

Termalne solarne elektrane

Ivančan, Josip

Undergraduate thesis / Završni rad

2020

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **Josip Juraj Strossmayer University of Osijek, Department of Physics / Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Odjel za fiziku**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:160:643886>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-11-27**



Repository / Repozitorij:

[Repository of Department of Physics in Osijek](#)



Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku
Odjel za fiziku



JOSIP IVANČAN

TERMALNE SOLARNE ELEKTRANE

Završni rad

Osijek, 2020.

Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku
Odjel za fiziku



JOSIP IVANČAN

TERMALNE SOLARNE ELEKTRANE

Završni rad

Predložen Odjelu za fiziku Sveučilišta Josipa Jurja Strossmayera

Radi stjecanja zvanja prvostupnika fizike

Osijek, 2020.

Ovaj završni rad izrađen je u Osijeku pod vodstvom izv.prof.dr.sc. Branka Vukovića u sklopu Sveučilišnog preddiplomskog studija fizike na Odjelu za fiziku Sveučilišta Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku.

Sadržaj

| | |
|--|----|
| 1. Uvod..... | 1 |
| 2. SUNČEVA SVJETLOST..... | 2 |
| 3. INSOLACIJA | 4 |
| 4. SUNČEVA TOPLINSKA ENERGIJA..... | 5 |
| 5. SOLARNI SUSTAVI..... | 8 |
| 5.1 PASIVNI SOLARNI SUSTAVI..... | 8 |
| 5.2 AKTIVNI SOLARNI SUSTAVI..... | 8 |
| 6. FOTONAPONSKE ĆELIJE..... | 9 |
| 7. TERMALNE SOLARNE ELEKTRANE | 10 |
| 7.1 NISKOTEMPERATURNI KOLEKTORI | 11 |
| 7.2 SREDNJETEMPERATURNI KOLEKTORI..... | 12 |
| 7.3 VISOKOTEMPERATURNI KOLEKTORI..... | 13 |
| 8. SISTEMSKA IZVEDBA VISOKOTEMPERATURNIH KOLEKTORA..... | 14 |
| 8.1 PARABOLIČNI KOLEKTORI ILI PTC (Parabolic Trough Colector)..... | 14 |
| 8.2 SOLARNI TORNJIVI..... | 16 |
| 8.3 SOLARNI TANJURI | 18 |
| 8.4 FRESNELOVI KOLEKTORI | 19 |
| 9. PREDNOSTI I MANE KORIŠTENJA SOLARNE ENERGIJE | 20 |
| 9.1 PREDNOSTI KORIŠTENJA SOLARNE ENERGIJE..... | 20 |
| 9.2 MANE KORIŠTENJA SOLARNE ENERGIJE..... | 20 |
| 10. UTJECAJ SOLARNIH TERMOELEKTRANA NA OKOLIŠ | 21 |
| 11. Zaključak | 23 |
| Literatura | 24 |

TERMALNE SOLARNE ELEKTRANE

JOSIP IVANČAN

Sažetak

Ovaj rad o termalnim solarnim elektranama započinjemo s kratkim objašnjavanjem sunčeve svjetlosti i insolacije. Nakon upoznavanja s tim pojmovima upoznajemo se sa sunčevom energijom i solarnim sustavima. U glavnom dijelu rada opisane su različite vrste termalnih solarnih elektrana. U završnom dijelu rada navedene su glavne prednosti i mane solarne energije kao i utjecaj solarnih elektrana na okoliš.

Rad je pohranjen u knjižnici Odjela za fiziku.

Ključne riječi: insolacija / kolektori / solarna energija / sunčeva svjetlost / termalne solarne elektrane

Mentor: izv.prof.dr.sc. Branko Vuković

Ocjenjivači:

Rad prihvaćen:

THERMAL SOLAR POWER PLANTS

JOSIP IVANČAN

Abstract

We begin this paper on thermal solar power plants by briefly explaining sunlight and insolation. After getting acquainted with these concepts, we get acquainted with solar energy and solar systems. Then comes the main part of the work and these are thermal solar power plants where different types of the same are described. Finally come the advantages and disadvantages of solar energy as well as the impact of solar power plants on the environment.

Thesis deposited in Department of Physics library

Keywords: collectors / insolation / solar energy / sunlight / thermal solar power plants

Supervisor: izv.prof.dr.sc. Branko Vuković

Reviewers:

Thesis accepted:

1. Uvod

Svrha ovog rada je sažeti ono što znamo o sunčevoj svjetlosti, solarnoj energiji, termalnim solarnim elektranama, te općenito o korištenju obnovljivih izvora energije. Ideja rada je da na početku naučimo što je to sunčeva svjetlost, u kojem se spektru ona sve pojavljuje, njen sastav u atmosferi, a odnosno na površini Zemlje. U sljedećem poglavlju naučit ćemo što je insolacija te kako se ona prikazuje. Nakon insolacije prelazimo na sunčevu energiju koju opisujemo zgodnim grafovima, npr. jedan graf prikazuje odnos ukupne energije koja stigne na Zemlju i iskorištene energije. Glavni dio rada su solarni sustavi i termalne solarne elektrane gdje objašnjavamo kako funkcioniraju fotonaponske ćelije, jedan od najčešćih oblika iskorištavanja sunčeve energije. U radu su opisane različite vrste termoelektrana sa koncentrirajućim zračenjem, a navedeni su i neki primjeri. Na kraju rada navedene su prednosti i nedostaci korištenja solarne energije, a opisani su i utjecaji solarnih elektrana na okoliš.

2. SUNČEVA SVJETLOST

Najbliža zvijezda našem planetu je Sunce, te je ono na taj način, posredno ili neposredno, izvor gotovo sve energije koja je raspoloživa na Zemlji. Sunčeva je energija jedan od osnovnih temelja života na Zemlji i ona je stalno pratila razvoj čovječanstva. U Sunčevom središtu temperature dosežu 15 milijuna °C. Tamo se događaju nuklearne reakcije odakle i potječe Sunčeva energija. Riječ je o fuziji, kod koje nastaje helij (spajanjem vodikovih atoma), a pritom se oslobađa velika količina energije. Na ovaj način, svake sekunde, otprilike 600 milijuna tona vodika prelazi fuzijom u helij, pri čemu se u energiju pretvori masa od oko 4 milijuna tona vodika. Ta se energija u obliku topline i svjetlosti širi u svemir pa tako i do Zemlje dolazi jedan mali dio te energije. Nuklearna fuzija na Suncu se odvija već oko 5 milijardi godina, koliko se procjenjuje njegova starost, a uzevši u obzir raspoložive zalihe vodika može se izračunati da će se fuzija odvijati još oko 5 milijardi godina. Na površini Zemlje se pod optimalnim uvjetima može dobiti 1 kW/m², a realna vrijednost ovisi o godišnjem dobu, lokaciji, vremenskim uvjetima, dobu dana, itd.

Pretpostavlja se da ljudi sunčevu energiju aktivno koriste od 7. stoljeća prije nove ere, kada se uglavnom koristila za potpalu vatre. Tehnologije današnjice upotrebe sunčeve energije uključuju najrazličitije primjene, od automobila na solarni pogon do solarne vrtne rasvjete. Suvremeno društvo prepoznalo je brojne prednosti koje ima uporaba sunčeve energije: smanjenje korištenja i ovisnosti o neobnovljivim izvorima energije odnosno fosilnim gorivima, poboljšanje kvalitete zraka i smanjenje emisija stakleničkih plinova. U isto vrijeme, proizvodnja i ugradnja solarnih sustava postaje nova industrija i potiče razvoj gospodarstva te otvaranje novih radnih mjesta.

Sunčeva svjetlost ili solarno zračenje je čitav spektar elektromagnetskog zračenja koje dolazi sa Sunca. Na Zemlji se Sunčeva svjetlost prigušuje i filtrira kroz Zemljinu atmosferu.

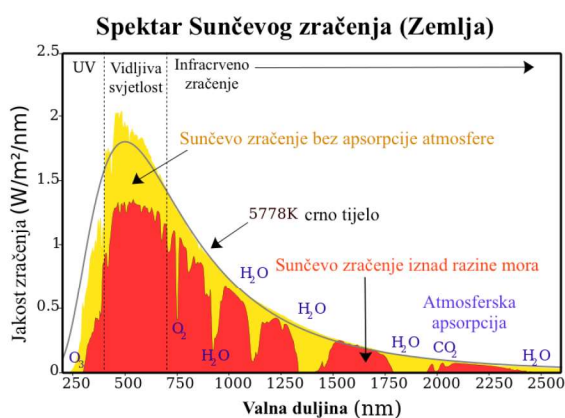
Intenzitet sunčeve svjetlosti najveći je na gornjoj granici atmosfere, a približavanjem tlu postaje sve slabija, zbog apsorpcije i raspršenja na molekulama plinova u atmosferi. Sunčevoj svjetlosti je potrebno 8,3 minute da stigne na Zemlju. Kada Sunčevo zračenje ne prikrivaju oblaci, doživljavamo sunčanje, što je kombinacija toplinskog zračenja i blještavog svijetla. Kada je Sunčevo zračenje prekriveno s oblacima, tada doživljavamo raspršeno Sunčevo zračenje odnosno difuzno Sunčevo zračenje. Svjetska meteorološka organizacija (WMO) definirala je period u kojem je intenzitet Sunčevog zračenja veći od 120 W/m² kao sijanje Sunca odnosno osunčavanje. Trajanje sijanja Sunca ili osunčavanje mjeri se u satima.[1] Sunčevo se zračenje može mjeriti Campbell-Stokesovim heliografom, pirheliometrom ili piranometrom. [2] Luminoznost (L) je definirana kao energija koju emitira neko nebesko tijelo (npr. galaktika ili zvijezda) u jedinici vremena. Mjerna jedinica luminoznosti jest vat (W), a luminoznost Sunca (L_☉) iznosi $L_{☉} = 3,8 \times 10^{26}$ W. [3]

Sunčeva svjetlost omogućuje fotosintezu, koja je neophodna za život na Zemlji.

Spektar Sunčevog zračenja može se usporediti s toplinskim zračenjem idealnog crnog tijela s temperaturom 5778 K (5505 °C). Sunčevo zračenje uključuje infracrvenu, vidljivu i ultraljubičastu svjetlost. [4]

Spektar elektromagnetskog sunčevog zračenja, koje dolazi do Zemljine atmosfere, pojavljuje se u području od 100 nm do oko 1 mm valne duljine. Možemo ga podijeliti u 5 područja:

- ultraljubičasto C ili UVC zračenje, 100 - 280 nm, valne duljine manje od vidljive svjetlosti, zbog Zemljine atmosfere neznatna količina stigne na samo tlo
- ultraljubičasto B ili UVB zračenje, 280 - 315 nm, Zemljina atmosfera apsorbira većinu tog zračenja
- ultraljubičasto A ili UVA zračenje, u rasponu od 315 do 400 nm
- vidljiva svjetlost, 380 nm - 780 nm
- infracrveno zračenje, 700 nm - 1 mm. Dijelimo ga na:
 - IC – A: 700 nm–1400 nm
 - IC – B: 1400 nm–3000 nm
 - IC – C: 3000 nm–1 mm [5]

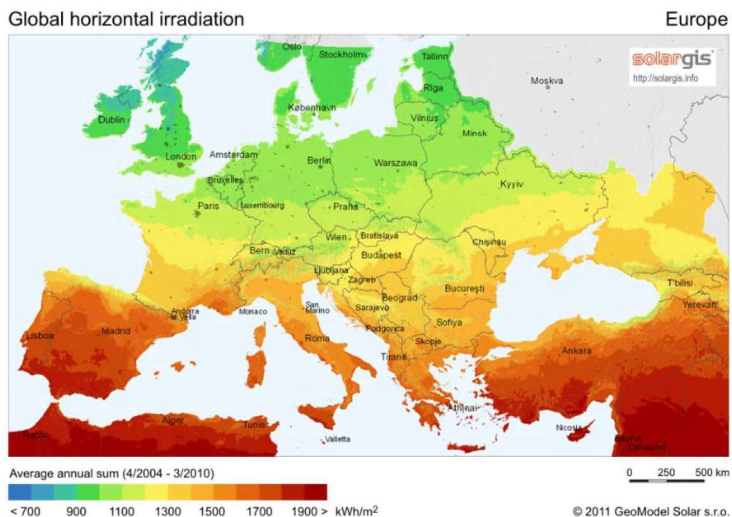


Slika 1 Spektar Sunčevog zračenja (Zemlja) [6]

3. INSOLACIJA

Insolacija je količina energije koju prima Zemlja sa sunčevim zrakama. To zračenje sadrži emitiranu energiju najviše u obliku svjetla i kratkovalnog zračenja. Do Zemljine površine dopijeva samo mali dio kratkovalnog zračenja, dok se preostali dio energije reflektira, raspršuje ili ju apsorbira atmosfera. Insolacija se izražava vremenom (brojem sati) sijanja Sunca nad nekim mjestom tijekom godine.

Postoje stvarno osunčavanje, ono ovisi o okrenutosti obzora (horizonta), vremenu tj. naoblaci i duljini dana sa dnevnim svjetlom i vremenu tj. naoblaci, kao i astronomski moguće osunčavanje, koje je moguće izračunati koristeći Sunčeve deklinacije i zemljopisnu širinu promatranoga mjesta. U Hrvatskoj, očekivano, mjesta na južnom i srednjem Jadranu imaju najviše sati osunčavanja (oko 2 700 sati godišnje), dok se približavanjem prema unutrašnjosti godišnje osunčavanje smanjuje na približno 2 000 sati.[7] Trajanje insolacije je različito u planinskim i nizinskim dijelovima zbog toga što planinski predjeli ljeti imaju više naoblake nego nizinski, a zimi su vedriji od nizinskih dijelova.[8]



Slika 2 Insolacijska karta Europe [9]



Slika 3 Insolacijska karta Hrvatske [10]

4. SUNČEVA TOPLINSKA ENERGIJA

Sunčeva (solarna) toplinska energija je toplinska energija dobivena pretvaranjem iz energije sunčevog zračenja. Koristi se za dobivanje električne struje, grijanje, zagrijavanje i hlađenje zgrada, dobivanje tople vode, itd..

S obzirom da Sunce u jednoj sekundi oslobodi više energije nego što je čovječanstvo iskoristilo tijekom svojeg razvoja, značaj istraživanja Sunčeve energije postaje još veći. Također i istraživanja pretvaranja energije sunčeva zračenja u korisne i iskoristive oblike energije poprima sasvim nove, veće razmjere s golemim potencijalom rješavanja problema sve češćih energetske kriza, koje su u svijetu sve prisutnije.



Slika 4 Godišnje sunčevo zračenje na površini zemlje u usporedbi sa zalihama fosilnih i nuklearnih goriva te godišnjom potrošnjom energije u svijetu [11]

Slika 4 slikovito prikazuje prirodni potencijal Sunca i njegovog zračenja. Sunčevu energiju predstavlja velika žuta kocka. Ona je 50 puta veća od svih zaliha nuklearnih i fosilnih goriva zajedno. Tehnički potencijal energije solarnog zračenja trenutno je još uvijek puno veći od ukupne potrošnje energije u svijetu, koja je na slici prikazana malom plavom kockicom. [11]

Iako se čak oko 30 % energije koju Sunce emitira odbije odnosno reflektira natrag u svemir, Zemlja od Sunca na godišnjoj razini dobiva otprilike $1,07 \cdot 10^{18}$ kWh energije, a to je i do nekoliko tisuća puta više od ukupne godišnje potrošnje iz primarnih izvora energije.

Energija koja se ne odbije u svemir nego su ju apsorbirale atmosfera ili Zemljina površina, pretvara se u toplinsku energiju. Oko 23% te energije potroši se za isparavanje i posljedično za nastajanje atmosferske vlažnosti i oborina, a ostatak, oko 47 %, dolazi do Zemlje u obliku ogromnih količina energije. Zbog zagrijavanja dolazi do isparavanja vodenih površina, stvaranja vjetrova i morskih struja i, najvažnije od svega, omogućen je život na Zemlji.

Interesantno je da se od energije koja dolazi do tla, biljke za proces fotosinteze (za nastanak biomase) koriste tek njenim tisućitim dijelom. Čovječanstvo se pak uglavnom koristi energijom koju su milijunima godina skupljale biljke i to kroz proizvodnju nafte, plina i ugljena.

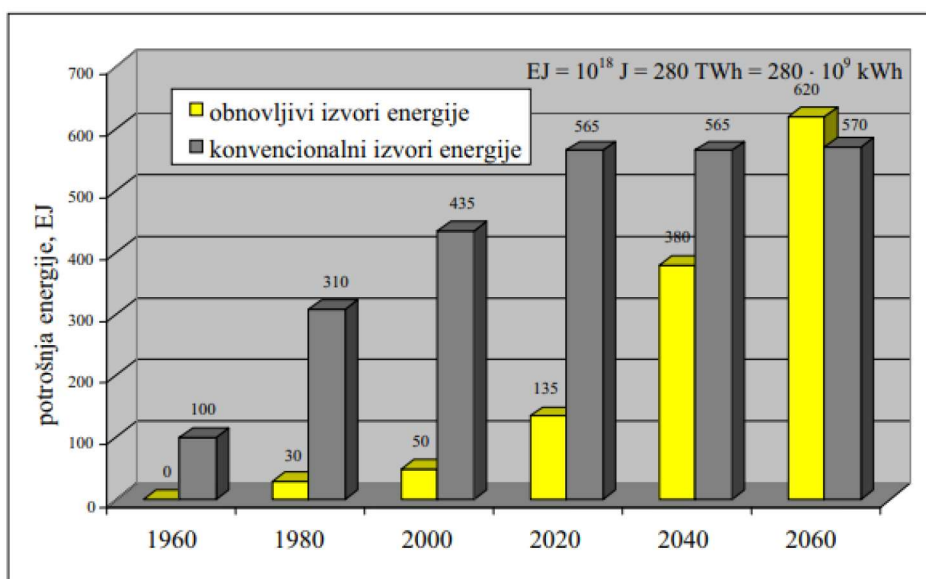
Zbog toga možemo reći da su svi izvori energije, pogotovo obnovljivi, samo različiti oblici, pretvorbe i koncepti energije solarnog zračenja.[11]



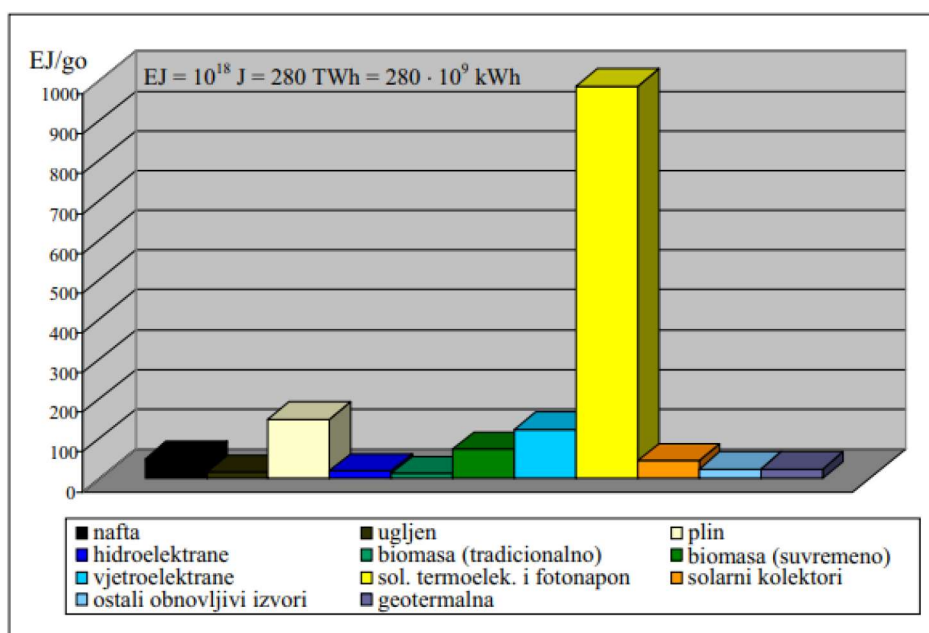
Slika 5 Različite pretvorbe i oblici energije Sunčeva zračenja [11]

Uobičajeni izvori energije (nafta ,plin, ugljen, nuklearna goriva) su iscrpljivi i ograničeni, a njihovo korištenje najvećim je dijelom uzrok ispuštanja stakleničkih plinova, a pogotovo ugljikova dioksida CO₂, koji znatnim dijelom utječe na globalno zatopljenje i klimatske promjene. Shodno tome, potrebno je pronaći balans između načina života suvremenog čovjeka, nivoa tehnološkog razvoja 21. stoljeća, te očuvanja prirode i održivog razvoja.

Upravo zbog svih tih razloga koje smo naveli gore, a i ne samo njih, energiju moramo dobivati iz alternativnih i nekonvencionalnih izvora energije, kao što su energija vode i malih vodotoka, energija vjetra, sunčeva energija, geotermalna energija, energija oseke i plime, energija biomase, energija morskih valova i morskih struja, vodika i sl. To će se siguran sam promijeniti tehnološkim razvojem i povećanjem svjesnosti o klimatskim promjenama i obnovljivim izvorima energije, što i pokazuju slika 6 i slika 7.[11]



Slika 6 Rast obnovljivih izvora energije i udio u ukupnoj potrošnji energije do 2060.godine [11]



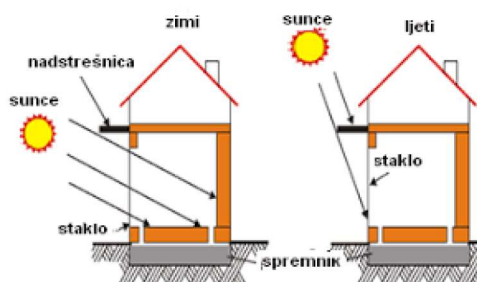
Slika 7 Predviđeni scenarij korištenja primarnom energijom 2100. godine [11]

5. SOLARNI SUSTAVI

Solarnu tehnologiju možemo podijeliti na aktivne i pasivne solarne sustave. U pasivne solarne sustave spadaju sustavi koji koriste samo sunčevo zračenje bez uporabe ikakvih drugih oblika energije. U aktivne sustave, s druge strane, ubrajamo sustave koji koriste dodatne mehanizme poput pumpi i generatora koji se koriste za transformiranje i unošenje sunčeve energije. Aktivni sustavi se obično koriste za dobivanje topline i električne energije, dok sustavi kojima se grije voda mogu biti i aktivni i pasivni.[12]

5.1 PASIVNI SOLARNI SUSTAVI

Kod pasivnih solarnih sustava uglavnom govorimo o dizajniranju i pozicioniranju kuća i zgrada ne bismo li dobili bolje osvjetljenje i uštedili dodatnu energiju grijanjem i hlađenjem. Primjer korištenja sunčeve energije na taj način prikazan je na slici 8.



Slika 8. Pasivno zagrijavanje prostora zimi i ljeti [13]

Kako bi se potencijalno sunčevo zračenje što bolje iskoristilo, pažnja i pozornost se obraća na pozicioniranje i izvedbu prozora, ventilacije, izolaciju kuće, ali čak i boju zidova. [12]

5.2 AKTIVNI SOLARNI SUSTAVI

Među aktivne solarne sustave spadaju:

- Fotonaponske ćelije,
- Solarni kolektori (paneli) ,
- Koncentrirajući solarni sustavi.

Kod fotonaponskih ćelija, sunčeva se energija direktno pretvara u električnu energiju unutar same ćelije. One ne zahtijevaju direktno zračenje da bi generirale struju, te su stoga najprilagodljiviji od svih ostalih solarnih sustava. Mogu biti postavljene na različita mjesta: kuće, zgrade, čak i na vanjske uređaje. Na taj način se mogu namjenski upotrijebiti na određenom objektu ili za određenu funkciju. No, isto tako, mogu se postaviti u oblik fotonaponskih farmi odnosno imati funkciju solarne elektrane.

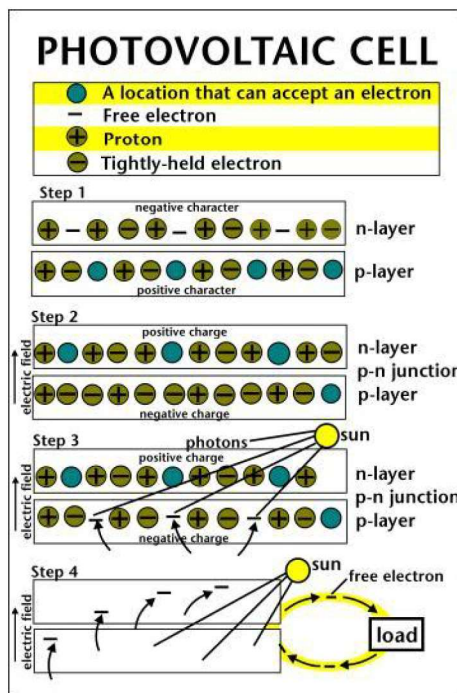
Solarne kolektore najčešće koristimo u svrhu zagrijavanja vode u zgradama i kućama.

Koncentrirajući solarni sustavi proizvode električnu energiju na način da zagrijavaju vodu i pretvaraju vodu u tekućem stanju u vodenu paru koja pokreće turbinu. Za razliku od fotoelektričnih ćelija, koncentrirajući sustavi služe proizvodnji električne energije na većoj skali. Koriste se za proizvodnju električne energije za velike potrošače odnosno za veće industrijske pogone. Koriste sistem zrcala koje koncentrira sunčeve zrake u svrhu dobivanja visoke temperature. Kad govorimo o solarnim termalnim elektranama, obično mislimo na koncentrirajuće solarne sustave.[12]

6. FOTONAPONSKE ČELIJE

Henri Becquerel je 1839. godine počeo promatrati fotoefekt. Početkom dvadesetog stoljeća taj je efekt bio predmet brojnih istraživanja. Čak je i Albert Einstein svoju jedinu Nobelovu nagradu dobio za istraživanje fotoelektričnog efekta. Prvi fotonaponski članak koji je generirao iskoristivu količinu električne energije predstavili su 1954. godine u Bell Labs u SAD-u.

Fotonaponske se ćelije sastoje od dva suprotno nabijena poluvodiča. Kada su izloženi svjetlu, između njih se stvara elektricitet. Ako između fotonaponske ćelije i nekog potrošača zatvorimo strujni krug, poteći će struja i taj potrošač bit će opskrbljen električnom energijom. U fotonaponskim ćelijama se zbog njihovih električkih svojstava stvara istosmjerna struja. Komponentama kao što su baterije i izmjenjivači možemo regulirati, pohranjivati i isporučivati električnu energiju do krajnjih potrošača. Fotonaponski sustavi su vjerojatno najbolje rješenje za one korisnike koji moraju imati stalni i održivi izvor električne energije na udaljenijim mjestima koja nemaju priključak na javnu električnu mrežu.[14]



Slika 9 Elektronička shema fotonaponske ćelije [14]

7. TERMALNE SOLARNE ELEKTRANE

Kada govorimo o termalnim solarnim elektranama, uglavnom mislimo na sustave koncentrirajućeg solarnog zračenja. No, termalna solarna elektrana može biti realizirana i na druge načine. Sustavi koncentrirajućeg sunčevog zračenja uključuju sljedeće vrste solarnih termoelektrana:

- s paraboličnim žljebastim kolektorima,
- sa središnjim (centralnim) prihvatnikom na tornju i poljem heliostata,
- s paraboličnim tanjurastim kolektorima,
- s Fresnelovim kolektorima.[12]

Ovdje ćemo se detaljnije baviti koncentrirajućim solarnim sustavima, no spomenimo i ostale solarne kolektore.

Kolektore solarne energije i solarnog zračenja dijelimo na visokotemperaturne, srednjetemperaturne i niskotemperaturne kolektore. Niskotemperaturni kolektori primjenjuju se u obliku ravnih ploča, a uglavnom se upotrebljavaju za klimatizaciju prostorija i grijanje vode. Srednjetemperaturni kolektori se najčešće izvode kao izolirani kolektori s pokrovom, a uglavnom im je namjena grijanje vode za upotrebu u stambenim ili drugim objektima. Viskotemperaturni kolektori pomoću zrcala ili leća koncentriraju sunčevo zračenje, a koriste se za proizvodnju električne energije.

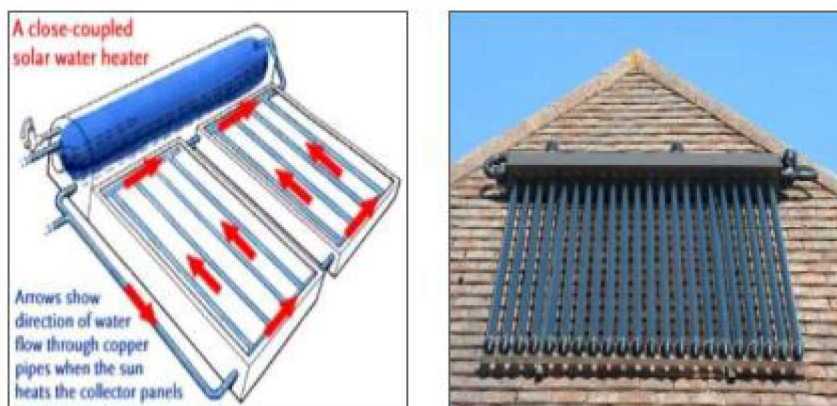
7.1 NISKOTEMPERATURNI KOLEKTORI

Niskotemperaturni kolektori uglavnom su poznati samo kao solarni kolektori. Ovi kolektori sunčevu energiju pretvaraju u toplinsku energiju vode (ili neke druge tekućine). Solarni sustav ovog tipa čine solarni kolektor, spremnik vode i regulacija. U ovakvom se solarnom sustavu koji je zatvoreni sistem direktna difuzna zračenja sunca pretvaraju u toplinu. Toplina se prikuplja solarnim kolektorom, uz pomoć pumpe za cirkulaciju solarne tekućine, a zatim se ona odvodi u spremnik pomoću izmjenjivača topline, a iz spremnika se topla voda može prenositi dalje u kuću ili se akumulirati (uskладиšтити) u spremnike gdje se može dodatno dogrijavati. Na tržištu postoje različite vrste solarnih kolektora. Možemo izabrati između kolektora različitih karakteristika, a razlikuju se po iskoristivosti sunčeve energije, radnom vijeku, montaži, a samim time i cijeni. Osnovne izvedbe na koje dijelimo kolektore su – pločasti (ravni) i vakumski (cijevni).



Slika 10 Pločasti i vakuumski solarni kolektori [14]

Učinkovitost ovakvih kolektora u pretvorbi sunčeve energije dostiže i do 40-60 % (60% samo kod najnovijih tehnologija). Postoje dvije vrste sustava za grijanje vode. Sustav može biti otvoreni, kod takvih sustava voda koju je potrebno zagrijati prolazi kroz kolektor na krovu pa se grije direktno sunčevim zračenjem, ili zatvoreni, u kojem kroz kolektore prolazi tekućina koja se ne smrzava (npr. antifriz). Zato se zatvoreni sustavi mogu koristiti gotovo uvijek i bilo gdje, čak i kad vanjska temperatura padne ispod nule. Stoga, ako je tijekom dana lijepo vrijeme, vodu je dovoljno grijati samo u kolektorima. Ako pak vrijeme nije lijepo i voda se ne može grijati samo u kolektorima oni će svejedno smanjiti potrošnju struje jer će pomoći u grijanju vode.



Slika 11 Otvoreni i zatvoreni solarni sustav [14]

Solarni kolektori su također vrlo korisni i kad je riječ o grijanju bazena. U tom slučaju, temperatura vode je niža nego voda za kupanje i temperaturu je jednostavnije održavati pomoću otvorenih sustava grijanja. Kad se koristi takav sustav optimalna temperatura bazena održava se i nekoliko tjedana više u godini dana nego bez sustava grijanja. To je puno ekonomičnije. Da bismo mogli dobivati toplinsku od sunčeve energije, solarni kolektori moraju biti smješteni na adekvatno mjesto. Mjesta koja su najučinkovitija za postavljanje solarnih kolektora su krovovi s pogledom prema jugu (jugoistok i jugozapad također mogu), idealno pod kutem 37-43°, ali i ravni krovovi su dobra mjesta za smještaj kolektora. Ukoliko se solarna energija koristi samo za dobivanje tople vode, potrebno je 1-1,5 m² kolektorske površine po osobi, no ako se solarni sustav koristi za dodatno dogrijavanje u sustavu grijanja, onda se preporuča minimalno 2,5 m² kolektorske površine po osobi.[14]

7.2 SREDNJETEMPERATURNI KOLEKTORI

Ova vrsta kolektora najčešće se koristi za dobivanje vruće vode za upotrebu u stambenim i komercijalnim objektima, a također se zbog dovoljno visokih temperatura koristi i neposredno za kuhanje, dobivanje soli desalinizacijom i dezinfekciju.



Slika 12 Primjer srednjemetemperaturnog kolektora [15]

7.3 VISOKOTEMPERATURNI KOLEKTORI

Solarni kolektori koji su realizirani kao ravne ploče su najčešće korišteni kolektori koji ne koriste koncentrirajući sistem tamo gdje temperatura medija ne treba prelaziti 95°C. No za efikasnu proizvodnju električne energije potrebna nam je puno veća temperatura od 95°C. U solarnim termoelektranama solarno zračenje se koncentrira uz pomoć zrcala i leća radi postizanja veće temperature. Takvu tehniku nazivamo sunčeva (solarna) koncentrirana energija. I dok se u kućanstvima za grijanje vode i bazena koriste uglavnom pločasti kolektori, od termoelektrana se danas koriste jedino koncentrirajuće solarne termoelektrane (CSP – Concentrated Solar Plant).

U raznim solarnim elektranama koriste se različiti pogonski sustavi ovisno o temperaturi medija s kojim ta solarna elektrana radi. Parne se turbine koriste do 600°C, dok se za veće temperature koriste plinske turbine. Zbog vrlo visokih temperatura potrebno je koristiti različite materijale i tehnike. Tako se primjerice, za temperature veće od 1100°C tekuća fluoridna sol preporuča kao radni medij, te višestupanjski turbinski sustav, čime se može postići efikasnost i do 60%.

S obzirom da je jeftinije spremiti toplinsku energiju nego spremi električnu energiju, solarne termoelektrane se najčešće realiziraju sa spremnicima topline. Na taj način se, osim danju, električna energija može proizvoditi i noću. Solarne elektrane su vrlo pouzdan izvor električne energije na onim lokacijama s pogodnim sunčevim zračenjem (insolacijom).

Unatoč visokom stupnju pouzdanosti, pogodnim lokacijama na kojima se grade takve elektrane te besplatnom, neograničenom izvoru energije, jedina poteškoća kod implementacije takvih elektrana je cijena zrcala, odnosno leća kojih treba biti jako puno da se pokrije velika površina, jer jedino se na taj način mogu dobiti značajnije količine električne energije.



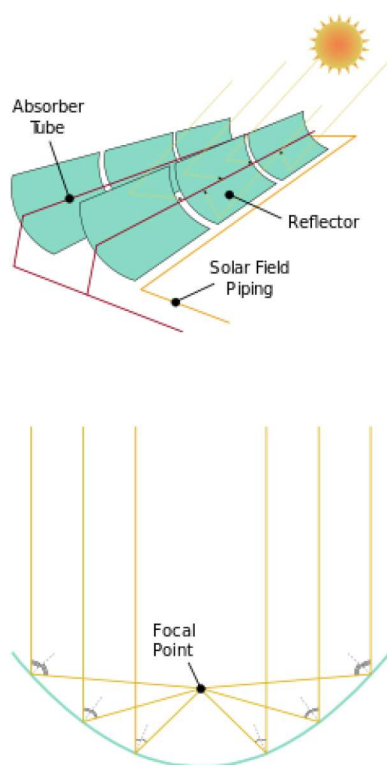
Slika 13 Primjer koncentrirajuće solarne elektrane [16]

8. SISTEMSKA IZVEDBA VISOKOTEMPERATURNIH KOLEKTORA

Kako se mijenja položaj Sunca, potrebno je ugraditi sustave za praćenje promjene položaja Sunca kako zrcala ili leće ne bi mijenjali fokuse. Tako postoje različite vrste kolektora s različitim sustavima praćenja Sunca i različitim konceptima koncentriranja sunčeva zračenja.

8.1 PARABOLIČNI KOLEKTORI ILI PTC (Parabolic Trough Collector)

Od svih koncentrirajućih solarnih elektrana ovaj tip je najstariji i najčešće se koristi (oko 90 %). Snaga koju generiraju ovakve elektrane uglavnom se kreće između 14-80 MW. Ove se elektrane sastoje od parabolično zakrivljenih zrcala (zakrivljena su oko samo jedne osi) koja su poredana u dugačke nizove, a iznad njih u fokusu zrcala nalazi se kolektor. Prednost ovakvih elektrana je što je pomicanje zrcala potrebno samo kada Sunce promjeni svoj položaj u okomitom smjeru, dok u slučaju paralelnog pomaka Sunca to nije potrebno jer zrake svjetlosti i dalje padaju na zrcala. Kroz kolektore u cijevi iznad zrcala najčešće protječe sintetičko ulje koje se djelovanjem Sunčevih zraka može zagrijati do maksimalnih 390 °C. U tim slučajevima efikasnost je oko 14-16 %, dok se korištenjem otopljene soli može postići maksimalno do 550 °C, a efikasnost tada raste na 15-17 %. Površina zrcala se štiti selektivnim, antirefleksnim premazom koji filtrira infracrveno zračenje, te propušta zračenje iz dijela spektra vidljive svjetlosti. Trenutno je u svakodnevnoj komercijalnoj upotrebi devet solarnih polja termalne solarne elektrane SEGS, koja se nalaze u pustinji Mohave u Kaliforniji, a u pogon je u studenom 2008. godine puštena i prva termalna solarna elektrana u Europi, Andasol u Španjolskoj. Do sada je pomoću ovih solarnih elektrana stvoreno više od 12 milijardi kWh električne energije, čime se može opskrbiti 12 milijuna ljudi.



Slika 14 Prikaz funkcioniranja paraboličnih žljebastih kolektora [17]

Pomicanje zrcala u smjeru istok-zapad oko osi sjever-jug da bi se pratilo kretanje Sunca pokreće pogonska jedinica kojom se upravlja iz središnje kontrolne jedinice. Jedna pogonska jedinica obično pokreće jedan red kolektora.

Središnja kontrolna jedinica može raditi na dva načina: temeljena na senzoru za praćenje Sunčeva svjetlosnog intenziteta ili temeljena na astronomsko-matematičkom algoritmu. Kontrolna jedinica temeljena na senzoru za praćenje svjetlosnog intenziteta Sunca koristi fotoćelije kojima pronalazi položaj Sunca, dok kontrolna jedinica koja se temelji na astronomsko-matematičkom algoritmu računa Sunčevu putanju koristeći vrlo precizne matematičke algoritme i proračune za pronalaženje azimuta i kutne visine Sunca prema čemu se zatim određuje smjer zrcala i upravlja nagibom zrcala preko pogonskih jedinica. Toplina se u ovim paraboličnim koncentrirajućim sustavima prenosi kroz dva termička kruga. Prvo kroz solarni toplinski krug, toplina se sintetičkim uljem prenosi od kolektora do generatora i turbine gdje se toplina predaje parno-turbinskom toplinskom krugu u kojem turbina pokreće generator, a radni medij je vodena para. [12]

SOLARNA TERMOELEKTRANA SEGS

Solarna termoelektrana SEGS (engl. Solar Energy Generating Systems) je jedna od najvećih termalnih solarnih elektrana na svijetu. Sastoji se od 9 solarnih polja u pustinji Mohave u Kaliforniji. Tamo je insolacija odnosno broj sunčanih sati među najvećima u SAD-u. Preko 200 tisuća domaćinstava može se opskrbiti električnom energijom koju proizvodi termoelektrana SEGS. U samom postrojenju se nalazi gotov 400 tisuća paraboličnih kolektora, koji se prostiru površinom od 6,5 km². Ponekad se zbog snažnog vjetrova oštećuju ogledala, tako da ih je godišnje oko 3 tisuće potrebno zamijeniti novima. No u slučaju izrazito jakog vjetrova postoji mogućnost da se ogledala spuste na zemlju i zaštite. Postoji i sustav za automatsko pranje zrcala. U ovom postrojenju se unutar vakuumirane staklene cijevi kao radno sredstvo koristi sintetičko ulje, koje se grije na temperature i do 400 °C. Intenzitet Sunčeve svjetlosti u fokusu paraboličnih kolektora je i 70 do 80 puta veći od uobičajene Sunčeve svjetlosti. [24]



Slika 15 Solarna elektrana SEGS [25]

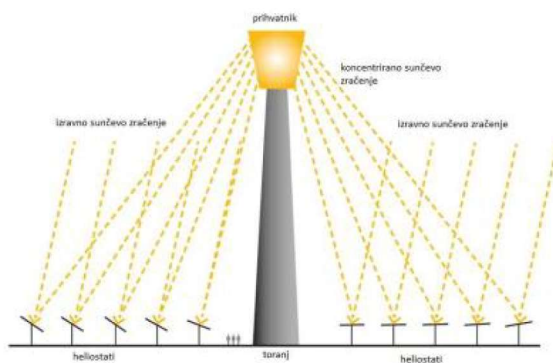
8.2 SOLARNI TORNJEVI

Ove elektrane sastoje se od velikog broja ogledala (heliostata) koja se nalaze oko tornja koji se nalazi u središtu. Zrcalima se upravlja preko računala te se pomoću njih nalazi optimalan kut za reflektiranje svjetlosti prema solarnom tornju. U ovim elektranama mogu se, ovisno o radnoj tvari, postići vrlo visoke temperature. Osim već prije spomenutih sintetičkih ulja i rastopljene soli, moguće je koristiti i plinove te tako doći i temperature iznad 800 °C. Trenutno se najisplativijim pokazalo korištenje rastopljene soli pri 565 °C, ali za nekoliko godina vjerojatno će se ako radna tvar koristiti plinovi pri visokim temperaturama. Trenutno je najveća solarna elektrana ove vrste Ivanpah u Kaliforniji koja kao radnu tvar koristi vodenu paru pri 565 °C, dok je efikasnost elektrane 29 %. Glavni nedostatak ove metode iskorištavanja sučeve energije je što je potrebna relativno ravna površina, trenutna tehnologija dopušta maksimalno odstupanje radne površine (polje zrcala) od samo 1 % na ravninu.



Slika 16 prikaz elektrane sa solarnim tornjevima u Sevilli[18]

Dva najvažnija dijela elektrane su središnji toranj i heliostati. Toranj može biti napravljen samo od čelika ili od betona i čelika. Kod tornjeva nižih od 100 metara sa lakšim prijemnikom (apsorberom) koristi se čelični toranj, a kod 100-250 m visokih tornjeva sa težim prijemnikom koristi se betonsko-čelični toranj. Heliostati bi se trebali ponašati kao suncokreti koji prate gibanje Sunca. Obično su sastavljeni od zrcala i satnog mehanizma. Satni mehanizam je programiran tako da prati razinu Sunčevog zračenja u vremenu te određuje optimalan položaj ogledala tako da ona budu što duže izložena Sunčevom zračenju kako bi se iskoristila što veća energija. Na taj način se kućište heliostata okreće gore-dolje i lijevo-desno te tako poput suncokreta prati kretanje Sunca. Također, svako zrcalo ima i stabilizator koji služi da bi se pri pojavi vjetera učvrstila zrcala i osiguralo normalno funkcioniranje elektrane.[12]



Slika 17 Koncept solarnog tornja[20]

SOLARNA TERMOELEKTRANA IVANPAH

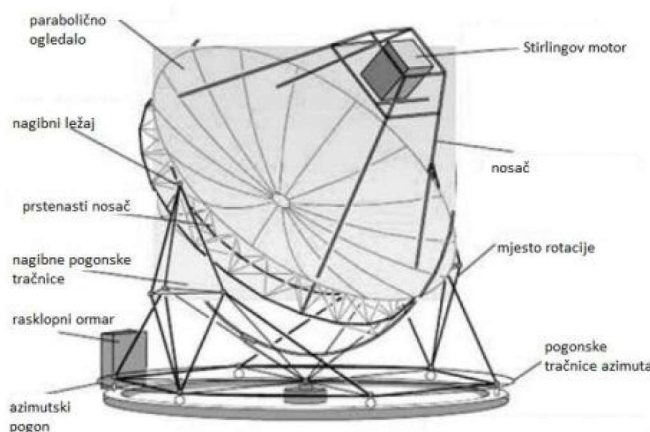
Termalna solarna elektrana Ivanpah sastoji se od tri solarne elektrane (Ivanpah 1, 2 i 3) koji zauzimaju površinu od 1600 hektara Mohave pustinje. Elektrana se sastoji od polja zrcala koji fokusiraju sunčevu svjetlost u prijemnike na središnjim solarnim tornjevima. Posebno prilagođene parne turbine se pogone vodenom parom dobivenom od energije fokusirane na prijamnike na tornjevima. Ivanpah 1 koristi se najvećim sustavom parne turbine ikad proizvedenim (SST – 900, snage 126 MW) i generatorom koji je u potpunosti pogonjen sunčevom energijom. Ukupna snaga cijele elektrane je 392 MW. Ivanpah 1 ima snagu 126 MW, dok Ivanpah 2 i 3 imaju snagu od 133 MW svaki. Cijelo postrojenje sadrži oko 173 500 heliostata s po dva ogledala površine $7,02 \text{ m}^2$, što znači $14,04 \text{ m}^2$ po heliostatu, a ukupno se postrojenje prostire na više od $2\,435\,000 \text{ m}^2$. Stupanj efikasnosti elektrane je 28,72 %. [27]



Slika 18 Solarna elektrana Ivanpah [26]

8.3 SOLARNI TANJURI

Izgledaju kao satelitski tanjuri, ali su oko 10 puta veći. Zrake svjetlosti se odbijaju od zrcala, skupljaju se u jednoj točki (kolektoru) koja se nalazi iznad njih. Tu se postižu temperature i do 900 °C. Stirlingov motor pretvara sunčevu energiju u mehaničku, a generator koji je spojen na Stirlingov motor zatim tu mehaničku energiju pretvara u električnu. Radna tvar koja se koristi vodik ili češće helij, a s tim plinovima se postiže efikasnost od 30% se po jednom tanjuru. Snaga koju generira jedan tanjur kreće se između 5-50 kW. Zbog velikog broja pomičnih mehanizama potrebna su česta servisiranja sustava, a cijeli sustav se rotira oko dvije osi i potrebna su vrlo skupa parabolična zrcala, što na kraju dovodi do manje isplativosti jednog ovakvog sustava.



Slika 19 Shema tanjurastog paraboličnog kolektora[21]

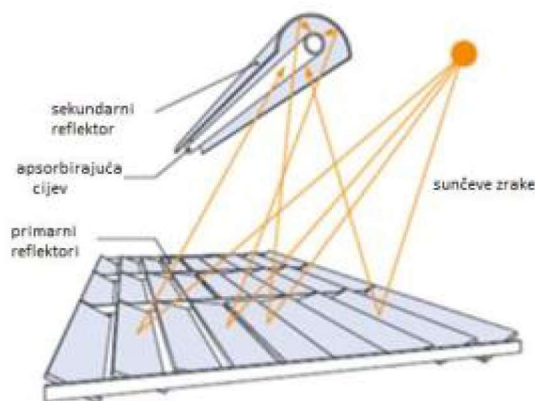
Za razliku od ostalih solarnih termoelektrana sa koncentrirajućim sunčevim zračenjem ovdje se električna energija proizvodi na samom tanjurastom kolektoru čime se smanjuju gubici prijenosa toplinske energije. [12].



Slika 20 Prikaz tanjurastog paraboličnog kolektora[19]

8.4 FRESNELOVI KOLEKTORI

Fresnelovi kolektori sastoje se od nizova dugih malo zakrivljenih ili ravnih ogledala, a rade na sličnom principu kao parabolični kolektori. Sistem je takav da nekoliko nizova zrcala cilja u isti kolektor čime se ostvaruju financijske uštede, a i sama ogledala se moraju okretati samo oko jedne osi. Zrcala mogu ciljati u različite kolektore u različita doba dana, te je na taj način moguće postaviti ogledala u gust raspored. Tako se dobiva više energije usprkos relativno maloj efikasnosti od 20 %. Ova tehnologija fokusiranja sunčevih zraka je najmlađa, pa stoga postoji svega par elektrana koje rade na tom principu. Najveća je Puerto Errado 2 u Španjolskoj snage 30 MW. Također, trenutno je u izgradnji elektrana snage 44 MW Kogan Creek u Australiji.



Slika 21 Princip djelovanja Fresnelovih kolektora [22]

Ova tehnologija je nešto između solarnih paraboličnih žljebastih kolektora i koncentriranja sunčevog zračenja s prijarnikom i heliostatima.



Slika 22 Fresnelovi kolektori integrirani u elektranu [23]

9. PREDNOSTI I MANE KORIŠTENJA SOLARNE ENERGIJE

9.1 PREDNOSTI KORIŠTENJA SOLARNE ENERGIJE

Solarni paneli ne zagađuju okoliš i životne sredine. Jedino zagađenje koje je vezano uz solarne panele posljedica je procesa proizvodnje samih solarnih panela i komponenti solarnih elektrana u tvornicama, tijekom transporta i instalacije. Proizvodnja energije na konvencionalan način korištenjem fosilnih goriva, pa čak i nekih vrsta obnovljivih izvora energije, kao što su primjerice turbine na vjetar, može biti veoma bučna. S druge strane, proizvodnja električne energije upotrebom solarnih elektrana, panela ili ćelija je izuzetno tih proces. Jedna od najvećih prednosti solarne energije je mogućnost proizvodnje energije na udaljenim lokacijama gdje se nije moguće priključiti na mrežu. Odličan primjer toga je proizvodnja energije u svemiru gdje se sateliti energijom opskrbljuju korištenjem efikasnih solarnih ćelija. Instaliranje solarnih panela na udaljenim mjestima je puno povoljnije nego instalacija kompletnih visokonaponskih vodova električne energije. Solarna energija ima potencijal biti efikasna na mnogim lokacijama naše planete, a nove tehnologije nam omogućavaju sve efikasniju upotrebu solarnih panela čak i kada vrijeme nije povoljno, odnosno kada je oblačno ili kada nema dovoljno direktne sunčeve svjetlosti. Solarni paneli se mogu montirati na krovove mnogih kuća i drugih objekata, što uklanja problem pronalaska prostora i ulaganja u puno novih instalacija. Još jedna velika prednost sunčeve energije je njena cijena. Iako su početni troškovi visoki, jednom kada se solarni paneli instaliraju oni osiguravaju besplatnu energiju koja će isplatiti početne troškove tokom godina korištenja iste. Korištenje solarne energije omogućava nezavisnost od svjetskih zaliha fosilnih goriva.[28]

9.2 MANE KORIŠTENJA SOLARNE ENERGIJE

Glavna mana su inicijalni troškovi. Trenutno efikasni paneli za skupljanje solarne energije mogu stajati i preko tisuću eura, a mnoga kućanstvo imaju potrebu i više od jednog panela. Zbog toga početna ulaganja postaju važan i nezanemariv faktor prilikom razmatranja o ulaganju u solarnu energiju. Još jedna mana solarne energije je što solarna tehnologija može proizvoditi struju samo danju. To znači da tijekom 24 sata, 12 sati solarni paneli ne mogu proizvoditi energiju. Vrijeme itekako utječe na količinu proizvedene energije. Povećanjem zagađenja zraka smanjuje se efikasnost solarnih panela. To može biti glavni nedostatak za primjenu solarnih panela u industrijskim i jako zagađenim mjestima, primjerice u industrijskim zonama velikih gradova.[28]

10. UTJECAJ SOLARNIH TERMOELEKTRANA NA OKOLIŠ

Eventualni negativni utjecaji solarnih elektrana na okoliš mogu se podijeliti u nekoliko skupina i unutar tih skupina na utjecaje koji nastaju tijekom same izgradnje elektrana i na utjecaje koji nastaju korištenjem istih.

Utjecaj na krajobraz

a) Utjecaj tijekom izgradnje

Tijekom izgradnje solarnih elektrana često je potrebno prokrčiti površinu na koju će se postaviti elektrana. Zbog toga se trajno mijenja karakter krajobraza određenog područja.

b) Utjecaj tijekom korištenja

Jednom kada su elektrana izgrađene, tijekom njihovog korištenja, područje na kojem se nalaze sastavom, oblikom i karakterom trajno odstupa od okolnog područja. Uzimajući u obzir vrijednost i veličinu okolnog krajobraza, potrebno je procijeniti utjecaj svake elektrane posebno.

Utjecaj na biljni i životinjski svijet

a) Utjecaj tijekom izgradnje

Izgradnja solarnih elektrana zahtijeva djelomično uklanjanje postojećeg pokrova na površini. Da bi se solarni paneli mogli postaviti, cijela površina lokacije se uređuje, odnosno košnjom i krčenjem se dovodi u stanje na kojem je moguće postavljanje solarnih panela kao i izgradnja popratnih građevina i prometnica. Sami radovi imaju kratkotrajan negativan utjecaj uslijed emisija prašine na floru i povišenja razina buke na faunu okolnog područja.

b) Utjecaj tijekom korištenja

Solarne elektrane ne proizvode buku, niti se radi o postrojenjima, koja je potrebno često obilaziti i održavati zbog čega nema značajnog utjecaja na životinjski svijet tijekom korištenja.

Utjecaj na kvalitetu zraka

a) Utjecaj tijekom izgradnje

Tijekom izgradnje solarnih elektrana, do lokalnog utjecaja na kvalitetu zraka dolazi zbog korištenja građevinske mehanizacije i vozila. Taj je utjecaj gotovo uvijek negativan. Moguće ga je smanjiti tj. ograničiti odgovornim ponašanjem i određenim mjerama (primjerice, prilagođavanjem brzine vozila). Solarne elektrane su najčešće dovoljno udaljene od najbližih naseljenih mjesta, pa je utjecaj na kvalitetu zraka tijekom radova, ukoliko ne dođe do nepredviđenih situacija (npr. požar), zanemariv.

b) Utjecaj na kvalitetu zraka tijekom korištenja

Solarne elektrane nemaju nikakav štetni utjecaj na kvalitetu zraka, jer nemaju nikakva štetna ispuštanja u zrak.

Utjecaj na gospodarenje otpadom

a) Utjecaj tijekom izgradnje

Tijekom izgradnje solarnih elektrana stvara se otpad koji ukoliko se ne zbrine na odgovarajući način, može imati negativan utjecaj na okoliš.

b) Utjecaj tijekom korištenja

Prilikom rada solarnih elektrana ne nastaje nikakav otpad, pa je utjecaj zanemariv. [29]

11. Zaključak

Solarne termalne elektrane pretvaraju sunčevu energiju u toplinsku tako što usmjeravaju zrake Sunca u točke gdje se nalazi tekućina ili plin i tako ga zagrijavaju. Zatim tu radnu tvar iskoristimo u kružnom procesu gdje se ta toplina prenosi na vodu odnosno vodenu paru koja pokreće turbinu i generator te se stvara električna energija. Budući da solarne elektrane imaju zanemarivo malen utjecaj na okoliš, a i imaju puno više prednosti nego mana zaključak je da bi se trebale puno više koristiti u opskrbljivanju čovječanstva energijom.

Literatura

1. "Chapter 8 – Measurement of sunshine duration", World Meteorological Organization, 2008.
2. „Sunčevo zračenje", Energetski institut Hrvoje Požar, 2011.
3. Luminoznost, *Hrvatska enciklopedija, mrežno izdanje*. Leksikografski zavod Miroslav Krleža, 2020. Pristupljeno 6. 8. 2020.
<http://www.enciklopedija.hr/Natuknica.aspx?ID=70218>
4. "NASA Solar System Exploration - Sun: Facts & Figures", 2011.
5. Naylor Mark, Kevin C. Farmer: "Sun damage and prevention", The Internet Dermatology Society, 1995.
6. <https://hr.wikipedia.org/w/index.php?curid=618591>, Pristupljeno 6. 8. 2020.
7. Insolacija, *Hrvatska enciklopedija, mrežno izdanje*. Leksikografski zavod Miroslav Krleža, 2020. Pristupljeno 6. 8. 2020. <http://www.enciklopedija.hr/Natuknica.aspx?ID=27537>
8. „Tehnička enciklopedija" (Meteorologija), glavni urednik Hrvoje Požar, Grafički zavod Hrvatske, 1987.
9. <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=15360235>, Pristupljeno 6. 8. 2020.
10. <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=15359738>, Pristupljeno 6. 8. 2020.
11. „Fotonaponski sustavi“, Ljubomir Majdandžić, http://www.solarni-paneli.hr/pdf/01_handbook_fotonapon.pdf, Pristupljeno 6. 8. 2020.
12. „Solarne termoelektrane“ završni rad, Božidar Marjanović, Rijeka, 2017.
13. „Pasivno korištenje sunčeve energije u zgradarstvu - trombov zid“, Nurdin Čehajić,
14. Energija Sunca, <https://eko.zagreb.hr/fokusiranje-sunceve-energije/88>, Pristupljeno 6. 8. 2020.
15. http://solarcooking.wikia.com/wiki/Image:Solar-cooker-designs-Auroville-bowl_P2.jpg ,
<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=2121649>, Pristupljeno 6. 8. 2020.
16. <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=671862>, Pristupljeno 6. 8. 2020.
17. <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=3569495>, Pristupljeno 6. 8. 2020.
18. <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=7008971>, Pristupljeno 6. 8. 2020.
19. <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=362989>, Pristupljeno 6. 8. 2020.
20. <http://www.sbp.de/> - arhitektonska tvrtka Schlaich-Bergermann Partner, Pristupljeno 6. 8. 2020.
21. <http://cleanleap.com/>, Pristupljeno 6. 8. 2020.
22. <https://www.eac.com.cy/>, Pristupljeno 6. 8. 2020.

23. <http://www.bine.info/>, Pristupljeno 6. 8. 2020.
24. <https://interestingengineering.com/top-10-solar-power-plants-in-the-world>, Pristupljeno 6. 8. 2020.
25. <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=2910414>, Pristupljeno 6. 8. 2020.
26. <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=34568236>, Pristupljeno 6. 8. 2020.
27. <http://www.brightsourceenergy.com/ivanpah-solar-project#.Xyyy7XUzbIU>, Pristupljeno 6. 8. 2020.
28. <https://sites.google.com/site/energijanasabuducnost/energija-i-okolis>, Pristupljeno 6. 8. 2020.
29. „*Utjecaj obnovljivih izvora električne energije na okoliš*“, Završni rad, Ivan Iličić, Travnik, 2019.