

# Usporedba solarnih termoelektrana

---

Stričević, Toni

Undergraduate thesis / Završni rad

2023

*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:200:040271>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-11-26**

*Repository / Repozitorij:*

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



**SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU**

**FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA I INFORMACIJSKIH  
TEHNOLOGIJA**

**Sveučilišni studij**

**USPOREDBA SOLARNIH TERMOELEKTRANA**

**Završni rad**

**Toni Stričević**

**Osijek, 2023. godine**

**FERIT**FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA  
I INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA **OSIJEK****Obrazac Z1P - Obrazac za ocjenu završnog rada na preddiplomskom sveučilišnom studiju**

Osijek, 19.09.2023.

Odboru za završne i diplomske ispite

**Prijedlog ocjene završnog rada na  
preddiplomskom sveučilišnom studiju**

<b>Ime i prezime Pristupnika:</b>	Toni Stričević
<b>Studij, smjer:</b>	Sveučilišni prijediplomski studij Elektrotehnika i informacijska tehnologija
<b>Mat. br. Pristupnika, godina upisa:</b>	4884, 30.07.2020.
<b>OIB Pristupnika:</b>	77257079954
<b>Mentor:</b>	izv. prof. dr. sc. Krešimir Fekete
<b>Sumentor:</b>	Zorislav Kraus, dipl. ing. el.
<b>Sumentor iz tvrtke:</b>	
<b>Naslov završnog rada:</b>	Usporedba solarnih termoelektrana
<b>Znanstvena grana rada:</b>	<b>Elektroenergetika (zn. polje elektrotehnika)</b>
<b>Zadatak završnog rad:</b>	Usporedba učinkovitosti različitih tipova solarnih termoelektrana - parabolna protočna solarna elektrana, solarni tanjur, linearni resnelovi reletori... Sumentor sa FERIT-a: Zorislav Kraus Student: Toni Stričević
<b>Prijedlog ocjene završnog rada:</b>	Vrlo dobar (4)
<b>Kratko obrazloženje ocjene prema Kriterijima za ocjenjivanje završnih i diplomskih radova:</b>	Primjena znanja stečenih na fakultetu: 2 bod/boda Postignuti rezultati u odnosu na složenost zadatka: 2 bod/boda Jasnoća pismenog izražavanja: 2 bod/boda Razina samostalnosti: 3 razina
<b>Datum prijedloga ocjene od strane mentora:</b>	19.09.2023.
<b>Datum potvrde ocjene od strane Odbora:</b>	24.09.2023.
<b>Potvrda mentora o predaji konačne verzije rada:</b>	<i>Mentor elektronički potpisao predaju konačne verzije.</i>
	Datum:

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

Osijek, 25.09.2023.

**Ime i prezime studenta:**

Toni Stričević

**Studij:**

Sveučilišni prijediplomski studij Elektrotehnika i informacijska tehnologija

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

4884, 30.07.2020.

**Turnitin podudaranje [%]:**

3

Ovom izjavom izjavljujem da je rad pod nazivom: **Usporedba solarnih termoelektrana**

izrađen pod vodstvom mentora izv. prof. dr. sc. Krešimir Fekete

i sumentora Zorislav Kraus, dipl. ing. el.

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. PREGLED PODRUČJA TEME .....	2
3. PREDNOSTI I NEDOSTATCI KORIŠTENJA SOLARNE ENERGIJE .....	3
3.1. Prednosti korištenja solarne energije .....	3
3.2. Nedostatci korištenja solarne energije.....	3
4. SOLARNE TERMOELEKTRANE S PARABOLIČNIM PROTOČNIM KOLEKTORIMA.....	4
4.1. Princip rada .....	4
4.2. Veliki parabolični kolektori.....	5
4.3 Mali parabolični kolektori.....	6
4.4. Prijemnik.....	6
4.5. Prednosti i nedostatci .....	8
4.6. Lokacija.....	8
4.7. Ekonomičnost .....	9
4.8. Budući trendovi .....	10
4.9. Pohrana električne energije.....	11
5. SOLARNE TERMOELEKTRANE SA CENTRALNIM TORNJEM.....	12
5.1. Princip rada .....	12
5.2. Heliostati .....	12
5.3. Prednosti i nedostatci .....	13
5.4. Ekonomičnost .....	13
5.5. Budući trendovi .....	14
5.6. Pohrana električne energije.....	15
6. SOLARNE TERMOELEKTRANE S LINEARNIM FRESNELOVIM KOLEKTORIMA .....	16
6.1. Princip rada .....	16
6.2. Tražene mete.....	17
6.3. Ekonomičnost .....	18
6.4. Prednosti i nedostatci .....	19
6.5. Buduće tehnologije .....	19
6.6. Tehnologija rastaljene soli.....	19
7. SOLARNE TERMOELEKTRANE S PARABOLIČNIM TANJUROM .....	20
7.1. Princip rada .....	20
7.2. Stirlingov motor.....	20
7.3. Princip rada .....	21
7.4. Prednosti i nedostatci .....	21

<b>7.5. Ekonomičnost .....</b>	<b>22</b>
<b>7.6. Pohrana električne energije.....</b>	<b>22</b>
<b>7.7. Prednosti i nedostaci .....</b>	<b>22</b>
<b>7.8. Veličina sustava .....</b>	<b>23</b>
<b>8. USPOREDBA .....</b>	<b>24</b>
<b>9. ZAKLJUČAK.....</b>	<b>28</b>
<b>10. LITERATURA .....</b>	<b>29</b>
<b>11. SAŽETAK.....</b>	<b>32</b>
<b>12. ABSTRACT .....</b>	<b>32</b>
<b>13. ŽIVOTOPIS.....</b>	<b>33</b>

## 1. UVOD

Jedan su od najvećih problema današnjice klimatske promjene, odnosno klimatski problemi. Mogući način rješavanja tih problema korištenje je izvora koji nisu štetni za okoliš i ujedno su obnovljivi, odnosno neiscrpn su izvor energije za razliku od fosilnih goriva koja imaju ograničene količine i štetno utječu na okoliš. Problem s obnovljivim izvorima je u tome što su troškovi izgradnje elektrana koja bi radila na taj način još uvijek visoki.

Stoga ćemo u ovom radu govoriti o različitim vrstama izvedbe termoelektrana, odnosno o različitim izvedbama solarnih termoelektrana te njihovom principu rada (od čega se sastoje, prednosti i nedostaci). Bit će priloženi primjeri elektrana i troškovi izgradnje, proizvodnja električne energije te izračun njihove učinkovitosti, odnosno koliko se proizvede električne struje s obzirom na ulog. Namjera je uočiti najprimjereniju izvedbu solarne termoelektrane koja bi mogla zamijeniti onu s fosilnim gorivom.

U nastavku će rada biti opisane četiri izvedbe solarnih termoelektrana:

- solarne termoelektrane s paraboličnim protočnim kolektorima
- solarne termoelektrane sa solarnim tornjem
- solarne termoelektrane sa Fresnelovim kolektorima
- solarne termoelektrane s paraboličnim tanjurom.

## 2. PREGLED PODRUČJA TEME

U nastavku su predstavljeni primjeri koji su obrađivali slične teme kao i ovaj završni rad te rezultati i zaključci dobiveni iz njih.

U istraživanju iz [1] su se gledale regije kao SAD-e, Španjolska i druge kako bi se vidjelo koja regija je najučinkovitija u iskorištavanju solarne energije. Gledali su se stvari kao količina dostupnog Sunca, veličina područja izložena Suncu i mnoge druge. U konačnici se zaključilo da je tehnologija paraboličnih kolektora bolja s obzirom na tehnologije centralnog tornja i linearnih Fresnelovih kolektora, ali ne na razini gdje bi to bilo uvjerljivo.

U istraživanju iz [2] se ispitivalo solarna energija iz perspektive proizvodnje, prijenosa i distribucije. Gledala se učinkovitost termoelektrani različitih izvedba sa istom instaliranom snagom od 100 MW te usporedba različitih parametara kako bi se vidjela razlika, te se u konačnici zaključilo da bi postrojenja koja se nalaze na geografskoj širini ispod  $37^\circ$  trebala koristiti raspored kolektora u smjeru sjever-jug radi veće učinkovitosti. Povećanjem geografske širine, učinkovitost paraboličnog kolektora postaje manja nego učinkovitost centralnog tornja, a tijekom zime učinkovitost pada na 50 % iznosa učinkovitosti tijekom ljeta. Promjenom raspored kolektora u smjer istok-zapad, učinkovitost prestaje biti osjetljiva na sezonske i geografske promjene. Na geografskoj širini iznad  $38^\circ$  učinkovitost paraboličnog kolektora je oko 5 % niža od učinkovitosti centralnog tornja.

U istraživanju iz [3] se gledala učinkovitost paraboličnog kolektora i centralnog tornja preko različitih usporedbi parametara poput: iskoristivosti goriva, veličine područja, maksimalne snage... Gledala se iskoristivost po sezonama i po mjesecima radi boljeg razumijevanja i lakšeg zaključivanja u pogledu superiornosti jedne izvedbe nad drugom. Zaključak je bio da parabolični kolektor može bolje iskoristiti solarnu energiju te ju transformirati u toplinu te je najbolja tehnologija za postrojenja sa integriranim solarnim ciklusom, dok je centralni toranj najbolja izvedba za rankinov ciklus.

U istraživanju iz [4] se vršila usporedba između paraboličnih kolektora i linearnih Fresnelovih kolektora. Svrha istraživanja je bila da se uspješno reproduciraju performanse paraboličnih kolektora, ali uz manje troškove. Gledala se jedna regija radi uspoređivanja. Zaključak je bio da se troškovi mogu smanjiti ako se koriste linearni Fresnelovi kolektori, ali željeni parametri se neće u potpunosti reproducirati zato što je toplinska učinkovitost i optička kvaliteta niža zbog većeg upadnog kuta.



### **3. PREDNOSTI I NEDOSTATCI KORIŠTENJA SOLARNE ENERGIJE**

#### **3.1. Prednosti korištenja solarne energije**

Postrojenja koja koriste solarnu energiju imaju stalne i besplatne izvore energije te pridonose očuvanju okoliša. Zbog stalnih izvora takva postrojenja smatramo pouzdanima i sigurnima. Imaju dug vijek trajanja, slabe potrebe održavanja i niske operativne troškove. Vrlo su tiha za razliku od postrojenja koja koriste fosilna goriva, pa čak i postrojenja na obnovljive izvore. Jedan je od primjera turbina na vjetar. Velika prednost solarne energije njezina je mogućnost primjene na udaljenim lokacijama.

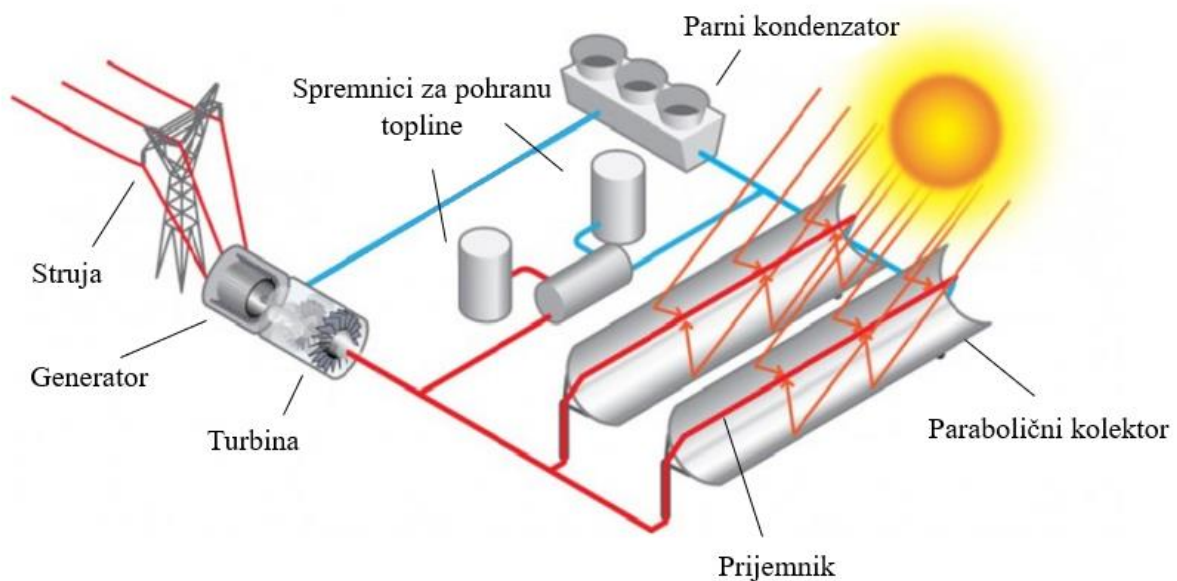
#### **3.2. Nedostatci korištenja solarne energije**

Glavni su nedostatak početni troškovi. Zbog toga građani rijetko ulažu u solarne panele. Nedostatak je i nemogućnost proizvodnje električne energije noću. Drugim riječima, od mogućih 24 sata solarne termoelektrane mogu upijati sunčevo zračenje samo 12 sati. Postoji i problem vremena, odnosno nevremena. Dolaskom oblaka smanjuje se količina sunčevog zračenja koja se može apsorbirati i pretvoriti u električnu energiju.

## 4. SOLARNE TERMoeLEKTRANE S PARABOLIČNIM PROTOČNIM KOLEKTORIMA

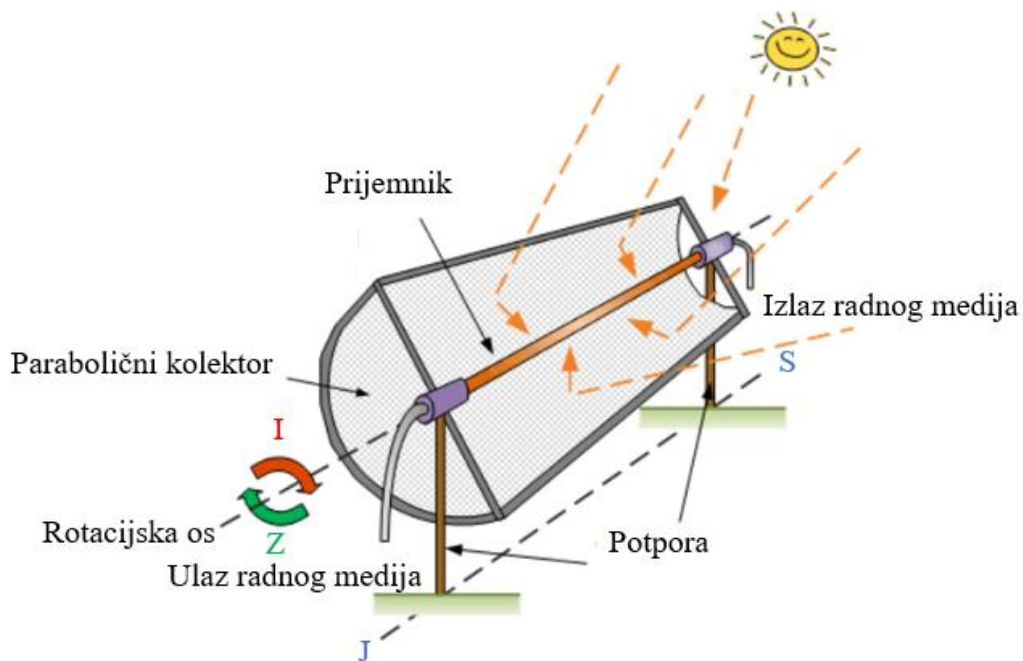
### 4.1. Princip rada

Parabolična solarna termoelektrana koristi parabolične žljebaste kolektore koji su linearno fokusirani solarni kolektori, a sastoje se od paraboličnog žljebastog koncentratora koji reflektira izravno sunčevo zračenje na prijemnu cijev. Ona je smještena u žarištu paraboličnog kolektora kroz koju teče tekućina koja služi za prijenos topline povećavajući razinu temperature prijemne cijevi. Tekućina prolazi kroz izmjenjivač topline gdje zagrijava vodu u paru koja služi za pogon parne turbine gdje se potencijalna energija vodene pare pretvara u mehaničku energiju, a koja potom pokreće električni generator koji proizvodi električnu energiju. Mogu se koristiti različite tekućine. Najviše elektrana koristi sintetička ulja zbog kojih mogu isporučiti iskoristivu toplinsku energiju do 398 °C. Glavno ograničenje više maksimalne temperature sintetičko je ulje koje se trenutno koristi kao radna tekućina zato što se brzo raspada na temperaturama iznad 398 °C.



SI. 4.1. Shema solarne termoelektrane s paraboličnim kolektorima[7].

Parabolični kolektori mijenjaju svoju poziciju tijekom dana ovisno o poziciji Sunca obično oko paralelne osi koja je smještena u žarišnoj niti svakog kolektora. Njihova ukupna dužina može iznositi 150 m, a svaka jedinica može biti između 5 do 20 metara u dužini i dubine od 2 m.



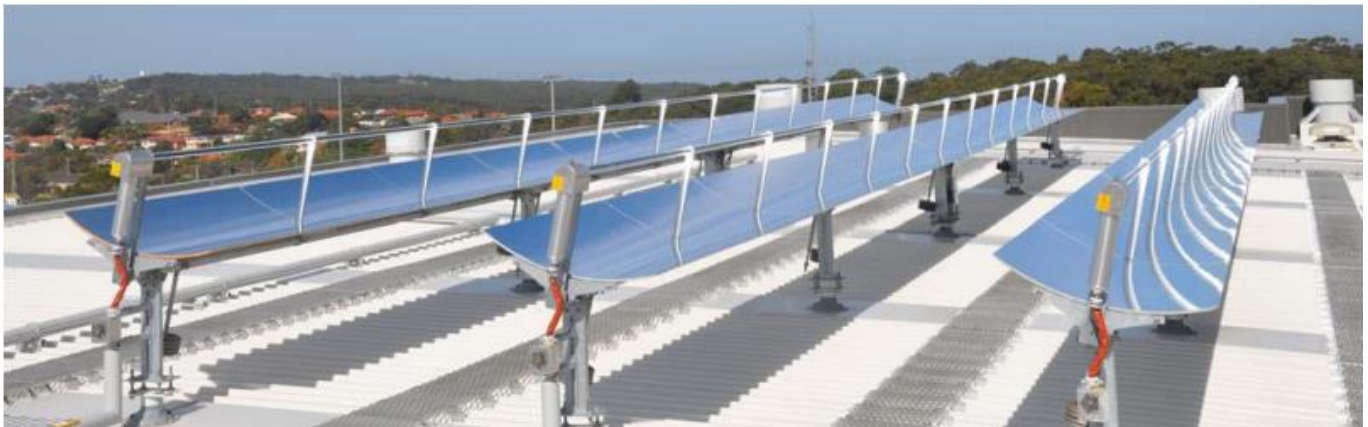
Sl. 4.2. Shema paraboličnog kolektora[9].

## 4.2. Veliki parabolični kolektori

Razvijanje velikih paraboličnih kolektora dovodi do smanjenja ukupnih troškova solarne elektrane. Neki od najranijih primjera takvih vrsta paraboličnih kolektora bili su EuroTrough-100 i EuroTrough-150, a daljnjim razvijanjem i SKAL-ET. Postoje dvije izvedbe ovakvih kolektora, a to su oni s momentnom kutijom i momentnom cijevi. Prednost izvedbe s momentnom kutijom bolja je učinkovitost pod opterećenjem vjetra, a nedostatak je veći trošak sastavljanja konstrukcije. S druge strane, prednost momentne cijevi manji su troškovi konstrukcije, ali je podložna oštećenju pri većim brzinama vjetra. Postoje i komercijalni parabolični kolektori koji umjesto momentne kutije ili momentne cijevi imaju metalni okvir. Kasnije izvedbe koncentrirale su se više na smanjenje troškova proizvodnje, a rezultat toga bio je Ultimate Trough za koji su govorili da donosi smanjenje troškova od 25 %. Najveću ulogu u smanjenju troškova donijelo je smanjenje ukupnog broja dijelova solarnog kolektora koje je iznosilo 60 %.

### 4.3 Mali parabolični kolektori

Za razliku od velikih paraboličnih kolektora koji su bili u središtu većine istraživanja, početkom 21. stoljeća razvijena je i nova tehnologija malih paraboličnih kolektora za primjenu procesne topline s temperaturama ispod 300 °C. Koristeći procesnu toplinu, mali kolektori zamjenjuju prirodni plin kao izvor energije. Neki su od industrijskih procesa malih kolektora: pročišćavanje vode, proizvodnja biogoriva, klimatizacija s apsorpcijskim hladnjakom. Primjer je malog kolektora koji koristi procesnu toplinu PT950 koji je izradila njemačka tvrtka PROTARGET sa širinom otvora od 3 m i najvišom radnom temperaturom od 425 °C ako se za bazu koristi silikonsko ulje. U Meksiku je uspješno instalirano više od 100 projekata koji se baziraju na solarnoj toplini koja će se koristiti u industrijskim procesima. Na taj je način uspješno dokazano da postoji tržište za male kolektore u zemljama s visokom razinom Sunčevog zračenja. Industrijski sektor pokazuje sve veći interes za uporabom malih kolektora zbog sve veće osviještenosti o onečišćenju okoliša.



Sl. 4.3. Slika paraboličnog kolektora[10].

### 4.4. Prijemnik

Najčešća izvedba velike PTC prijemne cijevi sastoji se od dvije koncentrične cijevi. Unutarnja čelična cijev sadrži radni fluid i vanjske staklene cijevi koja okružuje unutarnju cijev. Prijemnici se dijele na:

- vakumirane
- nevakumirane.

Vakumirani prijemnici imaju visoki vakuum između unutarnje i vanjske cijevi koji iznosi  $10^{-5}$  mbar te se zbog tog svojstva obično koriste u slučaju kada temperature prelaze 300 °C jer dolazi do smanjenja toplinskih gubitaka te se povećava učinkovitost PTC-a. Vanjska cijev sastoji

se od mješavine borisilkastog stakla s niskim sadržajem željeza u svrhu povećanja propusnosti Sunčevog zračenja. Radi povećanja propusnosti, vanjska cijev ima anti reflektivni premaz dok unutarnja cijev ima anti refleksni premaz radi postizanja veće solarne propusnosti. Standardni promjer unutarnje cijevi za parabol do 6 m iznosi 70 mm. U slučajevima gdje su parabole veće, koriste se cijevi od 80 mm i 90 mm. Zbog svoje se visoke cijene koriste samo u slučajevima viših temperatura kada je toplinska učinkovitost dobra. Najviša radna temperatura prijemnika mora biti viša od najviše temperature radnog fluida koji se zagrijava unutar cijevi prijemnika jer prijenos topline s unutarnje cijevi na fluid stvara razliku u temperaturi. Neevakuirani se prijemnici, za razliku od evakuiranih, koriste u slučaju radnih temperatura koje su niže od 300 °C jer su toplinski gubitci manji na tim temperaturama. Sastoje se od unutarnje čelične cijevi i vanjske staklene cijevi kao i evakuirani, ali nemaju vakuum između vanjske i unutarnje cijevi. Koriste se premazi od crnog kroma i nikla zbog jeftinije cijene i jednostavnije proizvodnje.



Sl. 4.4. Slika prijemnika[11].

## 4.5. Prednosti i nedostatci

Veliki je nedostatak paraboličnih protočnih solarnih termoelektrana cijena struje u usporedbi s drugim elektranama. Donekle taj nedostatak umanjuje dolazak hibridnih termoelektrana kod kojih se protočna elektrana spaja s nekom drugom elektranom koja kao gorivo koristi neobnovljive izvore. Tako se omogućuje predstavljanje solarnih vrsta termoelektrana na tržištu sve dok se ne nađe bolje rješenje kako doći do struje uz manje troškove. S tim u vezi, neke prednosti odnose se na okoliš jer se radi o obnovljivim izvorima energije, ali to nije jako vidljivo kod hibridnih elektrana. Ovaj tip elektrana sadrži relativno nizak tehnološki rizik što će u budućnosti dovesti do smanjenja cijena budućih elektrana. Osim toga, zauzimaju veliki dio zemljišta (iako manje nego elektrane koje funkcioniraju na drugim izvorima obnovljive energije) te zahtijevaju velike količine vode u svrhu sustava za hlađenje.

## 4.6. Lokacija

Za ovu vrstu termoelektrana iznimno je bitna lokacija jer o tome može ovisiti uspješnost projekta. Neki su od parametara koji se moraju uzeti u obzir:

- dostupnost Sunca – cijena energije usko je povezana uz dostupnu količinu Sunčevog zračenja
- vremenske prilike – Sunčevo zračenje glavni je izvor energije te ne smije biti vremenskih neprilika poput oblaka koji bi mogli smanjiti njegovu dostupnost
- topografija – ova vrsta termoelektrana zahtijeva velike površine zemljišta; kako raste količina energije koju elektrana proizvodi, tako raste i potrebna površina za nju
- dostupnost vode – voda je bitna za parni generator i sustav za hlađenje
- dostupnost i razvoj – iznimno važno radi distribucije električne energije na mrežu ili izravno kupcima; termoelektrane moraju biti izgrađene na ključnim lokacijama koje osiguravaju ravnotežu između proizvodnje, distribucije i potražnje.

## 4.7. Ekonomičnost

Slijede podatci o termoelektrani Solana koja je locirana u Arizoni u SAD-u.

**Tab. 4.1.** Prikaz parametara solarne termoelektrane Solana[12].

Kapacitet	250 MW
Cijena izgradnje (2020)	2161060000 \$
Cijena struje po kWh	0,2 \$
Veličina površine	2,200,000 m <sup>2</sup>
Broj kolektora	3232
Proizvedena količina struje u jednoj godini	742,000 MWh
Radni medij pohrane	Rastaljena sol
Radni medij	Termalno ulje



**Sl. 4.5.** Slika solarne termoelektrane SOLANA u Arizoni[13].

## 4.8. Budući trendovi

Najveći nedostaci termalnih ulja koja služe kao tekućina za prijenos topline opasnost su za okoliš i njihova degradacija na temperaturama iznad 400 °C. To je veliki nedostatak jer ograničava učinkovitost parne turbine ne dozvoljavajući da temperatura pare koja dolazi u pogonski blok bude viša od 390 °C. Više temperature smanjuju potrebnu veličinu solarne termoelektrane, a samim time i cijenu sustava za pohranu topline potrebnog za postizanje potrebnog kapaciteta pohrane. Neke su od novih tekućina koje se proučavaju u svrhu zamjene termalnog ulja plinovi pod tlakom, rastaljena sol i voda odnosno vodena para.

**Tab. 4.2.** Prikaz prednosti i nedostataka tekućina koje se trenutno razvijaju[5].

Tekućina	Prednosti	Nedostaci
Plin pod tlakom	<ul style="list-style-type: none"> <li>• nema onečišćenja okoliša</li> <li>• viša temperatura pare</li> <li>• poboljšanje toplinske pohrane</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• kompleksniji dizajn solarnog polja</li> <li>• slab prijenos topline u cijevima prijemnika</li> </ul>
Rastaljena sol	<ul style="list-style-type: none"> <li>• viša radna temperatura</li> <li>• nema onečišćenja okoliša</li> <li>• učinkovitija pohrana topline</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• kompleksniji dizajn solarnog polja</li> <li>• viši toplinski gubitci</li> <li>• viša potrošnja električne energije</li> </ul>
Voda/para	<ul style="list-style-type: none"> <li>• lagan dizajn elektrane</li> <li>• nema onečišćenja okoliša</li> <li>• viša radna temperatura</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• nedovoljno prostora za pohranu</li> <li>• kompliciranija kontrola solarnog polja</li> </ul>



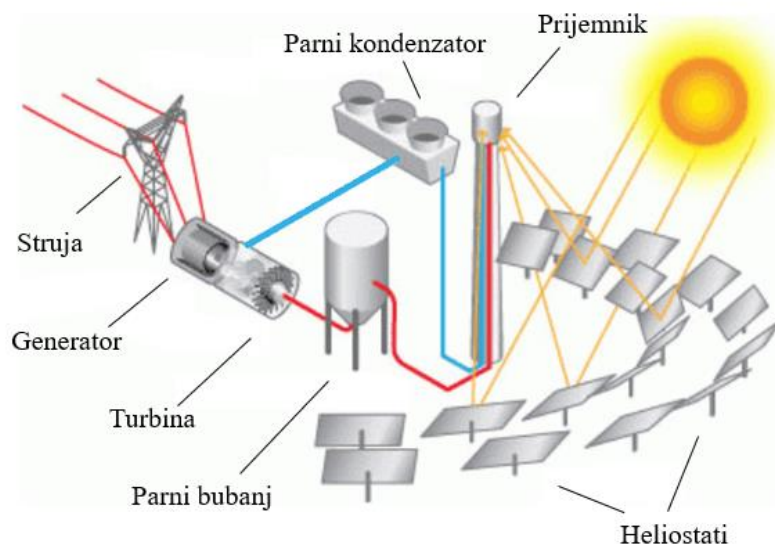
## **4.9. Pohrana električne energije**

Tijekom visokog Sunčevog zračenja, kada je količina skupljene električne energije veća nego što je potrebno za rad elektrane, višak toplinske energije pohranjuje se u dva spremnika: jedan za topli fluid na temperaturi od 380 °C i drugi za hladni fluid na temperaturi od 280 °C. Kada Sunčevo zračenje nije dovoljno jako i termoelektrana ne proizvodi dovoljno električne energije da bi se zadovoljile sve potrebe, električna se energija uzima iz pohrane. Nove tehnologije razvijaju se kako bi se pohranjivanje električne energije još više unaprijedilo. Za pohranu se mogu koristiti spremnici s termalnim uljem, otopljenim solima ili sintetičkim uljem. Korisnosti solarne termoelektrane variraju s obzirom na radni medij i obična korisnost je oko 15 %.

## 5. SOLARNE TERMOELEKTRANE SA CENTRALNIM TORNJEM

### 5.1. Princip rada

Solarna termoelektrana sa centralnim tornjem u svojem središtu ima visoki toranj koji nosi toplinski prijemnik. Toranj je okružen poljem zrcala koji se zovu heliostati. Prijemnik skuplja svu toplinsku energiju dobivenu od Sunčevog zračenja putem velikog broja heliostata koji se nalaze na površini. Sunčevo zračenje fokusira se na toplinski prijemnik za razliku od prijemne cijevi koja se nalazi na vrhu centralnog tornja gdje se tekućina za prijenos topline zagrijava, a toplina ide prema generatorima kako bi proizvela električnu struju. Zbog principa rada po kojem je sva toplinska energija koncentrirana u jednoj točki, razina koncentracije viša je nego u slučaju solarne termoelektrane s paraboličnim kolektorima u kojoj je toplinska energija koncentrirana duž linije.



Sl. 5.1. Slika sheme solarne termoelektrane sa centralnim tornjem[15].

### 5.2. Heliostati

Heliostati služe za reflektiranje Sunčeve energije te prate dnevno kretanje Sunca u svrhu dobivanja najviše količine Sunčevog zračenja. Sastoje se od okvira za zrcalo i stabilizatora. Stabilizator smanjuje neželjene vibracije na okvirima koje su uzrokovane naletima vjetera. Moderniji heliostati služe se programima koji kontroliraju tehnologiju koja mjeri Sunčevo zračenje i prema tome se usmjerava prema Suncu kako bi se dobili najbolji rezultati. Heliostati su međusobno odvojeni da ne bi došlo do potencijalnih mehaničkih problema.

### 5.3. Prednosti i nedostatci

Najveći je nedostatak ovog sustava taj što zahtijeva veliku količinu površine za izgradnju s obzirom na ostale solarne termoelektrane opisane u ovom radu. Slično kao i kod paraboličnih protočnih termoelektrana, solarni toranj uvelike ovisi o lokaciji, pogotovo kada je u pitanju opskrba vodom zbog sustava za hlađenje. Prednost im je što su uz parabolične protočne termoelektrane tehnološki najrazvijenije, ali su potonje ipak popularnije zbog dobrih uspjeha u povijesti i zbog već opisanog problema s veličinom površine što izravno utječe na ukupnu cijenu postrojenja. Veliki je nedostatak i upitan ekološki utjecaj. Iako hibridizacija donosi neke uspjehe, to je još uvijek daleko od postrojenja koje funkcionira preko obnovljivih izvora.

### 5.4. Ekonomičnost

Slijede podatci o termoelektrani Crescent Dunes koja je locirana u Nevadi u SAD-u.

**Tab. 5.1.** Prikaz parametara solarne termoelektrane Crescent Dunes[16].

Kapacitet	110 MW
Cijena izgradnje (2020)	1032240000 \$
Cijena struje po kWh	0,18 \$
Veličina površine	1,197,148 m <sup>2</sup>
Broj kolektora	10347
Proizvedena količina struje u jednoj godini	196,000 MWh
Radni medij pohrane	Rastaljena sol
Radni medij	Rastaljena sol



Sl. 5.3. Slika solarne termoelektrane Crescent Dunes u Arizoni[17].

## 5.5. Budući trendovi

Velika prednost solarne termoelektrane sa centralnim tornjem sposobnost je učinkovitog rada i jeftina pohrana. Trenutno najpopularnija opcija toplinske pohrane rastaljena je sol s dva spremnika. Koristi se u većini trenutnih komercijalnih postrojenja sa centralnim tornjem u slučaju skladištenja koje je duže od nekoliko sati. Razvijaju se i druge vrste soli koje bi omogućile povećanje izlazne temperature iznad  $565\text{ }^{\circ}\text{C}$  i smanjenje temperature smrzavanja soli ispod  $200\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Postizanje tih temperatura omogućilo bi korištenje turbina veće učinkovitosti. Neke su od mogućnosti za radni medij tekući natrij ili plin, ali se tehnologije za njihovu bolju upotrebu još razvijaju. Termoelektrane koje se budu gradile u budućnosti sa snagom preko 100 MW, imat će faktor kapaciteta preko 50 % te će moći proizvoditi više od 400 GWh električne energije godišnje. Velika prednost ove tehnologije briga je za okoliš. U usporedbi s drugim tehnologijama, postrojenja s centralnim prijemnikom manje zagađuju te će to sigurno igrati veliku ulogu u daljnjem razvoju ove tehnologije.

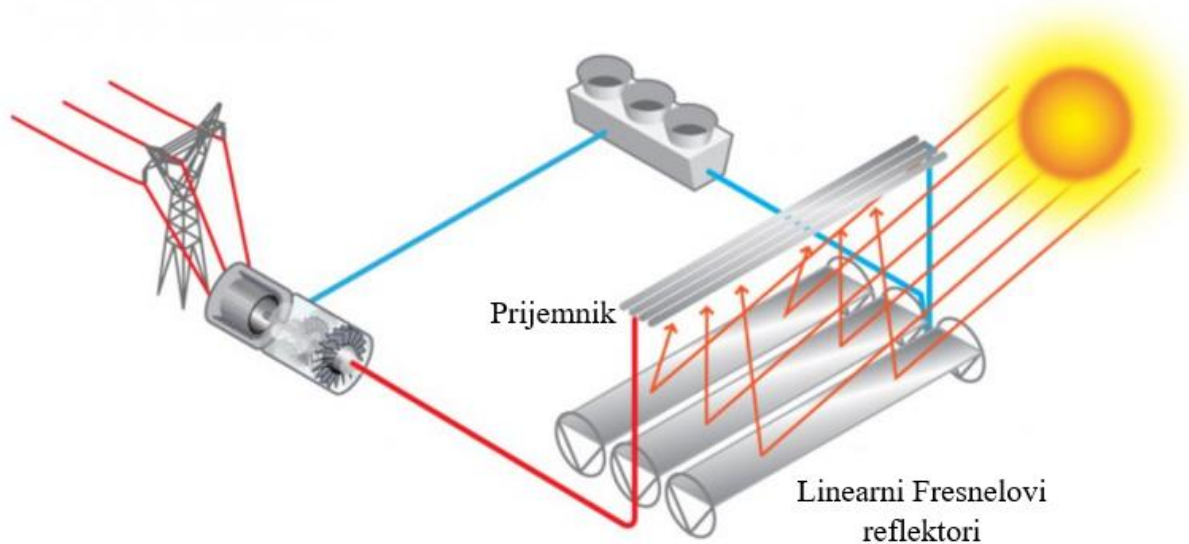
## **5.6. Pohrana električne energije**

Višak toplinske energije dobivene Sunčevim zračenjem koja nije potrebna za rad solarne termoelektrane pohranjuje se u spremnicima. Spremnici za pohranjivanje viška električne energije obično su ispunjeni otopljenim solima i rade na temperaturama od 560 °C. Razvijaju se tehnologije koje bi omogućile pohranu dovoljno toplinske energije kako bi ove termoelektrane mogle raditi cijeli dan. Korisnost ovisi o tipu izvedbe i obično je između 10% i 20%

## 6. SOLARNE TERMOELEKTRANE S LINEARNIM FRESNELOVIM KOLEKTORIMA

### 6.1. Princip rada

U povijesti najviše su se koristili veliki parabolični kolektori stalne zakrivljenosti, ali tu je bilo velikih problema s naletima vjetra zbog njihove velike površine i s održavanjem popravaka zbog visine. Zamijenjeni su većim brojem manjih reflektirajućih elemenata koji su rašireni na velikoj površini i koji su na kraju spajanjem linearnog Fresnelovog reflektora s prijemnikom iznad Fresnelovog reflektora postali linearni Fresnelovi kolektori. Linearni Fresnelovi kolektori sastoje se od mnogo redova elemenata koji se kolektivno fokusiraju na povišenom centralnom prijemniku i koji idu paralelno s rotacijskom osi reflektora. Prijemnik je fiksiran u prostoru, a reflektori se okreću kako bi zadržali fokus na prijemniku. Svi reflektori prolaze kroz isti broj stupnjeva tijekom dana ovisno o tome kako se Sunce kreće, ali su nagnuti pod različitim kutovima zbog svojih različitih položaja s obzirom na prijemnik. Korištenje više malih jedinica u odnosu na jedan veliki objekt omogućuje korištenje gotovo potpuno ravnih jeftinih staklenih elemenata. Obično se koristi 10 do 20 dugih reflektirajućih dijelova koji se rotiraju prateći Sunce kako bi postigli maksimalnu iskoristivost.



Sl. 6.1. Shema solarne termoelektrane s linearnim Fresnelovim kolektorima[19].



Sl. 6.2. Slika Fresnelovih kolektora[20].

## 6.2. Tražene mete

Postoji nekoliko problema kod LFC tehnologije:

- kratka udaljenost između koncentratora i prijemnika
- mogućnost održavanja tijekom rada
- smanjenje troškova sustava
- prilagodljivost nagibu, ravnini i obliku tla
- orijentacija kolektora.

Areva je već pokazala uspješnu proizvodnju nizova zrcala, ali instalacija još uvijek ostaje problem. Za čišćenje redova reflektora već su razvijeni roboti. U budućnosti bi LFC sustav mogao napredovati učinkovitije koristeći visoko temperature turbine. U tom bi slučaju LFC sustav mogao proizvesti visoke temperature sa ciljem proizvodnje električne energije.

### 6.3. Ekonomičnost

Slijede podatci vezani uz termoelektranu Lanzhou Dancheng Dunhuang koja je locirana u Kini.

**Tab. 6.1.** Prikaz parametara solarne termoelektrane Lanzhou Dancheng Dunhuang[21].

Kapacitet	50 MW
Cijena izgradnje (2020)	253190000 \$
Cijena struje po kWh	0,1 \$
Veličina površine	1,270,000 m <sup>2</sup>
Broj kolektora	80
Proizvedena količina struje u jednoj godini	142,000 MWh
Radni medij pohrane	Rastaljena sol
Radni medij	Rastaljena sol



**Sl. 6.3.** Slika solarne termoelektrane Lanzhou Dancheng Dunhuang u Kini[22].



## **6.4. Prednosti i nedostatci**

Neke su od prednosti linearnih Fresnelovih kolektora te što koristi vodenu paru kao radni medij, a ona omogućava više temperature. Za razliku od termoelektrana koje koriste sintetička ulja za radni medij, ona je bolja za okoliš i ujedno jeftinija od sintetičkih ulja. Fresnelovi kolektori koriste ravna zrcala koja su jeftinija od zakrivljenih kod paraboličnih kolektora. Smanjen je broj komponenti i samih troškova. Međutim, Fresnelovi kolektori ne prate kretanje Sunca te zbog toga imaju manji pristup Sunčevom zračenju. Paralelni redovi zrcala mogu smetati jedan drugome pa zbog toga ne koriste svoju cijelu površinu za upijanje Sunčevog zračenja. S obzirom da ova tehnologija nije u potpunosti dokazana, nije ni dovoljno pouzdana pa je samim time upitno i financiranje.

## **6.5. Buduće tehnologije**

Iako je tehnologija linearnih Fresnelovih kolektora već pokazala pouzdanost u nekoliko ključnih aspekata, još uvijek nema dovoljno postrojenja diljem svijeta koji bi investitore uvjerali da je ona vrijedna tehnologija za budućnost. Sukladno tome, još uvijek se koristi tehnologija paraboličnog protočnog kolektora koja koristi sintetičko ulje kao radni fluid. Neke od budućih mogućnosti tehnologije tornjevi su rastaljene soli koji koriste pohranu s dva spremnika.

## **6.6. Tehnologija rastaljene soli**

Trenutno najbolji medij za pohranu rastaljena je nitrarna sol. Sukladno povećanju temperature, količina soli potrebne za pohranjivanje topline značajno se smanjuje. Uspješno je dokazan rad termoelektrane s paraboličnim protočnim kolektorima s tehnologijom rastaljene soli koja funkcionira na temperaturama od 550 °C te rješenja za smanjenje gubitaka topline preko noći. Kod linearnih Fresnelovih kolektora tehnologija rastaljene soli bolja je nego kod paraboličnog kolektora zbog više koncentracije koja smanjuje gubitak topline pri temperaturama od 550 °C. Povoljno je rješenje za upotrebu skupog i ograničenog prostora unutar industrijskih objekata.

## 7. SOLARNE TERMOELEKTRANE S PARABOLIČNIM TANJUROM

Solarna termoelektrana s paraboličnim tanjurom ima najveću učinkovitost s obzirom na druge oblike solarnih termoelektrana i iznosi oko 30 % ili više. Jedan su od najvažnijih dijelova termoelektrane parabolični tanjur i Stirlingov motor. Termoelektrane koje sadrže Stirlingov motor imaju mogućnost pretvaranja 30 % Sunčevog zračenja u električnu energiju.

### 7.1. Princip rada

Parabolični tanjur prati Sunce u dvjema osima te pomoću svoje reflektirajuće površine fokusira i reflektira Sunčevo zračenje u obliku toplinske energije u jednu točku gdje se nalazi prijemnik. Na prijemniku se nalazi Stirlingov motor koji pretvara mehaničku energiju u električnu. Dvoosni sustav praćenja pokreće se preko električnih motora, a položaj se pronalazi pomoću senzora za Sunce. Prijemnik može dostići temperature do 1000 °C.



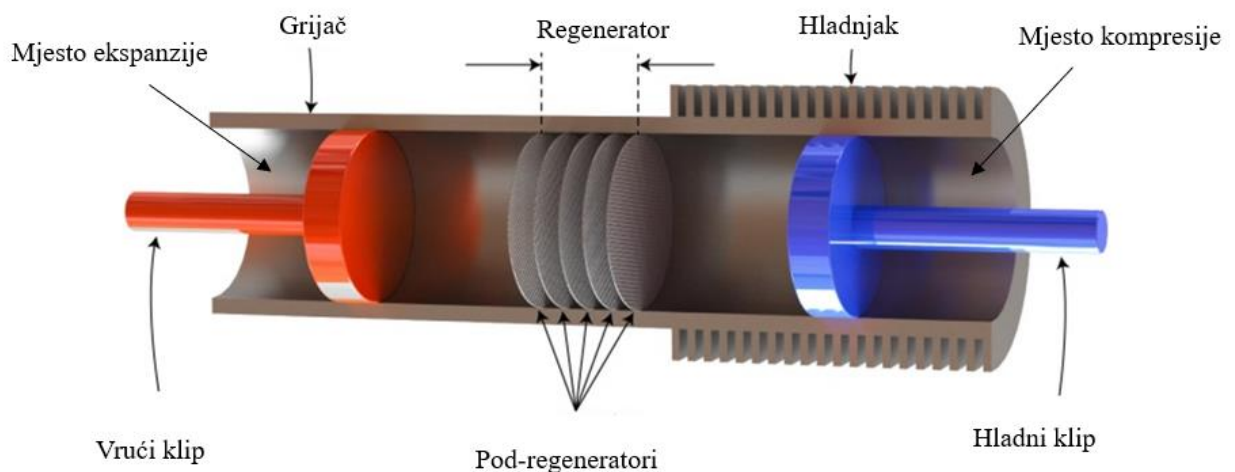
Sl. 7.1. Slika solarne termoelektrane s tanjurastim kolektorom[23].

### 7.2. Stirlingov motor

Stirlingovi motori pretvaraju toplinsku energiju dobivenu iz Sunčevog zračenja u električnu. Energiju dobivaju iz vanjskog izvora što ih čini prikladnima za solarni pogon. Koriste zatvoreni termodinamički proces. Za radni plin mogu se koristiti helij, zrak ili vodik na temperaturama između 600 °C i 800 °C.

### 7.3. Princip rada

Koriste cikličku kompresiju i ekspanziju plina na različitim temperaturnim razinama kako bi se napravila konverzija vanjskog izvora energije u mehanički rad. Dolazi do kompresije hladnog i ekspanzije vrućeg radnog medija. Plin se pomiče između dvaju cilindara visoke i niske temperature koji su spojeni cjevovodom. Pomicanjem klipa topli plin iz cilindra visoke temperature prolazi kroz regenerator kako bi došao do cilindra hladnog plina. Prilikom prolaska plin se hladi na temperaturu hladnog prostora dok regenerator pohranjuje toplinu. U hladnom prostoru plin se komprimira i pomiče klip u cilindar niske temperature. Potom plin ide iz cilindra niske temperature prema cilindru visoke temperature i prolazi kroz regenerator gdje se zagrijava koristeći se pohranjenom toplinom u regeneratoru. Pri dolasku u cilindar niske temperature, plin ekspanzira i apsorbira toplinu iz cilindra. Radni plin, šireći se, pomiče klip i proces ide ispočetka.



Sl. 7.2. Slika Stirlingovog motora[24].

### 7.4. Prednosti i nedostaci

Neke od prednosti su te što imaju veliki potencijal za masovnu proizvodnju. Dolazi do smanjenja cijena proizvoda, mali su ekonomski rizici, brza je implementacija i potencijal za hibridizaciju te je visoka učinkovitost. Nasuprot tome, najveći je nedostatak i ujedno razlog zašto ovaj tip solarne termoelektrane nije toliko popularan, nedostatak uspješne pohrane energije.

## 7.5. Ekonomičnost

Najveća termoelektrana s paraboličnim tanjurom bila je Maricopa Solar koja je bila locirana u Arizoni u SAD-u. Postrojenje je ugašeno u 2011. godini. Imalo je kapacitet od 1.5 MW i sastojalo se od 60 kolektora. Trenutno niti jedno postrojenje koje koristi parabolični tanjur nije u funkciji.



Sl. 7.3. Slika solarne termoelektrane Maricopa Solar u Arizoni[25].

## 7.6. Pohrana električne energije

U termoelektranama s paraboličnim tanjurom pohrana energije nije moguća. Dosadašnji pokušaji razvijanja skladištenja energije nisu dali željene rezultate.

## 7.7. Prednosti i nedostatci

Neke od prednosti su te što imaju veliki potencijal za masovnu proizvodnju. Time dolazi do smanjenja cijene proizvoda, brze implementacije i potencijala za hibridizaciju te visoke učinkovitosti. Nasuprot tome, najveći je nedostatak, i ujedno razlog nepopularnosti ovog tipa solarne termoelektrane, nemogućnost uspješne pohrane energije i sve većeg smanjenja cijena fotonaponskih sistema.

## 7.8. Veličina sustava

Većina Stirlingovih proizvoda ima snagu između nekoliko kW i 25 kW. Prelazak na sustave manje veličine povećao bi ukupne troškove zato što bi se za istu instaliranu snagu trebao povećati broj komponenti. S druge strane, smanjena veličina omogućila bi veći obujam masovne proizvodnje pa bi i opterećenje vjetra na parabolični tanjur bilo smanjeno. Optimalna je veličina između  $50\text{ m}^2$  sa snagom od 10 kW i  $120\text{ m}^2$  sa snagom od 25 kW.

## 8. USPOREDBA

Zbog nepostojanja komercijalne izvedbe novih solarnih termoelektrana s paraboličnim tanjurom, tu ćemo vrstu izvedbe zanemariti u ovom dijelu.

**Tab. 8.1.** Usporedba vremena maksimalne snage različitih izvedbi solarnih termoelektrana[21,26,27].

Naziv TE	Tip kolektora	Instalirana snaga [MW]	Proizvedena el. Energija [GWh]	Vrijeme maksimalne snage [h]
TE Bokpoort CSP	Parabolični kolektor	50	234	4680
TE Lanzhou Dancheng Dunchuang	Fresnelov kolektor	50	142	2840
TE Khi Solar One	Centralni toranj	50	180	3600

Vrijeme maksimalne snage predstavlja omjer proizvedene električne energije tijekom godine dana i instalirane snage.

Iznos vremena maksimalne snage dobiveno je jednadžbom:

$$T_{v1} = \frac{\text{proizvedena el. energija}}{\text{instalirana snaga}} \quad (8-1)$$

$$T_{v1} = \frac{\text{proizvedena el. energija}}{\text{instalirana snaga}} = \frac{234 * 10^9 \text{ Wh}}{50 * 10^6 \text{ W}} = 4680 \text{ h}$$

$$T_{v2} = \frac{\text{proizvedena el. energija}}{\text{instalirana snaga}} = \frac{142 * 10^9 \text{ Wh}}{50 * 10^6 \text{ W}} = 2840 \text{ h}$$

$$T_{v3} = \frac{\text{proizvedena el. energija}}{\text{instalirana snaga}} = \frac{180 * 10^9 \text{ Wh}}{50 * 10^6 \text{ W}} = 3600 \text{ h}$$

**Tab. 8.2.** Usporedba cijene po jedinici snage različitih izvedbi solarnih termoelektrana[21,26,27].

Naziv TE	Tip kolektora	Instalirana snaga [kW]	Ukupni trošak (2020) [\$]	Cijena po jedinici snage [\$/kW]
TE Bokpoort CSP	Parabolični kolektor	50000	$585,83 * 10^6$	11716,6
TE Lanzhou Dancheng Dunchuang	Fresnelov kolektor	50000	$253,19 * 10^6$	5063,8
TE Khi Solar One	Centralni toranj	50000	$466,59 * 10^6$	9331,8

Cijena po jedinici snage predstavlja omjer ukupnog iznosa svih troškova izgradnje postrojenja i instalirane snage tog postrojenja.

Iznos cijene po jedinici snage dobiveno je jednadžbom:

$$Cijena\ po\ jedinici\ snage = \frac{ukupni\ iznos\ troškova}{instalirana\ snaga\ u\ kW} \quad (8-2)$$

$$Cijena\ po\ jedinici\ snage = \frac{ukupni\ iznos\ troškova}{instalirana\ snaga\ u\ kW} = \frac{585,83 * 10^6}{50000\ kW} = 11716,6\ \$/kW$$

$$Cijena\ po\ jedinici\ snage = \frac{ukupni\ iznos\ troškova}{instalirana\ snaga\ u\ kW} = \frac{253,19 * 10^6}{50000\ kW} = 5063,8\ \$/kW$$

$$Cijena\ po\ jedinici\ snage = \frac{ukupni\ iznos\ troškova}{instalirana\ snaga\ u\ kW} = \frac{466,59 * 10^6}{50000\ kW} = 9331,8\ \$/kW$$

**Tab. 8.3.** Usporedba faktora kapaciteta različitih izvedbi solarnih termoelektrana[21,26,27]

Naziv TE	Tip kolektora	Instalirana snaga [MW]	Proizvedena el. Energija [MWh]	Faktor kapaciteta [%]
TE Bokpoort CSP	Parabolični kolektor	50	234000	53,42
TE Lanzhou Dancheng Dunchuang	Fresnelov kolektor	50	142000	34,42
TE Khi Solar One	Centralni toranj	50	180000	41,1

Faktor kapaciteta predstavlja postotak radnih sati pri kojima termoelektrana može raditi maksimalnom snagom. Izražava se omjerom proizvedene električne energije tijekom jedne godine koja je izražena u MWh i umnoška vremena jedne godine izražene u satima koje iznosi 8760 te instalirane snage tog postrojenja.

Iznos faktora kapaciteta dobiven je jednadžbom:

$$\text{Faktor kapaciteta} = \frac{\text{proizvedena el. energija}}{8760 * \text{instalirana snaga u MWh}} \quad (8-3)$$

$$\text{Faktor kapaciteta} = \frac{\text{proizvedena el. energija}}{8760 * \text{instalirana snaga u MWh}} = \frac{234000\text{MWh}}{8760\text{h} * 50\text{MW}} = 53,42\%$$

$$\text{Faktor kapaciteta} = \frac{\text{proizvedena el. energija}}{8760 * \text{instalirana snaga u MWh}} = \frac{142000\text{MWh}}{8760\text{h} * 50\text{MW}} = 32,42\%$$

$$\text{Faktor kapaciteta} = \frac{\text{proizvedena el. energija}}{8760 * \text{instalirana snaga u MWh}} = \frac{180000\text{MWh}}{8760\text{h} * 50\text{MW}} = 41,1\%$$



**Tab. 8.4.** Usporedba parametara različitih izvedbi solarnih termoelektrana[4].

Parametar sustava	Solarne termoelektrane s paraboličnim kolektorom	Solarne termoelektrane sa centralnim tornjem	Solarne termoelektrane s paraboličnim tanjurom	Solarne termoelektrane sa Fresnelovim kolektorima
Stupanj djelovanja, [%]	10-14	10-20	15-36	do 20
Temperatura radnog medija, [°C]	150-400	500-1000	600-1000	do 300
Najveća mogućnost koncentriranja sunčevog zračenja	100	1000	3000	50
Radni medij	Plinovi pod pritiskom( $CO_2$ , $N_2$ ), voda/vodena para, rastaljene soli, sintetička ulja	Sintetička ulja, plinovi, rastaljene soli, voda/vodena para	Helij, vodik, zrak, tekući natrij	Voda/ vodena para, rastopljene soli

## 9. ZAKLJUČAK

Solarna energija iznimno je bitna za budućnost kao jedna od vodećih izvora obnovljive i čiste energije. U budućnosti će posljedice korištenja postrojenja na fosilna goriva na okoliš biti sve vidljivija, a postepenim nestajanjem i nedostatkom izvora vidjet će se i porast cijene te u konačnici neodrživost ovog principa proizvodnje električne energije. Zbog tih razloga sve se više zagovara proizvodnja električne energije iz obnovljivih izvora. Jedna je od opcija solarna energija. Postoje fotonaponski sustavi i različite izvedbe solarnih termoelektrana. Trenutno je najpopularnija i najrazvijenija izvedba solarne termoelektrane s paraboličnim kolektorom. Vrijeme maksimalne snage predstavlja omjer proizvedene električne energije u godini dana i instalirane snage. Time se pokazuje da je najbolji omjer uloženog i dobivenog upravo u izvedbi s paraboličnim kolektorom pa je zbog toga taj način i najpopularniji. Naravno, ta se tehnologija najduže i razvijala pa je očekivano da ima najbolju izvedbu.

Izvedba s paraboličnim tanjurom najnovija je i time najmanje razvijena, a već sada ima najbolju učinkovitost u usporedbi s drugim izvedbama. Jedan od problema te izvedbe (kao i kod mnogih drugih) opadanje je cijena fotonaponskih sustava zbog čega su manje financijski isplative. Međutim, najveći je problem izvedbe s paraboličnim tanjurom nedostatak pohrane električne energije. Zbog toga su svi napustili tu izvedbu. Međutim, razvijaju se tehnologije koje bi to omogućile i u slučaju da budu uspješne, ova će izvedba postati jedna od dominantnijih na tržištu. Izvedba sa centralnim tornjem ima sličnu situaciju kao i izvedba s paraboličnim kolektorima u smislu popularnosti jer su tehnološki najrazvijenije. To možemo i vidjeti po vremenu maksimalne snage koja je izračunata u ovom završnom radu. Ova izvedba ima skuplji iznos cijene po jedinici snage, ali sukladno tome ima i veće vrijeme maksimalne snage. Izvedba sa Fresnelovim kolektorima kao i izvedba s paraboličnim tanjurom ima najveći nedostatak: jedna je od novijih izvedbi i zbog toga manje pouzdana za investiranje što rezultira slabijim rezultatima kao u primjeru vremena maksimalne snage kod Fresnelovog kolektora. No sukladno vremenu maksimalne snage i cijena po jedinici snage uvelike je smanjena s obzirom na druge izvedbe. Kao i svaka druga, i ova izvedba ima svojih nedostataka, ali i prednosti. Razne tehnologije razvijaju se u pogledu novih radnih medija; ponajviše se to odnosi na tehnologiju rastaljene soli koja bi uvelike poboljšala performanse svih izvedbi termoelektrana. Svaka izvedba razvija i razne tehnologije čiji je cilj poboljšati infrastrukturu vlastitih postrojenja kako bi u konačnici poboljšala svoje performanse. U konačnici, daljnjim razvijanjem tehnologija izvedbe sa Fresnelovim kolektorima i paraboličnim tanjurom trebala bi preuzeti tržište solarnih termoelektrana.

## 10. LITERATURA

[1] T. Sueyoshi, M. Goto, „Comparison among Three Groups of Solar Thermal Power Stations by Data Envelopment Analysis“, Data Envelopment Analysis (DEA) Applied to Energy and Environment, 2019. (24.9.2023.)

<https://www.mdpi.com/1996-1073/12/13/2454>

[2] X. Li, J. Jin, D. Yang, N. Xu, Y. Wang, X. Mi, „Comparison of tower and trough solar thermal power plant efficiencies in different regions of China based on SAM simulation“, Elsevier, 2013. (24.9.2023.)

[https://www.researchgate.net/publication/334727471\\_Comparison\\_of\\_tower\\_and\\_trough\\_solar\\_thermal\\_power\\_plant\\_efficiencies\\_in\\_different\\_regions\\_of\\_China\\_based\\_on\\_SAM\\_simulation](https://www.researchgate.net/publication/334727471_Comparison_of_tower_and_trough_solar_thermal_power_plant_efficiencies_in_different_regions_of_China_based_on_SAM_simulation)

[3] H.Sumayli, A. Al Zahrani, A. Bindaýel, „Comparative Analysis of Different CSP Plant Configurations in Saudi Arabia“, Department of Engineering and Applied Sciences, University of Bergamo, Italy, 2016. (24.9.2023.)

[https://www.researchgate.net/publication/313692527\\_Comparative\\_analysis\\_of\\_Different\\_CSP\\_plant\\_configurations\\_in\\_Saudi\\_Arabia](https://www.researchgate.net/publication/313692527_Comparative_analysis_of_Different_CSP_plant_configurations_in_Saudi_Arabia)

[4] N. E. Gharbia, H. Derbalb, S. Bouaichaouia, N. Saida, „A comparative study between parabolic trough collector and linear Fresnel reflector technologies“, Elsevier, 2011. (24.9.2023.)

[https://www.researchgate.net/publication/251712470\\_A\\_comparative\\_study\\_between\\_parabolic\\_trough\\_collector\\_and\\_linear\\_Fresnel\\_reflector\\_technologies](https://www.researchgate.net/publication/251712470_A_comparative_study_between_parabolic_trough_collector_and_linear_Fresnel_reflector_technologies)

[5] K. Lovegrove, W. Stein, „Concentrating Solar Power Technology: Principles, Developments, and Applications [2 ed.]“, Elsevier Woodhead Publishing, United Kingdom, 2020.

[6] Lj. Majdančić : „Solarni sustavi“, Graphis, Zagreb, 2010.

[7] „Linear Concentrator Solar Power Plant Illustration“ (20.8.2023.)

<https://www.energy.gov/eere/solar/articles/linear-concentrator-solar-power-plant-illustration>

[8] D. Šljivac, D. Topić, „Obnovljivi izvori električne energije“, FERIT Osijek, Osijek, 2016.

[9] „Parabolic through reflector“ (21.8.2023.)

<https://www.alternative-energy-tutorials.com/solar-hot-water/parabolic-trough-reflector.html>

[10] „Technical Data for the PolyTrough 1200B“ (21.8.2023.)

<https://eif->

[wiki.feit.uts.edu.au/\\_media/technical:renewables:111010\\_polytrough1200b\\_techspec\\_v10.pdf](https://wiki.feit.uts.edu.au/_media/technical:renewables:111010_polytrough1200b_techspec_v10.pdf)

[11] „Receiver For Parabolic Trough Power Plants“ (25.8.2023.)

<https://m.indiamart.com/proddetail/receiver-for-parabolic-trough-power-plants-1264272173.html>

[12] „Solana Generating Station CSP Project“ (20.6.2023.)

<https://solarpaces.nrel.gov/project/solana-generating-station>

[13] „HELIO SCSP – Solar Thermal Energy News“ (22.8.2023)

<https://helioscsp.com/atlantica-opts-to-buy-out-tax-equity-investor-in-solana-concentrated-solar-power-plant/>

[14] P. Breeze, Solar Power Generation, Academic Press, United Kingdom , 2016. (20.2.2023.)

<https://www.scribd.com/book/315773751/Solar-Power-Generation>

[15] „Power Tower System Concentrating Solar-Thermal Power Basics“ (2.8.2023.)

<https://www.energy.gov/eere/solar/power-tower-system-concentrating-solar-thermal-power-basics>

[16] “ Crescent Dunes Solar Energy Project CSP Project“ (20.6.2023.)

<https://solarpaces.nrel.gov/project/crescent-dunes-solar-energy-project>

[17] „Wikipedia, Crescent Dunes Solar Energy Project“ (2.9.2023)

[https://en.wikipedia.org/wiki/Crescent\\_Dunes\\_Solar\\_Energy\\_Project](https://en.wikipedia.org/wiki/Crescent_Dunes_Solar_Energy_Project)

[18] S. Karathanasis, „Linear Fresnel Reflector Systems for Solar Radiation Concentration: „Theoretical Analysis, Mathematical Formulation and Parameters’ Computation using MATLAB“, Springer International Publishing, Switzerland, 2019.

[https://www.researchgate.net/publication/330758773\\_Linear\\_Fresnel\\_Reflector\\_Systems\\_for\\_Solar\\_Radiation\\_Concentration\\_Theoretical\\_Analysis\\_Mathematical\\_Formulation\\_and\\_Parameters'\\_Computation\\_using\\_MATLAB](https://www.researchgate.net/publication/330758773_Linear_Fresnel_Reflector_Systems_for_Solar_Radiation_Concentration_Theoretical_Analysis_Mathematical_Formulation_and_Parameters'_Computation_using_MATLAB)

[19] „Linear Fresnel Power Plant Illustration“ (13.9.2023.)

<https://www.energy.gov/eere/solar/articles/linear-fresnel-power-plant-illustration>

[20] „Linear Fresnel Collectors“ (15.6.2023.)

<https://shopai5.link/ProductDetail.aspx?iid=595965731&pr=65.88>

[21] „Lanzhou Dacheng Dunhuang (DCTC Dunhuang) - 50MW Fresnel CSP Project“ (4.5.2023.)

<https://solarpaces.nrel.gov/project/lanzhou-dacheng-dunhuang-dctc-dunhuang-50mw-fresnel>

[22] „World’s First Molten Salt Fresnel CSP Plant Starts Operation in China“ (4.9.2023.)

<https://www.engineeringpassion.com/worlds-first-molten-salt-fresnel-csp-plant-starts-operation-in-china/>

[23] „Solar Parabolic Dish Concentrator“ (5.7.2023.)

<https://www.exportersindia.com/product-detail/solar-parabolic-dish-concentrator-4008005.htm>

[24] A. Nielsen, Brayden York, B. MacDonald, „Stirling engine regenerators: „How to attain over 95% regenerator effectiveness with sub-regenerators and thermal mass ratios“, Academic Press, Canada, 2019. (18.8.2023)

[https://www.researchgate.net/publication/335511720\\_Stirling\\_engine\\_regenerators\\_How\\_to\\_attain\\_over\\_95\\_regenerator\\_effectiveness\\_with\\_sub-regenerators\\_and\\_thermal\\_mass\\_ratios](https://www.researchgate.net/publication/335511720_Stirling_engine_regenerators_How_to_attain_over_95_regenerator_effectiveness_with_sub-regenerators_and_thermal_mass_ratios)

[25] „Maricopa Dish-Stirling plant“ (25.8.2023.)

[https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Maricopa\\_Dish-Stirling\\_plant\\_03.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Maricopa_Dish-Stirling_plant_03.jpg)

[26] „Bokpoort CSP Project“ (13.9.2023.)

<https://solarpaces.nrel.gov/project/bokpoort>

[27] „Khi Solar One CSP Project“ (13.9.2023.)

<https://solarpaces.nrel.gov/project/khi-solar-one>

## **11. SAŽETAK**

U završnom radu opisane su vrste izvedbi različitih vrsta termoelektrana, principi po kojima rade, orijentiranost tehnologije u budućnosti te tehnologije u razvoju. Nadalje, navedeni su primjeri postojećih termoelektrana po izvedbama i opisane njihove karakteristike u obliku ukupnog troška izgradnje te ukupne proizvodnje električne energije. Sve opisano potkrijepljeno je slikama za bolji opis. Istaknute su prednosti i nedostaci svih izvedbi kako bi se vidjele razlike među njima. Na kraju rada priloženi su različiti izračuni kako bi se dodatno uočila razlika u odabiru bolje izvedbe solarne termoelektrane.

Ključne riječi: solarne termoelektrane, obnovljivi izvori energije, Fresnelov kolektor, parabolični kolektor, centralni toranj, parabolični tanjur.

## **12. ABSTRACT**

In the final paper, various types of thermal power plants are described, along with the principles on which they operate, the future orientation of the technology, and the types of technologies currently being developed. Furthermore, examples of existing thermal power plant are presented based on their type, and their characteristics are described in terms of overall construction cost and total electricity production. All of the above is supported by images for better understanding. The advantages and disadvantages of each type are described to showcase the differences among them. At the end of the paper, various calculations were conducted to further showcase the differences in choosing the superior design of a solar thermal power plant.

Key words: Solar thermal power plant, renewable energy sources, Linear Fresnel collector, Parabolic Trough Collector, Central tower, Parabolic dish.

### **13. ŽIVOTOPIS**

Toni Stričević rođen je 17. veljače 2002. godine u Našicama. Osnovnu školu završio je u Đakovu gdje i sada živi. Pohađao je Gimnaziju Antuna Gustava Matoša. Nakon završetka srednje škole upisuje preddiplomski sveučilišni studij, smjer Elektrotehnika i informacijska tehnologija, na Fakultetu elektrotehnike računarstva i informacijskih tehnologija u Osijeku. Nakon završetka prve godinu studija upisuje smjer Elektroenergetika.