Primjena energije sunčevog zračenja u zgradarstvu

Jakšić, Ivan

Undergraduate thesis / Završni rad

2017

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

Permanent link / Trajna poveznica: https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:200:778470

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

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

Repository / Repozitorij:

Faculty of Electrical Engineering, Computer Science and Information Technology Osijek

zir.nsk.hr

Image not found or type unknown

SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU
FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA I INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA

Sveučilišni studij

Primjena energije sunčevog zračenja u zgradarstvu

Završni rad

Ivan Jakšić

Sadržaj

1. Uvod 1

1.1. Zadatak završnog rada 1

2. Osnovne karakteristike sunčevog zračenja 2

2.1. Osnovne primjene energije sunčevog zračenja u zgradarstvu 3

2.1.1. Aktivno iskorištavanje sunčeve energije u zgradarstvu 4

2.1.2 Pasivno iskorištavanje sunčeve energije u zgradarstvu 5

3. Primjena energije sunčevog zračenja za proizvodnju električne energije 7

3.1. Fotonaponske ćelije i moduli 7

3.1.1. Strujno-naponska karakteristika (I-V) fotonaponske ćelije 9

3.2. Fotonaponski sustavi 12

3.2.1. Autonomni fotonaponski sustavi 12

3.2.2. Umreženi fotonaponski sustavi 14

3.3. Solarne termoelektrane 17

3.2.1. Parabolična protočna solarna termoelektrana 17

3.2.2. Solarni toranj 18

3.2.3. Parabolični tanjur 19

4. Primjena energije sunčevog zračenja za proizvodnju toplinske energije 21

4.1. Pasivno grijanje 21

4.2. Solarni toplinski kolektori 24

4.3. Solarni toplinski kolektori ..... **Pogreška! Knjižna oznaka nije definirana.**

4.3.1. Solarni pločasti kolektori 25

4.3.2. Vakuumski kolektori 26

4.3.3. Koncentrirajući kolektori 26

5. Izračun proizvodnje električne energije pomoću FN sustava 28

6. Zaključak 32

Literatura: 33

Popis slika: 35

Popis tablica 35

Tablica grafikona 35

Sažetak 36

Životopis 37

1. Uvod

Tema ovog završnog rada je primjena energije Sunčevog zračenja u zgradarstvu. Sunčevoj energiji, kao i ostalim oblicima obnovljivih izvora energije, pridaje se mnogo pozornosti i ulažu se velike nade u njezino daljnje napredovanje.

U današnje vrijeme mnogo se pozornosti poklanja potrošnji energije u svim sektorima ljudskog djelovanja. Sunčevo zračenje kao najveći izvor energije u Sunčevu sustavu ima najveći potencijal iskorištavanja. Sunčevu energiju možemo iskorištavati kao izvor električne energije s pomoću fotonaponskih sustava ili kao izvor toplinske energije preko toplinskih kolektora. Ulaganja u solarnu energiju više od desetljeća bilježe tendenciju rasta, posebice ulaganja u fotonaponske sustave koji su u razdoblju od 2014. do 2015. porasli za 25 posto, tj. u 2015. godini ukupan broj fotonaponskih modula iznosio je 185 milijuna, što je 227 GW ukupne instalirane snage.[1]

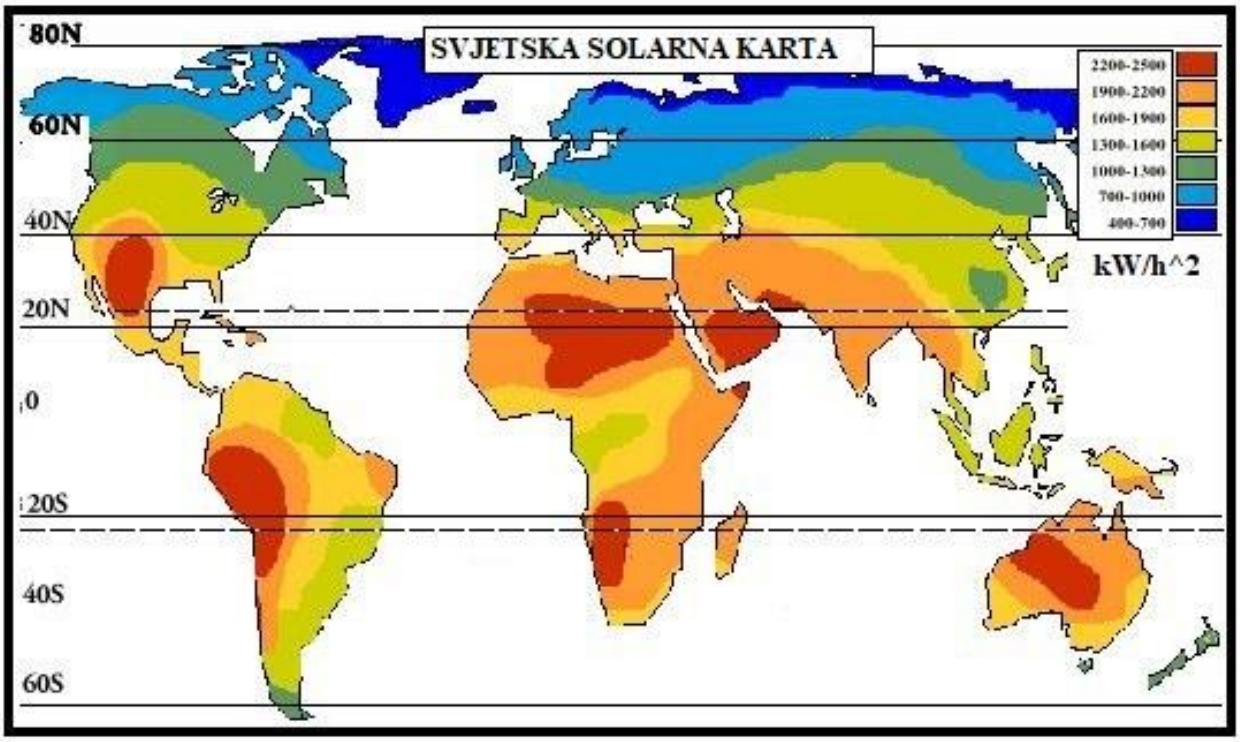
Cilj je završnog rada istražiti i predočiti osnovne pretpostavke i pojmove vezane uz dobivanje električne i toplinske energije iz Sunčeva zračenja. U prvom dijelu rada upoznaje se s temeljnim karakteristikama Sunca i Sunčevog zračenja koji djeluju na Zemlju. U nastavku rada obrađuje se problematika dobivanja električne energije iz Sunčevog zračenja. Električnu energiju moguće je dobiti preko fotonaponskih sustava ili solarnih termoelektrana, što je detaljnije opisano u drugom dijelu rada. Nadalje, u radu se navode primjeri dobivanja toplinske energije koji se najčešće koriste za potrebe kućanstava, uredskih prostorija i sl. Razlikuju se dva principa dobivanja toplinske energije. Jedan je način zagrijavanja prostora pasivni, i on ovisi o arhitekturi same građevine te njezinoj kvaliteti izolacije, dok se u aktivnom načinu koriste solarni kolektori za prikupljanje i distribuciju energije.

1.1.Zadatak završnog rada

Opisati osnovne karakteristike energije sunčevog zračenja. Opisati osnovne primjene energije sunčevog zračenja u zgradarstvu. Opisati aktivnu i pasivnu primjenu sunčeve energije. Primjena energije sunčevog zračenja za potrebe električne energije u zgradarstvu. Primjena energije sunčevog zračenja za potrebe toplinske energije u zgradarstvu.

2. Osnovne karakteristike sunčevog zračenja

Sunce je najveće nebesko tijelo u Sunčevom sustavu. Ono je najveći izvor energije na Zemlji. Sunčevo zračenje prouzrokuje i ostale obnovljive izvore energije; energiju vjetra, hidroenergiju, energiju valovu i energiju biomase. Sastavljeno je od oko 70 % vodika i 30 % helija. Sunčevo zračenje dolazi od procesa nuklearne fuzije u kojemu se četiri vodikove jezgre stapaju u jednu helijevu jezgru. Rezultat te reakcije jest $3{,}845 \cdot 10^{26}$ J energije koja se oslobađa svake sekunde pri temperaturama većim od 10^7 K. Za dobivanje tolike količine energije 600 milijuna tona vodika pretvara se u helij. Ta se energija zračenjem i konvekcijom prenosi sve do vanjskih dijelova Sunčeve atmosfere. Na Zemlju pod optimalnim uvjetima može doći i do 1 kW/m^2. Ta vrijednost varira ovisno o lokaciji, dobu dana, vremenskim uvjetima itd. U Hrvatskoj prosječna vrijednost dnevne insolacije na horizontalnu plohu iznosi 3 - 4,5 kWh/m^2. Gruba je procjena da površina Zemlje prima otprilike 100.000 TW solarne snage u svakom trenutku (gornji slojevi atmosfere primaju oko 174.000 TW, ali plinovi, oblaci, zagađenja i ostali čimbenici smanjuju dostupnu snagu na površini Zemlje), što znači da Zemlja u 71 minuti primi dovoljno solarne energije da zadovolji energetske potrebe čovječanstva za cijelu godinu. [2]



Slika 2.1. Insloacijski nivoi u svijetu [3]

U pravilu, što je geografska širina veća, to su manji insolacijski nivoi na horizontalnu plohu. Na karti koja prikazuje insolacijski nivo vidi se da Europa nije na vrlo pogodnom području za eksploataciju Sunčeve energije, prema slici 2.1. [2]

Sunčevo zračenje može se podijeliti na direktno i difuzno. Zbog raspršenja izvanzemaljskog zračenja u atmosferi, difuzno zračenje uvijek se pojavljuje uz direktno zračenje. Globalno horizontalno zračenje predstavlja ukupnu količinu kratkovalnog zračenja na okomitu podlogu. Ta vrijednost ima posebno značenje za fotonaponske instalacije i uključuje izravno normalno zračenje (G_{bh}) i difuzno horizontalno zračenje (G_{dh}), a izračunava se s pomoću formule (2-1).

$$G_{h=}G_{bh} + G_{dh}\ [W/m^2] \tag{2-1}$$

Vrijednost ukupnog horizontalnog zračenja bitna je kako bi se točnije odabrala veličina fotonaponskog sustava kao i njegova tehnologija izrade.[4]

Kada se sustavi za dobivanje energije s pomoću Sunčevog zračenja koriste u urbanim područjima, ne može se pretpostaviti da Sunčevo zračenje neometano dolazi do svih površina. Zasjenjivanje površina kolektora, izričito fotonaponskih sustava, dovodi do smanjenja količine energije koja se koristi, a u slučaju fotonapona čak i do totalnog prekida proizvodnje električne energije. Zbog toga je pri projektiranju bitno uzeti u obzir i moguće sjene koje u različitim mjesecima godine čine lokalni objekti.

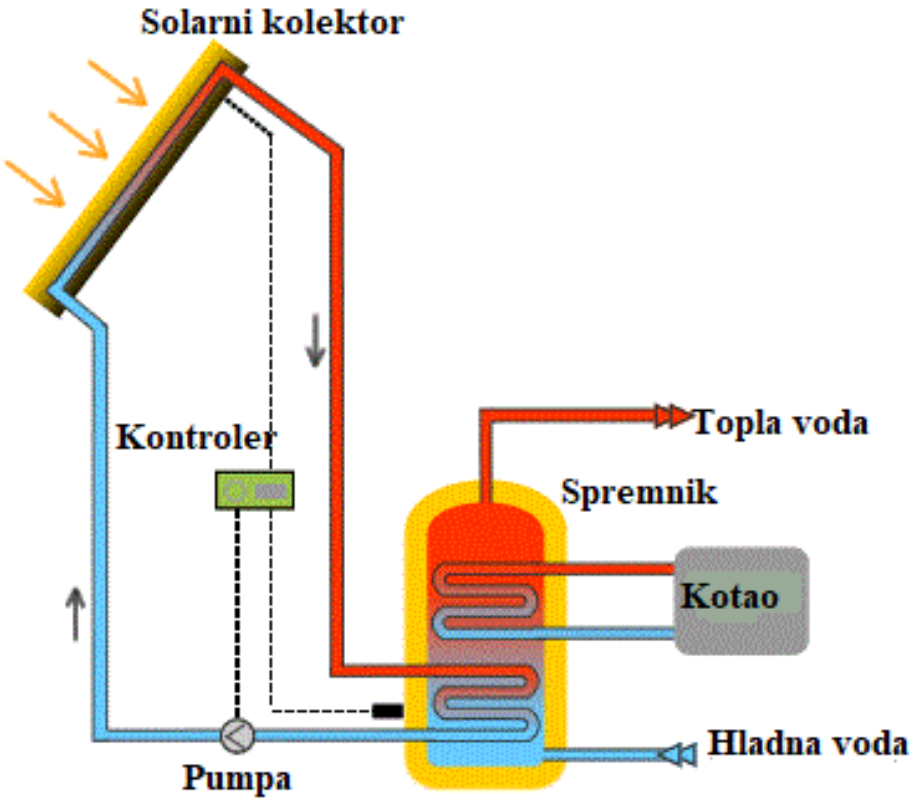
2.1. Osnovne primjene energije sunčevog zračenja u zgradarstvu

Zgrade troše oko 40 % ukupne količine električne energije potrošene u državama članicama Europske unije te postoji veliki potencijal za smanjenje trošenja energije. Europska unija obvezala se smanjiti emisiju stakleničkih plinova, a zgrade će imati veliku ulogu u postizanju tog cilja. Smanjenje potrošnje energije u zgradama ima visoku društveno-gospodarsku važnost, s građevinskim sektorom kao najvećom industrijom u Europi koja godišnje ulaže $1{,}37 \cdot 10^{12}$ € (2014) u razne projekte i zapošljava više od 18 milijuna ljudi.[5] Raspodjela potrošnje energije varira s klimatskim uvjetima. U Njemačkoj, gdje se 44 % primarne energije troši u zgradama, 32 % potrebno je za grijanje prostora, 5 % za grijanje vode, 2 % za rasvjetu i oko 5 % za ostalu potrošnju električne energije u stambenim prostorima. Od naftne krize u 1970-im godinama kontinuirano se smanjuje količina toplinske energije korištene u zgradama, osobito novim, zbog postupnog ojačavanja zakonodavstva u području energetike. Visokim standardima toplinske izolacije i

ventilacijskim konceptima pasivnih zgrada postignuta je niska potrošnja toplinske energije, koja je danas oko 20 puta manja nego 1970. Ključni čimbenik za snižavanje potrošnje toplinske energije pasivnih građevina jest razvoj tehnologija izrade prozora i izolacije, koji imaju niske gubitke u prijenosu toplinske energije. U novijim zgradama s niskim toplinskim potrebama potrošnja energije u obliku električne energije za rasvjetu, grijanje vode i ostale oblike potrošnje energije postaje sve dominantnija. Procjena je da će se u Europskoj uniji potrošnja energije do 2020. povećati za 50 %. U tom području obnovljivi izvori energije mogu dati važan doprinos u opskrbi električnom energijom i toplinom. Sunčeva energija može se iskorištavati na dva načina: aktivno i pasivno. Kod tih načina osnovni je cilj smanjenje potrošnje električne i toplinske energije koristeći samu arhitekturu zgrada ili uz pomoć određenih naprava. [4]

2.1.1. Aktivno iskorištavanje sunčeve energije u zgradarstvu

Aktivna primjena Sunčeve energije jest korištenje mehaničkih naprava u svrhu skupljanja, čuvanja i korištenja energije u kućanstvu. Neke su od prednosti aktivnog iskorištavanja Sunčeve energije to što se mogu koristiti na svim objektima bez obzira na njihov dizajn i orijentaciju. Aktivnim sustavima proizvodi se mnogo više energije nego što se dobije pasivnim iskorištavanjem Sunčeve energije. Energija dobivena na ovaj način lakše se koristi u svim dijelovima objekta u kojima su aktivni sustavi instalirani, za razliku od pasivnog načina. Osnovne tehnologije direktnog iskorištavanja energije Sunca su: solarni kolektori, fotonaponske ćelije i fokusiranje Sunčeve energije. Na slici 2.2. shematski je prikaz solarnog kolektora.[4]



Slika 2.2. Primjer aktivnog iskorištavanja sunčeve energije [6]

2.1.2 Pasivno iskorištavanje sunčeve energije u zgradarstvu

Pasivni način iskorištavanja Sunčeve energije, za razliku od aktivnog, ne koristi nikakve aktivne komponente, odnosno ne koriste se dodatni uređaji za prikupljanje energije. Pasivni način prikupljanja Sunčeve energije jest pomno planiranje objekta kako bi se moglo prikupljati, pohraniti i raspodijeliti energiju po cijelom objektu. Planiranje se obavlja na način da se prozori, zidovi, podovi i raspored prostorija oblikuju tako da se zimi objekt zagrijava, a ljeti hladi. Na slici 2.3. vidljiva je velika staklena površina okrenuta prema jugu. Uz sami objekt potrebno je isplanirati i okolinu, urediti raslinje tako da se ljeti stvara više hlada, a zimi se štiti od vjetra. Staklene površine najvažnije su komponente pasivnog iskorištavanja solarne energije. One trebaju omogućiti da se kratkovalno Sunčevo zračenje može učinkovito koristiti za zagrijavanje prostora, a istovremeno da dnevno svjetlo bude dostupno. Ukupni koeficijent prijenosa energije (topline) stakla odgovara učinkovitosti aktivnih solarnih komponenti, od otprilike 65 % s današnjim dvostrukim „*low-E*“ premazom. U pasivnom iskorištavanju Sunčeve (toplinske) energije važna je i pravilna izolacija objekta, koji je bitno pravilno sagraditi u ovisnosti o lokalnoj klimi. Lokalna klima važna je zbog

toga što se objekti trebaju dizajnirati tako da u hladnijim krajevima lakše primaju i zadržavaju toplinu unutar objekta, a u toplijim krajevima obrnuto. Također je bitna i orijentacija objekta; na sjevernoj hemisferi objekti bi trebali biti okrenuti prema jugu, a na južnoj prema sjeveru. [4][7]



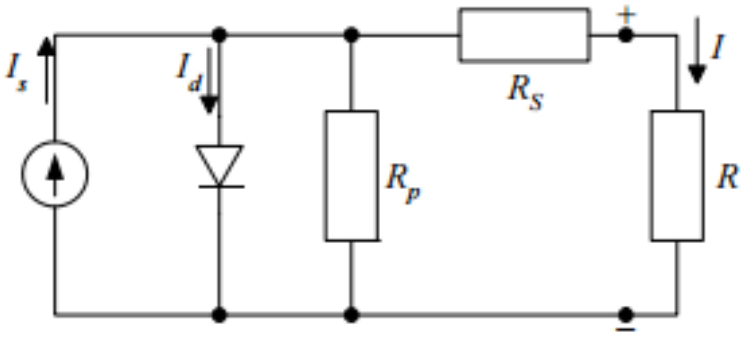
Slika 2.3. Primjer pasivnog iskorištavanja sunčeve energije [8]

Europska unija ima plan da gradnjom pasivnih objekata godišnje uštedi 35 M_{toe} energije za grijanje, što je ekvivalentno potrebama za otprilike 1,5 milijuna objekata. Plan se nastoji realizirati definiranjem standarda pasivne gradnje i edukacijom o jednostavnom, djelotvornom i ekonomičnom načinu korištenja Sunčeve energije. [4]

3. Primjena energije sunčevog zračenja za proizvodnju električne energije

3.1. Fotonaponske ćelije i moduli

Razvoj fotonaponske pretvorbe započeo je 1839. kada je Alexandre-Edmond Becquerel otkrio fotonaponski efekt. Poslije je Albert Einstein dobio Nobelovu nagradu za objašnjenje fotoelektričnog efekta, a od 1958. fotonaponske ćelije počele su se koristiti u komercijalne svrhe. Fotonaponski sustavi (engl. *Photovoltaic, PV*) su sustavi koji direktno pretvaraju kratkovalno Sunčevo zračenje u električnu energiju. Fotonaponska ćelija kao dio strujnog kruga može se prikazati s pomoću ekvivalentnog sklopa u kojemu se ćelija, kada je osvijetljena, ponaša kao izvor konstante struje. Takav sklop sastoji se od dioda, paralelnih i serijskih otpora, otpora trošila i strujnog izvora, shematski prikazano na slici 3.1.[9]



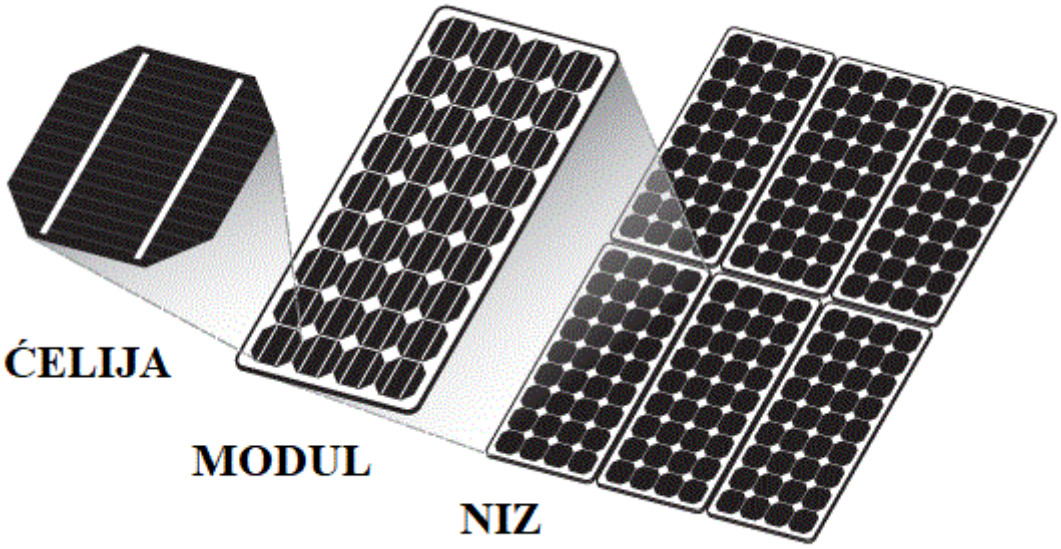
Slika 3.1. Shematski prikaz FN ćelije [10]

gdje je:

- I_s – jakost fotostruje, A
- I_d – jakost struje diode, A
- R_p – paralelni otpor FN ćelije, Ω
- R_s – serijski otpor FN ćelije, Ω
- I – jakost struje u ekvivalentnom sklopu, A

Danas tržištem dominiraju (više od 80 %) poluvodičke solarne ćelije izrađene na tehnologiji kristalnog silicija, međutim prisutne su i nove tehnologije izrade poput tankih filmova, galij-arsenid ćelija i organskih ćelija, koje zauzimaju sve veće udjele na tržištu. Fotonaponske ćelije temeljne su gradivne jedinice fotonaponskog sustava. Svaka proizvodi od 1 do 2 W, uz napon od 0,6 V, što je premalo za većinu potreba. Zbog toga se fotonaponske ćelije povezuju u module, odnosno serijsko-paralelne spojeve ćelija. Dalje se moduli mogu povezivati u

fotonaponske nizove, ovisno o potrebnoj izlaznoj snazi. Princip povezivanja prikazan je na slici 3.2.



Slika 3.2. Primjer slaganja fotonaponskih ćelija [11]

Ti se nizovi montiraju pod stalnim kutom okrenuti prema jugu ili mogu biti instalirani na uređaje koji ih automatski okreću prema Suncu. Prema PVGIS (*Photovoltaic Geographical Information System*) podacima optimalni kut za područje RH kreće se od 33 stupnja na sjeveru do 37 stupnjeva na jugu. Valja imati na umu da se optimalni kut mijenja tijekom godine zbog prividnog kretanja Sunca. Nekoliko povezanih fotonaponskih nizova proizvodi dovoljno energije za potrebe kućanstva, a za veće potrošače spaja se i do nekoliko stotina fotonaponskih nizova. Fotonaponski nizovi mogu se koristiti kao samostalni ili dodatni izvor energije. Kao samostalni izvor energije koriste se npr. na satelitima, cestovnim znakovima, kalkulatorima i udaljenim objektima koji zahtijevaju dugotrajan izvor energije. [12]

Najveći nedostatci fotoelektrične energije su nizak stupanj djelovanja i vrlo mali izlazni napon. Maksimalan stupanj djelovanja fotonaponske ćelije ograničen je termodinamički:

1) Gubici zbog poluvodičkih svojstava ćelije 23%
2) Gubici energije fotona većih od zabranjenog pojasa 31%
3) Gubici zbog ograničenja napona na veličinu manju od Eg/e, gdje je Eg donja granična energija, e jedinični naboj elektrona (kod Silicija: Eg/e = 0,8V, gubici 12%)
4) Gubici iz dodatnih termodinamičkih razloga vezani uz omjer struje kratkog spoja i napona otvorenog kruga, tj. praznog hoda (za Silicij kod omjera 0,9 gubici su oko 3%).

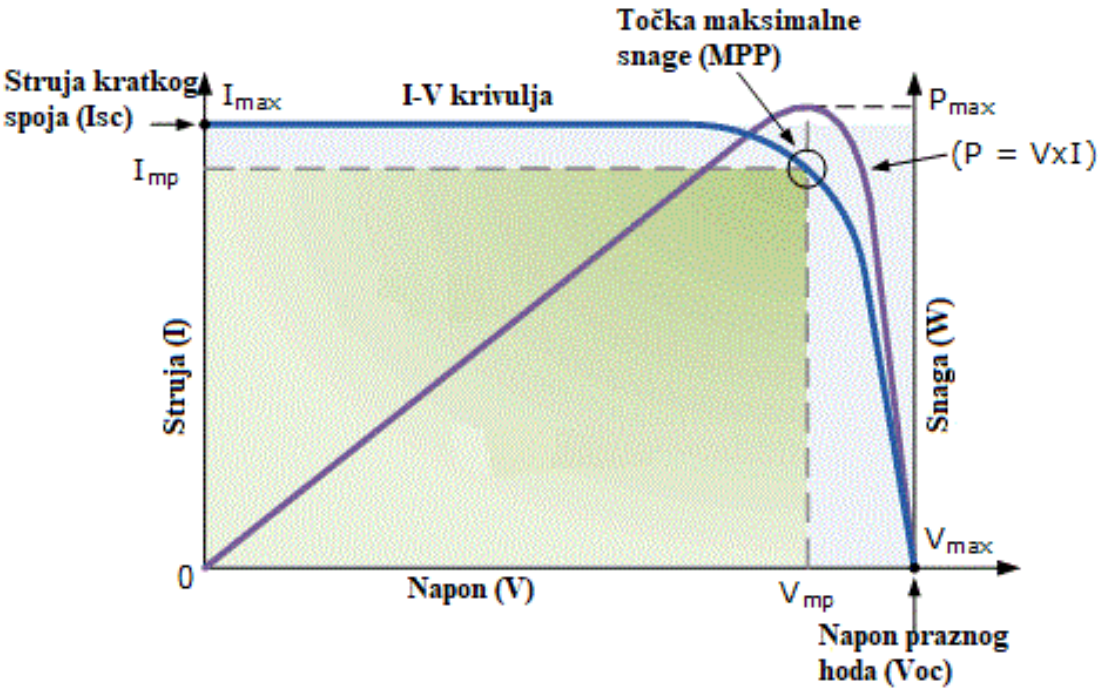
To dovodi do ukupnih gubitaka fotonaponske pretvorbe od minimalno 67 %, što je u usporedbi s ostalim izvorima električne energije vrlo nizak stupanj djelovanja. Najveći je kod hidroelektrana, i iznosi oko 95 %.

Nasuprot nedostatcima, fotonaponske ćelije imaju i svoje prednosti. Najvažnije prednosti fotonaponske pretvorbe su:

1) Fotonaponska pretvorba je izravna – veliki mehanički sustavi generatora nisu potrebni
2) Modularna karakteristika – moguće brzo i u dopuštenim veličinama instaliranje nizova(moguće postupno povećanje snage)
3) Korištenje i održavanje jednostavno – solarne ćelije nemaju pokretnih dijelova, nije potrebna koncentracija zračenja, solarne ćelije iskorištavaju i izravno i raspršeno zračenje Sunca. [12]

3.1.1. Strujno-naponska karakteristika (I-V) fotonaponske ćelije

Strujno-naponska karakteristika (I-V) fotonaponske ćelije prikazuje strujne i naponske karakteristike fotonaponske ćelije, modula ili niza dajući detaljan opis njegove sposobnosti i učinkovitosti pretvorbe Sunčeve energije. Poznavanje I-V karakteristike (ponajviše maksimalne snage) solarne ćelije ili modula od ključnog je značenja za određivanje izlaznog učinka i solarne učinkovitosti. Povećanjem potražnje za čistim izvorima energije i Sunčevim potencijalom kao besplatnim izvorom energije pretvorba solarne energije sve je važnija. Kao rezultat toga, potražnja za učinkovitim solarnim ćelijama, koje pretvaraju Sunčevu svjetlost izravno u struju, raste brže nego ikad prije. Postoji mnogo različitih mjerenja koja možemo učiniti kako bismo odredili rad solarne ćelije, kao što je njegova izlazna snaga i učinkovitost pretvorbe. Glavne električne karakteristike fotonaponske ćelije ili modula sažete su u odnosu između struje i napona proizvedenog na tipičnoj I-V karakteristici solarne ćelije. Intenzitet Sunčevog zračenja (insolacija) koji udara u ćeliju kontrolira struju (I), dok povećanje temperature solarne ćelije smanjuje napon (V). Solarne ćelije izvori su istosmjerne snage (DC), umnožak struje i napona daje snagu, tako da možemo stvoriti I-V krivulju solarne ćelije koje predstavljaju odnose struje i napona fotonaponske ćelije. I-V krivulje u osnovi su grafički prikaz rada solarne ćelije ili modula koji sažima odnos između napona i struje u postojećim uvjetima Sunčevog zračenja i temperature. One nam daju informacije potrebne za konfiguraciju fotonaponskog sustava, tako da sustav uvijek radi što bliže svojoj točki maksimalne snage (MPP).



Slika 3.3. I-V krivulja [13]

Na slici 3.3. prikazan je graf I-V karakteristike tipične silikonske fotonaponske ćelije koja radi pod normalnim uvjetima. Snaga koju daje solarna ćelija je umnožak struje (I) i napona (V). Ako se obavlja množenje za sve napone i struje od praznog hoda do kratkog spoja, dobije se gornja krivulja za određenu razinu svjetlosnog zračenja. Kada je ćelija u praznom hodu, nije spojena na teret, struja će biti nula, a napon na ćeliji bit će maksimalan, poznat kao napon praznog hoda (V_{oc}). S druge strane, kada je ćelija kratko spojena, to jest pozitivni i negativni vodiči povezani bez tereta, napon ćelije jest nula, ali struja koja teče ćelijom je maksimalna, poznata još kao i struja kratkog spoja (I_{sc}). Raspon I-V krivulje solarne ćelije kreće se od struje kratkog spoja na naponu nula do napona praznog hoda gdje je struja jednaka nuli. Drugim riječima, maksimalni mogući napon ćelije jest kada je ćelija u praznom hodu, a maksimalna struja kada je ćelija u kratkom spoju. Naravno, ni jedan od ova dva slučaja ne stvara električnu energiju, ali postoji točka u kojoj ćelija stvara maksimalnu snagu. Točka maksimalne snage (*MPP*), vidljivo iz grafa, nalazi se na desnoj strani krivulje, a dobiva se kao rezultat umnoška struje u točki maksimalne snage (I_{mp}) i napona u točki maksimalne snage (V_{mp}). Odgovarajuće vrijednosti Vmp i I_{mp} mogu se procijeniti od napona otvorenog kruga i struje kratkog spoja: $V_{mp} \cong (0{,}8\text{-}0{,}90)\cdot V_{oc}$ i $I_{mp} \cong (0{,}85\text{-}0{,}95)\cdot I_{sc}$. Budući da izlazni napon i struja solarne ćelije ovise o temperaturi, stvarna izlazna snaga varirat će s promjenama temperature okoline. Gledajući strujno-naponsku karakteristiku na slici 3.2., može se

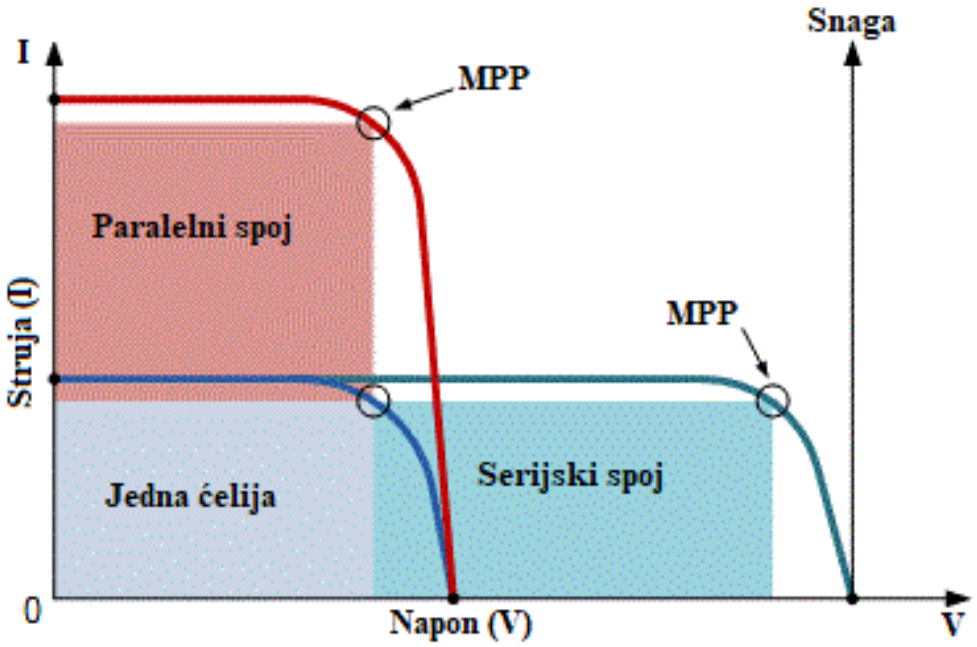
izračunati učinkovitost (η) fotonaponske ćelije prema struji kratkog spoja (*Isc*), naponu praznog hoda (V_{oc}) prema formuli:

$$\eta = \frac{P_{MPP}}{P_{sunce}} \times 100 = \frac{V_{MP} \times I_{MP}}{G \times A} \times 100 \quad (3\text{-}1)$$

Gdje su:

- A – površina fotonaponske ćelije, m^2
- G – snaga sunčevog zračenja, W/m^2
- η – stupanj djelovanja FN ćelije, %

Učinkovitost fotonaponske ćelije također se može odrediti preko snage koja se kao površina očituje u grafu. Prvi kvadrat čine umnožak struje u točki maksimalne snage (*Imp*) i napona u točki maksimalne snage (*Vmp*), a drugi čine umnožak struje kratkog spoja (*Isc*) i napona praznog hoda (*Voc*). Omjer tih dvaju kvadrata daje nam učinkovitost fotonaponske ćelije ili modula, a što je taj omjer bliži jedan, to je fotonaponska ćelija ili modul bolji. Taj se omjer naziva faktor ispune (*F*), i tipične vrijednosti faktora iznose između 0,7 i 0,8. Budući da svaka individualna ćelija proizvodi samo oko 0,5 V, rijetko se koristi samo jedna ćelija, gotovo nikad. Umjesto toga, osnovni blok za fotonaponske sustave je modul koji se sastoji od niza u seriju povezanih ćelija. Više modula, pak, može bit povezano u seriju da se poveća napon odnosno u paralelu za povećanje struje. Važan element u dizajnu fotonaponskih sustava je odluka koliko modula treba povezati u seriju, a koliko paralelno da bi se proizvela potrebna električna energija. Takve kombinacije modula nazivaju se nizovi. I-V krivulja nizova je samo skalirana verzija karakteristike jedne fotonaponske ćelije, kao što je prikazano na slici 3.4. [13]



Slika 3.4. I-V krivulja serijskog i paralelnog spoja modula[13]

3.2. Fotonaponski sustavi

Fotonaponski sustavi mogu se podijeliti na dvije osnovne skupine:

- Autonomni,
- Umreženi.

3.2.1.Autonomni fotonaponski sustavi

Autonomni fotonaponski sustavi su sustavi u kojima se električna energija proizvodi za potrebe potrošača koji nemaju priključak na javnu elektroenergetsku mrežu. Jedno od pravila elektroenergetskih mreža kaže da potrošnja u svakom trenutku treba biti jednaka proizvodnji uvećanoj za gubitke u prijenosu, što kod autonomnih FN sustava nije moguće uvijek ostvariti. Oni koriste različite spremnike električne energije (najčešće akumulatore) kada Sunčevo zračenje nije dovoljno za proizvodnju električne energije. Sustavi koji sadrže dodatni izvor energije nazivaju se hibridni, a pričuvni izvori energije mogu biti primjerice dizelski generatori, gorivne ćelije, vjetroturbine i sl. Autonomni sustavi, uz odabir odgovarajućeg izmjenjivača, mogu biti izvori istosmjerne ili izmjenične električne energije. Autonomni sustavi najčešće se koriste kada javna elektroenergetska mreža nije dostupna, primjerice u vikendicama, udaljenim naseljima, objektima na otocima ili planinama itd. Uz veće objekte u autonomne sustave ubrajaju se i manji električni

uređaji koji pune svoje baterije s pomoću Sunčevog zračenja poput džepnih računala, solarnih svjetiljki, prometnih znakova itd. Autonomni FN sustavi uobičajeno su sastavljeni od:

- FN modula (solarni generator)
- priključnog ormarića
- regulatora punjenja
- akumulatora
- spoja na trošilo
- izmjenjivača.

Ovisno o namjeni danas se najčešće izvode tri različite izvedbe autonomnih fotonaponskih sustava:

- za opskrbu pojedinačnih trošila - predviđeni za najviši napon u točci najveće snage U_{MPP} = 16 V, a najčešće se koriste za napajanje manjih elektroničkih uređaja poput radijskih i televizijskih prijamnika, računala, svjetiljki i sl.
- za opskrbu više trošila istosmjernom strujom – predviđeni za najviši napon u točci najveće snage U_{MPP} = 12 – 24 V i danas se najčešće koriste. Koriste se za istovremeno pokretanje više trošila predviđenih za rad s istosmjernom strujom niskog napona.
- za opskrbu više trošila izmjeničnom strujom – predviđeni za napon izmjenične struje U_{AC} = 48 – 230 V. Opremljeni su izmjenjivačem za pretvorbu iz istosmjerne u izmjeničnu struju i transformatorom.

Pri dimenzioniranju autonomnih fotonaponskih sustava potrebno je poštovati određene smjernice. Prvi je korak određivanje korigiranog ukupnog zračenja na lokaciji gdje se sustav postavlja. Njegova se vrijednost određuje u odnosu na srednju dnevnu ozračenost plohe na mjestu postavljanja sustava, i to za njezin godišnji prosjek i za mjesec za koji se očekuje najveća potrošnja (tj. za najnepovoljniji slučaj). Pri tome se u obzir uzimaju razni faktori kao što su: nagib FN modula, zemljopisna širina i dužina, deklinacija i satni kut Sunca. Korigirano ukupno zračenje određuje se jednadžbom (3-2):

$$E_{kor} = E_{uk} \cdot F_k \tag{3-2}$$

gdje je:

E_{kor} – korigirano ukupno zračenje, kWh/(m^{2}d)

E_{uk} – srednja dnevna ozračenost plohe usmjerene prema jugu za ukupno Sunčevo zračenje na mjestu postavljanja FN modula, kWh/(m^{2}d)

F_k – korekcijski faktor ovisan o nagibu modula u odnosu na vodoravnu plohu i azimutu plohe

Sljedeće što treba odrediti su dnevne energetske potrebe potrošača. Dnevna potrošnja računa se kao umnožak nazivne snage i vremena rada uređaja tijekom dana, s pomoću jednadžbe (3-3):

$$E_{potr,d} = \sum_{j=1}^{n} (P_{n,j} \cdot t_j) \tag{3-3}$$

gdje su:

$E_{potr,d}$ – dnevna potrošnja električne energije u objektu, kW h/d

P_n – nazivna snaga pojedinog trošila, kW

t – vrijeme rada pojedinog trošila u danu , h/d

Nakon procjene potrošnje električne energije odabire se odgovarajući napon u sustavu, odnosno donosi se odluka o ugradnji izmjenjivača u sustav. Pri tome treba obratiti pozornost na činjenicu da je većina elektroničkih komponenti prilagođena za rad na izmjeničnoj mreži nazivnog napona 230 V. Nakon odabira napona slijedi odluka o odabiru fotonaponskog sustava s obzirom na uvjete na mjestu postavljanja i broj fotonaponskih modula. Broj fotonaponskih modula bitan je kako bi se pravilno odredile i dobile željene izlazne vrijednosti struje i napona. Nakon dimenzioniranja fotonaponskog sustava slijedi njegovo izvođenje. Pri izvođenju se treba držati nekoliko osnovnih smjernica kako bi se osigurao kontinuirani rad i maksimalna učinkovitost sustava. Najvažnije je omogućiti fotonaponskom sustavu što dužu izloženost Sunčevom zračenju. Pri postavljanju treba paziti da sustav bude postavljen pod odgovarajućim kutom te da je što je moguće manje zasjenjen od susjednih zgrada, objekata, raslinja itd. Pri izvođenju električnih instalacija fotonaponskog sustava treba poštovati propise i norme o izvođenju instalacija niskog napona, a posebice s obzirom na zaštitu od strujnog udara i od požara. [9]

3.2.2. Umreženi fotonaponski sustavi

Umreženi fotonaponski sustavi su sustavi u kojima se električna energija dobiva proizvodnjom iz vlastitog fotonaponskog sustava i iz javne elektroenergetske mreže. Osnovni razlog primjene umreženih fotonaponskih sustava je već spomenuta nemogućnost skladištenja energije kod

autonomnih sustava. Kod umreženih sustava nije potreban spremnik energije jer se u slučaju niske proizvodnje, a visoke potrošnje energija može dobivati iz javne elektroenergetske mreže. U slučaju da je proizvodnja električne energije veća od njezine potrošnje, energija se predaje javnom elektroenergetskom sustavu te on u oba slučaja preuzima ulogu spremnika energije. Samim time umreženi fotonaponski sustavi su jeftiniji, s obzirom na to da su spremnici energije poput akumulatora relativno skupi i zahtijevaju redovito održavanje. Trenutno umreženi sustavi dominiraju u fotonaponskim sustavima s oko 90 % udjela tržišta, ali postoje tendencije pada i povećanje korištenja autonomnih sustava. Razlog je tomu što u nerazvijenim zemljama velika većina objekata nema pristup javnoj elektroenergetskoj mreži.

Umreženi fotonaponski sustavi mogu se pojaviti u nekoliko osnovnih izvedbi, ovisno o mjestu gdje se nalazi izmjenjivač i o njegovoj ulozi u sustavu. U skladu s time danas postoji više izvedbi umreženih fotonaponskih sustava:

a) rješenje sa središnjim izmjenjivačem
    - rješenje za niski napon sa serijskim spajanjem modula
    - rješenje za visoki napon s paralelnim spajanjem modula
    - rješenje za visoki napon
    - rješenje s nadređenim i podređenim izmjenjivačima
b) rješenja s granskim izmjenjivačima
    - rješenje s izmjenjivačem u grani
    - rješenje s podgeneratorom
    - rješenje tima
c) rješenje s regulatorima veće snage
d) rješenje s modulski izmjenjivačima
e) rješenje s istosmjernom sabirnicom

Kod dimenzioniranja umreženih kao i kod autonomnih treba odrediti osnovne značajke i radne parametre te se s pomoću njih odabire oprema. Prvo se dimenzionira veličina sustava kako bi se odredila ukupna površina i vršna snaga sustava. Pri tome je bitna raspoloživa površina plohe za postavljanje te financijska mogućnost korisnika. Vršna snaga sustava ovisi o tehnologiji izrade sustava, a najčešće su to fotonaponski moduli od polikristalnog silicija gdje se može uzeti da površina modula vršne snage 1 kW iznosi 10 m^2. Nakon određivanja ukupne vršne snage slijedi dimenzioniranje izmjenjivača. Izmjenjivač se dimenzionira prema odnosu omjera snage električne struje na ulazu i izlazu, te mora vrijediti odnos (3-4):

$$0{,}83 \cdot P_{i,dc} < P_{i,ac} < 1{,}25 \cdot P_{i,dc} \quad (3\text{-}4)$$

gdje je:

$P_{i,dc}$ - električna snaga (istosmjerna) na ulazu u izmjenjivač, W

$P_{i,ac}$ - električna snaga (izmjenična) na izlazu iz izmjenjivača, W

Također treba pripaziti da izlazni napon solarnog generatora, odnosno ulazni napon izmjenjivača ovise i o temperaturi, što znači da treba uzeti u obzir razlike u radu tijekom zime i ljeta. Nakon određivanja veličine sustava i vrste izmjenjivača, treba odrediti potencijal za dobivanje električne energije kao i kod autonomnih fotonaponskih sustava s pomoću relacije (3-2). Sljedeći je korak određivanje moguće godišnje proizvodnje električne energije s obzirom na lokaciju postavljanja sustava s pomoću formule (3-5):

$$E_{pro,g} = 365 \times P_{i,DC} \times PR \times \left(\frac{E_{kor,g}}{S_n}\right) \quad (3\text{-}5)$$

gdje su:

$E_{pro,g}$ – godišnja proizvodnja električne energije u solarnom generatoru, kWh godišnje

PR – pokazatelj učinka fotonaponskog sustava, ovisno o njegovoj izvedbi, =0,7 – 0,8

S_n - korekcijski faktor za odstupanje od nazivnih uvjeta, =1 kW/m^2

$E_{kor,g}$ – korigirano ukupno zračenje, kWh/(m^{2}d)

Pri izvođenju umreženih sustava generalno vrijede jednake smjernice kao i kod autonomnih. Osnovne su razlike u tome što je umreženi sustav najčešće veći, ima složenije električne instalacije i što je sustav uglavnom prilagođen za rad na naponima većim od 120 V, što znači da se treba pridržavati mjera zaštita od strujnog udara. Radove na izvođenju umreženih fotonaponskih sustava smiju izvoditi samo ovlašteni i obučeni stručnjaci, uz poštovanje uputa proizvođača i propisa za instalaciju električnih uređaja. [9]

3.3. Solarne termoelektrane

Solarne termoelektrane rade na principu koncentriranja Sunčevog zračenja kako bi se dobila vrlo visoka temperatura potrebna za stvaranje električne energije. Uvijek se primjenjuje toplinski kružni proces u kojemu se prijenosni medij zagrijava i cirkulira do dijela gdje se proizvodi para. Para se zatim koristi za dobivanje mehaničke energije u turbini, koja zatim pokreće generator i tako stvara električnu energiju. Solarne termoelektrane najčešće imaju sustave koji im omogućuju praćenje kretanja Sunca kako bi povećale učinkovitost. [14]Tri su različita rješenja solarnih termoelektrana relevantna prema iskustvu i potencijalu za ekonomičnu primjenu:

1) parabolična protočna solarna termoelektrana
2) solarni toranj
3) parabolični tanjur. [15]

3.2.1. Parabolična protočna solarna termoelektrana

Parabolična protočna solarna termoelektrana sastoji se od paraboličnog reflektora koji usmjerava Sunčevo zračenje na apsorbirajuću cijev koja se nalazi u središtu parabole, kao što je prikazano na slici 3.2. Kolektor se konstantno naginje kako bi Sunčevo zračenje bilo uvijek usmjereno na apsorber dok se Sunce kreće od istoka prema zapadu tijekom dana. Zahvaljujući svom paraboličnom obliku usmjerene Sunčeve zrake mogu biti od 30 do 100 puta intenzivnije od normalnog intenziteta ovisno o koncentracijskom omjeru. Pri takvom usmjerenom Sunčevom zračenju moguće je postići temperature veće od 400 °C. Kružni proces preko kojega se dobiva energija najčešće je Rankineov direktni ili posredni. Problem nedostupnosti Sunca tijekom dana rješava se toplinskim spremnicima velikog kapaciteta. Optimalna snaga postrojenja računa se na oko 200 M_{we}, i to ponajviše zbog površine, a ukupna efikasnost elektrane ovisi o specifičnoj izvedbi, ali iznosi približno 12 %.

Najveća parabolična solarna termoelektrana SEGS (eng. *Solar Energy Generating System*) nalazi se u pustinju Mojave u Kaliforniji, što je vidljivo na slici 3.5. U pogonu je od 1984. godine, a sastoji se od devet podsustava. Ukupna instalirana snaga svih sustava je 354 MW. Uz SEGS imamo i *Solana Generation Station* instalirane snage 280 MW, *Genesis Solar Energy Project* snage 250 MW i *Solaben Solar Power Station* instalirane snage 200 MW. [14][15]



Slika 3.5. Parabolični kolektor solarne elektrane SEGS [16]

3.2.2. Solarni toranj

Solarni toranj je sustav koji koristi veliko polje ravnih zrcala koja imaju mogućnost praćenja Sunca (*Heliostats*). Zrcala reflektiraju i koncentriraju Sunčevo zračenje na prijemnik na vrhu tornja, kao što je vidljivo na slici 3.6. Sunčeva svjetlost može biti koncentrirana i do 1500 puta. U tornju se s pomoću vode ili istopljenim dušičnim solima zagrijanim do 560 stupnjeva Celzijevih stvara električna energija. Naprednije elektrane imaju i sposobnost skladištenja toplinske energije, što im omogućuje proizvodnju električne energije tijekom oblačnog vremena ili noću. Najveći solarni toranj po instaliranoj snazi, *Ivanpah Dry Lake* u Kaliforniji, ima instaliranu snagu od 392 MW. [14]



Slika 3.6. Solarni toranj Ivanpah Dry Lake [17]

3.2.3. Parabolični tanjur

Solarne termoelektrane s paraboličnim tanjurom koriste zaobljeno zrcalo te izgledaju kao velike satelitske antene. Kako bi se smanjili troškovi, tanjuri nisu napravljeni od jednog zrcala, nego od više manjih ravnih zrcala složenih u obliku tanjura, što je i vidljivo iz slike 3.7. Oblik tanjura usmjerava i koncentrira Sunčevu svjetlost na toplinski prijamnik koji apsorbira i skuplja toplinu te je prenosi na generator. Apsorber je u točki u kojoj je koncentracija Sunčevog zračenja najveća. To je metalna cijev koja se nalazi unutar cijevi koja je vakuumirana i izrađena od borosilikatnog stakla. Staklena cijev onemogućuje ulazak prašine i drugih tijela u apsorber. Kroz metalnu cijev apsorbera struji radni fluid (sintetičko ulje, rastopljena sol ili para pod tlakom). Površina apsorbera zaštićena je selektivnim premazom, antirefleksnim premazom koji filtrira infracrveno zračenje te propušta svjetlost iz vidljivog dijela spektra. Najčešći tip toplinskog motora koji se koristi u paraboličnim tanjurima je Stirlingov motor. Taj sustav koristi zagrijanu tekućinu za pomicanje klipova i stvaranje mehaničke energije, koja se zatim prenosi na generator koji ju pretvara u električnu energiju.

Solarne termoelektrane s paraboličnim tanjurom uvijek su usmjerene direktno prema Suncu i koncentriraju Sunčevu energiju u žarišnoj točki tanjura. Koncentracijski omjer znatno je veći nego kod linearnih sustava koncentracije te se postižu radne temperature veće od 750 °C. Oprema za

proizvodnju električne energije može se postaviti u žarišnu točku antene, što ju čini prikladnom za udaljenije lokacije ili se energija može prikupiti iz više instalacija i pretvoriti u električnu energiju na središnjem mjestu. Budući da Sunčevo zračenje nije uvijek dostupno, dio proizvedene toplinske energije akumulira se u toplinske spremnike kako bi se i u trenutcima kada je količina Sunčevog zračenja nedovoljna i dalje mogla proizvoditi električna energija. Vrijeme proizvodnje električne energije kada nema dostatnog zračenja određeno je kapacitetom toplinskih spremnika.

Američka vojska razvija 1,5 MW sustav u *Depo Tooele Army* u Utahu s 429 Stirlingovih solarnih motora. Sustav bi trebao biti u cijelosti operativan 2017. godine. [14][15]



Slika 3.7. Primjer solarnog paraboličnog tanjura [18]

4. Primjena energije sunčevog zračenja za proizvodnju toplinske energije

4.1. Pasivno grijanje

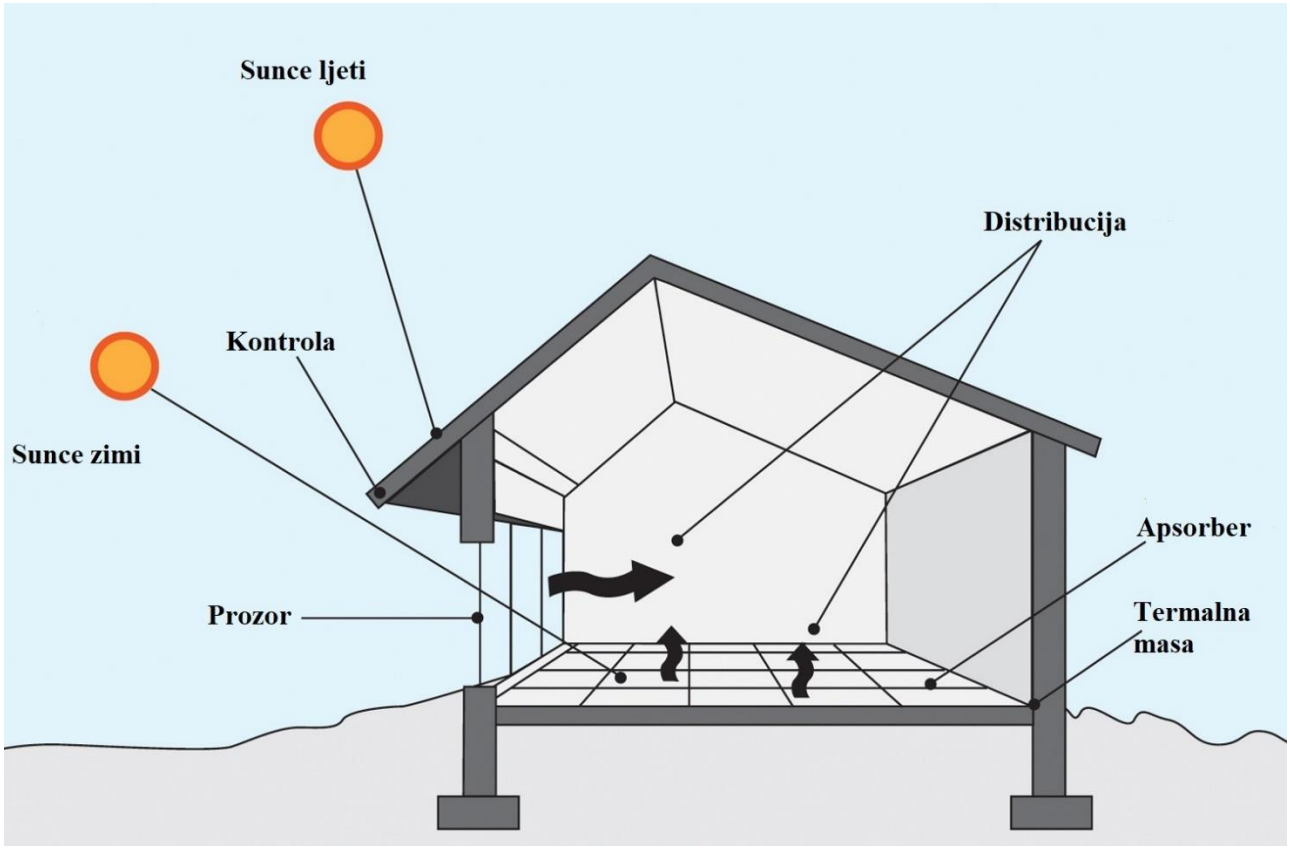
Pasivni sustavi prikupljanja toplinske energije su sustavi koji koriste građevinsku strukturu kao kolektor, spremnik i prijenosni mehanizam toplinske energije s minimalnom količinom mehaničkih naprava. Kada se pravilno sagrade, objekti se mogu bez dodatnih naprava grijati, hladiti i osvjetljavati. Vrsta zgrada koje imaju koristi od primjene pasivnog solarnog grijanja kreću se od najmanjih kuća do najvećih zgrada. Tipično, pasivno grijanje najčešće uključuje:

1) prikupljanje solarne energije preko pravilno orijentiranih prozora okrenutih prema jugu
2) skladištenje toplinske energije u „toplinskoj masi“, sastavljenoj od građevinskih materijala s visokim toplinskim kapacitetom kao što su betonske ploče, zidovi od opeke ili pločice
3) prirodnu raspodjelu pohranjene solarne energije natrag u životni prostor, prema potrebi, kroz mehanizme prirodne konvekcije i zračenja
4) specifikacije prozora kako bi se omogućilo što veće primanje topline na južnim prozorima.

Pasivni sustavi za solarno grijanje nemaju visok početni trošak ili dugoročni rok povrata, koji su uobičajeni s aktivnim sustavima solarnog grijanja. Povećana udobnost korisnika još je jedna korist kod pasivnog solarnog grijanja. Ako se pravilno oblikuju, pasivne solarne građevine su svijetle i sunčane te u skladu s promjenama klime i prirode. Kao rezultat toga, manje je fluktuacija temperature, što pridonosi većem stupnju stabilnosti temperature i toplinskoj udobnosti. Osiguravajući divno mjesto za život i rad, pasivne solarne građevine mogu pridonijeti povećanom zadovoljstvu i produktivnosti korisnika. Osim toga, pasivni solarni dizajn ne generira stakleničke plinove i usporava iscrpljivanje fosilnih goriva. [19]

Prema slici 4.1. pasivni sustav solarnog grijanja mora se sastojati od sljedećih ključnih komponenti, od kojih sve moraju raditi zajedno kako bi dizajn bio uspješan:

1) otvori (kolektori)
2) apsorberi
3) termalna masa
4) distribucija
5) kontrola.



Slika 4.1. Ključne komponente pasivnog solarnog grijanja [7]

U pasivnom sustavu solarnog grijanja otvor (kolektor) je veliko staklo (prozor) kroz koje Sunčeva svjetlost ulazi u zgradu. Obično se otvor/otvori moraju okrenuti unutar 30° prema jugu i ne smiju biti u hladu drugih zgrada ili stabala od 9 do 13 sati svakog dana tijekom sezone grijanja.

1) Tvrda, zamračena površina skladišnog elementa poznata je kao apsorber. Ova površina - koja se može sastojati od zidova, podova, pregrada ili posude za vodu – nalazi se na izravnom putu Sunčeve svjetlosti. Sunčeva svjetlost tada udara u površinu i apsorbira se kao toplina.
2) Termalna masa sastoji se od materijala koji zadržavaju ili pohranjuju toplinu proizvedenu Sunčevom svjetlošću. Razlika između apsorbera i toplinske mase, iako često čine isti zid ili pod, jest da je apsorber izložena površina, dok je termalna masa materijal ispod ili iza nje.
3) Distribucija je metoda kojom solarna toplina cirkulira iz točaka prikupljanja i skladištenja na različita područja zgrade. Strogo pasivni dizajn koristit će isključivo tri prirodna načina prijenosa topline: kondukcija, konvekcija i zračenje. U nekim aplikacijama, međutim, ventilatori, kanali i ventilatori mogu pomoći pri distribuciji topline kroz zgradu.

4) Elementi koji pomažu u nadziranju i pregrijavanju pasivnog sustava solarnog grijanja obuhvaćaju krovne presvlake koje se tijekom ljetnih mjeseci mogu upotrijebiti za sjenčanje površine otvora blende, elektronički uređaji za prepoznavanje (senzori), kao što je diferencijalni termostat koji signalizira uključivanje ventilatora, radni otvori i tende.

Strategije pasivnog solarnog grijanja trebale bi se koristiti samo kada je to prikladno. Pasivno solarno grijanje najučinkovitije je u manjim zgradama. Razne strategije dizajniranja zgrada, poput *trombe* zidova, postoje kako bi ublažile neželjeno blještanje i prekomjerno povećanje topline, ali treba paziti pri uvođenju Sunčeve topline u radne prostore. Pasivno solarno grijanje često se koristi u prostorijama s mnogo cirkulacije poput lobija i atrija, hodnika, soba za odmor i drugih prostorija u kojima se proizvodi manje topline. Može se reći da postoji pet ključnih pravila za gradnju pasivnih objekata u hladnoj klimi:

1) Duža os kuće trebala bi biti sagrađena u smjeru istok-zapad.
2) Sobe u kojima ljudi provode većinu vremena trebale bi se nalaziti na južnoj strani objekta, a na sjevernoj strani trebale bi biti kupaonice, radne sobe, stubišta, hodnici itd.
3) Na južnoj strani objekta trebalo bi se nalaziti mnogo staklenih površina te malo ili nimalo na sjevernoj strani kuće.
4) Krovne presvlake na južnoj strani kuće trebale bi biti dizajnirane za zasjenjivanje južnih prozora tijekom ljetnog solsticija, ali tijekom zimskog solsticija mora biti omogućeno osunčavanje južnih prozora.
5) Objekt treba sadržavati dovoljno termalne mase kako bi se zadržalo dovoljno topline koja dolazi kroz prozore. [7]

Iako u teoriji svi postupci i koraci planiranja i gradnje objekata prema opisanim principima i koracima djeluju tehnički ispravni i zadovoljavajući, u praksi to najčešće ne zadovoljava postavljene kriterije prije same gradnje. Često se postavlja pitanje rezultiraju li ta načela dizajna uistinu uštedom energije. Naravno, kao i mnoge druge stvari, tako i gradnja objekata prema načelima gradnje pasivnih objekata za iskorištavanje Sunčeve energije ima svojih nedostataka:

1) Termalna masa je skupa i otežava gradnju i oblikovanje objekta. Termalna masa nije responzivna na brze promjene temperature i vremena; držanjem objekta hladnim kada ga se želi ugrijati ili držanjem objekta toplim kada ga se želi ohladiti. Termalna masa smanjuje udobnost osoba unutar objekta jer to pridonosi uštedi energije. U posljednje

vrijeme sve se više podova u objektima gradi materijalima manje termalne mase kako bi ih se lakše kontroliralo i istovremeno povećala udobnost stanara.

2) Ugradnja previše prozora na južnoj strani objekta skuplja je negoli je vrijednost topline koja se prikupila kako bi se opravdala cijena prozora. Novac koji je planiran za ugradnju prozora na južnoj strani bio bi bolje uložen u druge mjere uštede energije.

3) Današnji su objekti vrlo dobro izolirani i hermetički zatvoreni. To znatno pomaže njihovu grijanju i hlađenju te smanjuje količinu potrebne energije za zagrijavanje. Međutim, poboljšanja u izolaciji i brtvljenju zraka čine objekte koji imaju previše staklenih površina na južnoj strani pregrijanima. Stoga je važno izbjeći prekomjerno ostakljivanje površina i napraviti dobar odabir samog stakla. [7]

4.2. Solarni toplinski kolektori

Europsko tržište solarnih toplinskih kolektora raste prosječno za 18 % godišnje u posljednjih deset godina. Do kraja 1999. godine instalirana je ukupna površina kolektora od 8,5 milijuna metara četvornih, od čega je 75 % bilo u Grčkoj, Njemačkoj i Austriji. Cijena solarnih kolektora je prepolovljena s oko 12.000 eura 1984. na 6000 eura 2002., a daljnji pad cijena se nastavio.[2] Do 2005. u svijetu je bilo instalirano 111^5 GWt kapaciteta solarnih kolektora. Najveću količinu instaliranih kapaciteta ima Kina, s 52 GWt, a odmah iza nje su Turska, Njemačka i Japan s oko 5 GWt.

Solarni kolektori preuzimaju energiju Sunčevog zračenja i griju medij (vodu). Najčešće se koriste za grijanje vode u kućanstvima i bazenima, za dogrijavanje vode itd. Mogu se kategorizirati prema temperaturi na kojoj griju vodu:

1) Niskotemperaturni kolektori: bez pokrova za grijanje, perforirane ploče za predgrijavanje zraka, solarni pločasti kolektori
2) Srednjetemperaturni kolektori: izolirani kolektori s pokrovom
3) Visokotemperaturni kolektori: vakumirane cijevi, koncentrirajući kolektori [15]

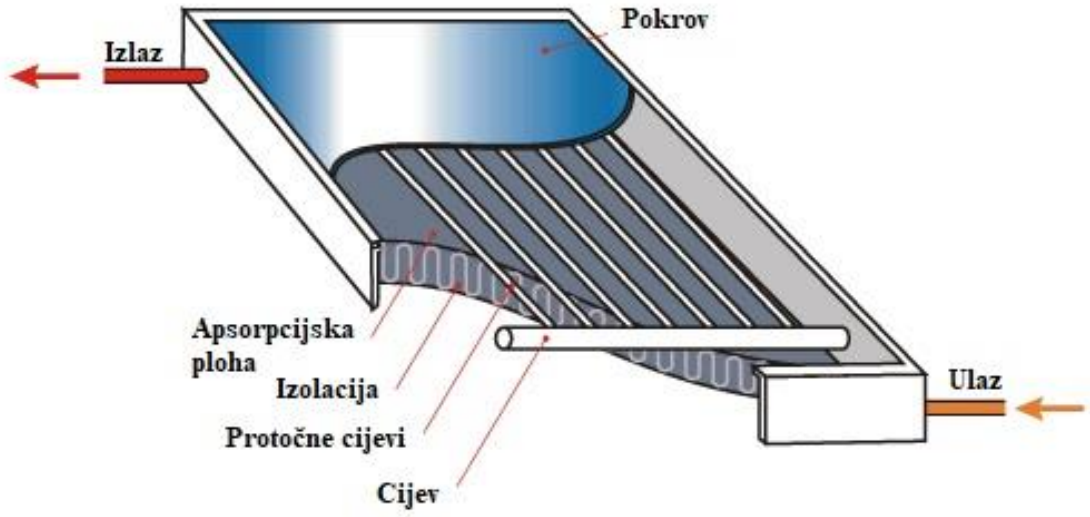
Princip rada solarnih kolektora može se modelirati jednostavnim modelom u kojemu je preuzeta toplina u mediju proporcionalna transmitivnosti pokrova (τ) i apsorptivnosti apsorbera (α), a gubitci proporcionalni koeficijentu ukupnih gubitaka (kW/m^2 K) i razlici temperature medija prema okolišu (ΔT). Pojednostavljeno obje topline su proporcionalne faktoru (F) prijenosa topline

između apsorbera i vode. Za kolektor površine A dobivena toplina Q_k u vremenu Δt ovisi o ozračenosti prema izrazu (4-1). [15]

$$Q_k = F \cdot A \left[\tau \cdot \alpha \cdot H - k \cdot \Delta T \cdot \Delta t \right] \quad (4\text{-}1)$$

4.2.1. Solarni pločasti kolektori

Ravni pločasti kolektor jedna je od tri glavne vrste solarnih kolektora, koji su ključne komponente u aktivnim sustavima solarnog grijanja. Prikazani na slici 4.2., solarni pločasti kolektori najčešći su solarni kolektori upotrijebljeni za grijanje vode u domovima te za grijanje prostorija. Pločasti solarni kolektor sastavljen je u osnovi od jednog izoliranog metalnog okvira sa staklenim ili plastičnim poklopcem i tamno obojene apsorbirajuće podloge. Sunčevo zračenje upija apsorbirajuća podloga i prenosi toplinu na fluid koji cirkulira kroz kolektor u cijevima. Solarni pločasti kolektori najpogodniji su za uporabu gdje nisu potrebne visoke temperature zagrijavanja kao što je zagrijavanje vode u kućanstvu i grijanje prostorija. Prednosti su solarnih pločastih kolektora što apsorbiraju i direktno i difuzno Sunčevo zračenje i ne zahtijevaju opremu za praćenje kretanja Sunca, što ih u konačnici čini znatno jeftinijima. Solarni pločasti kolektori prema mediju koji teče kroz cijevi mogu se podijeliti na kolektore s tekućim medijem i kolektore sa zračnim medijem.



Slika 4.2. Solarni pločasti kolektor [20]

Kolektori s tekućim medijem prikladniji su za zagrijavanje vode. Površina kolektora najčešće je manja, a može se koristiti za grijanje i hlađenje te puno učinkovitije prenosi toplinu. Međutim, kolektori s tekućim medijem mogu imati problema s curenjima prijenosnog medija i samim time korozijom kolektora, a također je potrebno ugraditi mehanizme zaštite od pregrijavanja ljeti i smrzavanja zimi.

Kolektori sa zračnim medijem su jeftiniji, nemaju problema s korozijom dijelova kolektora, zamrzavanjem i pregrijavanjem medija, a imaju i manje gubitke u prijenosu energije jer se ugrijani zrak direktno koristi za zagrijavanje prostora. Problemi kod kolektora sa zračnim medijem jesu ti što se ne mogu koristiti za hlađenje prostorija i teže je otkriti curenje zraka iz cijevi, što rezultira smanjenjem učinkovitosti kolektora.

Propisno dizajnirani pločasti kolektori imaju predviđeni životni vijek od 10 do 25 godina, a ponekad i duže. Napredak u smanjenju cijene kolektora vjerojatno će se kretati u smjeru proizvodnje većeg broja kolektora, a samim time i jeftinijim proizvodnim procesima. [21]

4.2.2. Vakuumski kolektori

Ova vrsta kolektora koristi vakuum između apsorbera i vanjske stijenke stakla kako bi se smanjili gubici prijenosa topline nastali konvekcijom i kondukcijom. Vakuumski kolektori prema principu rada djeluju jednako kao i pločasti kolektori. Sunčevo zračenje prolazi kroz vanjsku stijenku stakla i apsorbira se u obloženom apsorberu. Zatim se primljena toplina prenosi na tekući medij koji prolazi kod kolektor. Većina vakuumskih kolektora dizajnirana je da prikuplja i direktno i difuzno Sunčevo zračenje, ali određene vrste su posebno dizajnirane za učinkovitije prikupljanje direktnog Sunčevog zračenja. Iako su vakuumski kolektori znatno skuplji od pločastih, oni su mnogo isplativiji i ekonomičniji kada su potrebne visoke temperature zagrijavanja. [21]

4.2.3. Koncentrirajući kolektori

Koncentrirajući kolektori rade na principu preusmjeravanja Sunčevog zračenja u žarišnu točku u kojoj se nalazi apsorber. Ovi kolektori mogu proizvesti vrlo visoke temperature efikasnije od

pločastih kolektora zato što je apsorpcijska površina manja. Većina koncentrirajućih kolektora ne može iskoristiti difuzno Sunčevo zračenje i zahtijeva opremu za okretanje prema Suncu. Postoji više vrsta koncentrirajućih kolektora, a najpopularnije su parabolične protočne i linearne Fresnelove. [21]

5. Izračun proizvodnje električne energije pomoću FN sustava

U jednoj kući gdje boravi 4 osobe godišnje se potroši 6340 kWh električne snage godišnje. Kako bi smanjili količinu električne energije preuzete iz javne elektroenergetske mreže ugrađuje se umreženi fotonaponski sustav. Fotonaponski sustav, u ovom primjeru, vršne je snage 1kW, ugrađen je na krov okrenut prema jugu sa nagibom od 9º od horizontalne plohe. Srednja godišnja ozračenost vodoravne plohe na području instaliranja sustava iznosi 1250 kW/m^2.[22] Ukupni gubitci sustava procijenjeni su na 15%, a učinkovitost izmjenjivača iznosi 90%.

Izmjenična snaga takvog FN sustava iznosila bi:

$$P_{ac} = 1000 \cdot 0{,}85 \cdot 0{,}90 = 765 \text{ W} = 0{,}765 \text{ kW}$$

Prosječna mjesečna potrošnja iznosi $W_{sr} = 528{,}33$ kWh, a mjesečna prosječna vrijednost Sunčevog zračenja dana je tablicom 5.1. :

Tablica 5.1. Prosječna vrijednost Sunčevog zračenja [23]

Mjesec	**H_m [kWh/m^2]**
Siječanj	38,8
Veljača	57,8
Ožujak	117
Travanj	152
Svibanj	182
Lipanj	190
Srpanj	203
Kolovoz	183
Rujan	126
Listopad	93,9
Studeni	49,2
Prosinac	30,7

Snaga koju sustav daje svaki mjesec može se računati pomoću izraza (3-6):

$$W_m = P_{ac} \cdot H_m \tag{3-6}$$

Gdje je:

W_m- mjesečna proizvodnja električne energije, kWh mjesečno

P_{ac} – izmjenična snaga FN sustava, W

H_m – prosječna vrijednost Sunčevog zračenja, kWh/m^2 mjesečno

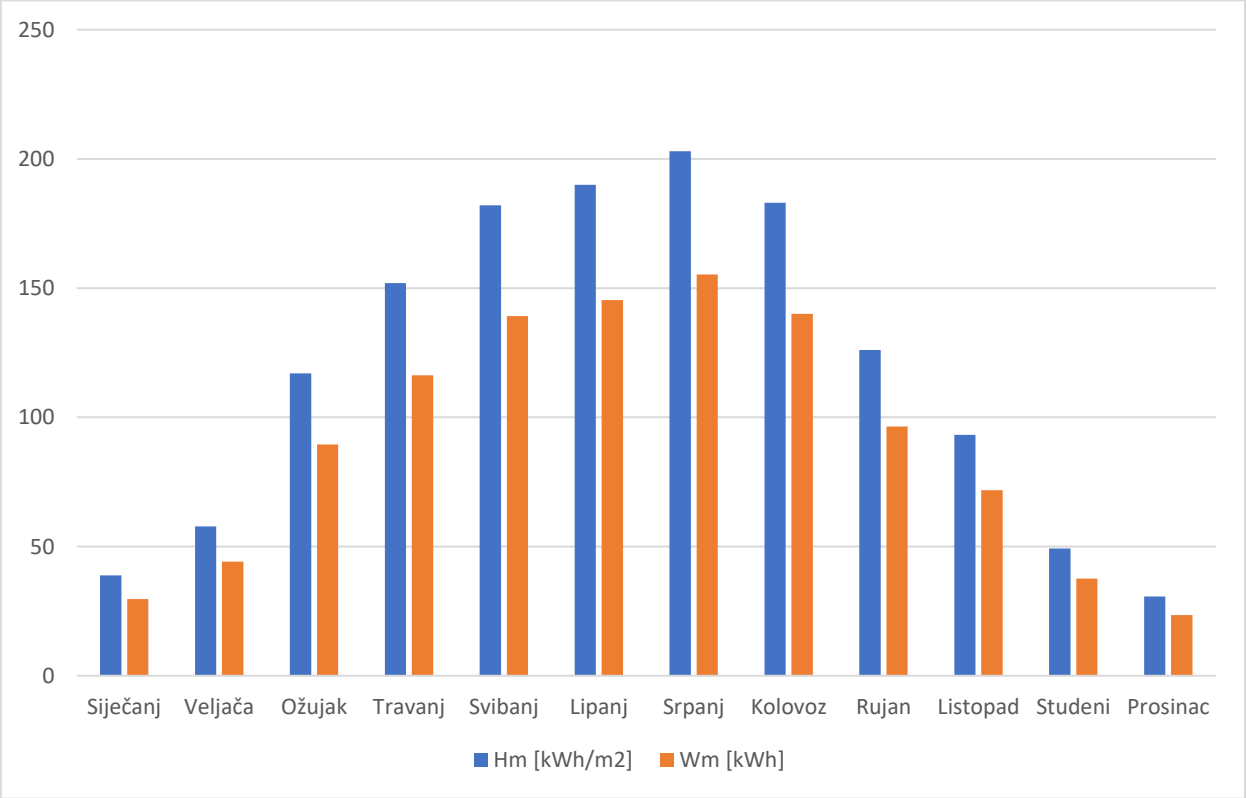
Računajući snage dobivene za pojedini mjesec dobije se tablica 5.2. :

Tablica 5.2. Proračun potrošnje električne energije po mjesecima

Mjesec	W_{sr} [kWh]	W_m [kWh]	$W_{sr} - W_m$ [kWh]
Siječanj	528,33	29,682	498,648
Veljača	528,33	44,217	484,113
Ožujak	528,33	89,505	438,825
Travanj	528,33	116,28	412,05
Svibanj	528,33	139,23	389,1
Lipanj	528,33	145,35	382,98
Srpanj	528,33	155,295	373,035
Kolovoz	528,33	139,995	388,335
Rujan	528,33	96,39	431,94
Listopad	528,33	71,8335	456,4965
Studeni	528,33	37,638	490,692
Prosinac	528,33	23,4855	504,8445
Σ	6340	1088,91	5251,059

Iz tablice se vidi da sustav godišnje proizvede 1088,91 kWh što iznosi 17,18% ukupne potrošene energije u kućanstvu.

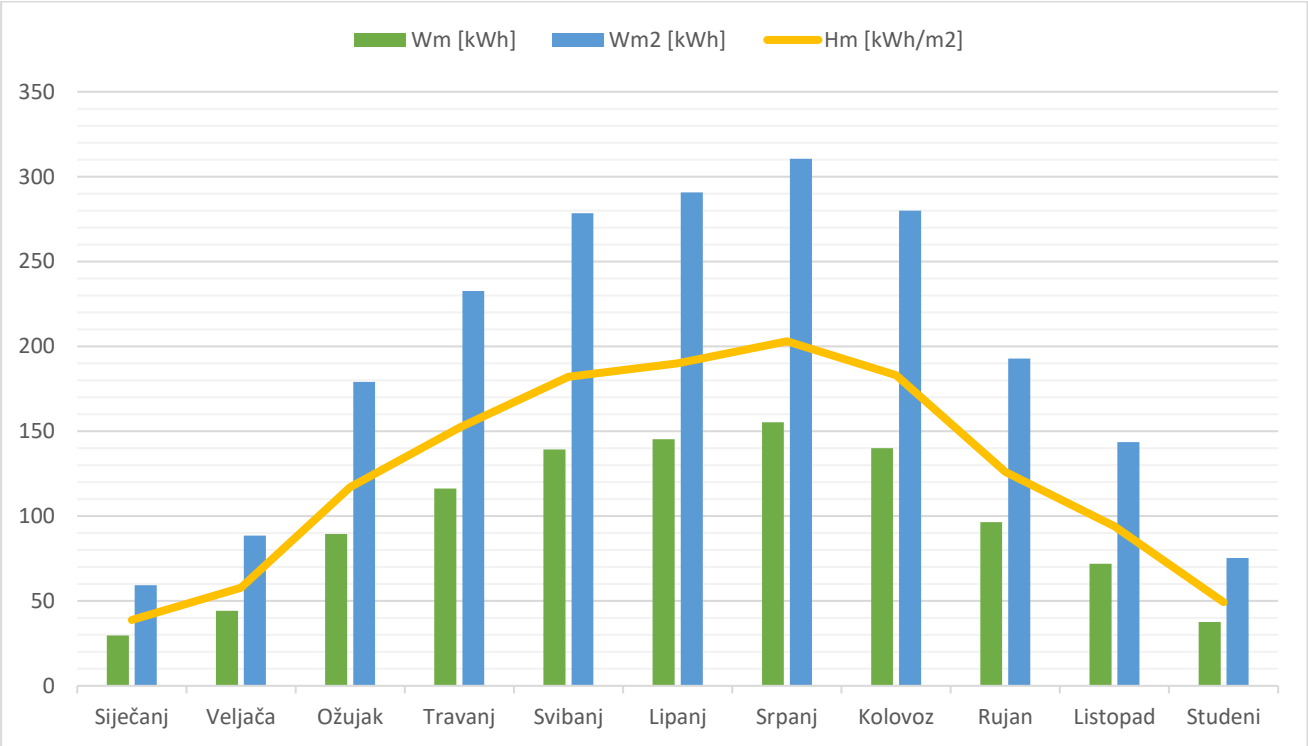
Grafikon 5.1. Usporedba količine Sunčevog zračenja i dobivene električne energije



U grafikonu 5.1. se lakše vidi kako se mijenja proizvodnja energije u ovisnosti o godišnjim dobima, u ljetnim mjesecima je najveća kada je Sunčevo zračenje najjače dok je u zimskim mjesecima slabija.

Također se može usporediti razlika između Sunčevog zračenja (Hm[kWh/m^2]), i dobivanja električne energije fotonaponskim sustavom vršne snage 1 kW (Wm [kWh]) i sa fotonaponskim sustavom vršne snage 2 kW (W_{m2} [kWh]), prikazano grafikonom 5.2.

Grafikon 5.2. Usporedba količine Sunčevog zračenja sa fotonaponskim sustavima vršne snage 1 kW i 2 kW



Iz grafikona 5.2. vidljivo je da fotonaponski sustav s vršnom snagom 2 kW proizvodi puno više električne energije za jednaku količinu Sunčevog zračenja naspram fotonaponskog sustava vršne snage 1 kW. Činjenica jest da FN sustav vršne snage 2 kW zauzima veću površinu i samim time prihvaća više Sunčevog zračenja. FN sustav sa vršnom snagom 1 kW bi smanjio godišnji računa za struju za 913,92kn (1 kW = 0,84kn) dok bi sustav sa instaliranom vršnom snagom od 2 kW godišnje uštedio 2172,6 kW odnosno 1824,99kn. Iako bi ušteda u drugom slučaju bila veća, sam sustav kao i sve popratne instalacije su veće a samim time i skuplje od prve.

Moguće je usporediti i kako bi se mijenjala efikasnost sustava mijenjanjem kuta ploča instaliranjem nosača. Idealni kut za danu lokaciju iznosio bi 33º u odnosu na horizontalnu plohu. Takav sustav (vršne snage 1kW) godišnje bi proizvodio 1155,15 kWh, odnosno razlika godišnje

proizvodnje električne energije bi iznosila 66,24 kWh (55,64kn) što nam govori da se investiranje u nosače ne bi bilo ekonomski isplativo.

6. Zaključak

Sunčevo zračenje kao nepresušan izvor energije ima brojne pogodnosti i nedostatke. Sunčevo zračenje je ogroman izvor izravno iskoristive energije čak i u urbanim područjima, što ju čini veoma korisnom i kako za zagrijavanje prostora i potrošne tople vode tako i za dobivanje električne energije za potrebe objekata. Proizvodnja električne energije fotonaponskim sustavima sve više se razvija i primjenjuje, posebno u razvijenijim zemljama. Iako cijene modula po jedinici snage padaju i dalje je ekonomski skupo investirati u fotonaponske sustave zbog njihovog niskog koeficijenta učinkovitosti. To predstavlja najveći problem u fotonaponskoj industriji te se treba naći način za povećanje učinkovitosti fotonaponskih modula. Solarne termoelektrane predstavljaju nove načine proizvodnje električne energije bez zagađivanja okoliša, te se kao takvima pridodaje sve više resursa i pažnje za daljnji razvitak. Sunčevo zračenje se tek od 20.st počinje koristiti za proizvodnju električne energije ali naši pretci su ga koristili za zagrijavanje domova tisućama godina. Pasivno iskorištavanje Sunčeve energije za zagrijavanje objekata, u novije vrijeme i za hlađenje, je jako razvijeno i dobro poznato područje. Konstantni napredci u tehnologijama izrade objekata zajedno sa pomnim planiranjem i arhitekturom dovode do vrlo visokih koeficijenata učinkovitosti očuvanja energije takvih objekata. Osim pasivnim načinom, objekte je moguće i aktivnim načinom zagrijavati odnosno hladiti. Solarni toplinski kolektori su u eksponencijalnom rastu u zadnja dva desetljeća zbog svoje jednostavnosti i relativno niske cijene. Daljnja napredovanja se očekuju u povećanju učinkovitosti solarnih toplinskih kolektora i smanjenju cijena.

Energija dobivena pomoću Sunčevog zračenja će oblikovati budućnost ovisno o daljnjem tijeku njezina razvitka. Trenutačno fotonaponski sustavi iziskuju previše površine za opskrbu velikih potrošača električnom energijom što ih čini skupima i nezanimljivima. Uz sve prednosti Sunčevog zračenja i dalje postoji problem sa dnevnom insolacijom sustava, promjene osunčanosti takvih sustava dovodi do nestabilnosti u proizvodnji energije a današnji sustavi jednostavno to još nisu spremnim prihvatiti. U budućnosti nas čekaju „*Smart-grid"* mreže koje će moći bolje iskorištavati promjenjive izvore energije poput Sunca i vjetra.

Literatura:

[1] REN21, http://www.ren21.net/wp-content/uploads/2016/06/GSR_2016_Full_Report.pdf , datum pristupa: 7.8.2017.

[2] Izvori energije, http://www.izvorienergije.com/energija_sunca.html , datum pristupa: 15.6.2017.

[3] Solar insolation, http://solarinsolation.org/tag/map/ , datum pristupa: 15.6.2017.

[4] U. Eicker, Solar technologies for buildings, Wiley, West Sussex, 2003.

[5]European Construction Sector Observatory, http://pzpb.com.pl/wpcontent/uploads/2017/04/ECSO_AR_TO1_v11.3_clean.pdf , datum pristupa: 11.9.2017.

[6] David Darling, http://www.daviddarling.info/encyclopedia/A/AE_active_solar_energy_system.html , datum pristupa: 25.8.2017.

[7] Green Building Advisor, http://www.greenbuildingadvisor.com/articles/dept/musings/reassessing-passive-solar-design-principles , datum pristupa: 5.9.2017.

[8] Green building design & products for sustainable construction , http://www.greenspec.co.uk/building-design/designing-for-passive-solar/ , datum pristupa: 11.9.2017.

[9] B.Labudović, Osnove primjene fotonaponskih sustava, Energetika marketing, Zagreb, 2011.

[10] Azkurs, http://www.azkurs.org/sustav-pohrane-komprimiranog-zraka-i-zadavanja-tlaka-u-servisn.html?page=3 , datum pristupa: 11.9.2017

[11] Samlex solar, http://www.samlexsolar.com/learning-center/solar-cell-module-array.aspx , datum pristupa: 3.9.2017.

[12] Bilješke s predavanja Osnova energetike i ekologije, prof. Damir Šljivac

[13] Alternative energy tutorials, http://www.alternative-energy-tutorials.com/energy-articles/solar-cell-i-v-characteristic.html , datum pristupa: 27.8.2017.

[14] U.S. Energy Information Administration, https://www.eia.gov/energyexplained/?page=solar_thermal_power_plants , datum pristupa: 1.9.2017.

[15]D.Šljivac, Z.Šimić, Obnovljivi izvori energije s osvrtom na štednju, ETFOS, 2010.

[16] Solaripedia, http://www.solaripedia.com/13/32/solar_energy_generating_systems_(mojave_desert,_california,_usa).html , datum pristupa: 5.9.2017.

[17]International Business Times, http://www.ibtimes.co.uk/mirrors-desert-photos-ivanpah-solar-electric-generating-system-1437448 , datum pristupa: 29.8.2017.

[18] Sustainable Energy (MCEN 4228/5228), http://mcensustainableenergy.pbworks.com/w/page/32178486/Solar%20Parabolic%20Dish%2P , datum pristupa: 30.8.2017.

[19] Whole Building Desing Guide, https://www.wbdg.org/resources/passive-solar-heating , datum pristupa: 5.9.2017.

[20] Solar Advice, https://solaradvice.co.za/flat-plate-solar-water-heating/ , datum pristupa: 15.8.2017.

[21] Solar Heating of Buildings and Domestic Hot Water

[22] Solvis, http://www.solvis.hr/hr/advice/suncevo-zracenje-na-podrucju-hrvatske/ , datum pristupa: 5.9.2017.

[23] European Union, http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps4/pvest.php# , datum pristupa: 27.8.2017.

Popis slika:

Slika 2.1. Insloacijski nivoi u svijetu [3] 2
Slika 2.2. Primjer aktivnog iskorištavanja sunčeve energije [6] 5
Slika 2.3. Primjer pasivnog iskorištavanja sunčeve energije [8] 6
Slika 3.1. Shematski prikaz FN ćelije [10] 7
Slika 3.2. Primjer slaganja fotonaponskih ćelija [11] 8
Slika 3.3. I-V krivulja [13] 10
Slika 3.4. I-V krivulja serijskog i paralelnog spoja modula[13] 12
Slika 3.5. Parabolični kolektor solarne elektrane SEGS [16] 18
Slika 3.6. Solarni toranj Ivanpah Dry Lake [17] 19
Slika 3.7. Primjer solarnog paraboličnog tanjura [18] 20
Slika 4.1. Ključne komponente pasivnog solarnog grijanja [7] 22
Slika 4.2. Solarni pločasti kolektor [20] 25

Popis tablica

Tablica 5.1. Prosječna vrijednost Sunčevog zračenja [22] 28
Tablica 5.2. . Proračun potrošnje električne energije po mjesecima 29

Tablica grafikona

Grafikon 5.1. Usporedba količine Sunčevog zračenja i dobivene električne energije 29
Grafikon 5.2. Usporedba količine Sunčevog zračenja sa fotonaponskim sustavima vršne snage 1 kW i 2 kW 30

Sažetak

U završnom radu je opisana primjena Sunčevog zračenja za dobivanje električne i toplinske energije. Na početku rada su definirane aktivne i pasivne tehnike iskorištavanja Sunčevog zračenja. Nakon toga u glavnom dijelu je opisano dobivanje električne energije pomoću fotonaponskih modula i solarnih elektrana. Zatim je prikazano iskorištavanje Sunčevog zračenja za dobivanje toplinske energije izgradnjom objekata prema načelima pasivne arhitekture. Zatim su opisane solarne termoelektrane i njihovi načini rada. Na kraju rada se nalazi primjer proračuna za dobivanje električne energije pomoću fotonaponskog sustava.

Ključne riječi: Sunce, Sunčevo zračenje, fotonaponski efekt, fotonaponske ćelije, električna energija, toplinska energija, solarni kolektori

Abstract

The final thesis describes application of solar radiation for producing electrical energy and heat. At the beginning of thesis, active and passive solar radiation techniques are defined. After that, in the main part is described producing of electrical energy by means of photovoltaic modules and solar power plants. Subsequently is shown exploitation of solar radiation for obtaining heat energy by building objects according to the principles of solar architecture. Then, solar power plants and their functioning is described. At the end of work, there is an example of calculating the production of electrical energy from photovoltaic system.

Key words: Sun, solar radiation, photovoltaic effect, photovoltaic cell, electrical energy, heat energy, solar collectors

Životopis

Ivan Jakšić rođen je 30. svibnja 1995. u Osijeku. Pohađao je Osnovnu školu „Ivan Filipović“ u Osijeku, gdje zatim upisuje „Prirodoslovno-matematičku gimnaziju“. Nakon završene srednje škole 2014. upisuje preddiplomski studij elektrotehnike na Fakultetu elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija u Osijeku.

Govori engleski i njemački jezik. Tijekom obrazovanja stekao je znanja za rad s Microsoft office paketom. Na trećoj godini studija ulazi u radni odnos s obrtom gdje uči o automatici i upravljanju.

Nakon završetka preddiplomskog sveučilišnog studija namjera mu je upisati diplomski sveučilišni studij elektrotehnike u Osijeku.

U Osijeku 11. rujna 2017. Ivan Jakšić

Potpis: