

# Solarne termoelektrane

---

**Mišković, Mario**

**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://um.nsk.hr/um:nbn:hr:200:541704>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-04-18**

*Repository / Repozitorij:*

[Faculty of Electrical Engineering, Computer Science and Information Technology Osijek](#)



DIGITALNI AKADEMSKI ARHIVI I REPOZITORIJ

**SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU**

**FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA I  
INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA**

**Stručni studij**

**SOLARNE TERMOELEKTRANE**

**Završni rad**

**Mario Mišković**

**Osijek, 2017.**

**FERIT**FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA  
I INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA OSIJEK**Obrazac Z1S: Obrazac za imenovanje Povjerenstva za obranu završnog rada na preddiplomskom stručnom studiju**

Osijek, 21.09.2017.

**Odboru za završne i diplomske ispite****Imenovanje Povjerenstva za obranu završnog rada  
na preddiplomskom stručnom studiju**

|                                                                                            |                                                                                                                                                                                                   |
|--------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Ime i prezime studenta:                                                                    | Mario Mišković                                                                                                                                                                                    |
| Studij, smjer:                                                                             | Preddiplomski stručni studij Elektrotehnika, smjer Elektroenergetika                                                                                                                              |
| Mat. br. studenta, godina upisa:                                                           | A4258, 29.08.2014.                                                                                                                                                                                |
| OIB studenta:                                                                              | 22646745739                                                                                                                                                                                       |
| Mentor:                                                                                    | Zorislav Kraus                                                                                                                                                                                    |
| Sumentor:                                                                                  |                                                                                                                                                                                                   |
| Sumentor iz tvrtke:                                                                        |                                                                                                                                                                                                   |
| Predsjednik Povjerenstva:                                                                  | Dr. sc. Željko Špoljarić                                                                                                                                                                          |
| Član Povjerenstva:                                                                         | Krešimir Miklošević                                                                                                                                                                               |
| Naslov završnog rada:                                                                      | Solarne termoelektrane                                                                                                                                                                            |
| Znanstvena grana rada:                                                                     | <b>Elektroenergetika (zn. polje elektrotehnika)</b>                                                                                                                                               |
| Zadatak završnog rada                                                                      | -STE sa kolektorom, STE sa tornjem, STE sa tanjurom -dijelovi, princip djelovanja, korisnost -pohrana toplinske energije -izračun                                                                 |
| Prijedlog ocjene pismenog dijela ispita (završnog rada):                                   | Izvrstan (5)                                                                                                                                                                                      |
| Kratko obrazloženje ocjene prema Kriterijima za ocjenjivanje završnih i diplomskih radova: | Primjena znanja stečenih na fakultetu: 2 bod/boda<br>Postignuti rezultati u odnosu na složenost zadatka: 2 bod/boda<br>Jasnoća pismenog izražavanja: 3 bod/boda<br>Razina samostalnosti: 3 razina |
| Datum prijedloga ocjene mentora:                                                           | 21.09.2017.                                                                                                                                                                                       |
| Potpis mentora za predaju konačne verzije rada u Studentsku službu pri završetku studija:  | Potpis:<br>Datum:                                                                                                                                                                                 |

**FERIT**FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA  
I INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA **OSIJEK****IZJAVA O ORIGINALNOSTI RADA**

Osijek, 22.09.2017.

**Ime i prezime studenta:**

Mario Mišković

**Studij:**

Preddiplomski stručni studij Elektrotehnika, smjer Elektroenergetika

**Mat. br. studenta, godina upisa:**

A4258, 29.08.2014.

**Ephorus podudaranje [%]:**

1 %

Ovom izjavom izjavljujem da je rad pod nazivom: **Solarne termoelektrane**

izrađen pod vodstvom mentora Zorislav Kraus

i sumentora

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

Potpis studenta:

## Sadržaj

|                                                                                                               |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1. UVOD .....                                                                                                 | 1  |
| 2. SOLARNE TERMoeLEKTRANE S PARABOLIČNIM KOLEKTOROM .....                                                     | 2  |
| 2.1. Dijelovi solarne termoelektrane s paraboličnim kolektorom .....                                          | 2  |
| 2.1.1. Parabolični žljebasti kolektori.....                                                                   | 3  |
| 2.1.2. Polje paraboličnih kolektora.....                                                                      | 5  |
| 2.1.3. Prijamnik.....                                                                                         | 6  |
| 2.1.4. Radni medij.....                                                                                       | 8  |
| 2.1.5. Generator pare .....                                                                                   | 8  |
| 2.1.6. Parna turbina.....                                                                                     | 9  |
| 2.1.7. Električni generator .....                                                                             | 9  |
| 2.1.8. Kondenzator .....                                                                                      | 10 |
| 2.2. Izvedbe i princip djelovanja solarni termoelektrana s paraboličnim kolektorom.....                       | 11 |
| 2.2.1. Klasična solarna termoelektrana s paraboličnim kolektorima .....                                       | 11 |
| 2.2.2. Hibridna solarna termoelektrana s paraboličnim kolektorima i spremnicima topline .....                 | 11 |
| 2.2.3. Hibridna solarna termoelektrana s paraboličnim kolektorima i kotlom na prirodni plin .....             | 12 |
| 2.2.4. Hibridna solarna termoelektrana s paraboličnim kolektorima i plinsko-parnom turbinom....               | 13 |
| 2.3. Pohrana i korisnost solarne termoelektrane s paraboličnim kolektorom .....                               | 14 |
| 3. SOLARNE TERMoeLEKTRANE S CENTRALNIM TORNJEM .....                                                          | 15 |
| 3.1. Dijelovi solarne termoelektrane s centralnim tornjem .....                                               | 15 |
| 3.1.1. Centralni toranj .....                                                                                 | 15 |
| 3.1.2. Heliostati .....                                                                                       | 16 |
| 3.2. Princip djelovanja solarne termoelektrane s centralnim tornjem .....                                     | 17 |
| 3.2.1. Hibridne solarne termoelektrane s otvorenim volumetrijskim prijamnikom .....                           | 17 |
| 3.2.2. Hibridne solarne termoelektrane s plinsko-parnom turbinom i s volumetrijskim tlačnim prijamnikom ..... | 18 |
| 3.3. Pohrana i korisnost solarne termoelektrane s centralnim tornjem.....                                     | 19 |
| 4. SOLARNE TERMoeLEKTRANE S TANJURASTIM KOLEKTOROM .....                                                      | 21 |
| 4.1. Dijelovi solarne termoelektrane s tanjurastim kolektorom .....                                           | 21 |
| 4.1.1. Tanjurasti kolektor .....                                                                              | 21 |
| 4.1.2. Stirlingov motor.....                                                                                  | 22 |
| 4.2. Izvedbe i princip djelovanja solarne termoelektrane s tanjurastim kolektorom .....                       | 22 |

|                                                                                                        |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 4.2.1. Princip djelovanja solarne termoelektrane s tanjurastim kolektorom i Stirlingovim motorom ..... | 22 |
| 4.2.2. Princip djelovanja solarne termoelektrane s tanjurastim kolektorom i mikroturbinom .....        | 23 |
| 4.3. Pohrana i korisnost solarne termoelektrane s tanjurastim kolektorom .....                         | 23 |
| 5. USPOREDBA.....                                                                                      | 24 |
| 6. ZAKLJUČAK.....                                                                                      | 26 |
| 7. LITERATURA.....                                                                                     | 27 |
| 8. SAŽETAK.....                                                                                        | 29 |
| 9. ABSTRACT .....                                                                                      | 29 |
| 10. ŽIVOTOPIS.....                                                                                     | 29 |

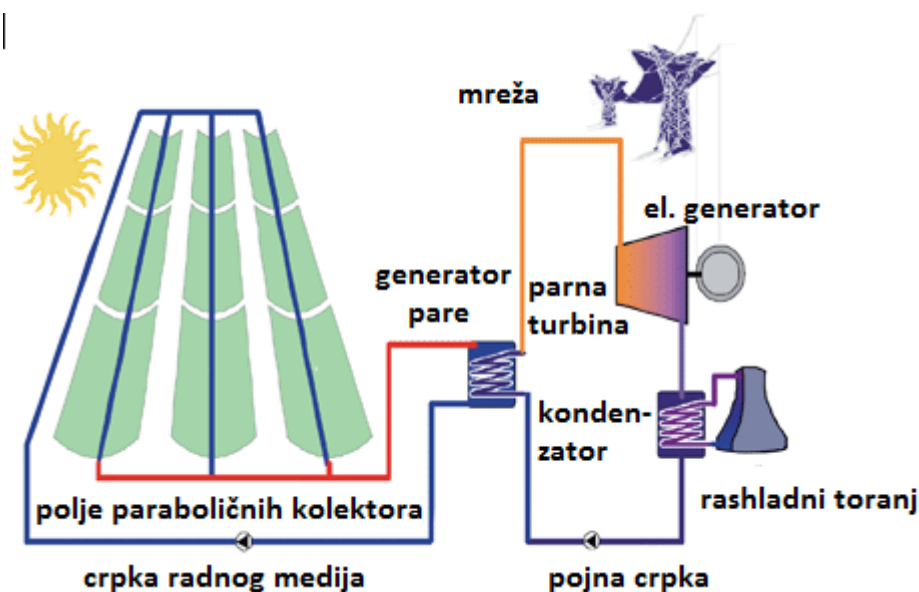
## 1. UVOD

Svjetska potražnja za energijom je iz dana u dan sve veća, a isto tako i klimatske promjene su zbog zagađenja sve veće. Da bi se tome došlo na kraj znanost se morala okrenuti pronalaženju alternativnih rješenja za taj problem. Dio rješenje se krije u obnovljivim izvorima energije (OIE) koji nemaju štetnih posljedica za okoliš, a osiguravaju potrebnu energiju. Solarne termoelektre (STE) su jedna od mnogih vrsta obnovljivih izvora energije. One se u osnovi ne razlikuju mnogo od konvencionalnih termoelektrana po principu rada. Njihova razlika leži u načinu pridobivanja toplinske energije. Konvencionalna termoelektrana toplinsku energiju dobiva izgaranjem fosilnih goriva kao što su: nafta, plin ili ugljen, dok solarna termoelektrana za dobivanje toplinske energije koristi energiju Sunčeva zračenja. Prirodni potencijal Sunčevog zračenja je u odnosu na zbroj svih zaliha urana, ugljena, nafte i plina veći za 50 puta. Veoma bitna veličina kod STE-a je Solarna konstanta koju označavamo sa  $E_0$  i ona predstavlja jakost ekstraterestričkog zračenja koje dopijeva na srednjoj udaljenosti između Sunca i Zemlje okomito na neku ravnu površinu izvan Zemljine atmosfere. Ona iznosi  $1367 \text{ W/m}^2$  te se koristi za mnoge proračune. Energija koju Sunce oslobodi iznosi  $3,3 \cdot 10^{27} \text{ kWh/god.}$  od čega samo jako mali dio dolazi do vrha Zemljine atmosfere i on iznosi  $1,53 \cdot 10^{18} \text{ kWh/god.}$  Od dospjele energije Sunčeva zračenja oko 30 % se reflektira od Zemljine atmosfere nazad u svemir te do Zemlje dopijeva  $1,07 \cdot 10^{18} \text{ kWh/god.}$  Ta dospjela energija Sunčeva zračenja je nekoliko tisuća puta veća negoli se godišnje ukupno potroši energije iz svih primarnih izvora. Prednost STE-a leži u tome što za njihov rad nisu nužna fosilna goriva nego samo Sunce, no to je ujedno i njihova mana pošto Sunce imamo samo preko dana a električna energija nam je potrebna i tijekom noći. Iz toga razloga se ulažu veliki naponi u razvijanju tehnologija za pohranu toplinske energije tijekom dana da bi elektrana i nakon što Sunce zađe mogla i dalje neko vrijeme raditi nazivnom snagom. U nastavku rada će se detaljnije razraditi tri tipa solarnih termoelektrana:

- Solarne termoelektre s paraboličnim kolektorom
- Solarne termoelektre s tornjem
- Solarne termoelektre s tanjurom

## 2. SOLARNE TERMoeLEKTRANE S PARABOLIČNIM KOLEKTOROM

Od svih vrsta solarnih termoelektrana, solarne termoelektrane s paraboličnim kolektorom su najčešće instalirani tip solarnih termoelektrana. Također su i najstariji tip solarnih termoelektrana pa je samim time i tehnologija koju koriste najrazvijenija zbog dugogodišnjeg iskustva u radu i stalnog usavršavanja. Sastoji se od velikog broja paraboličnih kolektora. Cijev koja se nalazi u žarištu paraboličnog kolektora apsorbira Sunčevo zračenje koje se reflektira od zrcala kolektora te se tako zagrijava medij u njoj. Radni medij svoju toplinu preko izmjenjivača topline predaje vodi od koje nastaje para koja se potom odvodi do turbine. U turbina se potencijalna energija vodene pare pretvara u mehaničku energiju koja pokreće električni generator koji se nalazi na istoj osovini te se na kraju iz generatora dobije električna energija. U blok transformatoru se dobivena struja podiže na napon prijenosne mreže te se predaje mreži. U suštini imaju mnogo sličnosti sa konvencionalnim termoelektranama razlikuju se samo u načinu pridobivanja toplinske energije.



Sl. 2.1. Shema solarne termoelektrane s paraboličnim kolektorom [1].

### 2.1. Dijelovi solarne termoelektrane s paraboličnim kolektorom

Solarna termoelektrana s kolektorom je sastavljena od mnogih dijelova koji zajedno čine jednu funkcionalnu cjelinu za proizvodnju električne energije. Skoro pa svi dijelovi su identični onima iz konvencionalnih elektrana. Razlika je u tome što ove imaju solarne kolektore za pridobivanje toplinske energije dok konvencionalne elektrane toplinsku energiju dobivaju iz kotla u kome izgaraju fosilna goriva te tako nepovoljno utječu na okoliš.



Osnovni dijelovi solarne termoelektrane s paraboličnim kolektorom su:

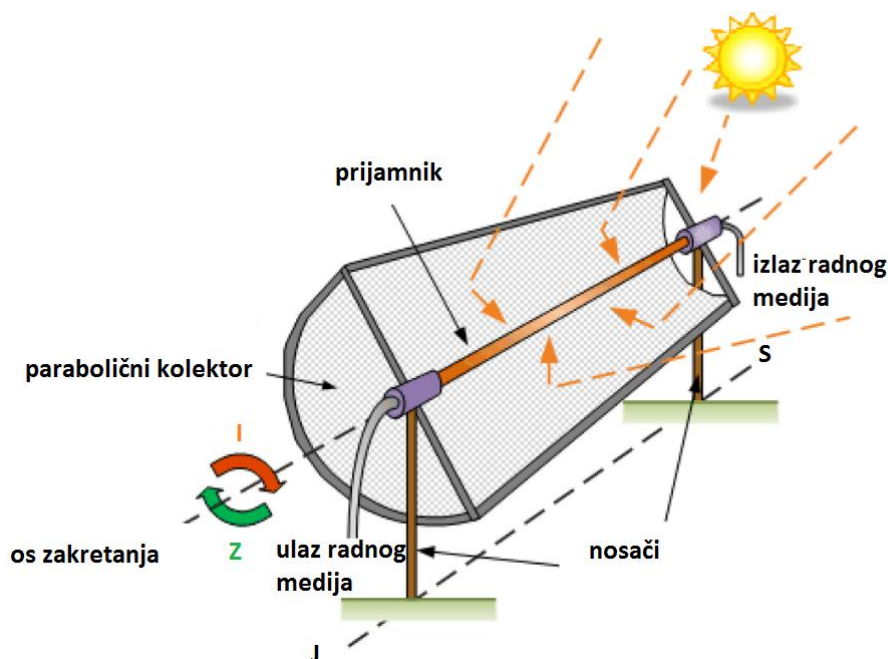
- Parabolični kolektori
- Generator pare
- Parna turbina
- Električni generator i
- Kondenzator.

Pored osnovnih dijelova postoje i dijelovi koji se nalaze u solarnim elektranama s kolektorom ovisno o njenoj izvedbi. Ta postrojenja nazivamo hibridna, a dijelovi koji ih takvima čine su:

- Spremnik topline
- Kotao i
- Plinsko-parna turbina.

### 2.1.1. Parabolični žljebasti kolektori

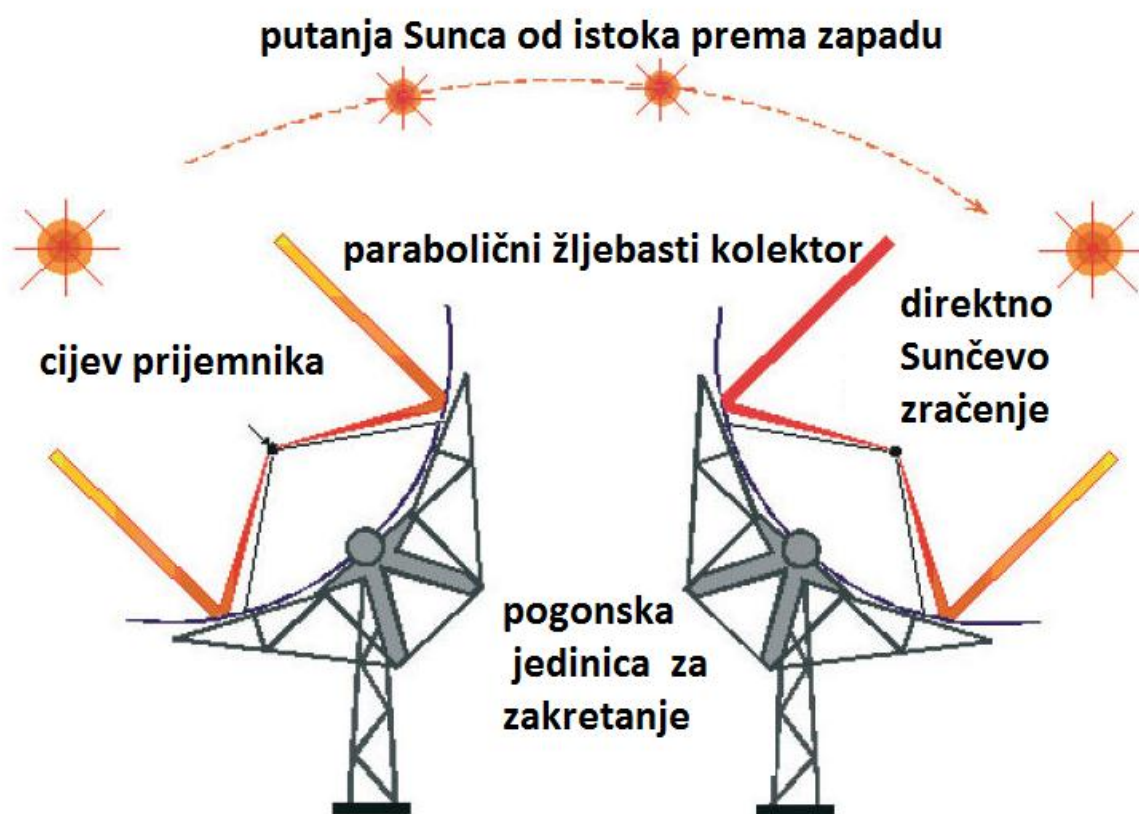
Parabolični žljebasti kolektori se sastoje od dugih paralelnih zrcala koja se slažu od istoka prema zapadu. Zrcala sa obično presvučena srebrom ili poliranim aluminijem te su savijena u žlijeb (korito), dok je sam pravac postavljanja cijelih kolektora u smjeru sjever-jug.



Sl. 2.2. Prikaz načina postavljanja paraboličnih kolektora [2].

Parabolični kolektori su uređaji koji pomoću paraboličnih zrcala koncentriraju Sunčevu energiju u jednu liniju. Izravno Sunčevo zračenje se odbija od paraboličnih zrcala te se koncentrira na

prijemnik, koji je u ovom slučaju cijev koja se nalazi u žarištu zrcala. Parabolični žljebasti kolektori su pokretni dijelovi zato što rotiraju oko osi, te tako prate dnevno gibanje Sunca (Sl.2.3.). Za njihovo okretanje potrebni su pogonski uređaj. Obično je jedan pogonski uređaj dovoljan za nekoliko kolektorskih modula koji su spojeni u seriju, te pokretani zajedno poput jedinstvenog kolektora. Njegova dužina tada može iznositi i više od 150 m. Za male kolektore čija je površina manja od 100 m<sup>2</sup> se koristi pogonska jedinica koju sačinjavaju elektromotor i reduktor. Ako su kolektori velikih dimenzija tada se za njihovo pokretanje koriste hidrauličke pogonske jedinice. Svi komercijalni parabolični kolektori za praćenje Sunca koriste jednoosni sustav. Postoje i dvoosni sustavi za praćenje Sunca koji su izrađeni i testirani u prošlosti, no za razliku od jednoosni oni imaju manju ekonomsku isplativost. Prednost dvoosnog sustava je neprestano praćenje Sunca što za posljedicu ima smanjenje optičkih gubitaka tj. povećanje količine Sunčeva zračenja na površini kolektora. No kod ovakve izvedbe imamo povećane toplinske gubitke zbog dodatnih spojnih cijevi, te im je održavanje skuplje nego kod jednoosnog sustava, a skuplje su i za napraviti.



Sl. 2.3. Prikaz načina koncentriranja Sunčeva zračenja na cijev prijemnika tijekom dana [3].

Pogonske jedinice za zakretanje kolektora su upravljane iz središnje kontrolne jedinice, čiji je zadatak praćenje Sunca. Dva su načina rada središnje kontrolne jedinice:

- Kontrolna jedinica temeljena na osjetniku praćenja Sunca
- Kontrolna jedinica temeljena na astronomskom algoritmu[4].

Kontrolna jedinica koja se temelji na osjetniku praćenja Sunca se služi fotočelijom za pronalaženje položaja sunca. U drugom načinu kontrolna jedinica temeljena na astronomskom algoritmu izračunava Sunčev vektor, pritom se koristi preciznim matematičkim proračunima za pronalaženje nagiba Sunca i azimuta te prema tome određuje optimalan nagib kolektora.

### **2.1.2. Polje paraboličnih kolektora**

U jednome karakterističnom polju paraboličnih kolektora, nekoliko je kolektora spojeno u seriju te tako čine red. Redovi se paralelno spajaju kako bi se postigla potrebna toplinska energija na izlazu. Koliko ćemo kolektora spojiti u seriju te tako načiniti red ovisi prvenstveno o temperaturi koju želimo dobiti na izlazu iz reda. Što je više kolektora spojeno u seriju to je izlazna temperatura iz reda veća i obratno. Zbog toga što se kolektor rotira tijekom dana dok prati gibanje Sunca, u svakom kolektorskom redu prijamna cijev na graničnim rubovima kolektora mora biti spojena preko fleksibilnih spojeva radi nesmetanog rotiranja.



**Sl.2.4.** Slika polja paraboličnih kolektora [5].

Za izvedbu paraboličnih kolektora bitna su tri parametra:

- kut prihvatanja
- geometrijski omjer koncentriranja  $R$

- rubni kut  $\Phi$ .

Geometrijski omjer koncentriranja predstavlja omjer između površine otvora paraboličnog kolektora koji prima direktno Sunčevo zračenje i površine cijevi prijamnika koja prima od kolektora koncentrirano zračenje. Računa se prema jednačbi (2-1).

$$R = \frac{l_a * l}{\pi * d_0 * l} = \frac{l_a}{\pi * d_0} \quad (2 - 1)$$

Gdje je:

$d_0$  – vanjski promjer prijamne cijevi [m]

$l$  – duljina kolektora [m]

$l_a$  – širina parabole kolektora [m].

Iz jednačbe (2-1) se jasno vidi da je omjer koncentriranja ravnog kolektora 1, dok za koncentrirajuće kolektore ta se vrijednost može kretati od 2 do preko 1000.

Kut prihvatanja je onaj maksimalni kut koji može biti formiran s dvjema zrakama da bi nakon refleksije od zrcala kolektora sjekle prijamnu cijev. Preporučeni kut prihvatanja u praksi iznosi između  $1^\circ$  i  $2^\circ$ .

Rubni kut  $\Phi$  je izravno povezan s duljinom luka paraboličnog kolektora, te se njegova vrijednost može izračunati prema jednačbi (2-2).

$$\frac{l_a}{4f} = \operatorname{tg} \frac{\Phi}{2} \quad (2 - 2)$$

Gdje je:

$f$  - je udaljenosti fokusa parabole [m].

Rubni kut  $\Phi$  funkcija je udaljenosti fokusa parabole  $f$  i širine parabole  $l_a$ . Obično se taj kut kreće između  $70^\circ$  i  $110^\circ$ .

### 2.1.3. Prijamnik

Prijamnik je cijev koja je smještena u žarište paraboličnog kolektora te se sve upadne zrake direktnog Sunčeva zračenja odbijaju od zrcalne površine na njega. Reflektirano Sunčevo zračenje koje se koncentrira na prijemniku za posljedicu ima da zagrijava medij koji struji kroz

nju. Tako se Sunčeva energija pretvara u toplinsku energiju medija. Temperature medija se kreću u rasponu od 150 °C do 500 °C.



**Sl.2.6.** Dijelovi prijemnika [6].

Prijamna cijev se sastoji od čelične cijevi koja se nalazi unutar staklene cijevi koja ima ulogu smanjenja konvekcijskih gubitaka topline koje isijava čelična cijev. Čelična cijev ima više premaza, visokoapsorbirajuće (preko 90 %) te niskoemitirajuće (manje od 30 %) te se tako značajno smanjuju toplinski gubici. Staklena vakuumaska cijev s nereflektirajućim premazom ima veći toplinski učinak te bolje godišnje vrijednosti posebice kada je riječ o visokim radnim temperaturama od prijemnih cijevi koje nisu vakuumirane. Ne vakuumirane prijemne cijevi se koriste za radne temperature ispod 250 °C jer tu toplinski gubici nisu toliko veliki. Duljina prijemnika je ograničena, te ona maksimalno može iznositi 6 m. To znači da za prijemnik jednog kolektora moramo spojiti više pojedinačnih prijemnika. Obično duljina tako spojenih kolektora na kraju iznosi od 25 m do 150 m. Duljina ovisi o tome kolika nam je željena temperatura radnog medija, što je prijemnik duži i temperatura je viša te obratno. Pošto se staklena vakuumaska cijev



prijemnika i čelična cijev prijemnika različito rastežu pri zagrijavanju, one su zajedno spojene preko kompenzatora koji izjednačuje njihova različita rastezanja tijekom rada.

#### **2.1.4. Radni medij**

Uloga radnog medija je ta da protjecanjem kroz prijemnik koji je u žarištu kolektora upije što više Sunčeva zračenja te ga pretvori u toplinsku energiju te istu preda u generator pare. Kroz zatvoreni sustav ga pogoni crpka za radni medij koja mora biti konstruirana tako da može trajno raditi na visokim temperaturama. Za temperature iznad 200 °C kao radni medij se uobičajeno koristi termalno ulje. Razlog tome je što voda na tako visokim temperaturama stvara visok tlak u cijevima, te bi zbog toga cijevi i zglobovi morali biti jači, a to bi pak značajno povisilo troškove izgradnje postrojenja. Ako je temperatura niža od 200 °C tada se može upotrebljavati ili mješavina voda/etilen-glikogen ili pak hermetičko strujanje vode jer je tlak u tom slučaju normalan. Ako je radni medij termalno ulje tada je najvažniji faktor koji moramo uzet u obzir da bi proces bio stabilan, maksimalna radna temperatura. Ako je temperatura veća od maksimalne tada termalno ulje gubi svoja karakteristična svojstva te brzo nastupa degradacija medija.

#### **2.1.5. Generator pare**

Generator pare kao što mu i samo ime govori služi za proizvodnju pare. U njemu se vrši izmjena topline između radnog medija i vode. Voda isparava i dobivamo vodenu paru određenih parametara (temperature i tlaka) koja nam je potrebna za rad parne turbine. Generator pare je kao i u konvencionalnim elektranama, razlika je samo što je ovdje radni medij zagrijan Sunčevim zračenjem a ne izgaranjem nekih od fosilnih goriva.



**Sl.2.7.** Generator pare [7].

### 2.1.6. Parna turbina

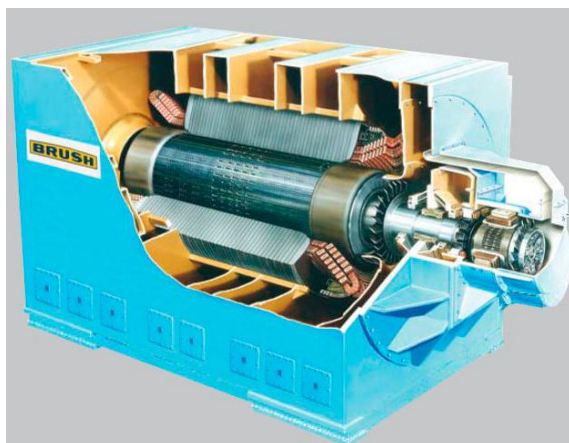
Parna turbina koja se koristi kod solarnih termoelektrana se ne razlikuje od onih u konvencionalnim postrojenjima. Sastoji se od nepomičnog dijela statora i pokretnoga dijela koga zovemo rotor. Unutar turbine se energija pare visoke temperature i tlaka dovedena iz generatora pare, najprije pretvara u kinetičku energiju strujanja, a potom u mehanički rad rotacije rotora.



Sl.2.8. Parna turbina [8].

### 2.1.7. Električni generator

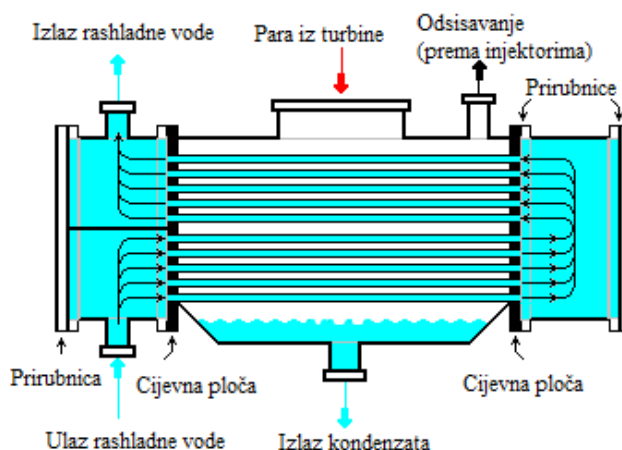
Električni generator je stroj koji mehaničku energiju pretvara u električnu. Dva glavna dijela električnog generatora su stator koji je nepomični dio, te rotor koji je unutar statora i on je pomični dio. Rotor je pogonjen vanjskim strojem u ovom slučaju parnom turbinom. Pošto je brzina vrtnje parne turbine velika, samim time je i brzina rotora velika, koji je smješten na istoj osovinu. Iz tog se razloga tu koriste turbogeneratori koji su dugački i imaju manji promjer. Rotor turbogeneratora ne može biti velikog promjera zbog toga jer je ograničen mehaničkom čvrstoćom svojih konstrukcijskih dijelova. Da generator ima poput hidrogeneratora rotor velikog promjera namotaji bi izletjeli iz utora zbog prevelikih sila. Generatori koji se koriste u elektranama imaju konstantnu brzinu vrtnje i zovemo ih sinkronim generatorima. Brzina vrtnje je obično 3000 ili 1500 okretaja u minuti, ovisno o broju pari polova.



Sl.2.9. 2-polni turbogenerator [9].

### 2.1.8. Kondenzator

Kondenzator se ugrađuje na izlazu parne turbine, te mu je zadaća da vodenu paru iz turbine pretvori u kapljevinu tj. vodu. Mogu raditi na atmosferskom tlaku, ali uobičajeno je da rade na malom podtlaku ili vakuumu. Razlog tomu je da se tako produžuje ekspanzija u parnoj turbini i time povećava stupanj korisnosti. Uglavnom su hlađeni vodom, a kako se i rashladna voda kondenzatora zagrijava tijekom hlađenja pare i nju je nužno hladiti. Ta toplina se odbacuje u rashladnim tornjevima, te se voda ponovno upotrebljava u kondenzatoru. Para koja se u kondenzatoru pretvorila u tekućinu pojmom se crpkom ponovno šalje u generator pare, potom u turbinu pa opet u kondenzator. Taj se ciklus stalno ponavlja.



Sl.2.10. Shematski prikaz vodom hlađenog kondenzatora [10].



## **2.2. Izvedbe i princip djelovanja solarni termoelektrana s paraboličnim kolektorom**

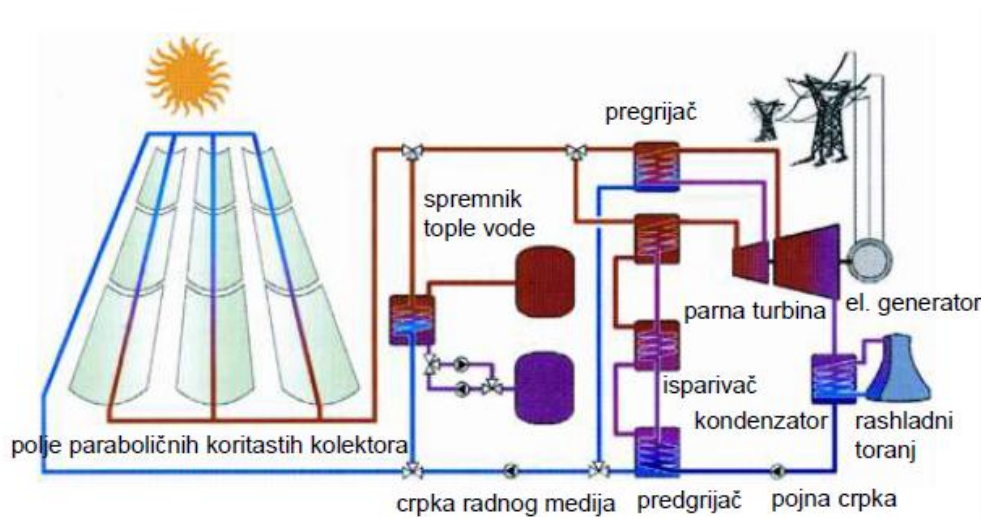
Postoji više vrsta solarnih termoelektrana s paraboličnim kolektorom. Sve one imaju zajedničke osnovne dijelove, a razlike se stvaraju dodavanjem dodatnih elemenata u sklop elektrane. Ti dodatni dijelovi ih čine hibridnim solarnim termoelektranama, a u daljnjem radu će se opisati 3 tipa takvih postrojenja.

### **2.2.1. Klasična solarna termoelektrana s paraboličnim kolektorima**

Ovaj tip elektrane ima samo osnovne dijelove, te je njegova shema prikazana na (Sl.2.1.). Ona radi tako što toplinsku energiju dobiva iz polja solarnih kolektora koje je načinjeno od mnogih pojedinačnih solarnih paraboličnih kolektora. Pojedinačni kolektori su spojeni u seriju formirajući jedinstvene dugačke kolektore, njihova duljina ovisi o tome kolika je izlazna temperatura iz kolektora potrebna. Potom se sve serije kolektora spajaju paralelno dokle ne dobijemo željenu snagu toplinske energije. Dalje tu toplinsku energiju odvodi radni medij u generator pare koji tu toplinsku energiju iskorištava za pridobivanje vodene pare. Vodena para se odvodi u parnu turbinu gdje se odvija ekspanzija te se kinetička energija pare pretvara u mehaničku energiju vrtnje rotora turbine. Rotor turbine pogoni generator koji proizvodi električnu energiju a ekspanzirana para se iz izlaza turbine prenosi do kondenzatora u kome se kondenzira u vodu te se pojnom crpkom ponovno šalje u generator pare. Taj postupak se odvija sve dokle god polje solarnih paraboličnih kolektora može proizvesti dovoljnu količinu toplinske energije. Funkcionira samo danju pri sunčanom vremenu.

### **2.2.2. Hibridna solarna termoelektrana s paraboličnim kolektorima i spremnicima topline**

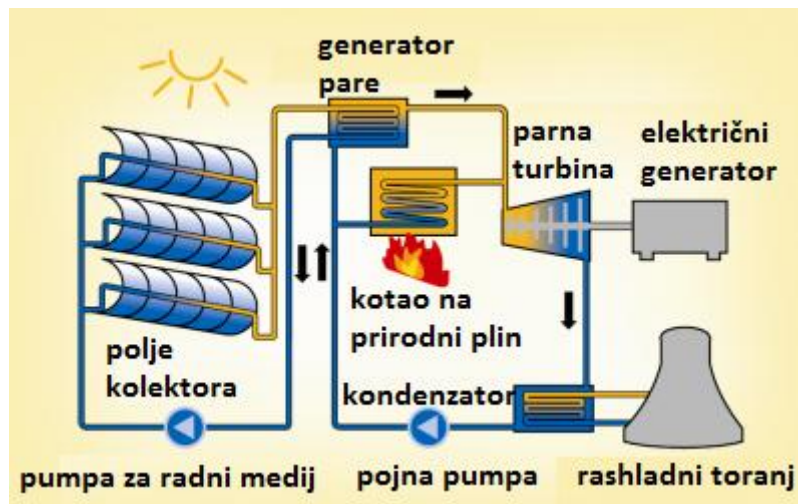
Hibridnom je čini dodatni dio koji posjeduje, a klasične ga nemaju a to je spremnik topline. Zbog velikih promjena Sunčeva zračenja tijekom dana (kada oblak zakloni Sunce) za normalan rad elektrane je često neophodan spremnik topline. U njemu se skladišti toplina tijekom dana kada je Sunčevo zračenje intenzivno te kolektori stvaraju više toplinske energije negoli je potrebno za rad elektrane. Ta spremljena toplina se može koristiti kada se ne može dobiti dovoljna količina toplinske energije potrebna za generator pare koji snabdijeva parnu turbinu s dovoljnom količinom pare određena tlaka i temperature, iz polja kolektora ili noću kada kolektori uopće ne stvaraju toplinsku energiju. Pomoću spremljene topline elektrana može raditi i nekoliko sati nakon zalaska Sunca čime se povećavaju radni sati elektrane.



**Sl.2.11.** Shema hibridne solarne termoelektrane s paraboličnim kolektorima i spremnicima tople vode [11].

### 2.2.3. Hibridna solarna termoelektrana s paraboličnim kolektorima i kotlom na prirodni plin

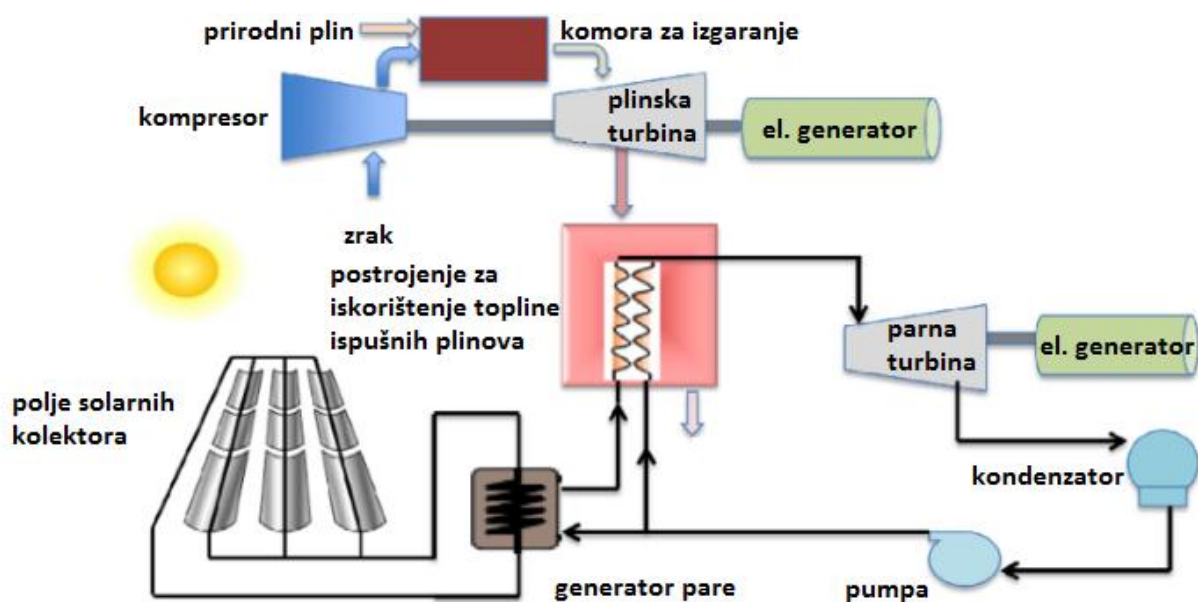
Ova izvedba elektrane također ima sve dijelove kao i klasična solarna termoelektrana s paraboličnim kolektorima s iznimkom kotla na prirodni plin koji je čini hibridnom. Pošto se intenzitet Sunčeva zračenja tijekom dana mijenja tako se mijenja i količina toplinske energije koju kolektori mogu isporučiti. Da bi elektrana mogla stalno raditi nazivnom snagom i tako imala najveću učinkovitost potrebno joj je osigurati i konstantan dotok potrebite toplinske energije. To se postiže dodavanjem u postrojenje kotla na prirodni plin. Njegova zadaća je da kada kolektori ne mogu isporučiti dovoljnu količinu topline, da pokriju razliku između potrebne količine topline i dobivene iz kolektora. Prema zakonskoj uredbi iz kotla na prirodni plin se smije dobivati maksimalno 25 % toplinske energije potrebne za rad elektrane, a ostalih 75 % se mora dobiti iz polja solarnih paraboličnih kolektora.



Sl.2.12. Hibridna solarna termoelektrana s paraboličnim kolektorima i kotlom na prirodni plin [12].

#### 2.2.4. Hibridna solarna termoelektrana s paraboličnim kolektorima i plinsko-parnom turbinom

Kod ovakvog tipa solarne termoelektrane postoje dvije turbine jedna parna i jedna plinska turbina. Plinska turbina je pogonjena ispušnim plinovima koji nastaju u komori za izgaranje u koju se dovode komprimirani zrak zajedno sa gorivom koje je u ovom slučaju prirodni plin. Ispušni plinovi na izlazu iz plinske turbine se odvođe do postrojenja za iskorištenje otpadne topline. U to postrojenje se dovodi i para iz generatora pare koja je nastala korištenjem toplinske energije nastale u polju paraboličnih kolektora. Ispušni plinovi koji imaju visoku temperaturu dodatno zagrijavaju paru koja potom ide u parnu turbinu. Postrojenje za iskorištenje topline ispušnih plinova može i samo proizvoditi paru, pa ovaj tip elektrane ne ovisi samo o Sunčevu zračenju te mu to povećava broj godišnjih radnih sati.



Sl.2.13. Hibridna solarna termoelektrana s paraboličnim kolektorima i plinsko-parnom turbinom [13].

### 2.3. Pohrana i korisnost solarne termoelektrane s paraboličnim kolektorom

Za vrijeme intenzivnog Sunčeva zračenja kada se u poljima paraboličnih kolektora generira veća količina toplinske energije negoli je za rad elektrane potrebna, višak toplinske energije se pohranjuje. Pohrana se odvija u dva spremnika, jednom za hladni fluid ( $\sim 280^\circ\text{C}$ ) i jednom za topli fluid ( $\sim 380^\circ\text{C}$ ). Iz pohrane se toplinska energija uzima kada polje kolektora ne može isporučiti potrebnu količinu toplinske energije, ili za rad elektrane tijekom noći. Postojeća postrojenja sa pohranom mogu nekoliko sati raditi nazivnom snagom koristeći se samo toplinskom energijom iz pohrane. Intenzivno se radi na razvijanju tehnologije pohrane kako bi u bliskoj budućnosti solarne termoelektrane mogle biti u pogonu cijeli dan. Toplinska energija se pohranjuje u spremnicima topline koji mogu biti ispunjeni s otopljenim solima, termalnim uljima ili vrućim kamenjem. Na korisnost solarne termoelektrane s paraboličnim kolektorima može utjecati više faktora. Tako izvedbe koje koriste sintetičko ulje čija je maksimalna temperatura zagrijavanja  $390^\circ\text{C}$  imaju korisnost između 14 i 16 %, dok primjerice izvedbe što koriste otopljene soli kao radni medij i čija maksimalna temperature može dosežati i  $550^\circ\text{C}$  imaju korisnost od 15 do 17 %.

### 3. SOLARNE TERMoeLEKTRANE S CENTRALNIM TORNJEM

Drugi najrazvijeniji tip solarnih termoelektrana su one s centralnim tornjem. One se sastoje od polja pojedinačnih zrcala (heliostata) te središnjeg prihvatnog tornja. Heliostati reflektiraju izravno Sunčevo zračenje te ga koncentriraju u jednu točku na vrhu centralnog tornja, tako se mogu postići temperature i više od 1000 °C. Na vrhu tornja je prijamnik čija je zadaća predaja topline radnome mediju, koji se potom odvodi do konvencionalnoga dijela elektrane identičnog kao u termoelektranama na fosilna goriva. Broj heliostata koji prate kretanje Sunce se može kretati od nekoliko stotina do nekoliko tisuća pojedinačnih zrcala koji reflektiraju Sunčevo zračenje na prijamnik na vrhu centralnog tornja.



Sl.3.1. Solarna termoelektrana s centralnim tornjem i poljem heliostata [14].

#### 3.1. Dijelovi solarne termoelektrane s centralnim tornjem

Ovaj tip elektrane ima veliki dio elemenata jednak onima u konvencionalnim elektranama, koji se također koriste u solarnim termoelektranama s paraboličnim kolektorom te su opisani pod točkama od 2.1.5. do 2.1.8.

Ovdje će se opisati dijelovi koji su specifični za ovaj tip elektrane a to su:

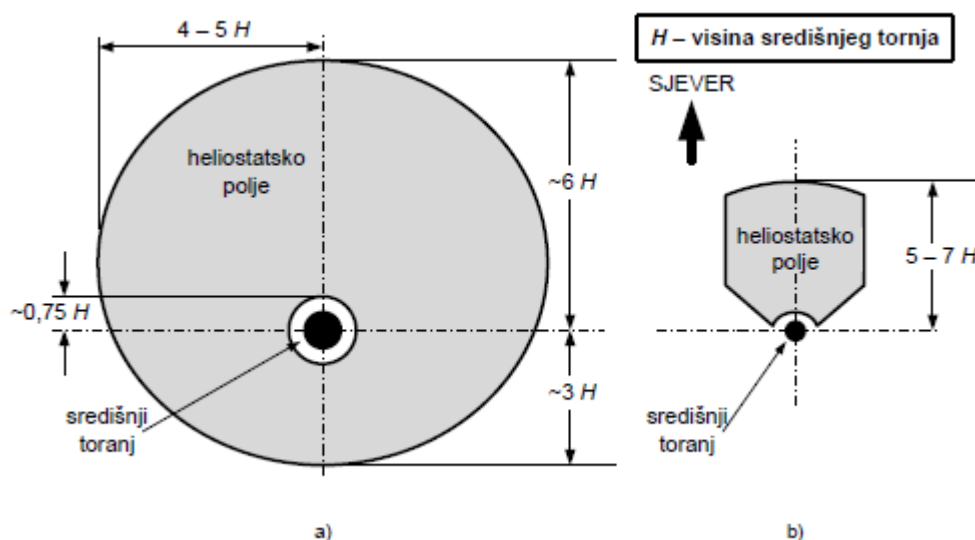
- Centralni toranj i
- Heliostati.

##### 3.1.1. Centralni toranj

Centralni toranj je nosač prijemnika koji se nalazi na njegovu vrhu, na kojega se koncentrira Sunčevo zračenje reflektirano s heliostata. On može biti betonsko čelični ili izgrađen samo od čelika. Ako je potreban toranj do 100 m visine za ne tako teški prijemnik, upotrijebiti će se čelik. Ako je riječ o tornju koji na svom vrhu mora nositi teški prijemnik i biti visok između 100 m i 250 m tada se koristi betonsko čelični toranj.

### 3.1.2. Heliostati

Primjer heliostata iz prirode je suncokret koji prati dnevno kretanje Sunca kako bi maksimalno bio izložen sunčevom zračenju. Heliostati rade na sličnome principu, ali s različitim ciljem, a to je reflektiranje Sunčeve energije. „Kućište heliostata okreće se lijevo-desno u obliku slova C u smjeru osi x i istodobno se kreće gore-dolje po y osi i tako prati kretanje Sunca“[4]. Kako bi se osigurala maksimalna koncentracija insolacije, njihova rotacija se kontrolira digitalno. Takvi sustavi rade s točnošću do 3 miliradijana. Oni se još sastoje od stabilizatora te okvira za zrcalo. Stabilizatori služe za smanjenje vibracija na okvirima pri vjetru. Složenije izvedbe heliostata su automatizirane te se koriste programima kao i osjetinicima kako bi se u odnosu na Sunce optimalno usmjerili. Većina ih ima ugrađene mikroprocesore koji su zaduženi za proračunavanje algoritama pozicije Sunca. Zrcalo montirano na heliostat reflektira Sunčevo zračenje na određenu metu. Grupu heliostata sačinjava više nizova heliostata. Oni svi usmjeravaju Sunčevo zračenje na isti cilj čija je površina mnogostruko manja negoli ukupna površina zrcala te tada govorimo o koncentriranoj Sunčevoj energiji, a takvi sustavi nose naziv CSP sustavi (eng. Concentrating Solar Power).



Sl.3.2. Shema postavljanja heliostata okolo centralnoga tornja,

a) za elektrane velike snage, b) za elektrane male snage [14].

### 3.2. Princip djelovanja solarne termoelektrane s centralnim tornjem

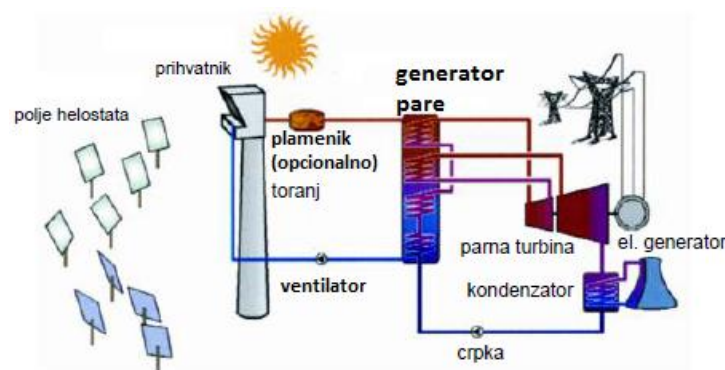
Kod klasične solarne termoelektrane s centralnim tornjem polje heliostata reflektira Sunčevo zračenje na centralni toranj, točnije na prijamnik koji se nalazi na njemu. Prijamnik pretvara koncentrirano Sunčevo zračenje u toplinu te ju predaje radnom mediju. Radni medij može biti: natrij, zrak ili rastaljene soli natrija i kalija). Potom taj radni medij toplinsku energiju odvodi u generator pare, koji istu iskorištava za pridobivanje vodene pare određena tlaka i temperature. Ta vodena para se odvodi u parnu turbinu gdje ekspandira i njena kinetička energija prelazi u mehaničku energiju vrtnje rotora turbine koji pokreće rotor električnog generatora te na kraju dobivamo električnu energiju.

Razlikujemo dvije hibridne izvedbe solarnih termoelektrana s centralnim tornjem a to su:

- Solarne termoelektrane s otvorenim volumetrijskim prijamnikom i
- Solarne termoelektrane s volumetrijskim tlačnim prijamnikom.

#### 3.2.1. Hibridne solarne termoelektrane s otvorenim volumetrijskim prijamnikom

Kod ove izvedbe se u prijamniku zagrijava okolni zrak pomoću koncentriranog Sunčeva zračenja. Taj zagrijani zrak se odvodi u generator pare gdje on svoju toplinu predaje vodi prvo predgrijavajući je, zatim isparavajući je te naposljetku pregrijavajući je. Takva para se odvodi u turbinu, te turbina pogoni generator iz kojega dobivamo električnu energiju. Dodatno se može ugraditi i dopunski plamenik u kanal vrućeg zraka koji bi ga dodatno zagrijavao kada je slabije Sunčevo zračenje tijekom dana, čime se povećava broj radnih sati.

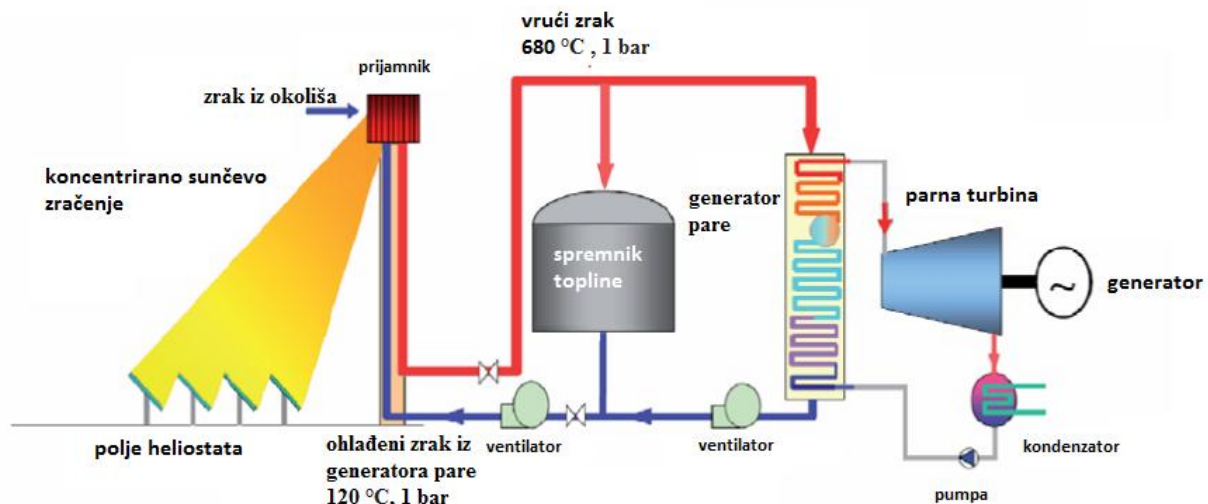


Sl.3.3. Shema hibridne solarne termoelektrane s otvorenim volumetrijskim prijamnikom [11].

Ovakav tip elektrane može biti izveden i s pohranom toplinske energije. To se izvodi tako da se postavi više heliostata negoli je potrebno. Zbog toga se generira veća količina toplinske energije



na prijemniku, koja nije sva potrebna za rad generatora pare te se taj višak skladišti u velikim rezervoarima s otopljenim solima. Ta skladištena toplotina se može koristiti kao dodatni izvor topline kada je Sunčevo zračenje slabije ili za rad noću kada uopće nema Sunčeva zračenja te se u prijemniku ne generira toplinska energija.

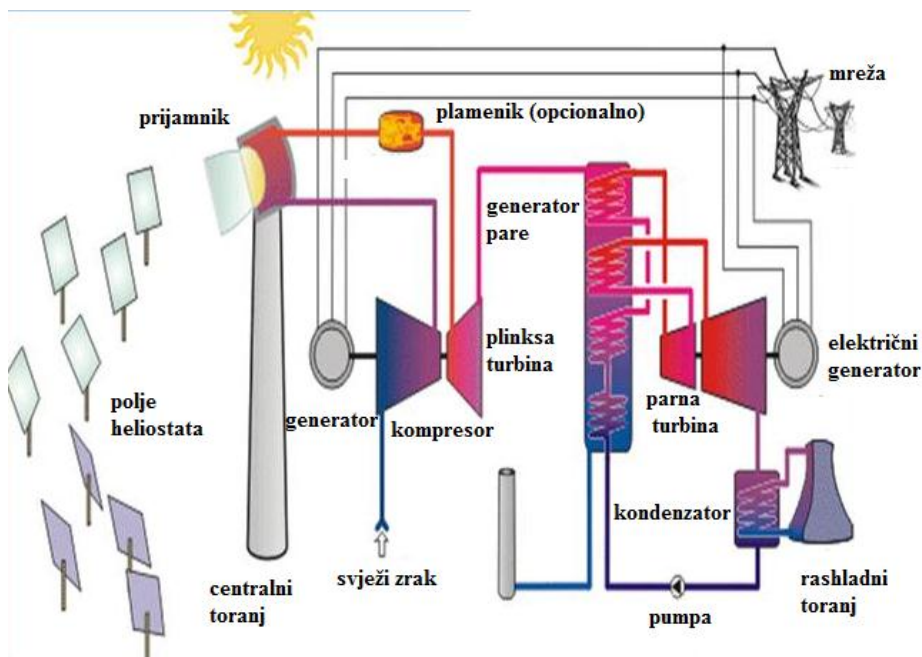


**Sl.3.4.** Shema hibridne solarne termoelektrane s otvorenim volumetrijskim prijemnikom i spremnikom topline [15].

### 3.2.2. Hibridne solarne termoelektrane s plinsko-parnom turbinom i s volumetrijskim tlačnim prijemnikom

Kod ovakve izvedbe se zrak najprije komprimira unutar kompresora te se šalje u volumetrijski tlačni prijamnik. U njemu se on zagrijava pomoću koncentriranog Sunčeva zračenja koje je reflektirano iz polja heliostata. Dodatno se može zagrijati i u plameniku čime se postiže veći broj radnih sati jer može raditi i kada Sunčevo zračenje nije dostatno za osiguravanje dovoljne količine topline. Taj zagrijani zrak potom putuje u plinsku turbinu koja pogoni električni generator i proizvodi električnu energiju. Zrak na izlazu iz plinske turbine posjeduje veliku toplinsku energiju te se ona odvodi u generator pare koji ju iskorištava za dobivanje vodene pare. Vodena para pogoni parnu turbinu koja pak pogoni električni generator koji proizvodi električnu energiju. Ovakvom izvedbom je učinkovitost postrojenja mnogo viša negoli kod klasičnog.

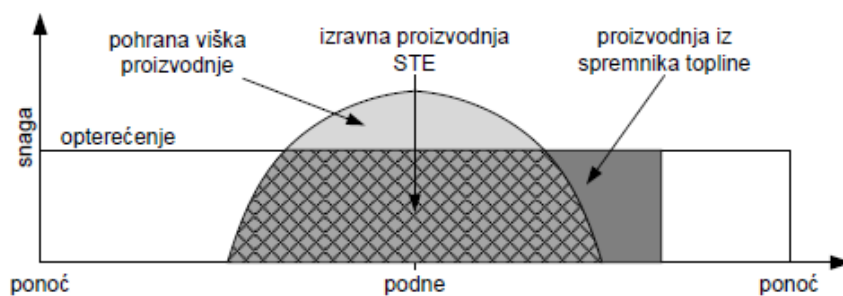




**Sl.3.5.** Hibridne solarne termoelektrane s plinsko-parnom turbinom i s volumetrijskim tlačnim prijamnikom [16].

### 3.3. Pohrana i korisnost solarne termoelektrane s centralnim tornjem

Kako bi pohrana bila moguća, potrebno je generirati više toplinske energije u prijamniku negoli je potrebno za rad elektrane. Taj se problem rješava jednostavnom ugradnjom većeg broja heliostata nego što je potrebno za rad elektrane nazivnom snagom. Višak topline koji se generira u prijamniku se skladišti u velikim spremnicima topline. Spremnici topline su ispunjeni najčešće otopljenim solima čije temperature dosežu oko 560 °C, ta temperatura je optimalna za pridobivanje vodene pare koja se koristi za pokretanje parne turbine koja pokreće električni generator. Sa povećanjem omjera površine zrcala heliostata naspram one prijamnika, te sa povećanjem kapaciteta spremnika topline očekuje se da će se u bliskoj budućnosti moći skladištiti dovoljno toplinske energije kako bi ovakve elektrane mogle raditi cijeli dan. Očekuje se da će elektrane koristeći samo toplinsku energiju iz pohrane moći raditi cijelu noć te dočekat sljedeći ciklus punjenja pohrane uz paralelan rad elektrane nazivnom snagom.



### **Sl.3.6.** Prikaz pridobivanja toplinske energije tijekom dana [14].

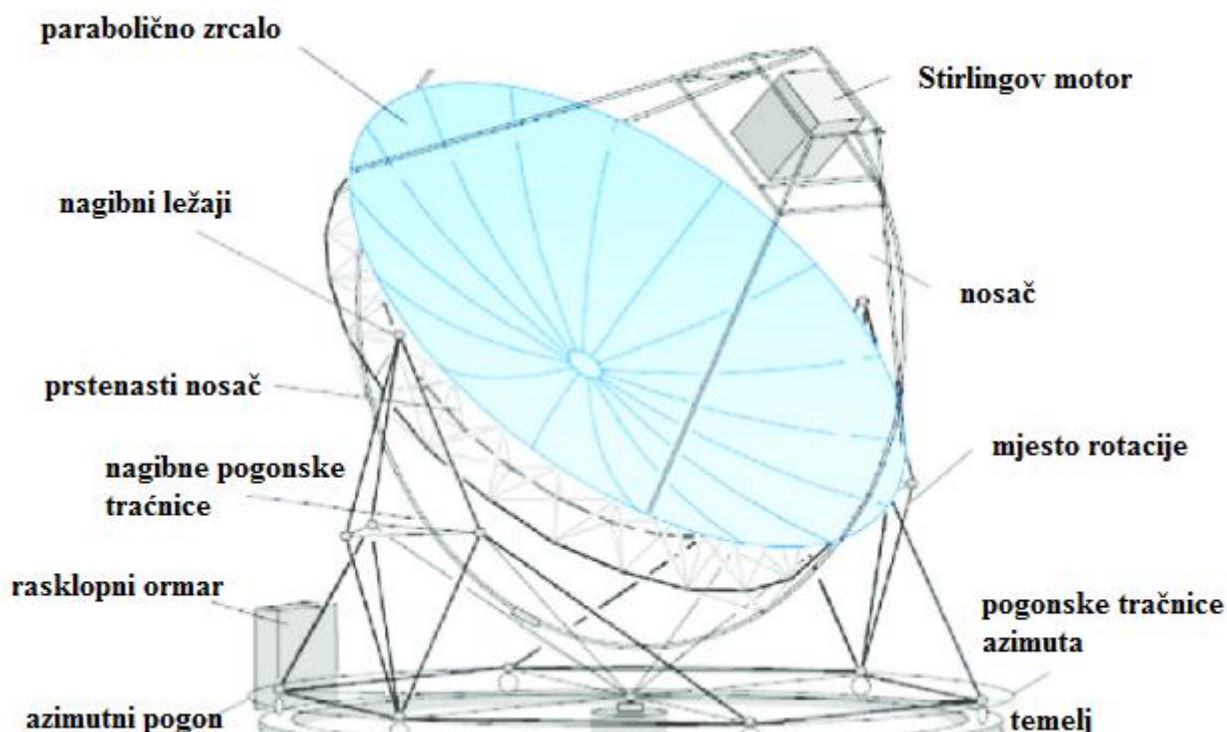
Korisnost ovog tipa elektrane značajno varira od izvedbe do izvedbe. Uglavnom se kreće između 10 i 20 %. Najmanju učinkovitost imaju klasične izvedbe , dok hibridne imaju veću. Najveću učinkovitost imaju hibridne solarne termoelektrane s plinsko-parnom turbinom i s volumetrijskim tlačnim prijamnikom koje uz to imaju i spremnik topline.

## 4. SOLARNE TERMoeLEKTRANE S TANJURASTIM KOLEKTOROM

Solarna termoelektrana s tanjurastim kolektorom je najmanje razvijena tehnologija solarnih termoelektrana. Sastoji se od paraboličnoga zrcala u obliku tanjura koji prate Sunce u dvije osi, čija je zadaća da koncentrira Sunčevo zračenje u jednu točku. U tu točku gdje se koncentrira Sunčevo zračenje koju nazivamo fokusom zrcalnog tanjura se smješta prihvatnik. Uz prihvatnik se smješta Stirlingov motor u kome se Sunčeva energija pretvara u mehaničku, koja se koristi za pogon električnog generatora koji proizvodi električnu energiju.

### 4.1. Dijelovi solarne termoelektrane s tanjurastim kolektorom

Glavni dijelovi ovoga tipa solarne termoelektrane su: tanjurasti kolektor te Stirlingov motor.



Sl.4.1. Sastavni dijelovi termoelektrane s tanjurastim kolektorom i Stirlingovim motorom [17].

#### 4.1.1. Tanjurasti kolektor

Tanjurasti kolektor je paraboličnog oblika sačinjeni od zrcala. Kako se Sunce na nebu tijekom dana kreće, tako se i tanjurasti kolektor kreće za njim. Pomiče se u dvije osi kako bi uvijek mogao biti okrenut direktno prema Suncu, a pokretan je servomotorom. Kako je velika razlika u površini između tanjurastog kolektora i prihvatnika, kao posljedicu toga imamo veliku koncentraciju Sunčeva zračenja na prihvatniku smještenom u žarištu kolektora. Sunčevo zračenje

se može koncentrirati i do 3000 puta, što kao rezultat daje temperaturu na prihvratniku i do preko 1000 °C.

#### **4.1.2. Stirlingov motor**

Svoje ime je dobio po svome izumitelju škotu Robertu Stirlingu. Stirlingov motor radi kao klipni motor vanjskim izgaranjem, tj. s vanjskim dovodom topline i sa zatvorenim kružnim procesom. Za vanjski izvor topline se u ovom konkretnom slučaju koristi koncentrirano Sunčevo zračenje, a mogu se koristiti i bilo koja druga fosilna goriva. „Za rad su potrebna dva sinkrona cilindra (topli i hladni) spojena cjevovodom u kojem se nalaze hladnjak, regenerator (izmjenjivač topline) i grijač. Između tih cilindara, određenim ritmom, struji radni medij (zrak, helij, vodik), i to jednom iz hladnoga u topli, a drugi put iz toploga u hladni cilindar. Topli se plin strujeći kroz regenerator hladi predajući toplinu regeneratoru, a kada malo poslije kroz regenerator struji hladni plin, on se zagrijava preuzimajući u regeneratoru pohranjenu toplinu. U hladnom se prostoru plin komprimira, a u toplom ekspandira. Kako je rad ekspanzije veći od rada kompresije, dobiva se višak rada koji se može iskoristiti za pogon, npr. električnoga generatora.“[18].

### **4.2. Izvedbe i princip djelovanja solarne termoelektrane s tanjurastim kolektorom**

Dvije su moguće izvedbe rada solarne termoelektrane s tanjurastim kolektorom. Kod obje izvedbe je tanjurasti kolektor identičan i njegova je zadaća da koncentrira Sunčevo zračenje na prijamnik. Jedna izvedba zahtijeva Stirlingov motor dok druga zahtijeva parnu turbinu za pokretanje električnog generatora. U daljnjem radu obje izvedbe će biti opisane.

#### **4.2.1. Princip djelovanja solarne termoelektrane s tanjurastim kolektorom i Stirlingovim motorom**

Tanjurasti kolektor koji je uvijek okrenut direktno prema Suncu koncentrira izravno Sunčevo zračenje na prihvatnik sa Stirlingovim motorom koji se nalazi u žarištu kolektora. Stirlingov motor toplinu koncentriranog Sunčeva zračenja pretvara u mehaničku te izravno preko osovine pokreće električni generator koji proizvodi električnu energiju. Snaga ovakvih elektrana nije velika kreće se od 10 do 40 kW. Za jedan takav pogon snage 25 kW, uz učinkovitost od 25 %, promjer tanjurastog kolektora bi morao iznositi oko 11 m.

#### **4.2.2. Princip djelovanja solarne termoelektrane s tanjurastim kolektorom i mikroturbinom**

I kod ove izvedbe se koriste parabolični tanjuri za koncentriranje Sunčeva zračenja na prijamnik koji je u fokusu kolektora, no ove nemaju Stirlingov motor koji izravno toplinsku energiju pretvara u mehaničku te ga nazivamo hibridnom izvedbom. Ovdje se najprije zagrijava radni medij koji se nalazi u prihvatniku. Radni medij potom svoju toplinu predaje vodi u izmjenjivaču topline u kojem nastaje vodena para. Dobivena para pokreće mikroturbinu koja preko osovine pokreće generator koji proizvodi električnu energiju.

#### **4.3. Pohrana i korisnost solarne termoelektrane s tanjurastim kolektorom**

U solarnim termoelektranama s tanjurastim kolektorom pohrana energije nije moguć, no njihova prednost je što imaju najveću korisnost od svih tipova solarnih termoelektrana. Neto godišnja učinkovitost pretvorbe sunčevog zračenja u električnu energiju iznosi 15 % dok je kod ostalih tipova ona 13 %.

## 5. USPOREDBA

U ovom poglavlju će se u tablicama usporediti karakteristične veličine pojedinih izvedbi solarnih termoelektrana.

**Tablica 5.1.** Usporedba parametara nekih tipova solarnih termoelektrana [4].

| parametar sustava                                        | solarne termoelektrane s paraboličnim kolektorom | solarne termoelektrane s centralnim tornjem | solarne termoelektrane s tanjurastim kolektorom |
|----------------------------------------------------------|--------------------------------------------------|---------------------------------------------|-------------------------------------------------|
| omjer koncentriranja, [R]                                | 40 - 100                                         | 400 - 1000                                  | 200 - 1000                                      |
| površina kolektora, [m <sup>2</sup> /kW]                 | 15 - 8                                           | 10 - 6                                      | 16 – 5                                          |
| ukupna građevna površina kolektora, [m <sup>2</sup> /kW] | 40 - 25                                          | 40 - 20                                     | 40 - 15                                         |
| temperatura prijmnika, [°C]                              | 150 - 400                                        | 450 - 1200                                  | 400 – 1200                                      |
| godišnji stupanj djelovanja, [%]                         | 10 - 15                                          | 10 - 20                                     | 15 - 35                                         |
| radni medij                                              | voda, termalno ulje                              | voda, zrak, soli natrija, soli kalija       | voda, plin, rastaljene soli                     |
| toplinski stroj                                          | parna turbina                                    | parna turbina, plinska turbina              | parna mikroturbina, Stirlingov motor            |

**Tablica 5.2.** Investicije u solarne termoelektrane i cijene električne energije [4].

| tip solarne termoelektrane                               | specifična cijena sustava, [€/kW <sub>e</sub> ] | proizvodni troškovi danas (2010.),[€/kW <sub>e</sub> ] | predviđeni troškovi (2015.),[€/kW <sub>e</sub> ] | ukupni stupanj djelovanja η,[%] |
|----------------------------------------------------------|-------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|--------------------------------------------------|---------------------------------|
| solarne termoelektrane s paraboličnim kolektorom, [30MW] | 4179,00                                         | 0,21                                                   | 0,06 – 0,10                                      | 12                              |
| solarne termoelektrane s centralnim tornjem, [30MW]      | 4700,00                                         | 0,25                                                   | 0,09 – 0,14                                      | 11                              |
| solarne termoelektrane s tanjurastim kolektorom, [1MW]   | 6343,00                                         | 0,48                                                   | 0,20 – 0,30                                      | 25                              |

**Tablica 5.3.** Razdoblje povrata utrošene energije za proizvodnju, pogon i razgradnju elektrane u okoliš [4].

| Elektrana                                              | razdoblje amortizacije |
|--------------------------------------------------------|------------------------|
| Vjetroelektrane                                        | 4 – 7 mjeseci          |
| Hidroelektrane                                         | 9 – 13 mjeseci         |
| Solarne termoelektrane                                 | 5 mjeseci              |
| Fotonaponski sustavi<br>mono- i polikristalične ćelije | 2 – 4 godine           |
| tankostjene ćelije                                     | 1 – 2 godine           |
| TE (na plin i ugljen) i NE                             | Nije analizirano       |



## 6. ZAKLJUČAK

Sunčeva energija ima ogroman potencijal, te je naš zadatak pronaći način kako je iskoristiti što više. Rezerve fosilnih goriva će se kad tad potrošiti i do tog trenutka mora se pronaći druge izvore energije kojima bi ih zamijenili. Solarni sustavi su jedno od bolji rješenja jer je sunčeva energija besplatna, i za ljudsko poimanje vremena beskonačna. Samo treba pronaći način kako je što bolje iskoristiti. Solarne termoelektre iskorištavaju upravo energiju Sunčeva zračenja za proizvodnju električne energije koja je za nas najdragocjeniji oblik energije pošto je možemo pretvoriti u toplinu, svjetlost ili mehanički rad ovisno o tome što nam je potrebno. STE sa paraboličnim kolektorima se već mnogo godina koriste i njihova tehnologija je dosta razvijena. Dosad su proizvele ogromne količine električne energije bez da su stakleničkim plinovima naštetile okolišu. Usporedno sa njima se razvijala i druga tehnologija a to su STE s centralnim tornjem. Više nisu samo testna postrojenja te je izgrađen velik broj komercijalnih jedinica. Najbolja stvar im je što imaju najbolju tehnologiju pohrane toplinske energije, te bi u bliskoj budućnosti mogle raditi bez prestanka uz pravilno dimenzionirane komponente. Najnovija tehnologija od svih STE su one s tanjurastim kolektorom. Još uvijek se ne proizvode u velikim serijama te im je cijena zbog toga viša ali se odlikuju najvećom učinkovitošću od svih vrsta.

## 7. LITERATURA

- [1] Technologies and trends in solar power and fuels  
<http://pubs.rsc.org/services/images/RSCpubs.ePlatform.Service.FreeContent.ImageService.svc/ImageService/Articleimage/2011/EE/c1ee01128f/c1ee01128f-f2.gif> 20.6.2017.
- [2] Energies Open Access Journals <http://www.mdpi.com/1996-1073/8/5/3867/htm> 20.6.2017.
- [3] BINE Information Service  
[http://www.bine.info/fileadmin/content/Publikationen/Projekt-Infos/2008/Projekt-Info\\_07-2008/projekt\\_0708\\_02\\_engl.jpg](http://www.bine.info/fileadmin/content/Publikationen/Projekt-Infos/2008/Projekt-Info_07-2008/projekt_0708_02_engl.jpg) 20.6.2017.
- [4] Lj. Majdančić :Solarni sustavi, Graphis, Zagreb, 2010.
- [5] Solar Energy Generating Systems, Wikipedija  
[https://en.wikipedia.org/wiki/Solar\\_Energy\\_Generating\\_Systems](https://en.wikipedia.org/wiki/Solar_Energy_Generating_Systems) 21.6.2017.
- [6] BINE Information Service  
<http://www.bine.info/en/publications/publikation/solarthermische-kraftwerke-2/> 22.6.2017.
- [7] Helios CSP <http://helioscsp.com/aalborg-csp-sojitz-corporation-to-share-concentrated-solar-power-csp-experience-in-india/> 23.6.2017.
- [8] SIEMENS <https://www.energy.siemens.com/hq/en/services/fossil-power-generation/modernization-upgrades/steam-turbine.htm> 23.6.2017.
- [9] Directindustry <http://www.directindustry.com/prod/brush-hma/product-26573-592180.html> 23.6.2017.
- [10] Parni kondenzator, Wikipedija [https://hr.wikipedia.org/wiki/Parni\\_kondenzator](https://hr.wikipedia.org/wiki/Parni_kondenzator) 24.6.2017.
- [11] Lj. Majdančić:Osnove energetike 02, prezentacija, Elektrotehnički fakultet Osijek, Osijek.
- [12] POWER magazine <http://www.powermag.com/saguaro-solar-power-plant-red-rock-arizona/?pagenum=4> 24.6.2017 .

[13] ResearchGate

[https://www.researchgate.net/publication/294573535\\_Integrated\\_Solar\\_Combined\\_Cycle\\_Power\\_Plants\\_Paving\\_the\\_Way\\_for\\_Thermal\\_Solar](https://www.researchgate.net/publication/294573535_Integrated_Solar_Combined_Cycle_Power_Plants_Paving_the_Way_for_Thermal_Solar) 24.6.2017.

[14] Topić, D. : Tehnologije obnovljivih izvora energije. Energija sunčeva zračenja-prezentacija, FERIT Osijek, Osijek, 2016.

[15] ResearchGate [https://www.researchgate.net/figure/225001359\\_fig1\\_Figure-1-Central-receiver-power-plant-with-open-volumetric-air-receiver](https://www.researchgate.net/figure/225001359_fig1_Figure-1-Central-receiver-power-plant-with-open-volumetric-air-receiver) 26.6.2017.

[16] Oil&Gas Portal <http://www.oil-gasportal.com/solar-power-concentration/> 26.6.2017.

[17] ResearchGate

[https://www.researchgate.net/publication/309463511\\_Design\\_analysis\\_factors\\_and\\_specifications\\_of\\_solar\\_dish\\_technologies\\_for\\_different\\_systems\\_and\\_applications](https://www.researchgate.net/publication/309463511_Design_analysis_factors_and_specifications_of_solar_dish_technologies_for_different_systems_and_applications) 26.6.2017.

[18] Hrvatska enciklopedija, Stirlingov motor

<http://www.enciklopedija.hr/natuknica.aspx?id=58141> 26.6. 2017.

## 8. SAŽETAK

### Solarne termoelektrane

Potreba za električnom energijom je u stalnom porastu, a pošto proizvodnja i potrošnja električne energije uvijek trebaju biti jednake samim time i proizvodnja mora rasti. Zbog globalnog zatopljenja i iz razloga što zalihe fosilnih goriva neće trajati vječno, ne možemo nastaviti graditi konvencionalne elektrane na fosilna goriva. Sve veću potrebu za električnom energijom moramo osigurati iz obnovljivih izvora energija. Jedan od obnovljivih izvora energije su solarne termoelektrane koje za proizvodnju električne energije iskorištavaju Sunčevo zračenje koje je besplatno i za ljudsko poimanje vremena neiscrpno. Solarne termoelektrane imaju velik potencijal te treba nastaviti ulagati u njihovo daljnje razvijanje te se očekuje da će u bliskoj budućnosti znatan dio električne energije proizvoditi upravo one.

Ključne riječi: solarne termoelektrane. obnovljivi izvori energije,

## 9. ABSTRACT

### **Solar thermal power plants**

The need for electricity is on a steady rise, and as production and consumption of electricity always need to be the same, production has to grow. Due to global warming and the fact that fossil fuels will not last forever, we can not continue building a conventional fossil fuel power plants. We need to provide renewable energy sources with increasing demand for electricity. One of the renewable sources of energy is solar thermal power plants that use solar radiation that is free of charge and for human timing inexhaustible for the production of electricity. Solar thermal power plants have great potential and need to continue investing in their further development and it is expected that in the near future a significant portion of the electricity will produce exactly those.

Key words: solar thermal power plants. renewable energy sources

## 10. ŽIVOTOPIS

Mario Mišković rođen je u Vinkovcima 23. siječnja 1995. godine. Osnovnu školu je završio u Tolisi. Pohađao je Srednju školu fra Martina Nedića u Orašju, smjer Elektrotehnika, zanimanje Elektrotehničar. Nakon završene srednje škole upisao je preddiplomski stručni studij elektroenergetike na Fakultetu elektrotehnike računarstva i informacijskih tehnologija u Osijeku.