premošćen i u električnom smislu izolovan iz sistema.





Slika 19. Foto ćelije. Panel modul a), Redno i paralelno vezivanje panela b), ćelija c) I baterija d)

4. TIPOVI PV SISTEMA



Samostalni fotonaponski sistem sa mogućnosti skladištenja energije. Sastoji se od fotonaponskih panela čiji proces rada je kontrolisan od strane kontrolora punjenja koji kontroliše stepen energije uskladištene u sistemu akumulatora, isključuje sistem u slučaju preopterećenja akumulatora u toku procesa punjenja, sa jedne strane i kontroliše potrošnju DC I AC uređaja u sistemu u cilju sprečavanja nekontrolisanog pražnjenja akumulatora.

Samostalni fotonaponski sistem bez mogućnosti skladištenja energije. Sastoji se samo od fotonaponskih panela povezanih direktno na potrošač. Na primeru slike radi se o PV sistemu koji se koristi za direktno napajanje vodene pumpe. Rasprostranjen primer primene i sreće u često upotrebi u razvijenim zemljama.

Mrežni fotonaponski sistem, jedan najzastupljenijih modela. Pored fotonaponskih modula kontrolera i dugih komponenti koje su ranije pomenute sadrži i dvosmerno brojiilo za isporučenu energiju u mrežu. Sa spoljašnjom mrežom vezani su putem invertora. Najveći problem ovih sistem ajeste sinhronizacija proizvodne struje sa strujom u spoljašnjoj mreži. Takođe, velike PV elektrane su deo ove grupe.

Slika 20 Tipovi PV sistema

4.1. KOMPONENETE PV SISTEMA

Pored fotonaponskih panela, najvažniji elementi fotonaponskog sistema su:

Kontroler punjenja. reguliše napon /voltažu i amperažu sa kojima će se dopunjavati baterije. Njegove osnovne funkcije su: automatsko prepoznavanje ulaznog napona, zaštita od prejakog napona, zaštita od kratkog spoja, zaštita od pražnjenja, zaštita od obrnutog polariteta, zaštita od udara groma, zaštita od niskog napona, zaštita od prepunjavanja baterije, automatsko prekidanje i ponovni nastavak punjenja baterije



Slika 21. Kontroler punjenja

Akumulatori u okviru PV sistema se koriste za skladištenje proizvedene energije. Odlukuju se visokom gustinom punjenja, velikim brojem ciklusa 800-1500, dubinom pražnjenja 80% , a vek trajanja im je od 5-15god u zavisnosti od eksploatacije.



Slika 22. Akumulatori

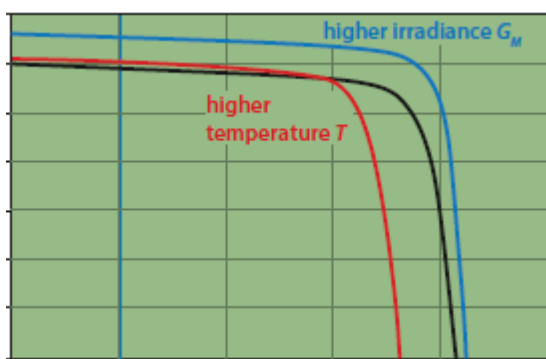
Invertor je električni uređaj koji pretvara jednosmerni napon, skoro uvek iz baterije, u standardni naizmenični (AC) napon domaćinstva, Pored ove funkcije inverter ima i bezbedonosne funkcije, tako da naizmeničnu struju sinhronizuje prema vrednostima električne mreže, prikazuje količinu proizvedene struje, Efikasnost u procentima pokazuje sa kolikim gubitkom radi regulator, to jest koliki je gubitak u procesu stvaranja jednosmerne struje u naizmeničnu.



Slika 23. Invertor

4.2.MPPT

MPPT - Maximum Power Point Tracking predstavlja algoritam koji upravlja radom kontrolera u cilju da PV modula u datim uslovima modul da maksimalnu energiju. Vrednost napona pri kome se postiže maksimalna snaga PV modula naziva se 'maximum power point napon. Vrednost ove veličine je ukorelaciji sa' (ili peak količinom solarnog zračenja, temperature ambijenta, kao i temperature solarne ćelije. Neki standardni podaci ukazuju da PV modul daje maksimalnu snagu na oko 17V pri temperaturi 25C, pri čemu napon može da padne na oko 15V kada je dan veoma topao, ili da poraste na blizu 18V ako je dan veoma hladan.



Slika 24. Prikaz UI karakterisitka PV ćelije

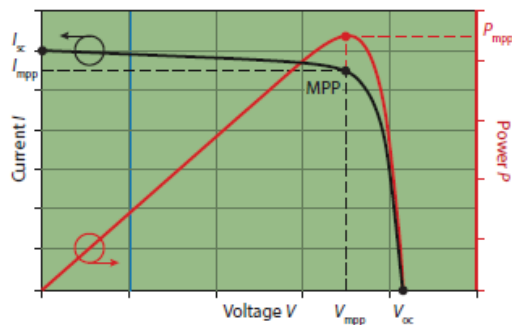
Za analizu ovog pojma, posmatramo VI karakteristiku foto ćelije. Sa grafika se jasno uočava da je oblik VI karakterstike je nepromenljiv. Operaciona tačka definisana je parom vrednostima struje i napona.

$$P = IV \quad (4.2.1)$$

Sa stanovišta efikasnosti, poželjno je da system radi sa maksimalnom

efiksanošću, odnosno da u svakom trenutku daje maksimalnu izlaznu snagu /temperatura okoline, stepen sunčevog zračenja na površini panela, temperatura panela/. U tom slučaju operaciona tačka odgovara maksimumu na PV krivoj, Ta tačka se zaniva tačka maksimalne snage ili MMP (maksimum power pont). U slučaju da je modul direktno povezan na potraž, snage P, odna je operaciona tačka određena upravo snagom potrošača. Jednostavno, potrebno je obezbediti da modul radi u uslovima date operacione tačke, odnosno tačke maksimalne snage. Da bi se to postiglo, jedna od načina jeste regulisanje rada modula takoda na njegovom izlazu se postigne vrednost V_{mpp} ili vredost I_{mpp}

Uzimajući u obzir da temperature okoline, temperatura panela, kao i količina zračenja koje pada na površinu modula, predstavljaju promenljive veličine, logično je zaključiti da dolazi do pomeraja MPP tačke, što bitno utiče na efikasnost sistema. To znani da promene VI krive treba da se stalno prate i da se obezbede uslovi konstantnosti pozicije MPP.



Slika 25. Princip određivanja MPPT tačke

Već je istaknuto da je MPPT služi za praćenje funkcionisanja modula, u cilju da modul proizvede maksimalnu količinu energije u datim uslovima u zavinsoti od opterećenja. Danas u praski se postoje dve vrste MPPT pristupa

- Indirektni pristup
- Direktni pristup

4.3. INDIRETKNI METOD

Indirektni pristup bazian je na određenom broju merenja, U okviru ovog pristupa primenjuje može s eperimenti tzv. Metod konstantnog napona, uzima za vrednost operacionog napona godinju procenjenju vrednsot. Pretpostavka ide dalje da za ispit novi zračenja tokom zime i leta očekuje se veći MPP. Ovaj model nije baz najprecizniji i primenjiv je na lokacijama gde su relativno male fluktuacije u pogledu količine izračene energije tokom dana. Drugi metod u okviru ovog prsitupa jeste, metod napona delimično otvorenog kola. Ovaj metod se bazira na aproksimiciji vrednosti V_{mpp} kao

$$V_{mpp} = kV_{oc} \quad (4.2.1)$$

Gde je k konstanta, kja za Si iznosi 07-0.8. Generalno vrednsot k zavisi od tipa solarne ćelije. Kako promena vrednsot V_{oc} može da s e lako prati, samim tim i procena vrednsoti V_{mp} može da se lako aproksimira protim množenjem vrednsoti V_{oc} sa faktorom k. Logično je da zaključimo dav ovaj prisp je okviran i njeogvu tačnost mora da se uzme sa rezervom. U ovom slučaju, s obzirom na odstupanja uvodi se pojam MPP oblasti umesto tačke.

4.4 DIREKTNI METOD

Ova metoda je znatno rasprotranjenija i precizinja. Primena ovog pristupa baziran je na većem broju algoritama, od kojih se izdvajaju P&O algoritam, (perturb and observ) i ICM algoritam (incremental conductance method).

4.4.1 ICM algoritam

Konduktansa G predstavlja inverznu vrednost otpornosti R pa samim tim se izražava kao

$$G = \frac{I}{V} \quad (4.4.1)$$

u MPP tački nagib krive je nula odnosno $\frac{dP}{dV} = 0$, odonso može se napisati da je

$$\frac{dP}{dV} = \frac{d(IV)}{dV} = 1 + V \frac{dI}{dV} \quad (4.4.2)$$

U slučaju malih promena vrednosti V , može se napisati da je

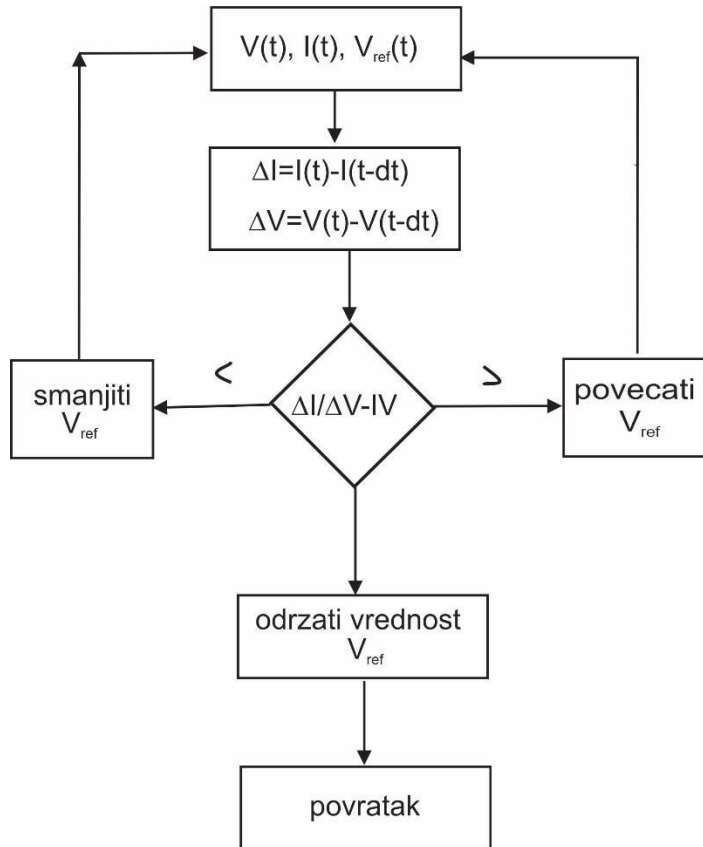
$$\frac{dI}{dV} \sim \frac{\Delta I}{\Delta V} \quad (4.4.3)$$

Na bazi ovog sledi

$$\frac{\Delta I}{\Delta V} = -\frac{I}{V} \text{ za slučaj da je } V=V_{mp}$$

$$\frac{\Delta I}{\Delta V} > -\frac{I}{V} \text{ za slučaj da je } V < V_{mp}$$

$$\frac{\Delta I}{\Delta V} < -\frac{I}{V} \text{ za slučaj da je } V > V_{mp}$$



Slika 26. Algotiram ICM metode

5. ODREĐIVANJE KARATERISTIKA FOTONAPONSKIH SISTEMA

U procesu projektovanja fotonaponskog sistema za snabdevanje potrošača električnom energijom u obzir se uzimaju sledeći faktori:

- Realna potrošnja električne energije za dati objekat ili grupu objekata
- Realna količina energije koja se dobija od strane jednog solaranog modula za datu lokaciju
- Geografske coordinate objekta
- Snaga regulatora punjenja akumulatora
- Snaga invertora
- Kapacitet akumulatora

5.1 REALNA KOLIČINA PROIZVEDENE ELEKTRIČNE ENERGIJE

Dnevna potrošnja jednosmerne električne struje D_c

Dnevna potrošnja jednosmerne električne struje D_c izračunava se prostim množenjem snage potrošača jednosmerne struje P_c sa srednjim vremenom korišćenja potrošača t_c i uvećanjem dobijene vrednosti za 30% u cilju kompenzacije snaga i gubitaka koji se javljaju na komponentama solarnog sistema

$$D_c = 1.4 \sum_A P_c t_A \quad (5.1.1)$$

Dnevna potrošnja naizmjenične električne struje D_A

Dnevna potrošnja jednosmerne električne struje D_A izračunava se prostim množenjem snage potrošača naizmjenične struje P_A sa srednjim vremenom korišćenja potrošača i uvećanjem dobijene vrednosti za 40% u cilju kompenzacije snaga i gubitaka koji se javljaju na komponentama solarnog sistema

$$D_A = 1.4 \sum_A P_A t_A \quad (5.1.2)$$

Ukupna potrošnja dobijama kao prosti zbir utrošene jednosmerne i naizmjenične struje

$$D_t = D_A + D_c \quad (5.1.3)$$

Određivanje Broja solarnih modula

Broj solarnih modula određujemo deljenjem ukupne dnevne potrošnje električne energije D_t /Wh/ sa energijom koja se dobija iz jednog modula.

$$N = \frac{D_P}{D_M} \quad (5.1.4)$$

5.2 Određivanje kapaciteta akumulatora

Karakteristike kapaciteta akumulatora se određuju u zavisnosti od dnevnih potreba potrošača za električnom energijom kao I u zavisnosti od parametara autonomije Sistema. Kada se priča o autonomnom radu Sistema on se izražava u danima. Kapacitet akumulatora K_A (Wh) određuje se tako što se dnevna potrošnja električne energije D_P (Wh) pomnoži sa faktorom reserve n i to uveća za 30% ukupne dnevne potrošnje električne energije. Faktor reserve predstavlja broj uzastopnih oblačnih dana.

$$K_A = 1.3D_P n \quad (5.2.1)$$

Deljenje gornjeg izraza sa naponom akumulatora dobija se kapacitet akumulatora u Ah.

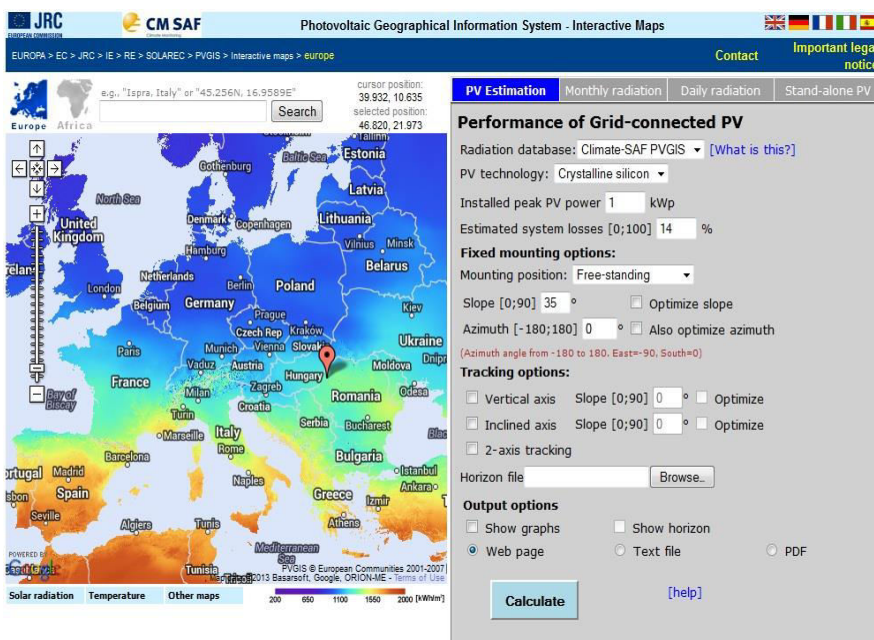
$$C_A = \frac{K_A}{U_A} \quad (5.2.2)$$

6. PVGIS STRUKTURA I OSNOVE PROGRAMSKOG PAKETA

Fotonaponski geografsko informacijski sistem ili skraćeno PVGIS (Photovoltaic Geographical Information System) predstavlja korisno programsko okruženje, razvijeno od strane Evropskog Instituta za Energiju i Transport (IET- Institute for Energy and Transport) i zajedničkog istraživačkog centra (JRC-Joint Reserch Centre). PVGIS se može koristiti za procenu potrebnih kapaciteta fotonaponskih sistema sa stanovišta procene proizvodnje električne energije. Informacija o globalnom sunčevom zračenju za datu lokaciju, predstavlja početni podatak dobijenog od foto naponskog panela. Međutim ova informacija obično nije dostupna kao merni podatak, pa je zbog toga neophodno koristiti približne vrednosti. Imajući to u vidu, u naučnoj literaturi postoje više modela za procenu globalne radijacije G_t na površinama na zadatim površinama /površinama pod odgovarajućim nagibnim uglom/

PVGIS se može koristiti da se utvrde očekivane performanse on-grid i off-grid PV sistema. Korisnički interfejs sa mapom omogućava korisnicima da odaberu željenu lokaciju. Kada je lokacija odabrana različite sistemske specifikacije se mogu odabrati korišćenjem opadajućih menija kao i kvadratića za čekiranje. Ove specifikacije uključuju instaliran kapacitet snage, procenu gubitka sistema, tip panela (fiksni ili sa pokretnom konstrukcijom) i druge opcije. Ukoliko se pravi neumrežen fotonaponski sistem, "Stand-alone PV" opcija može biti korisna alatka za procenu optimalne kapacitivnosti baterije. Korisnik može izabrati različite izlazne opcije za prikazivanje rezultata, uključujući grafike, tekstualne formate i pdf formate. Kada jednom korisnik napravi izbor, klikom na dugme „Calculate“

pokreće analizu performansi. Rezultati PVGIS su prikazani u tabeli i sa jednim ili dva izabrana odabranih grafika od strane samog korisnika [8]



slika 27. PVGIS korisnički interfejs

Pored procena PV performansi PVGIS takođe daje korisniku opciju da ima uvid u detaljniji prikaz solarnih resursa na mesečnom i dnevnom nivou. Dnevne vrednosti su date za „taj dan“ u mesecu i mogu se porediti svakom pojedinačnom danu u tom istom mesecu. Iako ovo možda izgleda malo proizvoljno ovo je u stvari poprilično uobičajen način sumiranja podataka o sunčevom zračenju. Resursi solarnih podataka uključuju različite klimatske promenjive na odabranim lokacijama, kao što su prosečne vrednosti vazдушnih temperatura kao i komponente solarne radijacije (npr. Difuzne i direktne). Korisnik bi trebao da ima na umu da i podaci PV performansi i klimatske promenjive su dugoročne prosečne vrednosti i da one ne prikazuju šta se tačno dogodilo na odabranoj lokaciji u prethodnim nedeljama ili mesecima.

PVGIS pokriva dva glavna regiona: Evropu i Afriku. Evropska zona dostiže i pojedine delove Severne Afrike kao i Bliskog Istoka. Afrička zona takođe uključuje Arapsko poluostrvo i Iran. Oblast pokrivenosti je limitirana šemom, koja se koristi od strane Evropskih meteoroloških satelita korišćenih u razvoju PVGIS sistema [8,9].

6.1 OPIS RADA PROGRAMA

Sitemap | Legal notice | Contact | Search

European Commission

JOINT RESEARCH CENTRE
Institute for Energy and Transport (IET)

European Commission > JRC > DIR-C > PVGIS

Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS)
Geographical Assessment of Solar Resource and Performance of Photovoltaic Technology

[Interactive maps](#)
[Country maps](#)
[FAQ](#)
[Solar radiation](#)
[Temperature](#)
[About PVGIS](#)
[Publications](#)
[Download](#)

Interactive access to solar resource and photovoltaic potential:

Europe Africa/Asia

See also aggregated data of solar and PV potential for European countries and regions.

The [old system](#), with French, German Italian, Spanish, and Slovak language interface still works, but will probably be removed in the next upgrade.

Posters and maps of solar resource and photovoltaic electricity potential

([Europe NEW](#), [Africa](#))

[old version maps](#) for Europe

Topics

[About PVGIS](#)

How the [database for Europe](#) was created

[Solar radiation data worldwide](#) ([update](#))

[Air temperature](#) in Europe

News

19.09.2014: PVGIS expanded to cover Asia. See [here](#) for details.

10.09.2014: Country maps for all African countries are now available in the maps section, see link above.

18.11.2013: PVGIS updated to use Google Maps version3. Click [here](#) to read about it.

11.02.2013: New updated version of PVGIS. Click [here](#) to read about it.

11.02.2013: L'interface web PVGIS est maintenant disponible en français.

11.02.2013: La interfaz web PVGIS está ahora disponible en español.

21.09.2012: New versions of downloadable maps for Europe and European countries, using the new PVGIS-CMSAF data where available. Click [here](#) for the maps.

18.02.2012: Geographical coverage of PVGIS-CMSAF extended to 50° E and to 35° S to cover all of Africa. PVGIS-CMSAF has also been updated so it now contains data from 1998 to end 2011.

11.02.2011: Important Bug fix! See [here](#) for details.

20.10.2010: Bug fixes and small improvements. See [here](#) for details.

20.09.2010: A new version of the PVGIS interactive web applications is now ready: PVGIS-4. The new version includes a new solar radiation database and several other improvements. See the details [here](#). Jetzt auch auf Deutsch!

We have added a number of new features, and we have done our best to test them to make sure they work properly. If you encounter problems, please contact us by [e-mail](#).

Slika 28. PVGIS početna strana

Prilikom pristupa PVGIS veb aplikaciji korisniku se prikazuje prozor kao na slici (PVGIS početna strana). Sa leve strane nalazi kartica koja predstavlja navigaciju veb aplikacije, dostupne opcije su:

- Interaktivna mapa (Interactive maps)
- Mape pojedinačnih država (Country maps)
- Forma najčešćih pitanja (FAQ)
- Solarna radijacija (solar radiation)
- Temperatura (Temperature)
- O PVGIS-u (About PVGIS)
- Dokumentacija (Publications)
- Preuzimanje (Download)

U desnoj strani veb aplikacije korisniku su prikazana četiri bloka. U gornjem levom uglu nalazi se blok sa opcijom koja pruža pristup interaktivnim mapama solarnog i PV potencijala Evrope, Afrike i Azije.



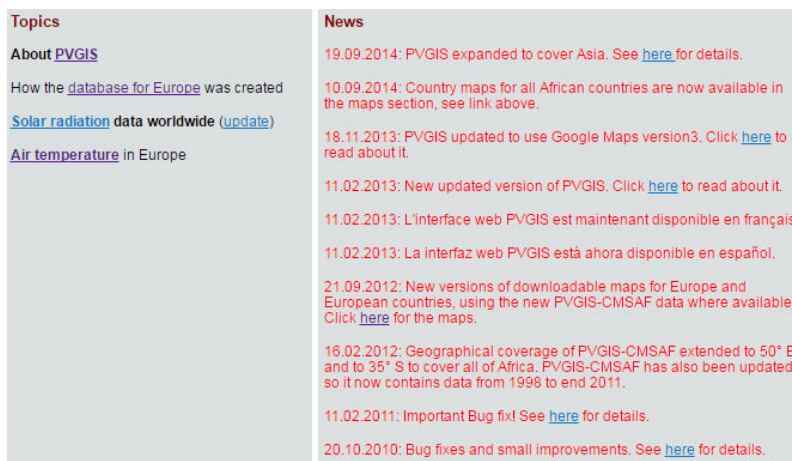
Slika 29 . Prikaz izgleda WEB aplikacije PV GIS-a

U gornjem desnom uglu nalaze se mape i slike solarnih resursa fotonaponskog električnog potencijala. U donjem delu sa leve strane su aktuelne teme a sa desne najnovija obaveštenja.

Interaktivne mape: Odabirom opcije interaktivne mape Evrope korisniku se u novom prozoru prikazuje aplikacija za dobijanja podataka o količini ozračene sunčeve enrgije za datu lokaciju. Sa leve strane je prikazana mapa odabranog kontinenta (Evrope, Afrike ili Azije), kao i opcije za pretragu željene lokacije kao i geografsku širinu i dužinu, kako bi korisniku bilo olakšano pronalaženje željene lokacije.

Sa desne strane su prikazani sledece kartice sa sledećim podacima

- Procena PV zračenja (PV Estimation)
- Mesečna radijacija (Monthly radiation)
- Dnevna radijacija (Daily radiation)
- Samostalni PV (Stand-alone PV)



Slika 30 .Info prozor PV-GIS-a

6.2. PROCENA PV ZRAČENJA.

Odabirom kartice PV Estimation u interaktivnim mapama korisniku se daju sledeće opcije za prikaz rezultata merenja.

1. Performanse umreženog PV postrojenja- sa opcijama odabira baze podataka (Climate-SAF PVGIS ili Classic PVGIS) zatim odabir tipa PV tehnologije (Crzstaline silicon, CdTe, CIS ili neke druge/nepoznate) potom polje za unošenje maksimalne instalirane snage PV sistema izražene u kWp i polje za unos predviđenih gubitaka sistema izraženih u procentima %,
2. Opcije za fiksirane sisteme. Korisnik bira između dve opcije: Free-standing ili Building intergrated zatim unosi vrednosti za nagib (ili može uzeti optimalni nagib) i azimut (ili može uzeti optimalnu vrednost azimuta).
3. Opcije za praćenje. U ovom delu korisnik čekira željene opcije za praćenje: Vertikalne ose sa nagibom od 0 do 90 stepeni, nagnutne ose sa nagibom od 0 do 90 stepeni kao i praćenje obe ose. Korisnik ima i mogućnost za iodabir datoteke sa vrednostima za horizontalnu osu.
4. Izlazni podaci: Izlazni podaci mogu biti prikazani u sledećim formatima
5. Grafički prikaz (Show graph)
6. Show horizon
7. Prikaz u sklopu veb stranice (Web page)
8. Tekstualni format (Text file)
9. PDF format
10. Komanada za pokretanje proračuna

Slika 31 Radno okruženje PV GIS-a.

Mesečna radijacija (Monthly radiation) . U ovoj kartici korisnik ima mogućnost da odabira opcija:

1. Mesečni globalni podaci iradijacije. Korisniku bira između dve baze podataka (Climate-SAF PVGIS ili Classic PVGIS) nakon toga sledi lista vrednosti koje korisnik želi da budu prikazane
 - Horizontalna iradijacija
 - Radijacija pri optimalnom uglu
 - Direktna normalna iradijacija
 - Radijacija za odabrani ugao
 - Zamućenost linke
 - Difuzno globalno zračenje
 - Optimalni ugao nagiba

PV Estimation **Monthly radiation** Daily radiation Stand-alone PV

Monthly global irradiation data 1.

Radiation database: Classic PVGIS ▾

Horizontal irradiation
 Irradiation at opt. angle
 Direct normal irradiation
 Irradiation at chosen angle: 90 deg.
 Linke turbidity
 Dif. / global radiation
 Optimal inclination angle

Monthly ambient temperature data 2.

Average daytime temperature
 Daily average of temperature
 Number of heating degree days

Output options 3.

Show graphs Show horizon
 Web page Text file PDF

 [\[help\]](#) 4.

Slika 32 Prikaz kartice s apodacima o raspodelma sunčevog zračenja na mesčnom nivou za željenu lokaciju

2. Mesečni podaci temperature za okolinu.
 - Prosečna dnevna temperatura
 - Prosečna vrenost temperature u danu
 - Broj sunčanih dana
3. Izlazni podaci: Izlazni podaci mogu biti prikazani u sledećim formatima:

- Grafički prikaz (Show graph)
- Show horizon
- Prikaz u sklopu veb stranice (Web page)
- Tekstualni format (Text file)
- PDF format

4. Komanada za pokretanje proračuna

Dnevna radijacija (Daily radiation)

The screenshot shows a web application interface for calculating solar radiation. It has four tabs: 'PV Estimation', 'Monthly radiation', 'Daily radiation' (selected), and 'Stand-alone PV'. The main content area is divided into four sections, numbered 1 to 4 in red:

- Average Daily Solar Irradiance**: Radiation database: Climate-SAF PVGIS, Select month: January.
- Irradiance on a fixed plane**: Inclination [0;90] 35 deg. (horizontal=0), Orientation [-180;180] 0 deg. (east=-90, south=0). Checkboxes: Average global irradiance, Clear-sky global irradiance, Direct normal irradiance (all checked).
- Irradiance on a 2-axis tracking plane**: Checkboxes: Average global irradiance, 2-axis tracking, Clear-sky global irradiance, 2-axis tracking (all checked). Daytime temperatures (unchecked). Horizon file: Одабери датотеку (Није одабрано).
- Output options**: Show graphs (unchecked), Show horizon (unchecked), Web page (selected), Text file (unchecked), PDF (unchecked).

At the bottom, there is a 'Calculate' button and a '[help]' link.

Slika 33 Prikaz kartice sa podacima o raspodelma sunčevog zračenja na dnevnom nivou za željenu lokaciju

Ova kartica korisniku pruža mogućnost izračunavanja dnevnih vrednosti radijacije za odabranu lokaciju. Kartica sadrži sledeća podešavanja

1. Dnevna prosečna solarne radijacije. Korisnik bira koju ce bazu podataka koristiti (Climate-SAF PVGIS ili Classic PVGIS) kao i mesec.
2. Iradijacija za fiksirane panele – unos nagiba (od 0 do 90 stepeni) i ugao orijentacije u stepenima (od -180 do 180 stepni). Kao i opcije
 - Prosečna globalna iradijacija
 - Globalna iradijacija kada je nebo vedro
 - Direktna normalna iradijacija
3. Iradijacija na dvo-osnom pratećem panelu.
 - Prosečna globalna iradijacija dvo-osnog pratećeg sistema
 - Globalna iradijacija kada je vedro nebo dvo-osnog pratećeg sistema
 - Dnevne temperature.

Korisnik ima i mogućnost za odabir datoteke sa vrednostima za horizontalnu osu.

4. Izlazni podaci: Izlazni podaci mogu biti prikazani u sledećim formatima:
 - Grafički prikaz (Show graph)
 - Show horizon
 - Prikaz u sklopu veb stranice (Web page)
 - Tekstualni format (Text file)
 - PDF format
5. Komanda za pokretanje proračuna

Procena podataka za off grid PV sisteme. Ova kartica služi za prikaz podataka potrebnih za samostalni PV sistem. Korisnik za proračun unosi sledeće vrenosti:

- Unos maksimalne snage PV sistema u Wp
- Napon baterije(V) i njen kapacitet (Ah)
- Limit pražnjenja u procentima
- Unos dnevne potrošnje
- Mogućnost unosa postojećeg fajla od strane korisnika sa vrednostima dnevne potrošnje
- Nagib modula (od 0 do 90°)
- Ugao orijentacije (od -180 do 180°)

Izlazni podaci mogu biti prikazani u sledećim formatima:

- Grafički prikaz (Show graph)
- Show horizon
- Prikaz u sklopu veb stranice (Web page)
- Tekstualni format (Text file)
- PDF format

5. Komanada za pokretanje proračuna

PV Estimation	Monthly radiation	Daily radiation	Stand-alone PV
Stand-alone PV Estimation			
Enter peak PV power <input type="text" value="50"/> Wp			
Battery voltage: <input type="text" value="12"/> V		Capacity: <input type="text" value="50"/> Ah	
Discharge cutoff limit (%) [0;100] <input type="text" value="40"/>			
Enter daily consumption <input type="text" value="300"/> Wh			
Optional hourly consumption file		<input type="text" value="Одабери датотеку"/> Није одабрано	
Module inclination [0;90] <input type="text" value="35"/> deg.			
Orientation [-180;180] <input type="text" value="0"/> deg.			
<small>(Azimuth angle from -180 to 180. East=-90, South=0)</small>			
Output options			
<input type="checkbox"/> Show graphs		<input type="checkbox"/> Show horizon	
<input checked="" type="radio"/> Web page		<input type="radio"/> Text file	
<input type="radio"/> PDF			
<input type="button" value="Calculate"/>		[help]	

Slika 34. Prikaz kartice sa podacima i opcijama prorčuna za off-grid PV sisteme

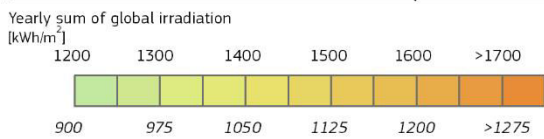
Mape pojedinačnih država (Country maps)

U kartici (Country maps) korisniku je predstavljena lista godišnje globalne iradijacije na horizontalnoj i optimalno nagnutoj površini. Za većinu oblasti podaci predstavljaju prosečno zračenje za period od 1998-2011. Podaci mogu biti prikazani u obliku slike (PNG) slike ili PDF formatu [8].

Global irradiation and solar electricity potential

Optimally-inclined photovoltaic modules

SERBIA / СРБИЈА



Projection: Lambert Azimuthal Equal Area, WGS84, lat 52° lon 10°
 Source of ancillary data: CORINE Land Cover
 DTM: SRTM30
 GISCO database
 Geonames
 Natural Earth

Urban area

Yearly sum of solar electricity generated by 1kW_p system with performance ratio 0.75 [kWh/kW_{peak}]

Slika 35 . Prikaz kartice sa pristupom interaktivnim mapama

U kartici About PVGIS možemo naći kratak opis i karakteristike PVGIS aplikacije. Također se mogu naći kontakt informacije. U kartici **Publications** se nalazi sva literatura i dokumentacija relevantna za program

7.METEONORM

Meteonorm je sveobuhvatna baza podataka klimatoloških uslova za fotonaponske sisteme. Pomenuti sistem predstavlja relativno pouzdan izvor podataka za inženjersku simulaciju u pasivnim, aktivnim i fotonaponskim primenama solarne energije sa sveobuhvatnim podacima [9].

Radi se o standardizovanom alatu čija primena u mnogome olakšava postupak projektovanja fotonaponskih sistema bilo da se radi o on-grid ili off grid verziji. Meteonorm, sadrži podatke o svim lokacijama na zemaljskoj kugli. Rezultati su stohisticke prirode dobijeni na osnovu brojnih proračuna na bazi godisnjih i mesecnih vrednosti.

Meteonorm pruža informaciji o količini sunčevog zračenja za sva tri ključna položaja solarnog panela. Generalno radi se o jakim i sveobuhvatnim bazama podataka, koje su dobro integrisane. Proračuni se rade na osnovu velikog broja algoritama koji su funkcionalno povezani. Ulazni parameter jeste želejna lokacija sa precizno zadatim koordinatima (geografska širina i geografska dužina). Na osnovu unetih podataka, vrše se adekvatni proračuni, a rezultati se daju u odgovarajućim formatima pogodnim za dalju obradu.

Postupak simulacije, baziran je na bazi podataka prikupljenih sa terena i izuzetno je precizan za lokacije koje se nalaze u radijusu od 50 km od mernih stanica. Za lokacije koje se nalaze između mernih stanica korišćene su odgovarajuće tehnike interpolacije, na osnovu mesečnih vrednosti merenih paramtera. Interpolacija je postupak nalaženja neke druge funkcije koja je bliska prvoj (u nekom smislu), odnosno nalaženje funkcije koja dobro aproksimira i koja je laka za račun. Za globalnu količinu zračenja, koristi se 3-D model inverzne udaljenosti.

$$G_h(x) = \sum w_i * [G_h(x_i) + (z_i - z_x)g_v]$$

$$w_i = [(1 - \sigma_i)/\sigma_i^2] / \sum wk$$

$$\sigma_i = \frac{di}{R} \text{ za } di < Ri$$

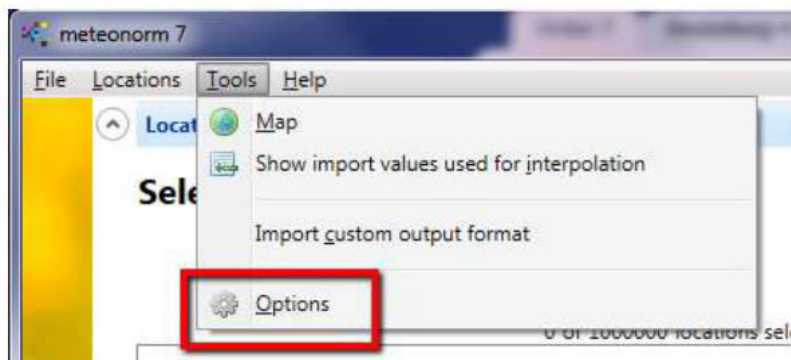
7.1 OPIS PROGRAMSKOG PAKETA

Programski paket Meteonorm, , startuje se u operativnim sistemima Windows 7, 8, 10 (32 ili 64 bita), a preuzima se sa zvanične web stranice www.meteonorm.com/en/downloads. Radi se o korisnički orijentisanom programskom paketu sa brojnim opcijama. The file downloaded is an easy-to-use installation package. Dalje zahteva memorisjki proctor od 1.6 GB, kao i 1GB RAM-a, kao I .NET framework4.0., kaoi rezoluciju od najmanje 1024x800 px. Za raylikuod PV- GIS-a koji spade u grupu opes sourc paketa, METONORM to nije vec je predvidjena posebna procedura registracije korisnika. Program se automatski otvara na lokaciji u formi direktorijuma *C:\Program Files\Meteotes\meteonorm* ∩ koji može po potrebi da se promeni. Metonorm7.exe sa još par dokumenta smešten je u mn 7 direktorijum. Operacioni jezik programa jeste engleski, sa mogućnošću izmena. Nakon obavljene instalacije, program startuje se u demo modu koji ima odredjna ogrnaičenja u pogledu snimanja zapisa i rezultata obrade [9].

7.2 RAD U OKRUŽENJU METEONORMA

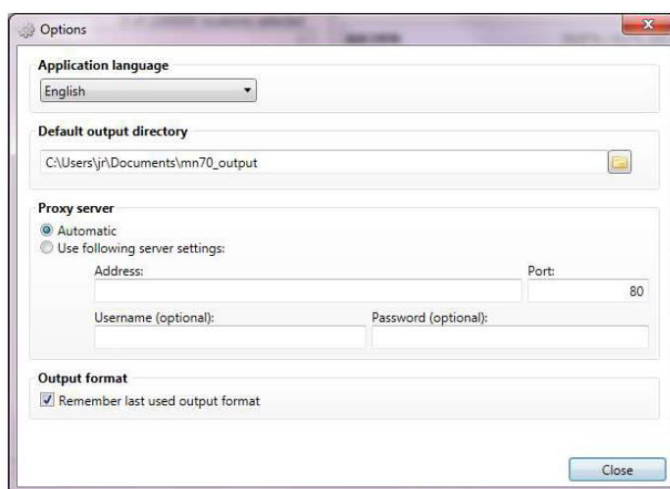
Kao što je već istaknuto, METONORM spade u grupu friendly – user programskih paketa, sa čitavim nizom padajucih menija. Nakon pokretanja

programa, korisnik se sreće sa prozorom u kome mu se nude četiri padajuća menija 'File', 'Location', 'Tools', 'Help'.



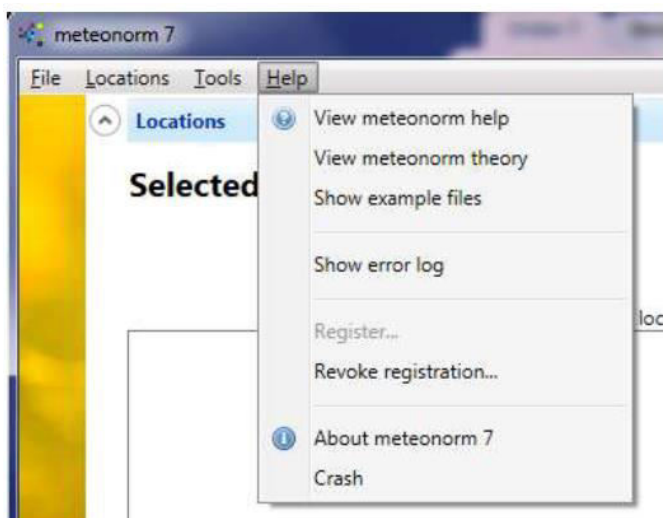
Slika 36: Početna stranica METEONORM PROGRAMA

S obzirom na različite zahteve i navike korisnika, potrebno je prvo uraditi odgovarajuća odeđavanja koja se obavljaju u okviru menija "tools" pokretanjem opcije "Options". Aktiviranjem pomenute opcije otvara se "pop-up - prozor", u okviru koga je moguće izvršiti sledeća podešavanja: Korisnički jezik, lokaciju izlaznih direktorijuma, izbor proxy servera sa opcijom izbora adrese, porta, korisničkog imena i lozinke, kao i format izlaznih dokumenata.



Slika 37 Pop up "prozor" sa opcijama sa podešavanjima

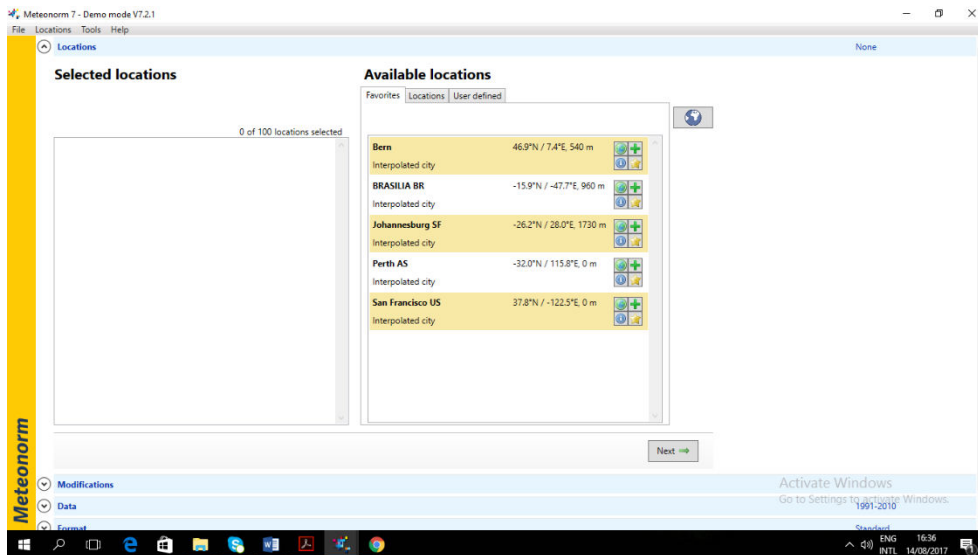
S obzirom na zahtevnost operacija koje program izvršava, mogući su otkazi pri radu, odnosno tzv. Padove u programu, METEONORM, poseduje mogućnost snimanja poslednjeg zapisa sa izveštajom, koji se čuva u korisničkom direktorijumu formiranom prilikom konfiguracije programa, a kojoj se lako može pristupiti preko padajućeg menija "help".



Slika 38. Sadržaj "help" menija

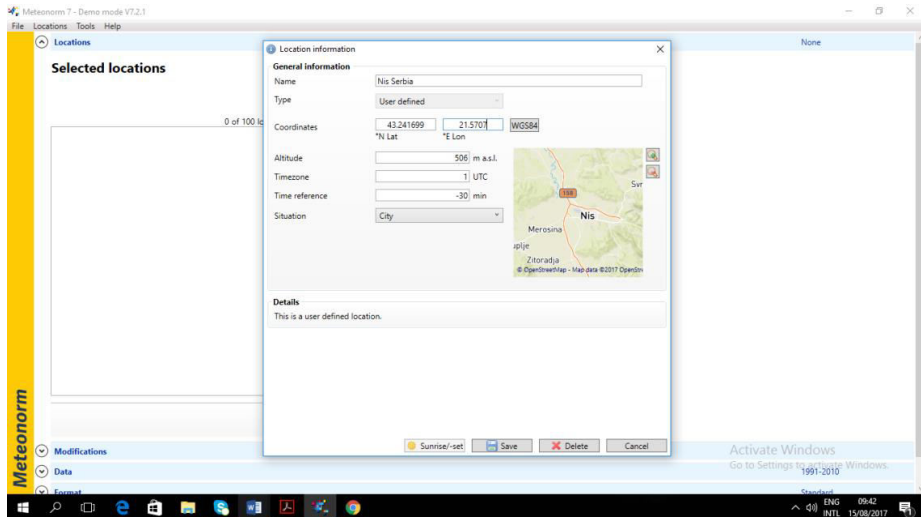
Prateći sadržaj menija "help" uključuje se da sadrži tri uputstva "metenorm help" "metenorom theory" i prikaz praktičnih primera za rad u orkuženju METEONORMA "show example file", zatim opcije za registraciju korisnika, opšte informacija o verziji METEONORMA koja se korisiti i "crash report" za slučaj da je došlo do pada sistema.

Pokrenuvši program METEONORM, srećemo se sa početnim prozorom koji nam služi za izbor žejene lokacije.



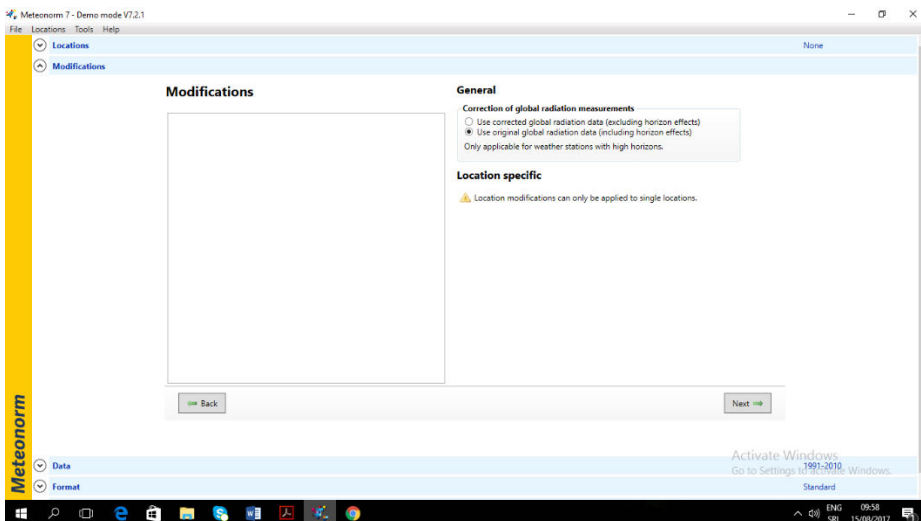
Slika 39. Prikaz kartice location, sa podacima i opcijama prorčuna za off-grid PV sisteme

Ukoliko lokacija već postoji, podaci o njoj se aktiviraju jednostavnim izbor željene lokacije, a ukoliko se ne nalazi u korisničkoj bazi podataka, postupak unosa je jednostavan, aktivira se opcija "user defined" preko koje se aktivacijom ikone "add new", stvaraju uslovi da se preko unosa podataka o geometrijskoj širini i dužini zeljene lokacije pokrene procedure za izračunavanje i kasnije preuzimanje podataka o istoj. Aktiviranjem opcije "save" podatke o ovoj lokaciji unosimo u listu "favorites" i trajno su nam dostupni.



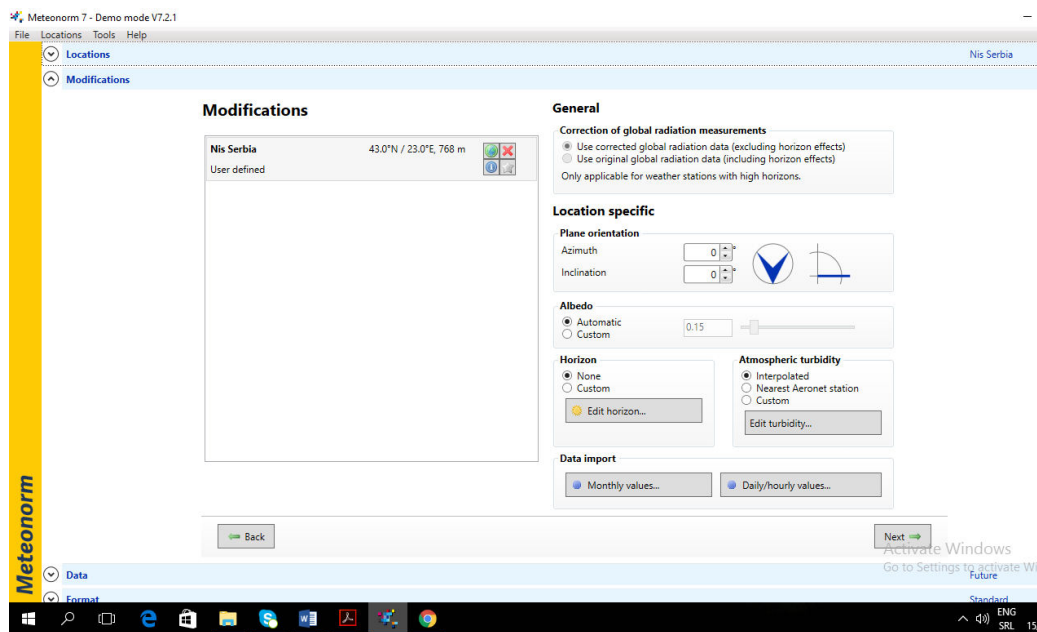
Slika 40 Prikaz kartice location, sa opcijom izbora nove lokacije

Nakon izbora željene lokacije, preko opcije „next, nastavljam sa obradom podataka. Naime nakon aktiviranja opcije „next, otvara nam se prozor u kome možemo da uradimo odgovarajuću modifikaciju u našim zahtevima, a koji se odnose na vrstu podataka. Naime, korisniku se pruža mogućnost da sam birastepen tačnosti podataka u zavisnosti da li će „horizon efekat biti uključen ili isključen.

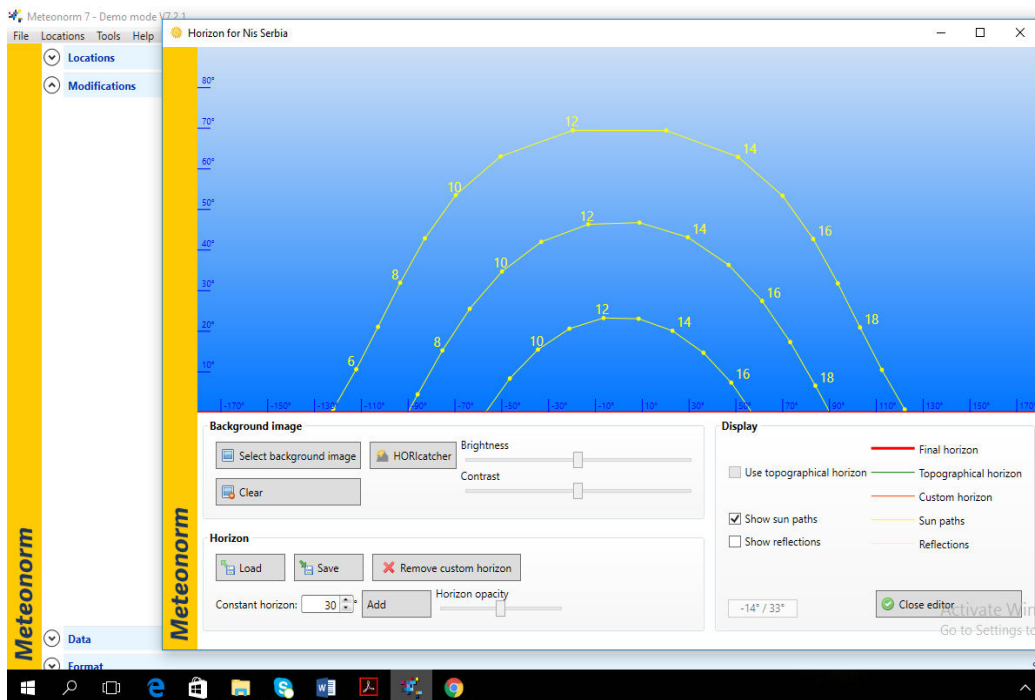


Slika 41 Prikaz kartice modification

Takođe, u okviru ove opcije, korisniku se pruža mogućnost da preciznije definišu karaktersiteke željene lokacije. Ovde možemo da preciziramo poziciju našeg panela, zatim unesemo podatke o albedo efektu, da možemo zahtev za prikaz horizon profila, kao i da specificiramo da li želimo podatke bazirane na mesečnom ili dnevnom proseku. Ovde je potrebno istaći da ova opcija može se izvršiti samo za jednu željenu lokaciju.

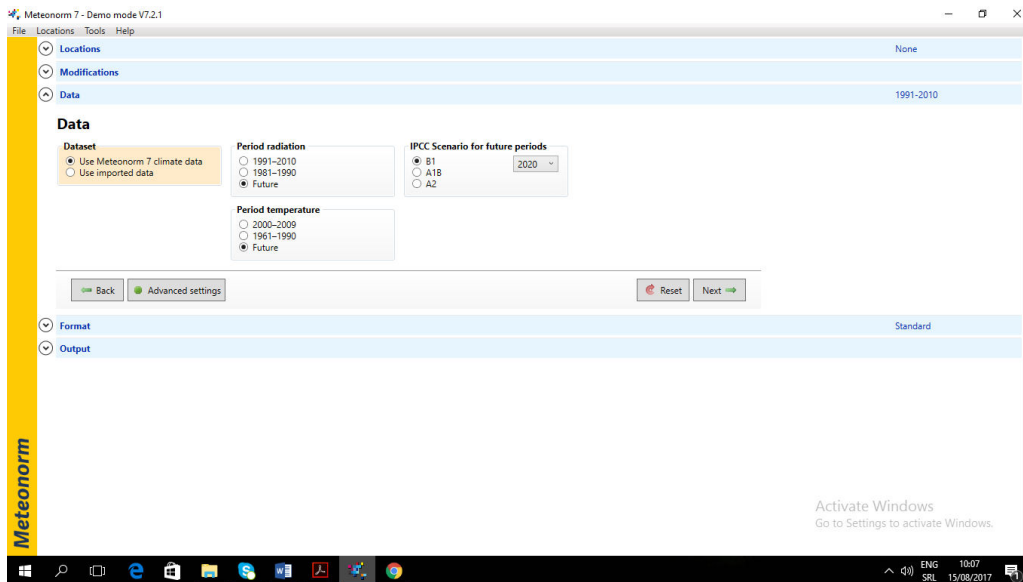


Slika 42. Prikaz kartice modification sa opcijama za pozicioniranje



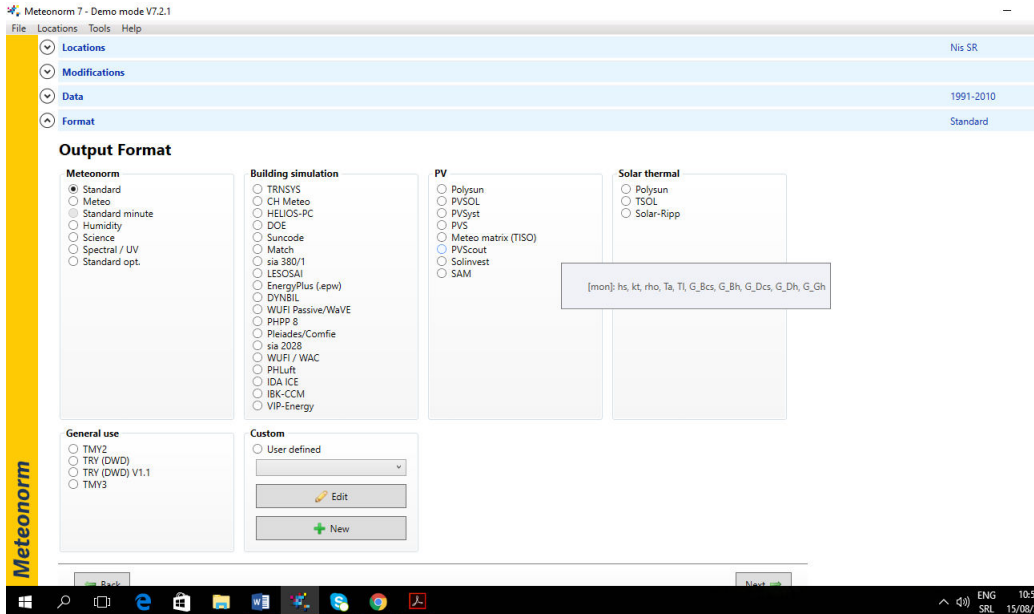
Slika 43 Prikaz rezultata Horizon za grad Nis dobijenih pomoću METEONORMA

Kada su postavljene odgovarajuće zahteve, program nas upućuje na detaljniji izbor podataka, tako da nam se kroz prozor „data,, pruža mogućnost da preciznije definišemo podatke, o temperaturi u odgovarajuće periodu, količini zračenja, kao i predikciju za naredni period. Jako je važno ponovo istaći da METONORM svoje podatke je formirao preko velikog broja baznih stanica, dok se podaci o lokacijama koje se nalaze u „međuprostoru,,dobijaju se metodom interpolacije [10].



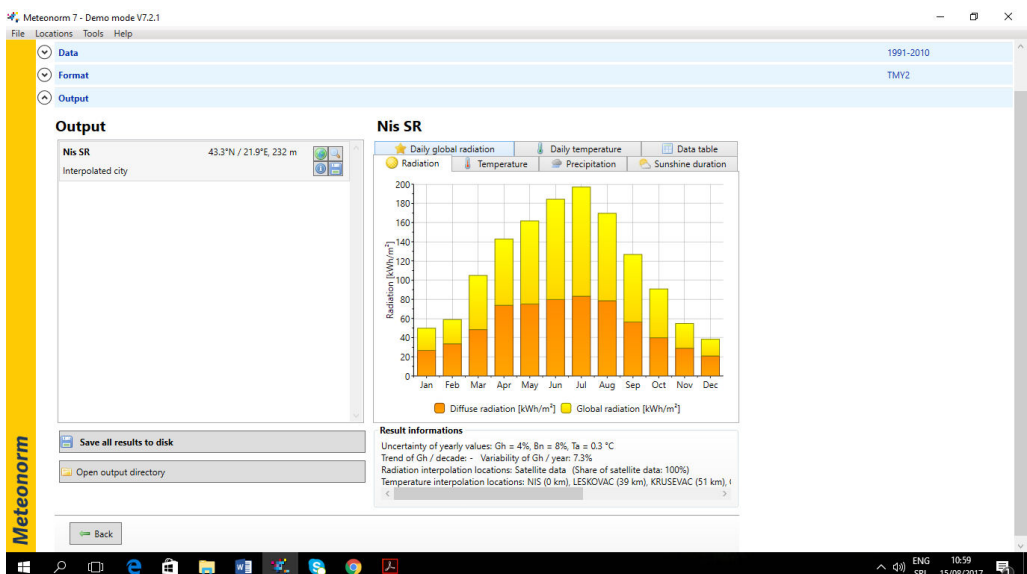
Slika 44. Prikaz kartice za izbor forme izlaznih podataka

U sledećem koraku bira se forma izlaznih rezultata, gde nam se pruža veliki broj opcija, 38 različitih formata u kojima se željeni podaci mogu dobiti, počev od opcija metonorm formata, zatim Typical meteorological year (TMY), i sl, koji su kompatibilni za unos u druga programska okruženja i dalju obradu u njima koji su ponuđeni u trećoj koloni (PV). Ono što je bitno naglasiti da su pomenuti formati zajednički usaglašeni sa svim drugim programima još u razvojnoj fazi, tako da je pitanje kompatibilnosti praktično rešeno.

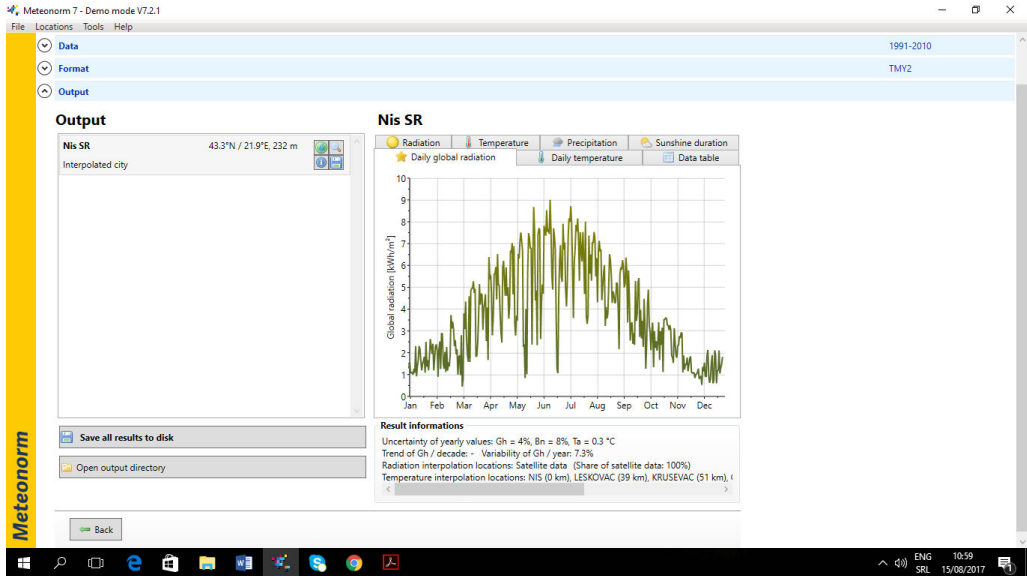


Slika 45. Prikaz kartice za izbor forme izlaznih podataka koji su kompatibilni sa drugim programskim paketima

Nakon završenog postupka unosa željenih podataka, pokreće se izvršna naredba i dobijaju se željeni rezultati u zadatoj formi.



Slika 46 Prikaz rezultata o količini raspodele sunčeve energije za grad Nis na godišnjem nivou za globalno i dufiziono zračenje



Slika 47. Prikaz rezultata o količni raspodele sunčeve energije za grad Nis na dnevnom nivou

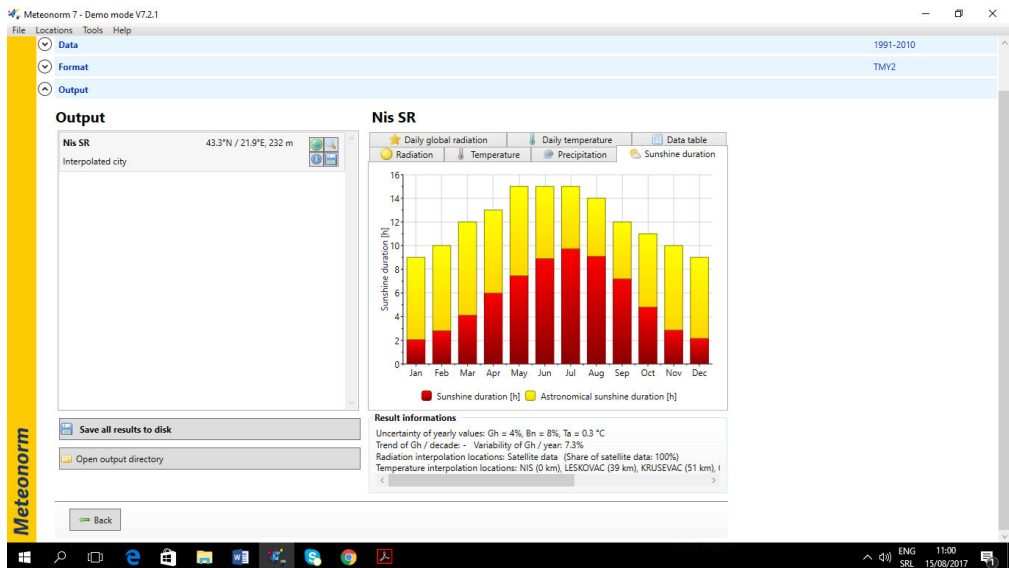
Nis SR

	Gh kWh/m ²	Dh kWh/m ²	Bn kWh/m ²	Ta °C	Td °C	FF m/s
January	50	27	70	0.5	-2.8	2.3
February	59	34	62	2.5	-2	2.5
March	105	48	109	7.6	1.2	2.8
April	143	74	115	12.3	5.1	2.6
May	162	75	132	17.4	10.2	2.3
June	184	80	163	20.5	12.9	2.2
July	197	83	175	22.6	14	2.2
August	170	79	143	22.5	14.1	2.2
September	127	56	124	16.9	10.6	2.1
October	91	40	112	12.6	7.8	2.1
November	55	29	72	7	2.9	2.2
December	38	21	57	2.1	-1.2	2.6
Year	1377	645	1336	12	6.1	2.3

Result Informations

Uncertainty of yearly values: Gh = 4%, Bn = 8%, Ta = 0.3 °C
Trend of Gh / decade: - Variability of Gh / year: 7.3%
Radiation interpolation locations: Satellite data (Share of satellite data: 100%)
Temperature interpolation locations: NIS (0 km), LESKOVAČ (39 km), KRUSEVAČ (51 km),

Slika 48 Prikaz tabelarnih rezultata dobijenih programa METEONORM



Slika 49 Prikaz podataka o dužini trajanja sunčanih perioda za grad Niš na godišnjem nivou

\

7. ZADACI ZA VEŽBU SA PRIEMERIMA

Primer 1. Proračunati optimalni ugao nagiba za južno okrenut fotonaponski modul u grad Niš (N 43,2°) 1. Januar, 1 april, 1 jul, 1 decembar u solarno podne. Koristiti tabelu 2.1

Tabela 2.1.

1 Januar	n=1	1 Jul	n=182
1 Februar	n=32	1 Avgust	n=213
1 Mart	n=60	1 Septembar	n=244
1 April	n=91	1 Oktobar	n=274
1 Maj	n=121	1 Novembar	n=305
1 Jun	n=152	1 Decembar	n=335

Ugao formiran između ravni ekvatora i linije povučene iz centra sunca do centra zemlje zove se solarna deklinacija δ i njena vrednost varira $\pm 23.45^\circ$ Za prolećnu ravnodnevnicu $n=81$.

Primer za 1 januar.

$$\delta = 23.45 \sin\left(\frac{360}{365}(n - 81)\right) = 23.45 \sin\left(\frac{360}{365}(1 - 81)\right) = -23.11^\circ$$

Ugao β_N koji definiše visinu sunca u podne u Nišu (N 43,2°) 1. januara je

$$\beta_N = 90^\circ - 43.2^\circ - 23.11^\circ = 23.69^\circ$$

Optimalni ugao, odnosno ugao nagiba pri kojem su sunčevi zraci vertikalni na modul u podne je:

$$\beta_N = 90^\circ - 23.69^\circ = 66,31^\circ$$

Primer 2. Odrediti vrednosti altitudnog β_N i azimutnog ugla φ_S za period od 15-30 aprila na lokaciji grada Niša čija geografska širina je $L=43.2^\circ$. Koristiti tabelu 2.1.

Uputstvo

U toku dana sunčevi zraci padaju pod različitim uglom na solarni modul. Ugao pod kojim će padati direktno solarno zračenje na površinu modula je definisan sa altitudnim uglom β_N i azimutom φ_S

Ovi uglovi se mogu izračunati sledećim formulama

$$\sin\beta = \cos L \cos\delta \sin H + \sin L \sin\delta$$

$$\sin\Phi = \frac{\cos\delta \sin H}{\cos\beta}$$

Gde su L geografska širina, δ solarna deklinacija i H satni ugao koji se može sračunati prema izrazu:

$$H = \left(\frac{15^\circ}{\text{čas}} \right)$$

Primer 3. Proračunati direktnu komponentu solarnog zračenja za solarni modul postavljen normalno na upadno zračenje pri vedrom danu 14 jul na lokaciji u grad Niš (N 43,2⁰)

Ekstraterestričke iradijacije I_0 za zadati dan u godini izračunava se kao

$$I_0 = 1377 \left(1 + 0.034 \cos \frac{360n}{365} \right)$$

Procena iradijacije na zemljinoj površini računa se pomoću Bouquer-Lambertovog zakona:

$$I_B = Ae^{-kM}$$

I_B – energija Sunčevog zračenja koja u jedinici vremena pada normalno na

kvadratni metar površine Zemlje;

A – fluks ekstraterestričnog zračenja koji uđe u atmosferu;

k – koeficijent atenuacije sunčevog zračenja u Zemljinoj atmosferi (optička dubina);

M – optička vazдушna masa.

14 jul je 194+-ti dan u godini.

$$A = 1160 + 75 \sin\left(\frac{360}{365}(n - 275)\right) = 1160 + 75 \sin\left(\frac{360}{365}(194 - 275)\right) \\ = 1086 \text{ W/m}^2$$

$$k = 0.174 + 0.035 \sin\left(\frac{360}{365}(n - 100)\right) \\ = 0.174 + 0.035 \sin\left(\frac{360}{365}(n - 100)\right) = 0.20$$

Solarna deklinacija za 14 jul

$$\sin \beta_N = 23.45 \sin\left(\frac{360}{365}(194 - 81)\right) = 21.82^\circ$$

Altitudni ugao

$$\beta_N = 90^\circ - L + \delta = 90^\circ - 43.2^\circ + 21.82^\circ = 68.62^\circ$$

Optička masa vazduha

$$M = \frac{1}{\sin \beta_N} = \frac{1}{\sin 68.62^\circ} = 1.075$$

Energija Sunčevog zračenja koja u jedinici vremena pada normalno na jedinicu površine Zemlje za zadatu lokaciju

$$I_B = A e^{-kM} = 1086 e^{-0.2 \cdot 1.075}$$

ZADACI ZA VEŽBU.

Zadatak 1. Odrediti vrednost koeficijenta M za lokaciju grada Kragujevca za 1 januar, 1 februar, 1 mart i 1 april.

Zadatak 2. Odrediti vrednost altitudnog i azimutnog ugla za Grad Beograd, Grad Nis, Grad Warsawa i grad Oslo za 15 januar, 15 jul i 15 oktobar. Uporediti dobijene rezultate.

Zadatak 3. Odrediti vrednosti fluks ekstraterestričnog zračenja koji uđe u atmosferu; ako I vrednost k – koeficijent atenuacije sunčevog zračenja u Zemljinoj atmosferi (optička dubina) pre vedrom danu za 21 jun za grad Suboticu.

Zadatak 4 Izvršiti komparativnu analizu direktne komponente solarnog zračenja za solarni modul postavljen normalno na upadno zračenje pri vedrom danu 21. Jun za Grad Beograd, Grad Nis, Grad London i grad Malme

Zadatak 5 Izvršiti komparativnu analizu srednjih vrednosti odnosa komponenti difuzionog i ukupnog zračenja, koje pada na lokacije grada Niša, Grada Novog Sada i Grada Vranja, na mesečnom nivou pod optimlanim ulgom. Koristiti prgramski Paket PV GIS. Dobijene vrednosti predstaviti grafički i odrediti trend line za svaki slučaj ponaosob.

Zadatak 6. Analizirati vrednosti ukupnog zračenja na dnevnom nivou koje pada na monokristlani Si panel fiksno pozicioniran pod optimlanim ulgom za lokaciju grada Vranja. Za mart, maj, jun i avgust mesec u zavisnosti od vrednosti dnevnih temperatura.

Zadatak 7. Proračunati ukupnu solarnu iradijaciju (direktnu + difuzionu + reflektovanu) koja pada na solarni modul orjentisan jugoistočno 27° (u odnosu na jug) u gradu Kraljevu. Modul je fiksiran pod nagibnim uglom 34° ,

PRIMER 4. Solarna ćelija generiše struju I_{cs} 35mA/cm², dok je gustina struje zasićenja $J_0 = 1.95A/m^2$. Odrediti V_{oc} , faktor ispunjenosti i faktor efikasnosti solarne ćelije. Poznato je:

$$V_{oc} = \frac{kT}{e} \ln \left(\frac{J_{cs}}{J_0} + 1 \right) = 0.0258V \ln \left(\frac{350Am^{-2}}{1.95 \cdot 10^{-9}Am^{-2}} + 1 \right) = 0.67V$$

$$v_{oc} = \frac{V_{oc}}{\frac{kT}{e}} = \frac{0.67V}{0.0258V} = 26.8V$$

$$FF = \frac{v_{oc} - \ln(v_{oc} + 0.72)}{v_{oc} + 1} = 0.84$$

$$\eta = \frac{J_{sc} V_{oc} FF}{P_{in}} = 19.7\%$$

PRIMER 5

Odrediti napon otvorenog kola pri iradijaciji 1kW/m² ako je aktivna površina ćelije 150cm² a struja kratkog spoja ćelije 42mA/cm² na radnoj temperaturi od 25C a vrednost inverzne struje zaisćenja iznosi $I_0 = 10^{-12} A/cm^2$

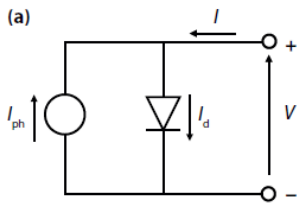
$$I_d = I_0 \left(e^{\frac{qVd}{kT}} - 1 \right)$$

$$I = I_{sc} - I_d$$

$$I = I_{sc} - I_0 \left(e^{\frac{qV}{kT}} - 1 \right)$$

$$V_{oc} = \frac{kT}{q} \ln \left(\frac{I_{sc}}{I_0} + 1 \right)$$

(a)



$$I_0 = 10^{-12} \frac{A}{cm^2} 150cm^2 = 1.5 \cdot 10^{-10} A$$

Struja kratkog spoja ćelije se dobija kada je napon na izlaznim krajevima ćelije jednak nuli. Ukoliko se u početni obrazac stavi $V=0$, dobiće se da je struja kratkog spoja ćelije jednaka fotostruji I_{sc} .

$$I_{sc} = 0.042 \frac{A}{cm^2} 150cm^2 = 6.3A$$

$$V_{oc} = \frac{kT}{q} \ln \left(\frac{I_{sc}}{I_0} + 1 \right) = 0,63eV$$

Primer 6. PV modul je sastavljen od 48 identičnih solarnih ćelija koje su povezane na red.. Ekvivalentna paralelna otpornost svake od ćelija je $R_p = 6,6 \Omega$ i ekvivalentna redna otpornost $R_s = 0,005 \Omega$. Vrednosti struje zaisćenja I i inverzne struje zasićenja su $I_{sc} = 3,4 \text{ A}$, $I_0 = 6 \cdot 10^{-10} \text{ A}$. PV modul napaja potrošač i pri iradijaciji od 1 kW/m^2 struja na priključcima modula je $I = 2,17 \text{ A}$, a napon $V = 19,41 \text{ V}$. Odrediti napon, struju i snagu ovog modula ako je napon na p-n spoju svake ćelije $0,5 \text{ V}$. Definisati karakteristične veličine analiziranog fotonaponskog modula i definisati tačku maksimalne snage.

$$I = I_{sc} - I_0 \left(e^{\frac{q(V+IR_s)}{kT}} - 1 \right) - \left(\frac{V + IR_s}{R_p} \right)$$

Za naš slučaj pri temperaturi 25C važiće

$$I = I_{sc} - I_0 \left(e^{\frac{38,9(V+IR_s)}{kT}} - 1 \right) - \left(\frac{V + IR_s}{R_p} \right)$$

$$I = I_{sc} - I_0 (e^{38,9V_d} - 1) - \frac{V_d}{R_p}$$

$$V = V_d - IR_s$$

Odnosno za napon modula važiće

$$V_t = n(V_d - IR_s)$$

To znači da zamenom datih vrednosti dobijamo

$$I = I_{sc} - I_0 (e^{38,9V_d} - 1) = 3,16 \text{ A}$$

Odnosno za V_t imamo

$$V_t = 48(0,5 - 3,16 \cdot 0,001) = 23,84 \text{ A}$$

Snaga ovog sistema u ovom slučaju biće

$$P = V_t I = 23,84 \cdot 3,16 = 75,36 \text{ W}$$

PRIMER 7.

PV modul je sastavljen od 48 identičnih solarnih ćelija koje su povezane na red.. Ekvivalentna paralelna otpornost svake od ćelija je $R_p = 5 \Omega$ i ekvivalentna redna otpornost $R_s = 0,001 \Omega$. PV modul napaja potrošač i pri energiji sunčevog zračenja računju od 1 kW/m^2 struja na priključcima modula je $I = 2,10 \text{ A}$, a napon $V = 18,78 \text{ V}$.

Ako se jedna od 48 solarnih ćelija koje čine modul zakloni odrediti:

- a) Napon i snagu na priključcima modula;
- b) Pad napona na ćeliji koja je zaklonjena;
- c) Disipaciju snage na solarnoj ćeliji koja je zaklonjena.

Rešenje: U slučaju pojave sneke na ćelijama fotonaponskog modula jasno je da dolai do pada napona, odnosno do pada snage modula. Napon modula biće manji za iznos pada napona koji se javlja na otpronosti zasencene diode.

$$V_s = V_{n-1} - I(R_p + R_s) = \left(\frac{n-1}{n}\right)V - I(R_p + R_s)$$

$$\Delta V = V - V_s = V - \left(1 - \frac{1}{n}\right)V - I(R_p + R_s)$$

$$\Delta V \cong \frac{V}{n} + IR_p$$

Odavde

$$\Delta V \cong \frac{V}{n} + IR_p = \frac{18.78}{48} + 2.1 * 5 = 10.89A$$

Napon na priključku modula

$$V_s = V * \Delta V = 18.78 - 10.89 = 7,89V$$

Snaga modula u ovom slučaju iznosi

$$P = UI = 7.89 \times 2.1 = 16.59 \text{ W}$$

Napon zasnečene ćelije iznosi

$$V_s = I(R_p + R_s) = 2.1(5 + 0.001) = 10.5 \text{ V}$$

Disipacija snage ćelije iznosi

$$P = V_s I = 10.5 * 2.1 = 22.5 \text{ W}$$

ZADATAK 8.

PV modul je sastavljen od 24 identičnih solarnih ćelija koje su povezane na paralelno. Ekvivalentna paralelna otpornost svake od ćelija je $R_p = 5 \Omega$ i ekvivalentna redna otpornost $R_s = 0,001 \Omega$. Vrednosti struje zaisćenja I i inverzne struje zasićenja su $I_{SC} = 3,4 \text{ A}$, $I_0 = 6 \cdot 10^{-10} \text{ A}$. PV modul napaja potrošač i pri iradijaciji od 1 kW/m^2 struja na priključcima modula je $I = 2 \text{ A}$, a napon $V = 18,78 \text{ V}$. Odrediti napon, struju i snagu ovog modula ako je napon na p-n spoju svake ćelije $0,7 \text{ V}$.

ZADATAK 9

PV modul je sastavljen od 24 dentičnih solarnih ćelija koje su povezane na red.. Ekvivalentna paralelna otpornost svake od ćelija je $R_p = 5 \Omega$ i ekvivalentna redna otpornost $R_s = 0,001 \Omega$. PV modul napaja potrošač i pri energiji sunčevog zračenja raćenju od 1 kW/m^2 struja na priključcima modula je $I = 2,10 \text{ A}$, a napon $V = 18,78 \text{ V}$.

Ako se dve redno vezena ćelije od 24 koje čine modul zakloni odrediti: Disipaciju snage na zaklonjenim ćelijama

ZADATAK 10. Proračunati maksimalnu snagu na DC priključcima solarnog modula 150 W BP2150S pri solarnoj iradijaciji od 1000 W/m^2 i ambijentalnoj temperaturi od 25°C . Temperatura modula pri normalnim uslovima 43°C

9. LABORATORIJSKE VEZBE

VEZBA 1. ANALIZA SPEKTRA ZRAČENJA CRNOG TELA

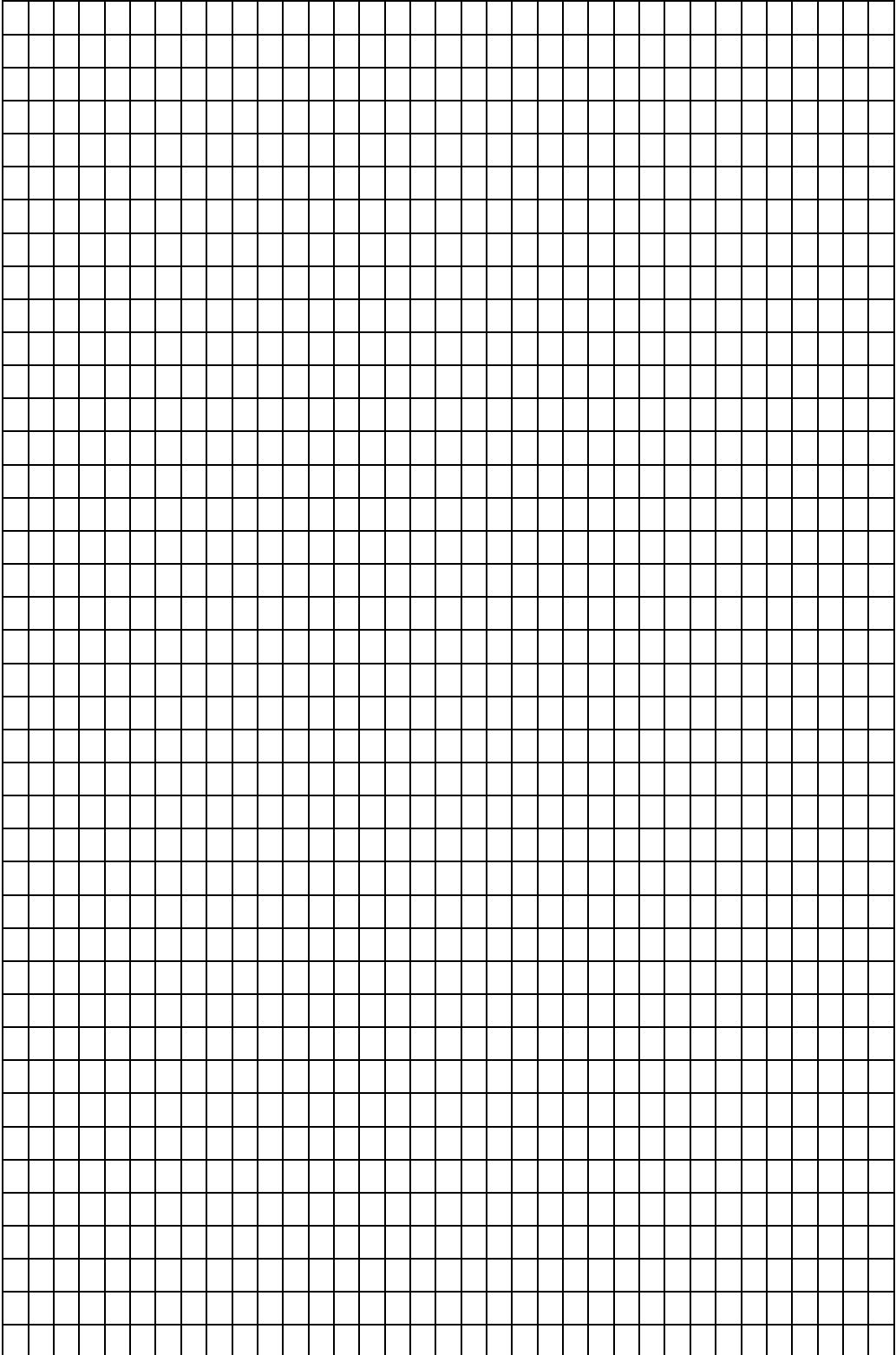
Analizirati grafike spectra zračenja po površini crnog tela za zemlju za temperature 10C 15 C 20C 25C u okviru mat lab okruženja. Iscrtati grafike zračenja, I za različite temperature Crnog tela odrediti maksimalnu snagu zračenje po jedinici površine Crnog Tela. Odrediti talasnu dužinu pri kojoj je emaksimalna snaga postignuta.

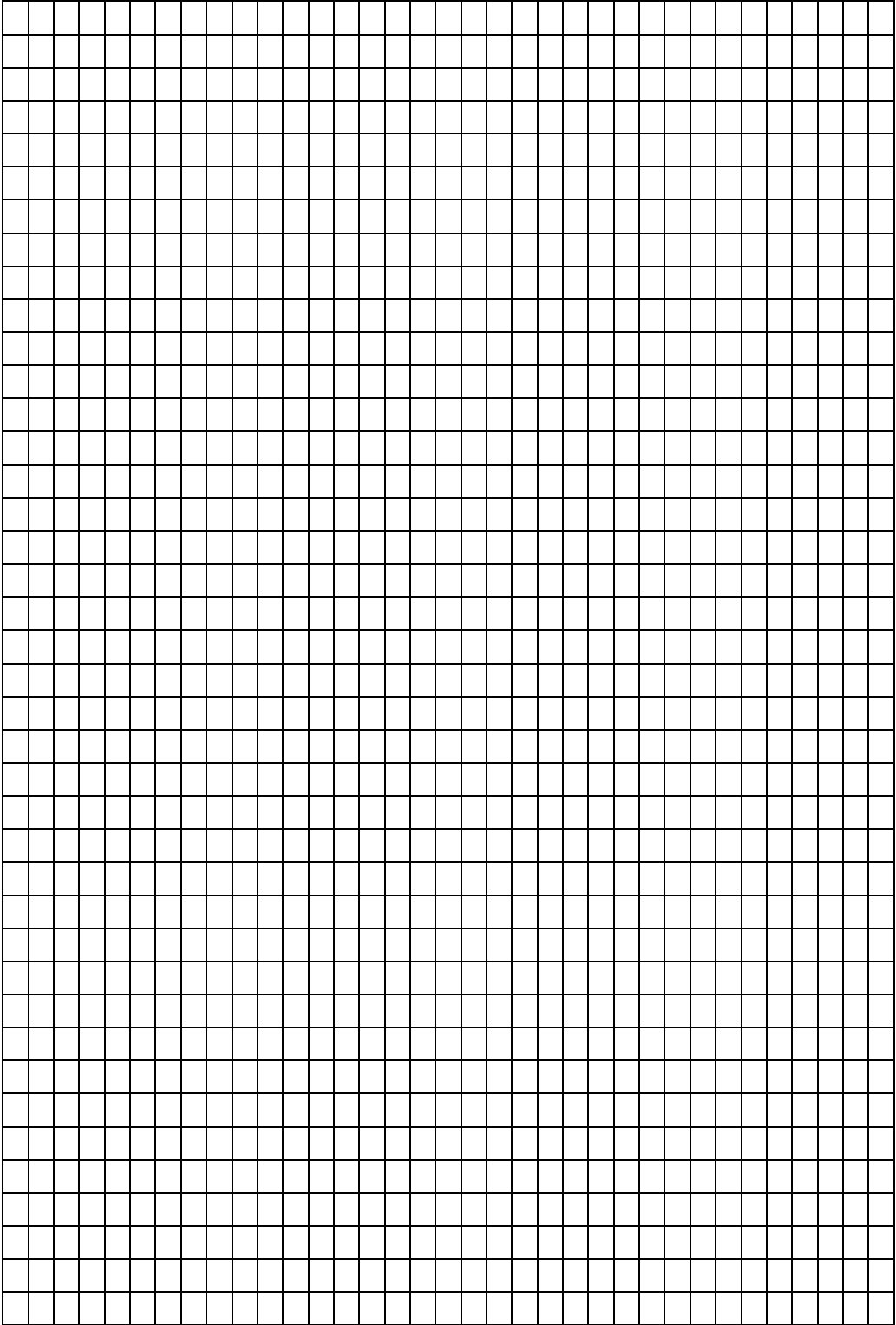
Za različite temperature crnog tela (u okviru tabele 1) odrediti maksimalnu snaguzračenja po jedinici površine kao i talasne dužine pri kojima je ona ostvarena i te rezultate upisati

Matlab kod:

```
talasnaduzina = 0.01:0.01:5.0; % opseg talasnih duzina u mikrometrima
T = 5000; % temperatura u stepenima kelvina
E = 3.742./((talasnaduzina.^5).*(exp(1.439e4./( talasnaduzina *T))-1)); %
daje rezultat u
W/m2/um x 1e8
plot(talasnaduzina,E);
xlabel(' talasna duzina (\mum)'); % dodavanje oznaka osa i naziva grafika
ylabel('snaga zracenja (W/m^2/\mum) x 10^8');
title('Spektar zracenja crnog tela');
legend(sprintf('T = %.0f K',T));
```

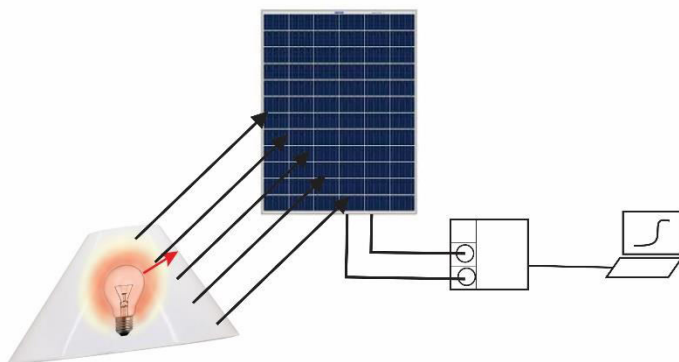
Temeratura Crnog Tela	1000	1500	2000	2500	3000	3500	4000
Maksimalna snaga [W/m ² /μm]							
Talasna dužina λ _{max} [μm]							





VEZBA 2 PARAĆENJE KARAKTERISTIKA FOTONAPONSKOG MODULA U ZAVISNOSTI OD INTEZITETA I UGLA UPADNOG ZRAĆENJA

Analizirati promene inteziteta napona i struje Solarnog panela u zavisnosti od inteziteta i ugla upadnog zračenja.



Slika 50. Analizirati promene inteziteta napona i struje Solarnog panela u zavisnosti od inteziteta i ugla upadnog zračenja.

1. Priključiti komponente kao slici 50 .
2. Postaviti lampu na 50 cm od solarnog panela (ukoliko se koristi lampa od 60 W potrebno rastojanje je 20 cm).
3. Izabrati "Live module" u programu.
4. Uključiti lampu.
5. Ručno menjati upadni ugao svetlosti na solarni panel dok se ne postigne maksimalni napon otvorenog kola na grafiku. Pri tome, obezbediti da udaljenost od solarnog panela uvek bude ista. Osigurati da je podloga lampe uvek u istom položaju
6. Prebaciti na režim "Solar module" u programu.
7. Ili: a) Snimiti "Automatic characteristic curve" ili b) Postepeno povećavati ciljane struju i snimati odgovarajuće vrednosti pomoću "Read measurement" dugmeta.
8. Na kraju sačuvati merenja pomoću "Save measurement" dugmeta.
9. Postaviti lampu na 50 cm od solarnog panela.
10. Podesiti ugao iradijacije (zračenja) na 90° .
11. Zabeležiti vrednosti za izmereno rastojanje, solarni napon i solarnu struju.

12. Povećavati udaljenost lampe od solarnog panela dok se ne dostigne minimalni solarni napon, zatim zabeležiti izmereno rastojanje, solarni napon i solarnu struju za različite udaljenosti.

13. Dobile vrednosti predstaviti grafički

Upadni ugao 20°

Rastojanje cm							
U(V)							
I(V)							
P(W)							

Upadni ugao 35°

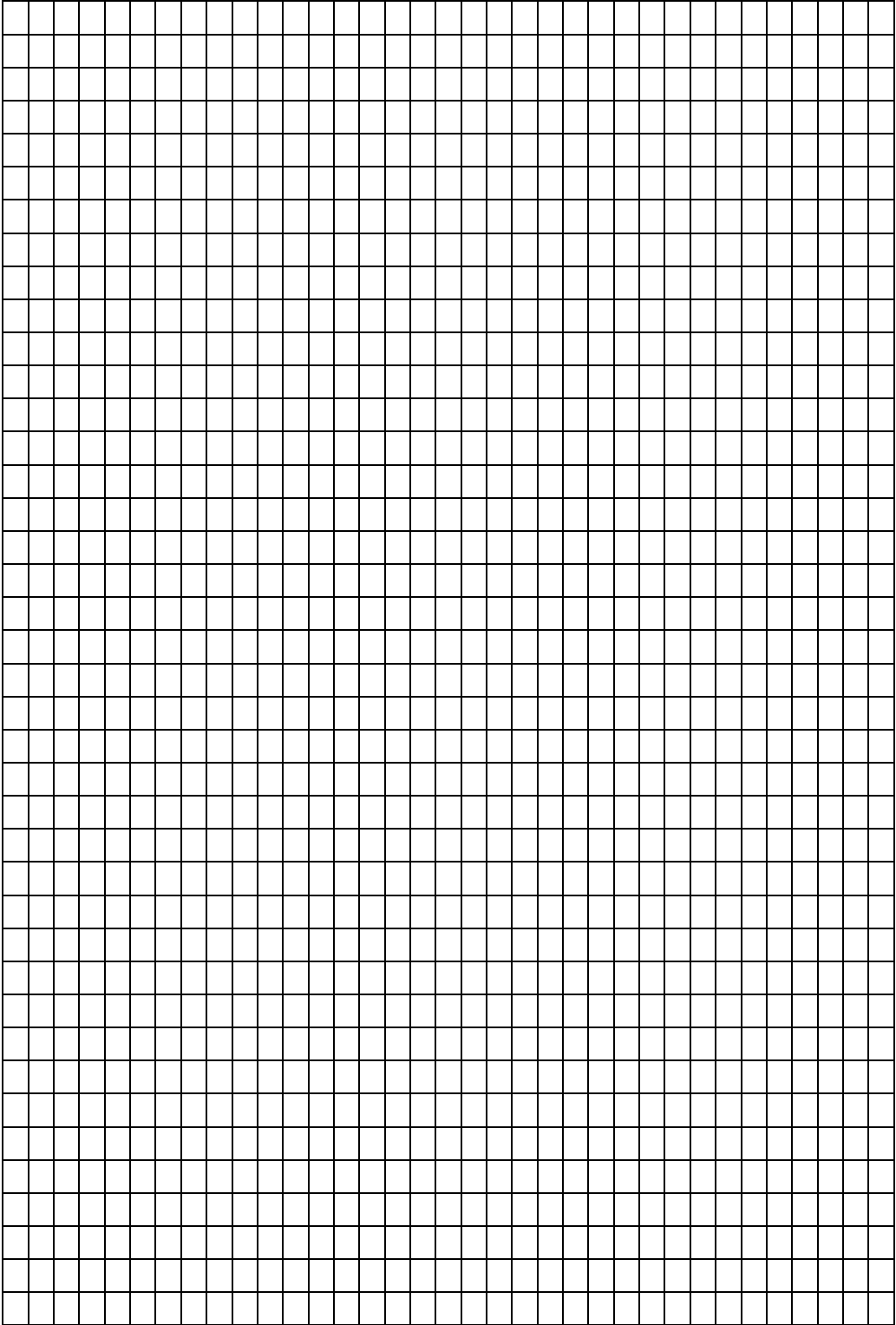
Rastojanje cm							
U(V)							
I(V)							
P(W)							

Upadni ugao 60°

Rastojanje cm							
U(V)							
I(V)							
P(W)							

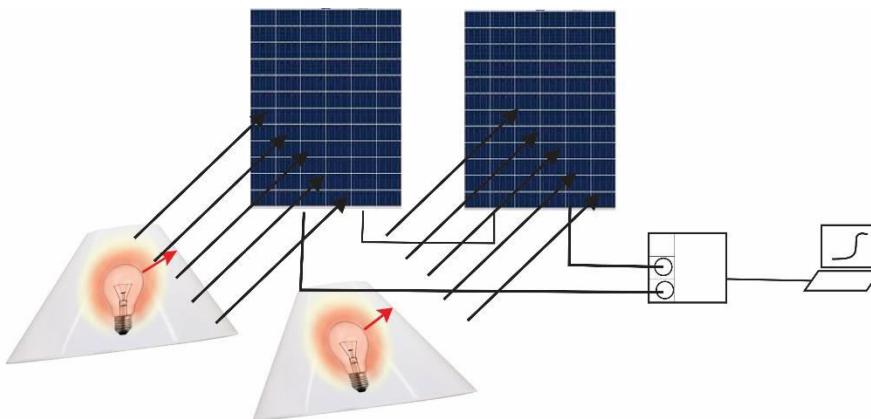
Upadni ugao 90°

Rastojanje cm							
U(V)							
I(V)							
P(W)							



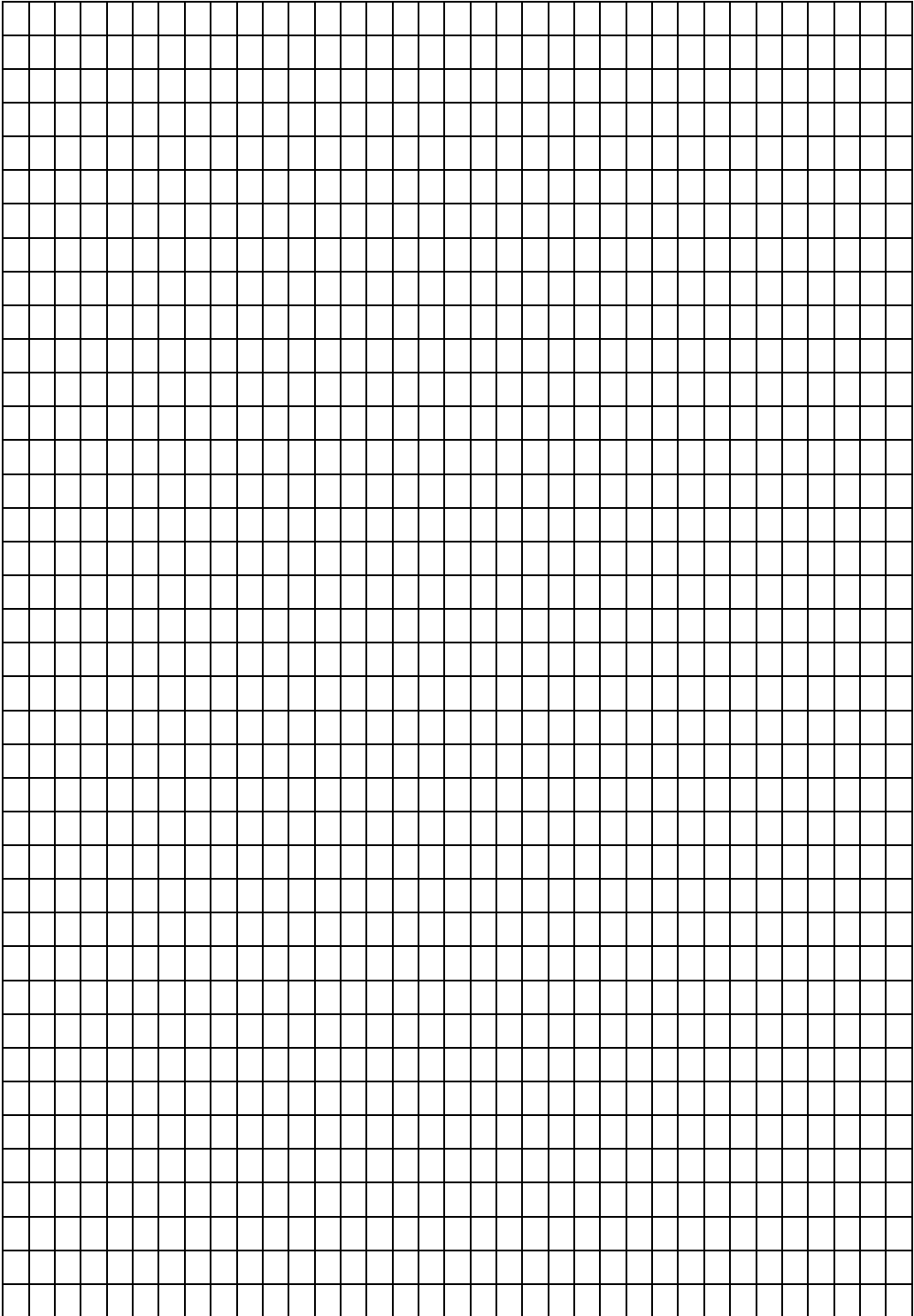
VEZBA 3 REDNA VEZA SOLARNIH ČELIJA

Analizirati karakteristike redne veze solarnih ćelija na primeru postavke sa slike



Slika 51 Analizirati karakteristike redne veze solarnih ćelija

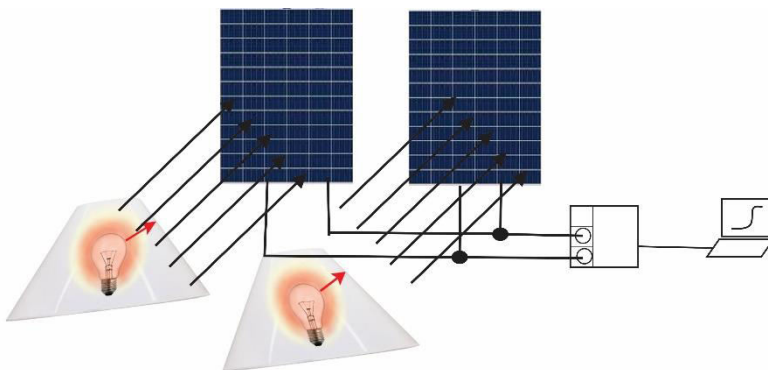
1. Postaviti eksperiment kao što je prikazano na slici 11.
2. Postaviti lampu na 50 cm od solarnog panela.
3. Izabrati "Live module" u programu.
4. Uključiti lampu.
5. Ručno menjati upadni ugao svetlosti na solarni panel dok se ne postigne maksimalni solarni napon na grafiku (oko 2.2 V).
6. Izabrati "Solar module" režim u programu.
7. Izabrati A "Automatic characteristic curve". Krive prikazane su:
 - $I = I(U)$
 - $P = P(U)$
8. Podesiti upadni ugao na 34°
9. Izabrati A "Automatic characteristic curve". Krive prikazane su:
 - $I = I(U)$
 - $P = P(U)$
10. Dobijene rezultate prikazati grafički i međusobno ih uporediti





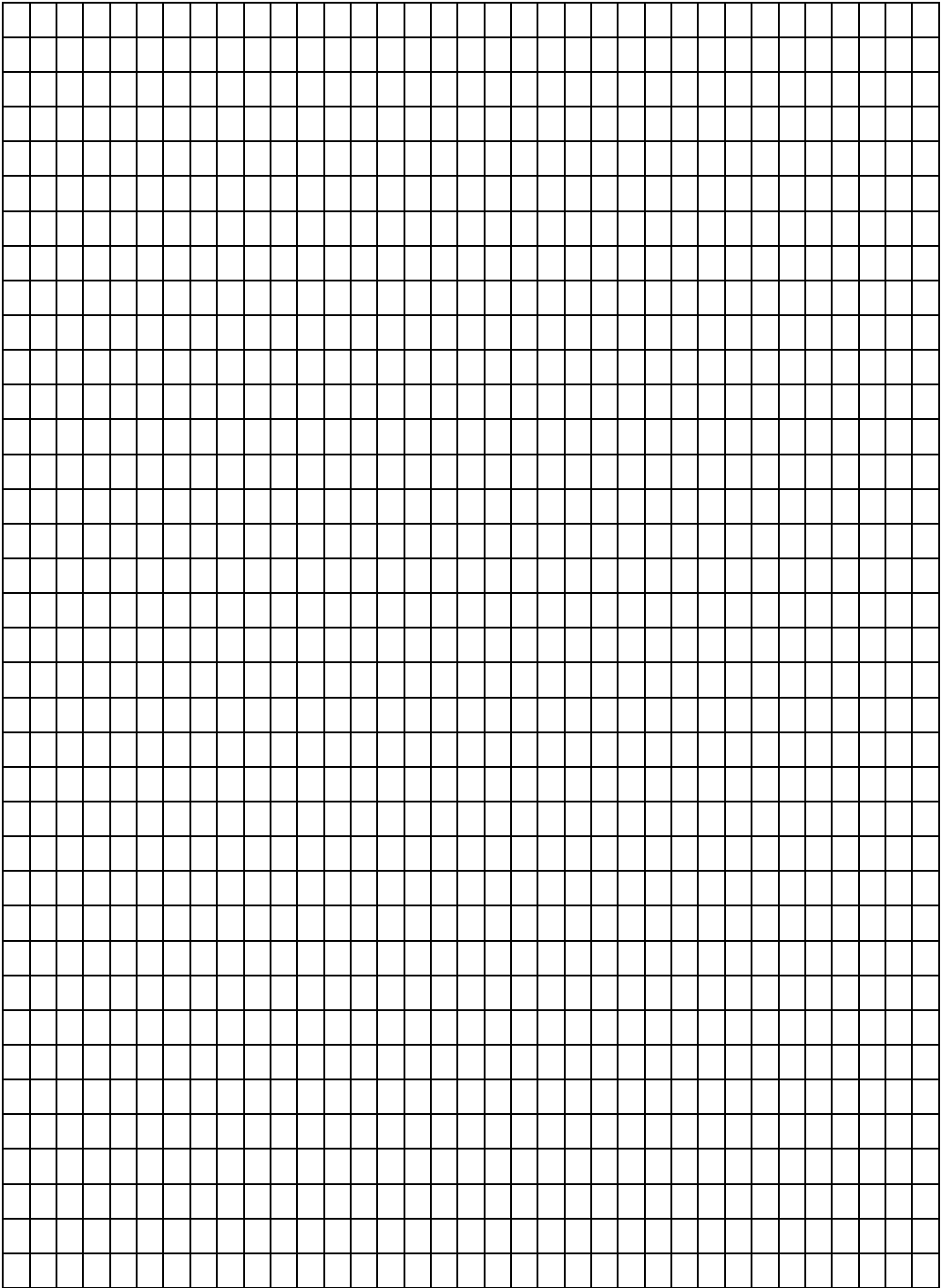
VEZBA 4. PARALELENA VEZA SOLARNIH ČELIJA

Analizirati karakteristike paralelene veze solarnih ćelija na primeru postavke sa slike



Slika 52. Analizirati karakteristike redne veze solarnih ćelija

1. Postaviti eksperiment kao što je prikazano na slici 11.
2. Postaviti lampu na 50 cm od solarnog panela.
3. Izabrati "Live module" u programu.
4. Uključiti lampu.
5. Ručno menjati upadni ugao svetlosti na solarni panel dok se ne postigne maksimalni solarni napon na grafiku (oko 2.2 V).
6. Izabrati "Solar module" režim u programu.
7. Izabrati A "Automatic characteristic curve". Krive prikazane su:
 - $I = I(U)$
 - $P = P(U)$
8. Podesiti upadni ugao na 34°
9. Izabrati A "Automatic characteristic curve". Krive prikazane su:
 - $I = I(U)$
 - $P = P(U)$
10. Dobijene rezultate prikazati grafički I međusobno ih uporediti



“Gorivne ćelije, ćista energija budućnosti”, Ecologica 2009, Vol 16, No. 54,
str. 128-134,
ISSN 0354 – 3285.