

# Usporedba standardne i DSG tehnologije solarne termalne elektrane

---

Osonički, Andreja

Master's thesis / Diplomski rad

2018

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Chemical Engineering and Technology / Sveučilište u Zagrebu, Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:149:713542>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-07-15**



Repository / Repozitorij:

[Repository of Faculty of Chemical Engineering and Technology University of Zagreb](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET KEMIJSKOG INŽENJERSTVA I TEHNOLOGIJE  
SVEUČILIŠNI DIPLOMSKI STUDIJ

Andreja Osonički

**USPOREDBA STANDARDNE I DSG TEHNOLOGIJE SOLARNE  
TERMALNE ELEKTRANE**

DIPLOMSKI RAD

Voditelj rada: izv.prof.dr.sc. Zvonimir Glasnović

Članovi ispitnog povjerenstva: izv.prof. dr.sc. Zvonimir Glasnović  
prof. dr. sc. Ante Jukić  
dr. sc. Karmen Margeta, viši znanstveni suradnik

Zagreb, veljača 2018.

*Ovaj rad izrađen je na Fakultetu kemijskog inženjerstva i tehnologije, Sveučilišta u Zagrebu,  
Zavod za mjerenja i automatsko vođenje procesa, akademske godine 2017/ 2018.*

*Zahvaljujem se izv. prof. dr. sc. Zvonimiru Glasnoviću na mentorstvu i stručnoj pomoći prilikom izrade diplomskog rada. Također se zahvaljujem dr. sc. Karmen Margeta na posvećenom vremenu i brojnim stručnim savjetima.*

*Zahvaljujem se od srca svojoj obitelji, posebno roditeljima i baki, na bezuvjetnoj ljubavi, potpori i strpljenju tijekom cijelog studija.*

*Veliko hvala mojim prijateljima koji su svojom potporom i razumijevanjem uvelike olakšali studentske dane.*

## SAŽETAK

Radom je prikazana usporedba standardne tehnologije solarnih termalnih elektrana koje kao radni fluid koriste ulja, takvi sustavi su komercijalno primjenjivi, imaju jednofazne protoke i lako se skaliraju; te nove tehnologije solarnih termalnih elektrana tzv. Direct Steam Generator (DSG). Standardni sustavi solarnih termalnih elektrana, zbog nestabilnosti ulja, ne mogu raditi na većim temperaturama od 400 °C, a što onda ima implikacije na smanjenje njihove efikasnosti, dok korištenje ulja kao radnog fluida ima nepovoljan utjecaj na okoliš. U cilju prevladavanja navedenih nedostataka korištenja ulja kao radnog fluida, razvijena je DSG tehnologija koja, umjesto ulja kao radnog fluida, koristi demineraliziranu vodu. Ta činjenica daje DSG tehnologiji sljedeće prednosti: postizanje visokih temperatura (preko 500 °C) i većih efikasnosti, sustav je ekološki prihvatljiv, nije potreban izmjenjivač topline i jednostavnija je konfiguracija takvog sustava. Međutim, nedostaci DSG tehnologije su da se mora koristiti dvofazni fluid koji iziskuje korištenje visokotlačnih separatora te složenije upravljanje sustavom kod promjena intenziteta solarnog zračenja. Ključne komponente DSG tehnologije su: solarni termalni parabolički kolektori kroz koje struji dvofazni fluid i visokotlačni separator u kojem dolazi do razdvajanja faza (parne faze od tekuće faze) radnog fluida. Radom je analizirana primjena DSG tehnologije solarnih termalnih elektrana za primjer otoka Visa u Hrvatskoj, a dobiveni rezultati pokazuju da bi ta tehnologija bila u prednosti pred tehnologijom standardne solarne termalne elektrane.

**Ključne riječi:** DSG, Direct Steam Generator, solarna energija, parabolični kolektori, radni fluid, ulje, demineralizirana voda

## **ABSTRACT**

Master's thesis presents a comparison of the standard solar thermal power plant technology which uses oil as a working fluid, these systems are commercially applicable, have single-phase flows and are easily scaled; and the new technologies of solar thermal power plants i.e. Direct Steam Generators (DSG). Standard solar thermal power plant systems, due to oil instability, cannot be operated at higher temperatures of 400 °C and that has implications for reducing their efficiency while using oil as an operating fluid has adverse environmental impacts. In order to minimize the fore mentioned disadvantages of using oil as a working fluid DSG technology has been developed. The DSG technology uses demineralized water instead of oil as a working fluid. This fact shows that DSG technology has the following advantages: achieving high temperatures (over 500 °C) and greater efficiency, the system is environmentally friendly, no heat exchanger is needed and a simpler configuration. However, the disadvantages of DSG technology refer to a necessary use a two-phase fluid which requires the use of high-pressure separators and a more complex system control by changing the intensity of solar radiation. To summarize, the key components of DSG technology are solar thermal parabolic collectors through which flows the two-phase fluid and a high-pressure separator which separates the working fluid phase (steam phase) from the working fluid. Master's thesis analyzes the application of DSG technology for solar thermal power plants on the example of island Vis in Croatia, and the results show that this technology has more advantages than the technology of the standard solar thermal power plant.

**Key words:** Direct Steam Generator DSG, solar thermal, parabolic collector, working fluid, oil, demineralized water

# SADRŽAJ

1. UVOD.....	1
1.1. Općenito.....	1
1.2. Solarni termalni koncentratorski sustavi .....	2
2. OPĆI DIO.....	6
2.1. Povijesni pregled .....	6
2.2. Standardne solarne termalne elektrane s paraboličnim kolektorima .....	8
2.2.1. Princip rada i komponente .....	8
2.2.1.1. Linearni parabolični kolektori .....	8
2.2.1.2. Apsorberska prijamna cijev i reflektori.....	11
2.2.1.3. Radni fluid PTC-a .....	12
2.2.1.4. Instaliranje PTC-a .....	13
2.2.2. Opis rada solarne termalne elektrane s PTC-om .....	14
2.2.3. Razvoj i primjena.....	16
2.3. Direct Steam Generation.....	17
2.3.1. Princip rada i karakteristike .....	17
2.3.1.1. Dvofazni protok u prijamoj cijevi PTC kolektora.....	18
2.3.1.2. Propuštanje radnog fluida u prijamne cijevi .....	20
2.3.2. Razvoj i primjena.....	22
2.4. Usporedba standardne i DSG tehnologije solarnih termalnih elektrana.....	23
3. EKSPERIMENTALNI DIO.....	25
3.1. Proračun proizvedene električne energija u solarnoj termalnoj elektrani s DSG tehnologijom.....	25
3.2. Ulazni podaci.....	25
3.3. Proizvodnja električne energije iz raspoložive dozračene solarne energije .....	28
4. REZULTATI I RASPRAVA .....	32
5. ZAKLJUČAK.....	35
6. LITERATURA .....	36

## POPIS SLIKA

Slika 1. Utjecaj atmosfere na upadno Solarno zračenje [1].	1
Slika 2. Shematski prikazi četiriju CSP sustava [3].	2
Slika 3. Parabolični kolektori u pustinji Mojave (California) [4].	3
Slika 4. Fresnelova zrcala [4].	3
Slika 5. PS10 solarni toranj pokraj Seville u Španjolskoj od 11 MW [4].	4
Slika 6. Solarni tanjuri u Španjolskoj [4].	5
Slika 7. Solarni parni strojevi; Pariz 1878 i Pasadena CA 1901 [6].	6
Slika 8. Shumanov solarni parabolički kolektor [7].	7
Slika 9. Glavni dijelovi solarne termalne elektrane s paraboličnim kolektorima [5].	8
Slika 10. Tipični linearni parabolički kolektor [9].	9
Slika 11. Prikaz fleksibilne cijevi i kuglastog zgloba [10].	10
Slika 12. Tipična apsorberska prijamna cijev PTC-a [10].	11
Slika 13. Jednostavna shema solarne termalne elektrane s PTC [8].	14
Slika 14. Shema solarne termalne elektrane s DSG tehnologijom [8].	17
Slika 15. Suština DSG sustava [13].	18
Slika 16. Shema uzoraka protoka za horizontalnu prijamnu cijev i dijagram dvofaznih protoka u horizontalnoj cijevi [8].	19
Slika 17. Prikaz raspodjela temperature s jednostranim grijanjem [14].	19
Slika 18. Stratificiranje tekuće faze i koncentrirani ulazni solarni tok u prijamnoj cijevi [8].	20
Slika 19. Prednosti i nedostaci tri glavna DSG procesa [13].	21
Slika 20. Shematski prikaz standardne solarne termalne elektrane [7].	23
Slika 21. Shematski prikaz solarne termalne elektrane s DSG tehnologijom [7].	23
Slika 22. Grafički prikaz srednjih mjesečnih vrijednosti solarnog globalnog zračenja za lokaciju otoka Visa.	27
Slika 23. Prosječne mjesečne vrijednosti proizvedene električne energije standardnom solarnom termalnom elektranom za lokaciju otoka Visa, potrošnja energije i veličina skladišta energije	33
Slika 24. Prosječne mjesečne vrijednosti proizvedene električne energije DSG solarnom termalnom elektranom za lokaciju otoka Visa, potrošena energija i veličina skladišta energije.	34



Slika 25. Usporedba prosječnih mjesečnih vrijednosti proizvedene električne energije standardnom solarnom termalnom elektranom i DSG solarnom termalnom elektranom, usporedba veličina skladišta energije .....34

## POPIS TABLICA

Tablica 1. Usporedba tehnologija solarnih koncentratorskih sustava [5] .....	5
Tablica 2. Projekti i ciljevi istraživanja koji su utjecali na razvitak DSG tehnologije [7].....	22
Tablica 3. Usporedba standardne i DSG tehnologije [7 i 8] .....	24
Tablica 4. Srednje dnevne vrijednosti temperature zraka, (°C), za lokaciju otoka Visa.....	25
Tablica 5. Srednji broj sati sijanja Sunca za lokaciju otoka Visa.....	26
Tablica 6. Srednje dnevno globalno zračenje, (kWhm <sup>-2</sup> ), za lokaciju otoka Visa. ....	27
Tablica 7. Proizvedena električna energija standardnom solarnom termalnom elektranom. ...	30
Tablica 8. Proizvedena električna energija DSG solarnom termalnom elektranom.....	31

## **POPIS AKRONIMA**

CRS- Central receiver systems- Centralni sustavi prijemnika

CSP- Concentrating Solar Power - Koncentrirana solarna energija

DE- Dish/ engine systems- Sustavi parabolični tanjura

IPCC- Intergovernmental Panel on Climate Change

ISCCS- Integrated solar combined cycle systems- Integrirani solarni sustavi kombiniranog ciklusa

LF- Linear Fresnel reflector systems- Linearni Fresnel sustav reflektora

PCM- Phase changing materials- Fazno promjenjivi materijali

PTC- Parabolic trough collectors- Parabolični kolektori

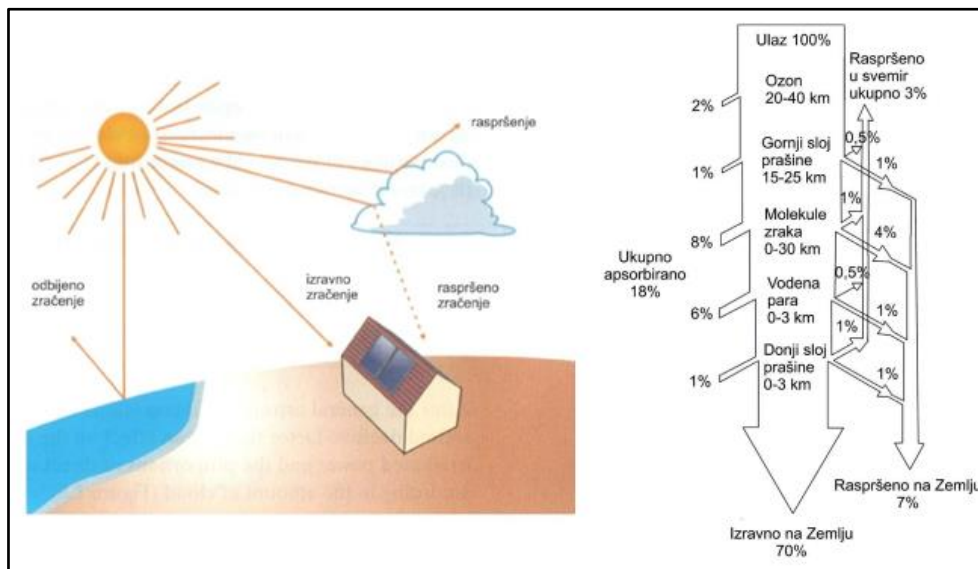
SEGS- Solar Electric Generating Systems- Solarni sustava za proizvodnju električne energije

# 1. UVOD

## 1.1. Općenito

Prolaskom kroz atmosferu Sunčevo zračenje slabi jer dolazi do apsorpcije uslijed interakcije s atmosferskim plinovima i vodenom parom te se raspršuje na molekulama plinova i česticama prašine. Zbog toga solarno zračenje do tla dopijeva kao izravno i kao raspršeno zračenje, slika 1.

Ukupno ili *globalno* Solarno zračenje na vodoravnoj plohi sastoji se od *izravnog* i *raspršenog* Solarnog zračenja. *Izravno* ili *direktno* Solarno zračenje dolazi izravno iz prividnog smjera sunca dok raspršeno ili *difuzno* Solarno zračenje nastaje raspršenjem Solarnog zračenja u atmosferi i do tla dopire iz svih smjerova atmosfere. Nagnuta ploha osim izravnog i raspršenog zračenja prima i od tla reflektirano Solarno zračenje. Ukupno Solarno zračenje na nagnutu plohu sastoji se od izravnog, raspršenog i od tla reflektiranog zračenja. [1]



Slika 1. Utjecaj atmosfere na upadno Solarno zračenje [1]

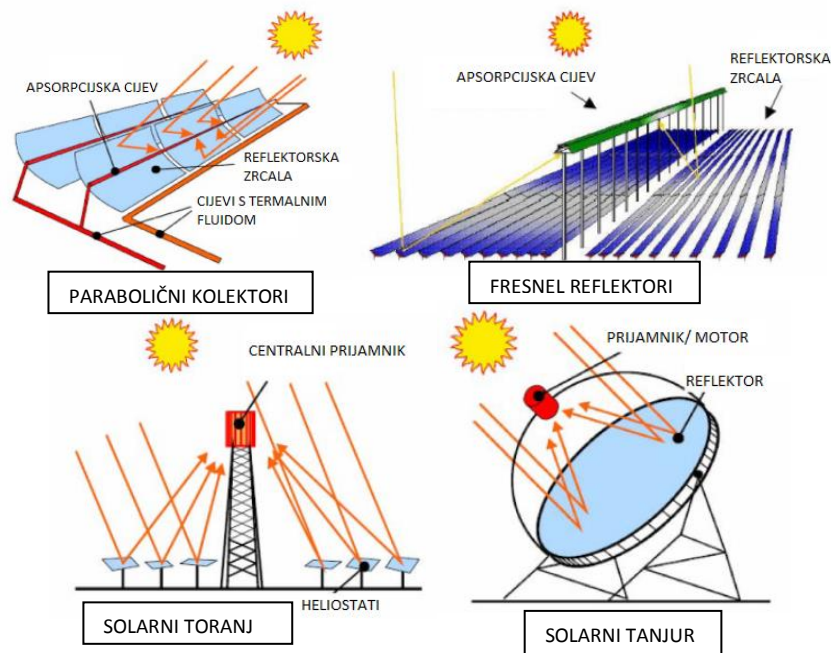
Solarno zračenje koristi se za dobivanje električne i toplinske energije. Za iskorištavanje solarne energije koriste se:

1. *Solarni termalni kolektori* - pretvorba iz solarne u toplinsku energiju i
2. *Solarni fotonaponski kolektori* - direktna pretvorba solarne u električnu energiju.

Solarni termalni kolektori mogu biti različite izvedbe, odnosno ravni kolektori koji se koriste u sustavima za zagrijavanje potrošne vode i prostora te koncentratorki sustavi, kakvi se koriste kod solarnih termalnih (ST) elektrana [2] i kakvi sustavi su u fokusu ovoga rada.

## 1.2. Solarni termalni koncentratorki sustavi

*Solarne termalne elektrane* su elektrane u kojima se solarna energija prvo pretvara u toplinsku, a zatim u električnu energiju. Pomoću ravnih ili paraboličnih zrcala, koja imaju mogućnost praćenja Sunca, Solarno zračenje se koncentrira na spremnike s fluidom. Fluid, najčešće voda ili ulje, se zagrijava, a njegovim prolaskom kroz parne turbine ili Stirlingove motore proizvodi se električna energija. Postoji nekoliko varijanti CSP tehnologija (eng. concentrated solar power), ali sve djeluju na sličan način, slika 2. Razlikuju se u radnim temperaturama, učinkovitosti i ograničenjima sustava i cijeni tehnologije. [3]



Slika 2. Shematski prikazi četiriju CSP sustava [3]

### A) Solarne termalne elektrane s paraboličnim kolektorima

Oni su najstariji i najčešće korišteni tip koncentratorkih solarnih termalnih elektrana (90 %). Takve elektrane uglavnom su snage između 14- 80 MW. Sastoje se od dugih nizova paraboličnih kolektora (zakrivljenih oko samo jedne osi) i apsorberske cijevi koja se nalazi

iznad njih, slika 3. Njihova je prednost što je potrebno pomicanje kolektora samo po jednoj osi. Kroz kolektore kao radni fluid struji sintetičko ulje koje se pod djelovanjem Sunčevih zraka zagrijava do maksimalnih 390 °C jer je do tih temperatura to ulje termički stabilno. Ukupna efikasnost se prosječno kreće oko vrijednosti 14-16 %, dok se korištenjem otopljene soli kao radnog fluida možemo postići temperature oko 550 °C, a efikasnost tada raste na 15-17 %. Međutim, glavni problem je što se otopljena sol skruti na temperaturama između 120-200 °C, a ta pojava se mora spriječiti.[4]



*Slika 3. Parabolični kolektori u pustinji Mojave (California) [4]*

### ***B) Solarne termalne elektrane s linearnim Fresnelovim zrcalima***

Koriste nizove dugih malo zakrivljenih ili potpuno ravnih zrcala, a postavljenih u obliku paraboličnih kolektora. Solarno zračenje se koncentrira prema apsorpcijskoj cijevi u fokusu i na taj način se dobiva toplinska energija (slika 4). Efikasnost ovog tipa elektrana je oko 20%. Najveće elektrane su u Puerto Errado 2 u Španjolskoj od 30 MW i jedna od 5 MW u Australiji. Trenutno je u fazi izrade elektrana snage 44 MW Kogan Creek, također u Australiji. [4]



*Slika 4. Fresnelova zrcala [4]*

### *C) Solarni tornjevi*

Ove elektrane imaju veliki broj zrcala postavljenih oko središnjeg mjesta gdje se nalazi toranj, slika 5. Zrcala su upravljana računalima te pomoću njih pronalaze najbolji kut za reflektiranje prema solarnom tornju. Ovisno o radnoj tvari mogu se postići vrlo visoke temperature. Osim ranije spomenutih rastopljenih soli i sintetičkih ulja, kao radni fluid se koristi zrak te voda/ vodena para kako bi se postigle temperature iznad 800 °C. Trenutno je u izgradnji najveća elektrana Ivanpah (California) koja će biti snage 370 MW i koristit će vodenu paru pri 565 °C uz učinkovitost od 29 %. Nedostatak ove tehnologije je što zahtijeva relativno ravnu površinu. Naime, cijela radna površina (polje zrcala) dopušta maksimalno odstupanje od svega 1 % nagiba u odnosu na ravninu. [4]



*Slika 5. PS10 solarni toranj pokraj Seville u Španjolskoj od 11 MW [4]*

### *D) Solarni tanjuri*

Zbog paraboličnog izgleda podsjećaju na satelitske tanjure, ali su oko 10 puta veći, slika 6. Zrake svjetlosti, odbijajući se od zrcala, fokusiraju se u jednu točku, prijemnik koji se nalazi iznad njih. Tu se razvijaju temperature oko 900 °C, a za dobivanje električne energije se koristi Stirlingov ili parni motor koji se nalazi u prijemniku. Radni fluid je helij ili vodik, a s njima se po jednom tanjuru, koji generira snagu između 5-50 kW, postiže efikasnost od oko 30 %. Zbog pomičnih mehanizama potrebna su česta servisiranja, a cijeli sustav zahtijeva rotaciju oko dvije osi i skupa parabolična zrcala, što se na kraju odražava na ukupnu isplativost ovakvog sustava. [4]



Slika 6. Solarni tanjuri u Španjolskoj [4]

### Usporedba koncentratorskih tehnologija

Prema Kaltschmitt i dr. [5], u tablici 1. je prikazana usporedba navedenih tehnologija solarnih termalnih koncentratorskih sustava. Kako se vidi, tehnologija solarnih paraboličkih kolektora može biti relativno velikih snaga (200 MW) i najviših efikasnosti (pogotovo kad se uspoređi s odnosom koncentracije), pri čemu one imaju i najveći potencijal daljnjeg razvoja.

Tablica 1. Usporedba tehnologija solarnih koncentratorskih sustava [5]

PARAMETRI	PARABOLIČNI KOLEKTORI	FRESNEL REFLEKTORI	SOLARNI TORNJEVI	SOLARNI TANJURI
Tipične snage [MW]	10-200	10-200	30-200	0.01-1
Stvarne snage [MW]	80	0.3	10	0.025
Faktor koncentracije	50-90	25-50	600-1000	do 1000
Efikasnost [%]	10-23	9-17	10-28	15-25
Način rada	rad na mreži	rad na mreži	rad na mreži	rad na mreži / izolirani rad
Status daljnjeg razvoja	++	0	+	+

Daljnje povećanje učinkovitosti i ekonomske održivosti solarnih elektrana s paraboličkim kolektorima, moguće je postići povećanjem temperature radnog fluida. Ovakav pristup zahtjeva zamjenu ulja; fluida za prijenos topline koji postiže radnu temperaturu do 400°C, a da pri tome ta ulja ostaju termički stabilna. Upravo iz ovih razloga je razvijena DSG (Direct Steam Generator) tehnologija koja kao radni fluid koristi demineraliziranu vodu kojom se postiže temperatura do 500°C. U odnosu na standardne solarne termalne elektrane izravnom proizvodnjom pare (DSG) u paraboličnim kolektorima postiže se povećanje učinkovitosti. Ovaj rad bazira se upravo na usporedbi standardnih solarnih termalnih elektrana i DSG tehnologije pa će te tehnologije biti detaljnije opisane.



## 2. OPĆI DIO

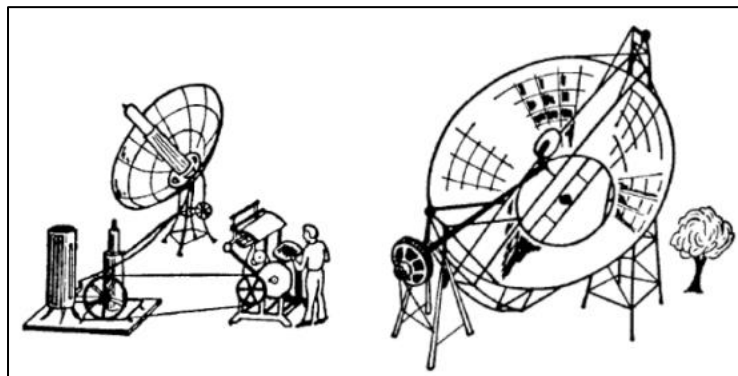
### 2.1. Povijesni pregled

U 18. stoljeću staklo se počelo intenzivnije koristiti i ljudi su opazili da se pomoću stakla može iskoristiti dio Sunčeve topline. Švicarski znanstvenik, *Horace de Saussure* zapazio je da je zapravo svaka prostorija toplija ako ima staklenu pregradu kroz koju mogu ulaziti Sunčeve zrake. Temeljem tog zaključka 1767. godine izradio je prvi poznati solarni kolektor koji koristi staklo za 'hvatanje' Sunčeve energije.

Škotski istraživač, *Robert Stirling* 1816. godine izumio je toplinski regenerator, uređaj za poboljšanje toplinske učinkovitosti u različitim procesima koristeći otpadnu toplinu za zagrijavanje radnog medija. Ovaj uređaj svoju primjenu kasnije nalazi u solarnoj termalnoj industriji koja iskorištava Sunčevu toplinsku energiju za proizvodnju električne energije.

Prvi komercijalni solarni grijač vode patentirao je *Clarence M. Kemp* 1891. godine, a koji je u osnovi bio vrlo jednostavan jer se sastojao od crnog spremnika vode unutar izoliranog kućišta s ostakljenom površinom koja je izložena solarnom zračenju.

Francuski matematičar, *August Mouchet* je također krajem 19. stoljeća u suradnji s pomoćnikom *Abelom Pifreom* načinio prvi stroj pogonjen solarnom energijom (slika 7) koji je preteča modernim solarnim paraboličnim tanjurima. [6]



Slika 7. Solarni parni strojevi; Pariz 1878 i Pasadena CA 1901 [6]

Prvi pokušaji projektiranja uređaja za korištenje obnovljivih izvora Solarne energije dogodili su se otprilike 100 godina prije naftne krize (1970-ih), što je potaknulo moderni razvoj tehnologija obnovljivih izvora energije. Pokusi su započeli 1860-ih, s prvim solarnim motorom *Augustea Mouchota* koji je proizvodio paru u željeznom kotlu obloženim staklom.

Nastavili su se početkom 1900-ih s prvim komercijalnim solarnim motorima *Aubreya Eneasa*. Godine 1907. patentiran je parabolički kolektor kojim se proizvodila para, a čiji su izumitelji bili *Wilhelm Meier* iz Aalena i *Adolf Remshardt* iz Stuttgarta. *Frank Shuman* je 1912. pomoću te tehnologije sagradio i prvo postrojenje s paraboličnim kolektorima snage 45 kW u Meadiju u Egiptu.



*Slika 8. Shumanov solarni parabolički kolektor [7]*

Ti prvi pokušaji činili su bazu za istraživanje i razvoj ove tehnologije potkraj 1970-ih i početkom 1980-ih kad su se solarni sustavi počeli pojavljivati u brojnim industrijaliziranim zemljama, kao što su Sjedinjene Američke Države, Rusija, Japan, Španjolska i Italija. Ta su postrojenja projektirana u čitavom spektru raznih tehnologija. No, mnogi od tih projekata nisu uspjeli postići očekivanu razinu učinkovitosti pa su se kasniji istraživačko-razvojni projekti nastavili usmjeravati na poboljšanje postojećih tehnoloških postupaka i povećanje veličine energetske jedinice.

Veliki napredak dogodio se početkom 1980-ih, kad je američko-izraelska kompanija *Luz International* komercijalizirala tehnologiju građenjem niza od devet solarnih postrojenja za proizvodnju električne energije u kalifornijskoj pustinji Mojave. Ta su postrojenja postizala kapacitet od 14 do 80 MWe te su proizvela više od 12.000 GWh energije i predala je u električnu mrežu. Sva ta postrojenja su još uvijek u pogonu. [8]

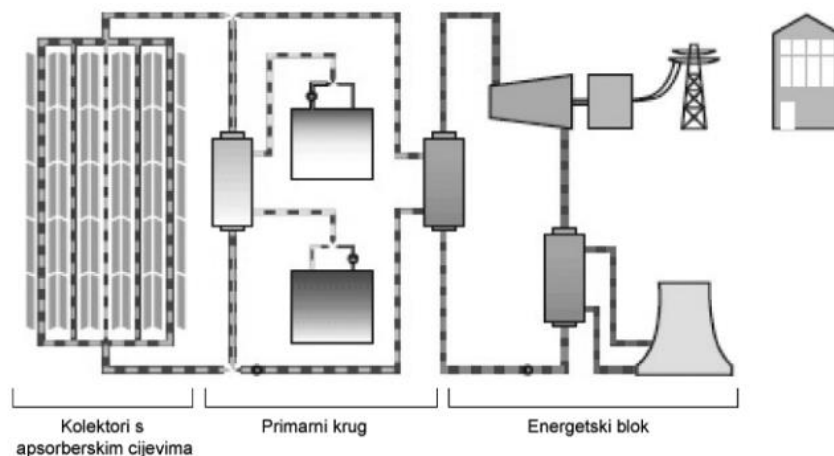
## 2.2. Standardne solarne termalne elektrane s paraboličkim kolektorima

### 2.2.1. Princip rada i komponente

Od svih koncentratorskih sustava, solarne termalne elektrane s paraboličnim kolektorima su se pokazale kao najpovoljnije za izgradnju (zbog konstrukcije kolektora i njihove modularne strukture) te iz te činjenice, kao i činjenice da imaju relativno najviše efikasnosti i proizlazi njihova najveća primjena.

Glavni dijelovi od kojih se sastoje solarne termalne elektrane s paraboličnim kolektorima su:

- Parabolički kolektori;
- Primarni krug za prijenos topline;
- Energetski blok.



Slika 9. Glavni dijelovi solarne termalne elektrane s paraboličnim kolektorima [5]

#### 2.2.1.1. Linearni parabolični kolektori

Linearni parabolični kolektori (PTC) su linearno koncentrirani solarni uređaji koji rade na temperaturama u rasponu od 150 do 400 °C. PTC reflektiraju izravno sunčevo zračenje na apsorbersku cijev prijavnika koja se nalazi u središnjoj liniji parabole, slika 10. Koncentrirano zračenje zagrijava fluid koji cirkulira kroz cijev prijavnika i na taj način se solarno zračenje transformira u toplinsku energiju koju prenosi radni fluid.



*Slika 10. Tipični linearni parabolički kolektor [9]*

Osnovni dijelovi linearnih paraboličnih kolektora su:

- Nosiva konstrukcija - čelična ili monolitna kompozitna konstrukcija s centralnom zakretnom cijevi i „V“ nosačima;
- Zakretni mehanizam - zupčani (lančani) ili hidraulički pogon;
- Sustav za praćenje sunca – kontroliran vremenski ili pomoću fotosenzora;
- Parabolična zrcala od staklenih ili metalnih ploča;
- Apsorberske cijevi - cijevi s primarnim fluidom u staklenim vakuumskim ovojnicama (HCE - heat collection element).

Nosiva konstrukcija linearnog paraboličnog kolektora je 100 do 150 m dugačka čelična konstrukcija za koju je najvažnije da bude čvrsta i otporna na nalete vjetra. Također je važno da bude što laganija kako bi se smanjili investicijski troškovi i opterećenje na zakretni mehanizam za praćenje Sunca. Svako daljnje smanjenje mase konstrukcije omogućava povećanje duljine (površine) kolektora koju zakreće jedan zakretni mehanizam, što vrlo povoljno utječe na smanjenje investicijskih troškova i troškova održavanja. [5]

U tipičnom PTC polju, nekoliko serija spojenih kolektora čine jedan red, a onda su ti redovi paralelno povezani kako bi se postigla potrebna nominalna toplinska snaga koja je projektirana. Broj spojenih kolektora u svakom redu ovisi o porastu temperature postignute između ulaza u redu i izlaza. U svakom redu kolektora, prijamne apsorberske cijevi u susjednom PTC-u moraju biti povezane fleksibilnim spojem (cijevima) kako bi se omogućila samostalna rotacija oba kolektora uzrokovana praćenjem Sunca tijekom dana, slika 11.

Ti fleksibilni spojevi su također potrebni kako bi se omogućilo linearno toplinsko širenje prijamne cijevi kada njihova temperatura raste od sobne temperature do nominalne temperature tijekom pokretanja sustava. [10]



*Slika 11. Prikaz fleksibilne cijevi i kuglastog zgloba [10]*

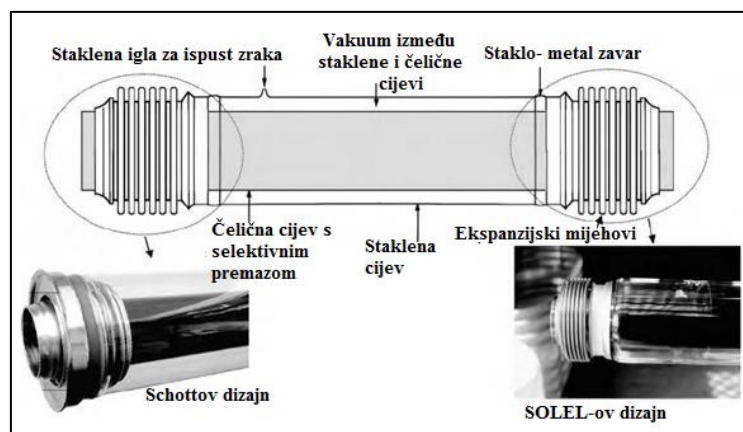
Fleksibilne cijevi za temperature ispod  $300\text{ }^{\circ}\text{C}$  sastavljene su od: unutarnje cijevi (koje mogu izdržati ovu maksimalnu temperaturu) i vanjskih metalnih traka i zaštitnog štita unutarnje cijevi. Vanjska strana cijevi je toplinski izolirana kako bi se smanjili toplinski gubitci. Za više temperature obično se koriste spojnice od nehrđajućeg čelika. Ova vrsta cijevi nije tako fleksibilna i uzrokuje značajan pad tlaka u strujnom krugu zbog visokog koeficijenta trenja.

Kuglasti zglobovi (spojevi) predstavljaju još jednu moguću fleksibilnu vezu između apsorberske prijamne cijevi i susjednih zglobova. Njihova glavna prednost pred fleksibilnim cijevima je da oni uzrokuju znatno manji pad tlaka zato što je pad tlaka za kuglasti zglob ekvivalentan padu tlaka koljena od  $90^{\circ}$ . Još jedna prednost kuglastih spojeva je povezana cijev koja ima dva stupnja slobode kretanja jer spojene cijevi mogu slobodno rotirati ( $360^{\circ}$ ) istovremeno i s maksimalno zakretnim kutom od oko  $\pm 7,58^{\circ}$ . Kugle zglobova također su opremljene unutarnjim grafitnim brtvilom radi smanjenja trenja i izbjegavanja propuštanja. Današnji PTC koji rade na temperaturama iznad  $300\text{ }^{\circ}\text{C}$  povezani su kuglastim zglobovima umjesto fleksibilnih cijevi. Fleksibilne cijevi se s vremenom unište zbog zamora materijala, a što dovodi do njihovog propuštanja, dok kuglasti zglobovi zahtijevaju ponovno punjenje grafita nakon više tisuća sati rada.

### 2.2.1.2. Apsorberska prijamna cijev i reflektori

Tipična apsorberska prijamna cijev PTC-a sastoji se od čelične cijevi okružene staklenom cijevi kako bi se smanjili konvektivni toplinski gubici uzrokovani velikom razlikom temperature čelične cijevi i okolnog zraka, slika 12. Čelična cijev ima visoku selektivnu apsorpciju (veću od 90 %), nizak faktor emisije (manje od 30% infracrvenog) te premaz koji reducira toplinske gubitke uzrokovane radijacijom. Prijamne vakuumske staklene cijevi i staklene cijevi s antireflektirajućim premazom postižu veću toplinsku učinkovitost i bolje godišnje performanse, posebno na višim radnim temperaturama.

Zbog tehničkih ograničenja u proizvodnji, maksimalna duljina jedne apsorberske prijamne cijevi manja je od 6 metara pa je kompletna prijamna cijev PTC-a sastavljena od određenog broja pojedinačnih prijamnih cijevi zavarenih u serije do ukupne duljine PTC-a. Ukupna dužina PTC-a je obično u rasponu od 25 do 150 metara.



Slika 12. Tipična apsorberska prijamna cijev PTC-a [10]

Slika 12. pokazuje tipičnu PTC vakuum prijamnu cijev. Vanjska staklena cijev je pričvršćena za čeličnu cijev pomoću fleksibilnih metalnih diferencijalnih dilatacijskih spojnica koje kompenziraju različita temperaturna rastezanja stakla i čelika.

Za spajanje staklenih cijevi koristi se metal koji se spaja na staklo. S obzirom na to da je mjesto spajanja slaba točka prijamne cijevi, ono mora biti zaštićeno od koncentriranog sunčevog zračenja kako bi se izbjeglo visoko toplinsko i mehaničko naprezanje koje može oštetiti taj spoj. Iznad spojeva obično je smješten aluminij kako bi se oni zaštitili.



Reflektori PTC kolektora imaju visoku spektralnu refleksiju (veću od 88%) kako bi reflektirali što više sunčevog zračenja. Oni su izrađeni od zrcalnog stakla sa slojem srebra na poleđini jer je njihova trajnost i solarna spektralna refleksija bolja od poliranog aluminijskog i metaliziranih akrilnih zrcala koji su također dostupni na tržištu. Solarna spektralna refleksija je obično 0,93 za zrcalna posrebrana stakla i 0,87 za polirani aluminijski. Staklo visoke čistoće (*low-iron glass* – tipično sadrži 0.01% željeznog oksida), odnosno ono koja je načinjeno od silicija s vrlo malom količinom željeza, koristi se za posrebrene staklene reflektore i staklene prijamne cijevi kako bi se poboljšala solarna transmisija.

### 2.2.1.3. Radni fluid PTC-a

Za temperature iznad 200 °C, kao radni fluid koriste se ulja zato što bi kod ovakvih visokih radnih temperatura voda proizvela visoki tlak unutar cijevi prijamnika i cjevovoda. Visok tlak zahtijeva jače cijevi i spojeve što uzrokuje više cijene kolektora i cijelog solarnog polja. Za temperature do 200 °C kao radni fluid se može koristiti smjesa voda/ etilen glikol.

Glavni ograničavajući faktor, prilikom odabira ulja kao radnog fluida, a koji utječe na stabilnost je maksimalna temperatura ulja od 395°C. Iznad te temperature ulje krekira i dolazi do brze razgradnje. Najčešće ulje koje se koristi u PTC kolektorima, za temperature do 395°C, je eutektička smjesa: 73,5 % difenil oksida i 26,5 % difenila. Glavni problem ovog ulja je relativno visoka temperatura skrućivanja (128 °C) koja zahtijeva pomoćni sustav grijanja (dogrijavanja) za slučajeve kad se temperatura ulja u kolektorima spusti ispod te temperature (što se očito događa kad nema solarnog zračenja i po noći). S druge strane, budući da je temperatura vrenja 257 °C, pri 1013 mbar, ulje se mora stlačiti pomoću dušika, argona ili nekog drugog inertnog plina dok se zagrijava iznad ove temperature. Stlačivanje cijelog kružnog toka ulja s plinom bez kisika je potrebno pri radu na visokim temperaturama jer smjesa plinova pod visokim tlakom može u dodiru sa zrakom postati eksplozivna. Postoje i druga prikladna ulja s nešto višim radnim temperaturama i nižim temperaturama skrućivanja, ali su preskupa za velike solarne termoelektrane.

#### 2.2.1.4. Instaliranje PTC- a

PTC se obično instaliraju s osi rotacije orijentirani ili sjever- jug ili istok- zapad. Orijehtacija solarnih kolektora utječe na kut upada Sunca na površinu otvora što pak utječe na učinkovitost kolektora. Sezonske varijacije u orijentaciji sjever- jug za emisiju kolektora mogu biti poprilično velike. Ovisno o geografskoj širini i lokalnim vremenskim uvjetima u ljetnim mjesecima tri do četiri puta je veća količina dozračene solarne energije nego u zimskim mjesecima. Sezonske varijacije u dozračenoj energiji su puno manje za istok- zapad orijentaciju. Ipak na godišnjoj razini, Sunce praćenjem osi orijentacije sjever- jug daje više energije. Dnevne varijacije u kutu upada uvijek su veće za orijentaciju istok- zapad s maksimalnim vrijednostima za izlazak i zalazak sunca i minimalno od 0 °C svaki dan u solarno podne.

Dakle orijentacija osi rotacije je vrlo važna za izvedbu, a odabir najbolje orijentacije ovisi o sljedećem:

- Ako je potrebno više energije ljeti nego zimi najprikladnija orijentacija je sjever- jug.
- Zimi proizvodnja energije je znatno manja nego ljeti i ako je bolje da se energija ravnomjerno raspoređuje tijekom godine najbolja je orijentacija istok- zapad.
- Očekuje li se da se solarni kolektori opskrbljuju sličnom količinom toplinske energije i ljeti i zimi prava orijentacija je istok- zapad. [8]



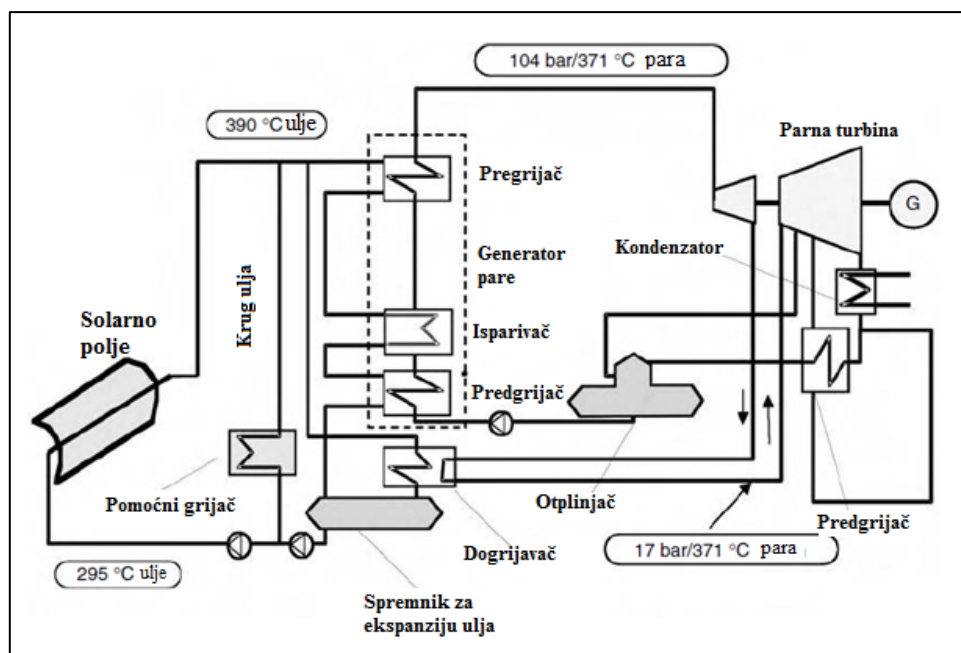
## 2.2.2. Opis rada solarne termalne elektrane s PTC-om

Solarne termalne elektrane s paraboličnim kolektorima u osnovi se sastoji od tri elementa: solarnog sustava, generatora pare i sustava za pretvorbu toplinske u električnu energiju (PCS). Solarni sustav se sastoji od polja paraboličnih kolektora i kruga ulja. Solarno polje prikuplja dostupnu solarnu energiju u obliku izravnog sunčevog zračenja i pretvara je u toplinsku energiju, pri čemu se temperatura ulja povećava cirkulacijom kroz prijamne cijevi kolektora.

Nakon što se ulje zagrije u polju solarnih kolektora, ono odlazi na generator pare koji je uljni- vodeni izmjenjivač topline gdje ulje prenosi svoju toplinsku energiju na vodu koja isparava te ta para pokreće turbine. Generator pare je stoga sučelje između solarnih kolektora i turbine koja pokreće generatore.

Generator pare sastoji se od tri stupnja:

- **Predgrijavanje** - gdje se voda predgrijava na temperaturu blizu isparavanja;
- **Isparavanje** - predgrijana voda isparava i pretvara u zasićenu paru;
- **Pregrijavanje** - zasićena vodena para proizvedena u isparivaču dodatno se zagrijava.



Slika 13. Jednostavna shema solarne termalne elektrane s PTC [8]

Slog turbina- generator (PCS) pretvara toplinsku energiju pregrijane pare, najprije u mehaničku energiju, a zatim i u električnu energiju. Ovaj PCS je sličan uobičajenom Rankine energetsom sustavu, a razlika je samo u izvoru topline koji je u konkretnom slučaju predstavljen solarnim zračenjem.

Para iz generatora pare ekspandira u turbinama, koja se obično sastoji iz dva stupnja (visokotlačne i niskotlačne turbine), ekspandira u njima i tako pretvara toplinsku energiju u mehaničku koja se onda u generatorima pretvara u električnu energiju. Nakon turbina, para se kondenzira i kondenzat odlazi u vodeni odzračivač gdje se uklanja kisik i plinovi otopljeni u vodi. Paru koja napušta niskotlačni stupanj turbine može se kondenzirati bilo u mokrom sustavu hlađenja (evaporativni hlađeni tornjevi) ili u sustavu suhog hlađenja (zrakom hlađeni kondenzator). Na izbor najboljeg sustav hlađenja utječe dostupnost vodnih resursa na licu mjesta. S obzirom na to da se radi o zatvorenom termodinamičkom sustavu, pumpom se ta voda ponovo vraća u ciklus.

Kako solarne elektrane s paraboličnim kolektorima ne mogu raditi kad nema solarnog zračenja, one uvijek moraju imati i pomoćni energetski sustav koji osigurava kontinuitet proizvodnje energije. Takav pomoćni sustav može biti na ugljen ili plin, ali je bitno napomenuti da sadašnje tehnologije solarnih elektrana nisu u potpunosti „zeleni izvor“ energije. Količina dodatnog energenta varira ovisno o količini solarnog zračenja na nekoj lokaciji (više solarne energije jasno znači i manje dodatnog izvora energije). Konkretno na području Kalifornije veličina dodatne energije se kreće oko 25%, u Španjolskoj samo 15%, ali još nije izvedena solarna elektrana bez tog dodatnog izvora energije.

Međutim, to rješenje da solarna elektrana postane potpuno „zeleni izvor“ energije moguće je ako se sa solarnom elektranom integrira sezonsko skladištenje energije koje može ujednačiti ljetne viškove i zimske manjkove solarne energije. Takvo rješenje je patentirano te predstavlja jedino rješenje kojim solarne elektrane mogu postati u potpunosti „zeleni izvori“ energije. [11]

### 2.2.3. Razvoj i primjena

Sunčeve termalne elektrane s paraboličnim kolektorima predstavljaju tehnologiju koja se uspješno koristi od 1985 godine. Prema podacima Američke organizacije SECO (engl. State Energy Conservation Office) manje od 3% površine Sahare pokrivene sustavima sa Solarnim koncentriranim zračenjem, bilo bi dovoljno da zadovolji ukupne svjetske potrebe za električnom energijom. Glavni problem ove ideje je naravno, elektroenergetski sustav, pa se predlaže ulaganje u jedinstvenu europsku mrežu, koja bi bila sposobna da energiju iz Sahare prenese do svih zemalja EU. Predviđa se da bi za ostvarenje ovog ambicioznog cilja Europska Unija trebala do 2050. izdvajati oko milijardu eura svake godine. [12]

Nadalje se prema [4] navode solarne termalne elektrane koje su u pogonu, u gradnji i one koje se planiraju.

#### ***Solarne termalne elektrane u pogonu***

1. SEGS - 9 solarnih elektrana, USA, Kalifornija (pustinja Mojave), kapacitet 354 MW, parabolični kolektori;
2. SGS - USA, Arizona, kapacitet 280 MW, parabolični kolektori;
3. SGS - Španjolska, Logrosan, kapacitet 200 MW, parabolični kolektori;
4. ASPS - Španjolska, Guadix, kapacitet 150 MW, parabolični kolektori;
5. Puerto Errado - Španjolska, Murcia, 31.4 MW, Fresnel reflektori;
6. PS20 solar power tower - Španjolska, Sevilla, 20 MW, solarni toranj;
7. Jinshawan - Kina, 200 kW, solarna uzgonska elektrana.

#### ***Solarne termalne elektrane u gradnji***

1. Mojave Solar Park - USA, Kalifornija, 553 MW, parabolični kolektori;
2. Ivanpah Solar - USA, Kalifornija, 392 MW, solarni toranj;
3. Ashalim power station 1 - Izrael, pustinja Negev, 121 MW, solarni toranj;
4. KaXu Solar One - J.A.R. , Northern Cape, 100 MW, parabolični kolektori;
5. Dhursar - Indija, 100 MW, Fresnel reflektori.

#### ***Najavljene solarne termalne elektrane***

1. Bez imena - Kina, Mongolijska pustinja, 2000 MW, solarni toranj;
2. Palen - USA, Kalifornija, 500 MW, solarni toranj;
3. Bez imena - USA, Florida, 300 MW, Fresnel reflektori;
4. EnviroMission - USA, Arizona, 200 MW, solarna uzgonska elektrana;
5. Al-Abdaliya - Kuvajt, 280 MW, parabolični kolektori.

## 2.3. Direct Steam Generation

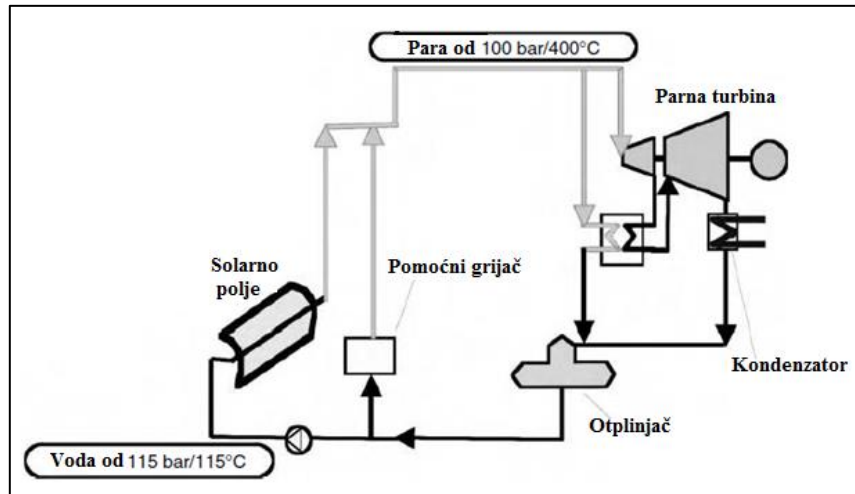
### 2.3.1. Princip rada i karakteristike

Standardne solarne termalne elektrane s paraboličkim kolektorima koriste ulja kao radni fluid u solarnim poljima, i obično su konfiguracije kao na slici 13. Iako su izvedbe kolektora i veza između njih i slogova turbina- generator PCS znatno poboljšani, uvode se neka nova poboljšanja koja smanjuju troškove i povećavaju efikasnost.

Glavno ograničenje kod povećanja njihove konkurentnosti je sama tehnologija, odnosno: korištenje ulja kao medija za prijenos topline između solarnog polja i PCS-a, ograničenje maksimalne temperature Rankine ciklusa i troškovi održavanja opreme za ulje.

Da se pregrijana para koja opskrbljuje parnu turbinu stvara direktno u apsorberskoj prijamnoj cijevi PTC-a, ulje više ne bi bilo potrebno i takvo održavanje te bi se izbjegla temperaturna ograničenja i rizici od onečišćenja okoliša.

Upravo zbog toga je razvijen tzv. DSG (direct steam generator) sustav kod kojega kolektorskim cijevima direktno struji voda koja djelomično isparava, dogrijava se i dolazi do turbina. Takav sustav prikazan je na slici 14. [8]

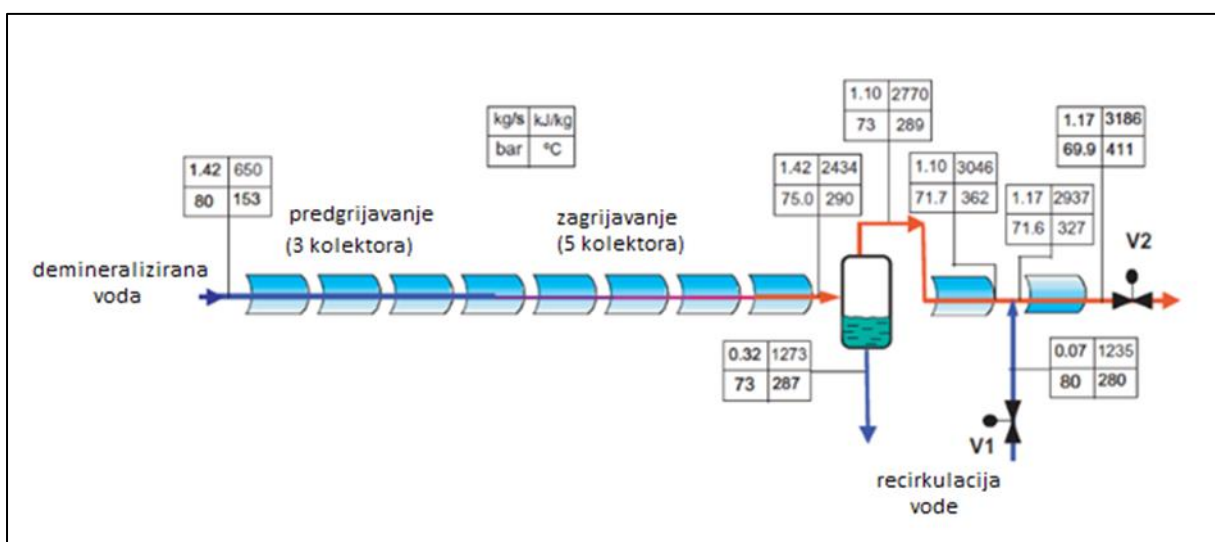


Slika 14. Shema solarne termalne elektrane s DSG tehnologijom [8]

DSG tehnologija kao način za poboljšanje tehnologije solarnih termalnih elektrana s paraboličnim kolektorima predstavlja određene izazove, zbog dvofaznog protoka (demineralizirana voda+ para) u apsorpcijskim cijevima koje se nalaze u djelu isparavanja solarnog polja. Zbog dvofaznog protoka postoje i određeni problemi (fluktuacije solarnog zračenja i njegova kontrola, opterećenje u cijevima prijamnika, veći gubitak pare nego kod

sustava baziranih na ulju) koje moraju biti pažljivo projektirane prije nego što se elektrana koja koristi ovu tehnologiju počne graditi. [8]

Princip rada kolektorskog sustava (u kojem se isparava voda) najbolje se može vidjeti iz slike 15. [13] Ulazna demineralizirana voda ( $T= 153\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $p= 80\text{ bara}$ ) se najprije uvodi u kolektorski sustav, 3 kolektora za predgrijavanje i 5 kolektora za zagrijavanje – dakle, ukupno 8 kolektora. Nakon prolaska kroz kolektore ( $T= 290\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $p= 75\text{ bara}$ ) dolazi do odvajanja parne od tekuće faze u visokotlačnom separatoru. Para se zatim u 2 kolektora još pregrijava i nakon toga se odvodi na turbine ( $T= 411\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $p= 69,9\text{ bara}$ ). Tekuća faza iz visokotlačnog separatora se može ponovo vratiti u sustav ( $T= 287\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $p= 73\text{ bara}$ ).

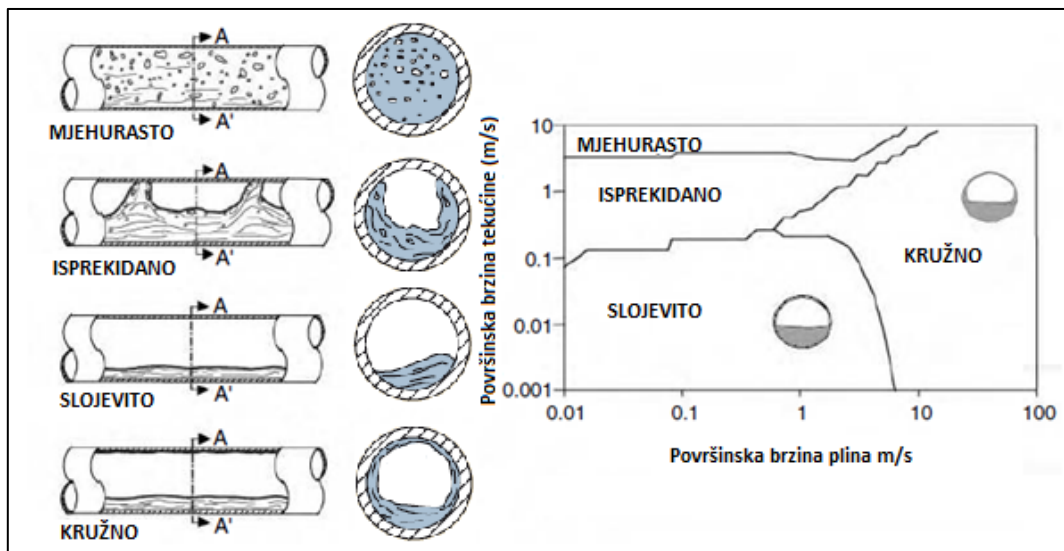


Slika 15. Suština DSG sustava [13]

### 2.3.1.1. Dvofazni protok u prijamnoj cijevi PTC kolektora

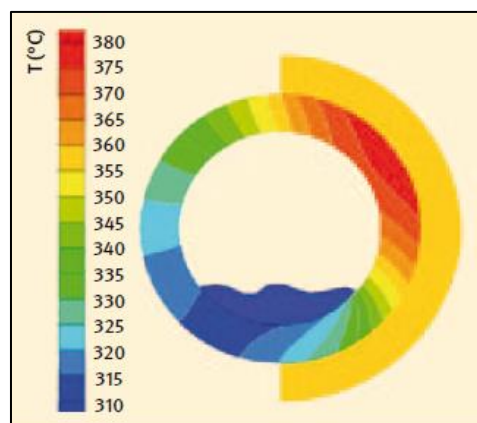
Dvofazni protok unutar horizontalne cijevi prikazan je na slici 16. Moguća četiri uzorka glavnog protoka su: mjehurasti, isprekidani, slojeviti i kružni koji ovise o površinskim brzinama tekuće i parne faze. Granice između susjednih uzoraka protoka nisu dobro određene kao što je prikazano na slici, ali su razdvojene prijelaznim zonama.

Kod mjehurastog i isprekidanog protoka, stijenka čelične apsorberske cijevi je dobro natopljena, kako bi se izbjegli opasni temperaturni gradijenti između dna i vrha cijevi kada se zagrijava s jedne strane, slika 16. Rezultat je dobar koeficijent prijenosa topline kroz cijelu cijev jer tekuća faza nije slojevita.



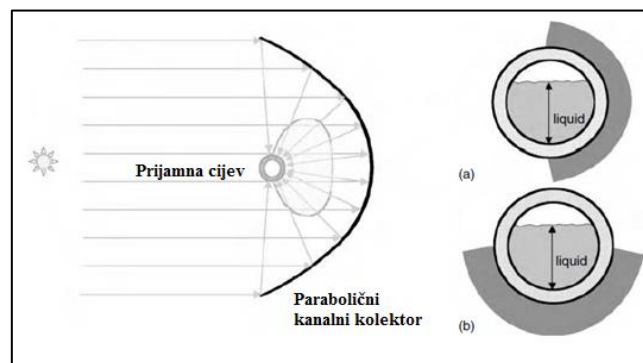
Slika 16. Shema uzoraka protoka za horizontalnu prijamnu cijev i dijagram dvofaznih protoka u horizontalnoj cijevi [8]

U slojevitom području, tekuća voda je na dnu apsorberske cijevi dok se para zadržava iznad površine tekuće vode. Rezultat ove slojevitosti je neujednačeni koeficijent prijenosa topline kroz cijev. Natapanje dna cijevi je i dalje vrlo dobro kao i koeficijent prijenosa topline. Međutim efekt hlađenja pare je slabiji pa zbog toga koeficijent prijenosa topline u gornjem dijelu apsorberske cijevi može biti jako nizak, što rezultira velikim temperaturnim razlikama od preko 100°C između dna i vrha cijevi u određenom presjeku kada je cijev grijana samo s jedne strane. Termičko naprezanje i savijanje zbog jakih promjena temperature mogu uništiti cijev.



Slika 17. Prikaz raspodjela temperature s jednostranim grijanjem [14]

Slika 17. prikazuje što se događa u presjeku čelične apsorberske cijevi kada se grije odozdo i samo s jedne strane. Slika jasno prikazuje kako slojeviti protok može uzrokovati nagle promjene temperature jedino kada je vektor okomit na ravninu otvora koncentratora gotovo horizontalan. U prstenastom području, iako postoji djelomična stratificiranost vode na dnu cijevi, postoji i tanak sloj vode koji vlaži gornji dio cijevi, slika 18. Ovaj sloj je dovoljan da osigura dobar koeficijent prijenosa topline unutar cijele cijevi, te tako izbjegava opasne toplinske promjene koje bi mogle uništiti cijev.



Slika 18. Stratificiranje tekuće faze i koncentrirani ulazni solarni tok u prijamnoj cijevi [8]

### 2.3.1.2. Propuštanje radnog fluida u prijamne cijevi

Tehnički problemi koje uzrokuju taloženja iz vode unutar apsorberske cijevi mogu se izbjeći. Postoje tri glavna načina: „jedan prolaz“, ubrizgavanje i recirkulacija, a koji se mogu koristiti bez opasnosti od promjena temperature u cijevi.

U „jednom prolaznom“ procesu, taloženje može biti izbjegnuto tako što se kroz cijelu apsorbersku cijev održava visoki protok vode. Sva voda koja opskrbljuje sustav ulazi na ulazu kolektora i pretvara se u pregrijanu paru dok kruži kroz redove kolektora.

U procesu ubrizgavanja, mala količina vode se ubrizgava u redove kolektora. Glavna prednost ovog procesa je mogućnost kontroliranja parametara pregrijane pare na izlazu polja. Nedostatak je taj što ovaj proces čini sistem kompleksnijim i povećava troškove.

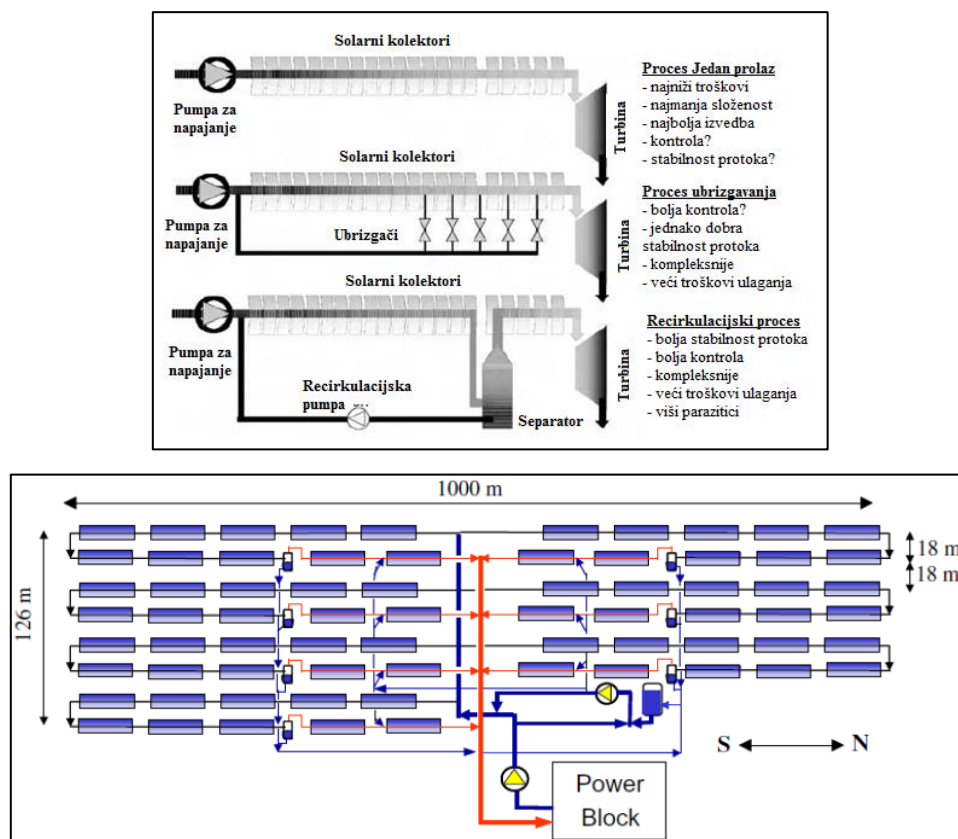
Treći proces, takozvana **recirkulacija** je najkonzervativniji. Kod ovog procesa separator vodene pare se nalazi na kraju djela za isparavanje kolektora. Voda ulazi u sustav pri većoj brzini protoka od pare koju će proizvesti sustav. Samo mali dio vode se pretvara u paru kada cirkulira kroz dijelove predrijavanja i isparavanja kolektora.



Na kraju niza kolektora u kojem se voda isparava, zasićena para se odvaja od tekuće vode visokotlačnim separatorom, pri čemu se para odvodi na kolektore u kojima se pregrijava, dok se tekuća faza vode vraća na ulaz u kolektore pomoću recirkulacijske pumpe. Višak vode u dijelu isparavanja osigurava dobro vlaženje prijamne cijevi i onemogućava taloženje iz tekuće faze. Glavna prednost ovakve recirkulacije je mogućnost njene kontrole, ali potreba za recirkulacijskom pumpom i višak vode koji se mora recirkulirati od separatora voda/ para do sustava solarnog polja, povećava opterećenja, a što onda utječe na ukupnu učinkovitost.

Slika 19. prikazuje, usporedno, prednosti i mane sva tri osnovna DSG procesa te samo procjena pod stvarnim solarnim uvjetima može pokazati koji proces je najbolji, pri čemu je recirkulacijski sustav još posebno prikazan.

European consortium je 1996. pokrenuo istraživačko- razvojni projekt kako bi se istražila sva pitanja vezana uz DSG proces. Naziv projekta bio je DISS (Direct solar steam), a razvili su ga stručnjaci iz svih sektora uključenih u ovu tehnologiju (el. elektrane, industrije, inženjerske tvrtke i istraživački centri) u suradnji s drugim europskim projektima povezanim s PTCs i solarnim termoelekttranama ( STEM, ARDISS, GUDE, EuroTrough, PRODISS, itd.).



Slika 19. Prednosti i nedostaci tri glavna DSG procesa [13]



### 2.3.2. Razvoj i primjena

Cijeli tok razvoja DSG sustava se može vidjeti iz tablice 2 [7], počevši od 1993 do 2014 godine.

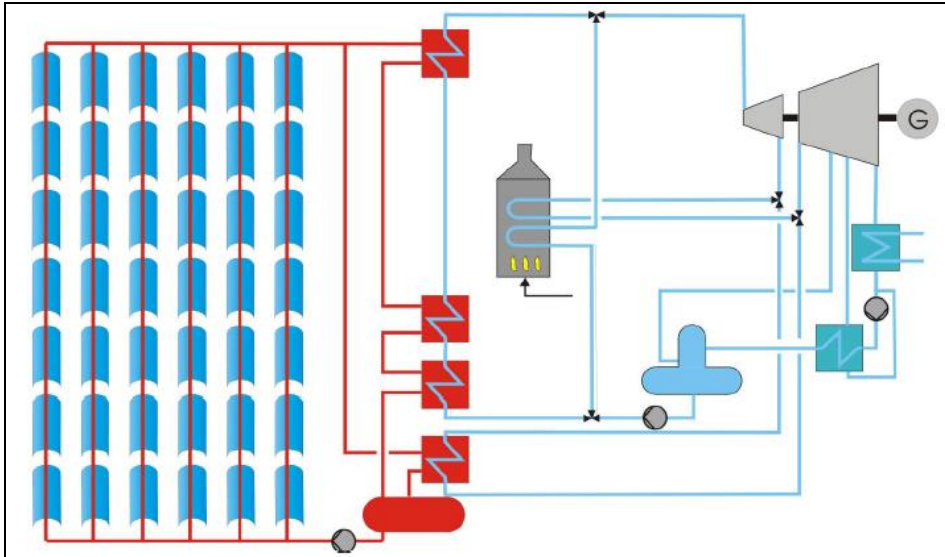
Tablica 2. Projekti i ciljevi istraživanja koji su utjecali na razvitaka DSG tehnologije [7]

PROJEKT	PERIOD	IZVOĐAČI	CILJ ISPITIVANJA
GUDE	1993-1996	DLR, Siemens, TUM, ZSW	<ul style="list-style-type: none"> <li>Termo-hidraulički učinci u horizontalnim prijamnim cijevima</li> </ul>
PRODISS/ARDISS	1996-1999	DLR	<ul style="list-style-type: none"> <li>Modeliranje, simulacija i kontrola kolektora</li> </ul>
DISS I/II	1996-2002	CIEMAT, DLR, Flagsol, Iberdrola, ZWS, Siemens/KWU	<ul style="list-style-type: none"> <li>Planiranje i montaža DISS postrojenja</li> <li>Evaluacija različitih operacija pojmovi</li> <li>Validacija i unaprjeđenje mogućnosti modeliranja</li> </ul>
INDITEP	2002-2005	CIEMAT, DLR, Flagsol, Iberdrola, Siemens, ZSW	<ul style="list-style-type: none"> <li>Detaljni inženjer demo postrojenja</li> <li>Razvoj komponenata (separator, kuglasti spojevi, prijemnik)</li> <li>Socioekonomska analiza</li> </ul>
SOLDI	2004-2006	DLR (Siemens)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Evaluacija separacijskog koncepta</li> <li>Procesiranje stvaranja topline</li> </ul>
DISSTOR	2004-2007	DRL, Zublin, SGL Carbon, CIEMAT, Iberdrola, Flagsol, CNRS, Solucar	<ul style="list-style-type: none"> <li>Razvoj, montaža i rad sustava za skladištenje topline</li> </ul>
DIVA	2005-2007	SCHOTT, DLR, (Flagsol, KK&K)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Razvoj prijemnika za 500 ° C</li> <li>Detaljna analiza sustava</li> </ul>
ITES	2006-2009	DRL, Zublin, Siemens	<ul style="list-style-type: none"> <li>Projektiranje, montaža i rad integriranog sustava za pohranu</li> <li>Optimizirane kontrole strategije</li> </ul>
FRESDEMO	2006-2008	MAN, SPG, (DRK, FhG-ISE, PSE)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Projektiranje, montaža i rad Fresnel kolektora s DSG tehnologijom</li> <li>Kvalifikacija kolektora</li> </ul>
DETOP	2009-2010	Solar Millennium, Flagsol, DLR, Schott Solar, Zublin	<ul style="list-style-type: none"> <li>Priprema demo postrojenja</li> <li>Detaljna analiza sustava</li> </ul>
FRESDEMO 2	2009-2013	Schott Solar, DRL, Novatec Solar, FhG- ISE	<ul style="list-style-type: none"> <li>Optimizacija Linear Fresnel tehnologije i rad</li> </ul>
DUKE	2011-2014	DLR, Solarite (CIEMAT)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Proširenje DISS postrojenja na 1000 m</li> <li>Demonstracija procesa jednog prolaska fluida</li> </ul>

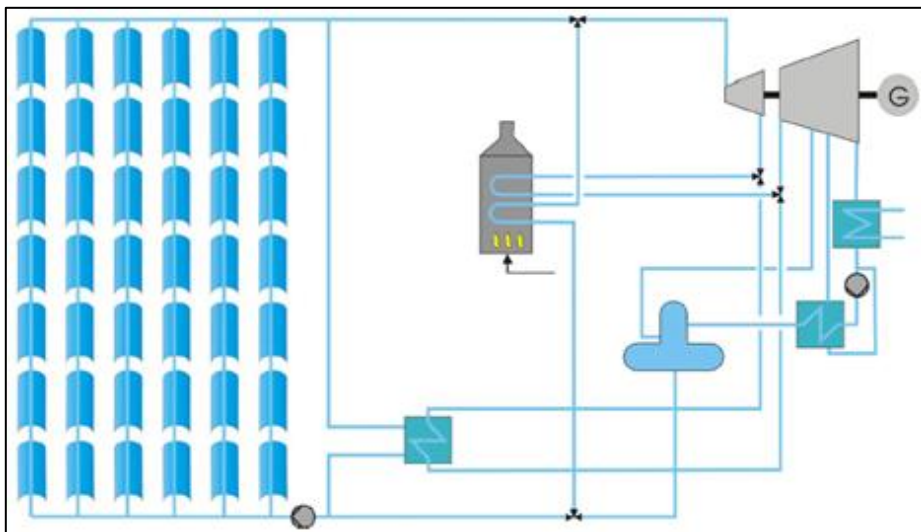
DSG tehnologija je postigla komercijalni status. Međutim, još uvijek postoji potreba za istraživanjem. Za dugoročnu perspektivu DSG tehnologije potreban je razvoj ekonomski isplativijeg sustava za skladištenje energije, optimizacija solarnog polja te ukupna optimizacija parametra uključujući skladištenje energije.

## 2.4. Usporedba standardne i DSG tehnologije solarnih termalnih elektrana

Konfiguracije standardne tehnologije prikazana je na slici 20., a DSG tehnologije na slici 21., dok je u tablici 3. prikazana njihova usporedba [7 i 8].



Slika 20. Shematski prikaz standardne solarne termalne elektrane [7]



Slika 21. Shematski prikaz solarne termalne elektrane s DSG tehnologijom [7]

Tablica 3. Usporedba standardne i DSG tehnologije [7 i 8]

	<b>STANDARDNA TEHNOLOGIJA</b> <b>(radni fluid- ulje)</b>	<b>DSG TEHNOLOGIJA</b> <b>(radni fluid- demineralizirana voda)</b>
<b>PREDNOSTI</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Komercijalna primjena</li> <li>▪ Jednofazni protok</li> <li>▪ Lako prilagodljiv</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Nema izmjenjivača topline</li> <li>▪ Postiže visoke temperature (preko 500°C)</li> <li>▪ Visoka učinkovitost</li> <li>▪ Ekološko prihvatljiv radni fluid</li> <li>▪ Jednostavna opća konfiguracija</li> <li>▪ Manja veličina solarnog polja</li> <li>▪ Manji investicijski troškovi, operativni i troškovi održavanja</li> </ul>
<b>NEDOSTACI</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Akumulator izmjenjivača topline</li> <li>▪ Radna temperatura do 400° C</li> <li>▪ Ulje predstavlja opasnost od onečišćenja okoliš i požara</li> <li>▪ Veći operativni i troškovi održavanja</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Viši gradijent temperature</li> <li>▪ Dvofazni protok</li> <li>▪ Potrebna veća kontrola solarne termalne elektrane</li> <li>▪ Skupa toplinska pohrana</li> </ul>

### 3. EKSPERIMENTALNI DIO

#### 3.1. Proračun proizvedene električne energija u solarnoj termalnoj elektrani s DSG tehnologijom

Cilj ovog rada je izračunati količinu dobivene električne energije u standardnoj solarnoj termalnoj elektrani i solarnoj termalnoj elektrani s DSG tehnologijom i usporediti dobivene rezultate.

#### 3.2. Ulazni podaci

U tu je svrhu odabrana lokacija otoka Visa u Hrvatskoj za koju su poznati potrebni klimatološki podaci, ali i potrošnja energije za cijelu godinu, odnosno za svaki dan u godini. U tablici 4 su prikazane srednje dnevne vrijednosti temperature zraka, (°C), u tablici 5. srednji broj sati sijanja Sunca za lokaciju otoka Visa, a u tablici 6. srednje dnevno globalno zračenje, (kWhm<sup>-2</sup>) za lokaciju otoka Visa.

Tablica 4. Srednje dnevne vrijednosti temperature zraka, (°C), za lokaciju otoka Visa

Mjesec Dan	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
1	11,7	8,5	9,5	13,4	17,2	20,6	26,1	26,2	22,8	19,8	17,6	12,2
2	11,3	8,1	9,6	13,5	17,9	20,5	26,3	26,8	22,9	20,1	16,4	12,5
3	11,3	9,8	10,8	14,3	18,4	20,7	26,8	26,4	23,0	20,5	15,9	12,7
4	10,5	10,3	11,8	13,7	18,1	21,0	25,3	26,6	22,6	20,7	15,8	13,2
5	10,2	9,2	11,0	13,5	17,6	21,7	25,8	26,1	22,7	20,1	15,5	12,7
6	10,6	8,6	9,2	13,8	17,8	22,2	25,6	26,1	21,8	19,8	15,7	12,2
7	10,5	9,2	9,7	12,6	17,8	22,9	26,6	26,1	22,2	20,3	15,2	10,7
8	10,5	9,2	10,1	12,6	18,6	22,7	25,8	25,9	22,6	19,6	15,4	11,0
9	10,8	9,6	10,5	12,8	18,5	23,5	24,5	26,4	22,2	19,8	14,7	12,0
10	10,7	9,4	10,5	13,5	18,6	23,5	24,7	27,0	21,1	19,8	15,1	12,1
11	10,7	9,2	10,3	13,6	18,7	24,1	24,6	27,1	21,9	20,1	14,9	11,9
12	10,1	9,2	11,4	13,2	19,4	23,7	24,7	26,5	22,6	19,1	15,7	12,3
13	9,5	9,6	11,9	13,2	18,8	23,3	25,4	25,6	22,3	19,0	14,6	11,9
14	9,8	9,3	11,2	12,1	19,4	23,0	25,3	25,5	21,2	18,9	14,3	12,1
15	8,7	9,0	11,0	13,4	19,0	23,7	25,6	25,3	20,9	18,6	14,6	12,0
16	9,0	8,9	11,9	13,9	18,9	23,2	25,5	25,7	21,0	17,8	14,4	10,5
17	9,8	9,4	11,8	14,2	19,1	23,9	24,6	25,8	21,2	16,9	14,9	10,5
18	10,3	9,0	11,6	13,8	19,5	22,9	25,5	26,2	21,1	16,6	13,3	10,3
19	10,2	9,9	11,8	14,6	19,9	23,8	25,9	26,1	20,8	17,3	11,9	10,5
20	9,5	10,6	11,4	14,8	19,5	23,6	25,9	26,3	21,4	17,9	11,1	10,6
21	10,3	10,5	11,2	15,2	19,6	24,5	25,5	25,3	20,9	18,8	11,1	9,9
22	9,1	10,3	11,2	15,3	19,4	24,2	26,2	24,7	20,9	18,0	11,7	9,7
23	8,9	10,1	10,9	15,3	20,0	24,1	26,5	25,3	20,9	17,6	12,0	9,4
24	8,5	10,2	12,3	15,4	20,0	24,0	27,1	25,8	21,0	17,0	12,0	9,5
25	8,4	9,8	13,1	15,5	19,8	23,9	26,5	25,4	20,4	16,9	11,8	11,0
26	9,3	10,5	13,4	16,3	20,6	24,3	26,5	24,3	20,3	16,7	12,9	11,4
27	9,0	9,6	13,2	16,4	21,6	24,8	27,1	24,7	19,9	16,5	13,4	10,6
28	9,3	9,2	12,4	16,2	22,3	25,9	27,3	24,5	19,7	16,4	12,7	10,0
29	9,4	9,3	12,3	16,6	21,4	26,4	26,3	23,8	19,9	17,3	12,5	10,0
30	8,5		12,7	17,0	21,5	25,3	26,0	23,3	19,4	17,1	12,9	9,5
31	8,5		13,1		20,9		26,1	22,9		17,1		10,3
Prosjeak	9,8	9,5	11,4	14,3	19,4	23,4	25,9	25,6	21,4	18,4	14,0	11,1

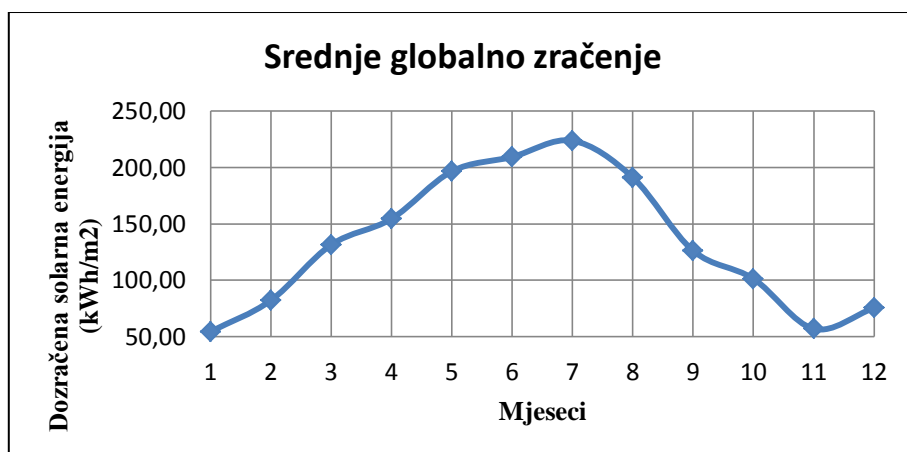
Tablica 5. Srednji broj sati sisanja Sunca za lokaciju otoka Visa

Mjesec	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
<b>Dan</b>												
<b>1</b>	3,5	4,4	7,1	7,6	7,1	8,4	11,6	10,9	10,3	8,6	4,0	4,3
<b>2</b>	3,4	5,7	4,7	7,1	8,7	10,7	11,2	11,9	9,4	8,1	4,7	5,2
<b>3</b>	4,4	5,4	6,2	7,3	9,6	10,5	10,5	11,4	9,9	6,7	5,8	3,9
<b>4</b>	4,8	3,9	7,4	8,5	8,7	10,7	10,3	11,5	9,2	6,4	5,6	4,4
<b>5</b>	5,9	4,9	6,6	8,2	7,7	9,9	11,4	11,5	7,7	5,9	5,3	3,6
<b>6</b>	4,0	5,8	7,8	7,7	8,4	8,5	10,7	10,6	9,8	6,0	2,9	4,0
<b>7</b>	3,1	7,0	6,5	9,4	9,4	10,7	9,4	10,9	8,0	7,1	3,6	4,5
<b>8</b>	2,5	6,5	6,6	7,6	10,6	10,1	10,2	10,7	8,4	5,5	5,4	4,4
<b>9</b>	3,1	4,8	5,3	7,4	8,4	10,6	12,6	11,3	8,5	6,8	5,6	2,5
<b>10</b>	3,3	6,3	7,4	5,8	11,1	10,1	11,5	11,2	8,3	6,2	3,9	2,3
<b>11</b>	2,8	5,0	6,8	5,8	8,2	8,8	10,8	10,6	9,8	7,2	4,8	3,3
<b>12</b>	3,5	5,6	6,9	7,8	10,4	10,1	12,4	10,2	8,8	7,0	4,0	3,7
<b>13</b>	4,0	6,1	5,9	8,1	11,4	8,9	13,0	11,1	7,7	8,0	4,3	3,7
<b>14</b>	4,1	6,0	7,9	6,9	10,2	10,2	12,8	11,0	8,0	6,4	4,7	2,8
<b>15</b>	4,7	4,7	5,6	7,8	9,9	10,8	12,3	11,3	8,8	6,5	3,9	2,3
<b>16</b>	5,5	4,8	5,9	5,8	9,5	9,7	13,0	11,0	7,4	7,7	2,5	3,6
<b>17</b>	4,2	6,1	8,3	7,6	9,6	9,7	12,1	11,5	6,5	7,9	4,8	1,7
<b>18</b>	3,7	8,5	7,3	8,1	8,7	10,0	12,9	10,8	7,3	6,3	5,2	4,0
<b>19</b>	4,1	6,2	7,4	10,3	8,6	8,9	12,4	9,6	8,3	6,3	3,5	4,2
<b>20</b>	4,6	6,9	6,7	8,1	8,5	9,7	12,5	10,0	8,8	5,1	5,1	2,7
<b>21</b>	3,1	6,5	7,7	8,8	9,6	11,0	13,4	9,2	8,2	5,7	3,8	2,6
<b>22</b>	3,9	5,5	7,9	8,4	9,7	8,8	13,6	10,4	9,0	6,1	3,5	4,9
<b>23</b>	3,7	5,4	6,2	8,2	9,5	10,8	11,8	12,1	7,8	7,1	2,8	3,7
<b>24</b>	3,4	5,8	6,7	7,9	10,7	11,3	10,1	11,8	8,1	4,8	3,8	4,3
<b>25</b>	5,0	5,2	6,9	8,6	10,2	10,3	10,8	10,0	7,5	7,3	3,7	2,8
<b>26</b>	5,3	7,3	7,4	8,1	10,8	11,2	11,4	10,3	7,3	6,7	3,9	2,9
<b>27</b>	4,8	5,8	8,2	6,4	11,3	11,6	13,0	10,1	8,1	6,6	2,9	2,1
<b>28</b>	4,2	6,6	6,7	4,5	9,9	10,7	11,6	9,4	8,0	6,5	3,6	2,7
<b>29</b>	4,3	7,3	8,0	7,8	9,8	9,7	11,4	9,4	8,6	5,2	4,3	2,1
<b>30</b>	4,3		7,4	5,7	12,0	10,7	11,5	9,4	8,1	4,6	3,0	2,7
<b>31</b>	4,0		7,7	0,0	10,7	0,0	12,5	8,1		4,1		2,3
<b>Prosjek</b>	<b>3,8</b>	<b>5,8</b>	<b>7,4</b>	<b>6,7</b>	<b>8,9</b>	<b>9,6</b>	<b>12,0</b>	<b>9,5</b>	<b>9,2</b>	<b>6,3</b>	<b>3,5</b>	<b>3,3</b>
<b>Suma</b>	<b>125,1</b>	<b>170,0</b>	<b>214,8</b>	<b>227,2</b>	<b>298,8</b>	<b>303,2</b>	<b>364,5</b>	<b>329,2</b>	<b>251,7</b>	<b>200,4</b>	<b>125,0</b>	<b>104,2</b>

Tablica 6. Srednje dnevno globalno zračenje, (kWhm<sup>-2</sup>), za lokaciju otoka Visa

Mjesec	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
<b>Dan</b>												
1	1,61	2,48	4,30	5,17	5,48	6,29	7,18	6,27	4,76	3,92	1,87	2,57
2	1,57	2,78	3,41	4,96	6,03	7,24	7,03	6,67	4,51	3,76	2,02	2,61
3	1,85	2,72	3,99	5,04	6,34	7,13	6,80	6,49	4,64	3,34	2,26	2,55
4	1,95	2,37	4,39	5,49	6,04	7,23	6,74	6,53	4,43	3,25	2,20	2,57
5	2,25	2,59	4,11	5,40	5,70	6,89	7,11	6,54	4,00	3,10	2,14	2,52
6	1,73	2,81	4,57	5,20	5,92	6,31	6,87	6,15	4,62	3,14	1,63	2,55
7	1,51	3,10	4,08	5,86	6,27	7,25	6,47	6,26	4,10	3,46	1,79	2,58
8	1,35	2,99	4,11	5,17	6,66	6,98	6,71	6,21	4,21	2,98	2,17	2,57
9	1,49	2,58	3,64	5,07	5,94	7,18	7,48	6,45	4,24	3,38	2,21	2,46
10	1,55	2,93	4,40	4,45	6,82	6,98	7,13	6,38	4,17	3,17	1,83	2,45
11	1,43	2,62	4,19	4,46	5,88	6,45	6,90	6,18	4,62	3,51	2,03	2,51
12	1,62	2,77	4,24	5,25	6,60	6,99	7,43	5,98	4,31	3,44	1,87	2,53
13	1,75	2,90	3,88	5,36	6,93	6,49	7,63	6,34	4,00	3,74	1,93	2,53
14	1,77	2,86	4,57	4,87	6,53	7,03	7,54	6,34	4,10	3,25	2,01	2,48
15	1,94	2,56	3,76	5,25	6,43	7,25	7,41	6,45	4,33	3,27	1,85	2,45
16	2,13	2,58	3,87	4,45	6,31	6,81	7,62	6,32	3,92	3,63	1,54	2,53
17	1,79	2,89	4,72	5,17	6,32	6,81	7,33	6,53	3,68	3,71	2,04	2,42
18	1,65	3,47	4,36	5,36	6,02	6,96	7,59	6,25	3,89	3,21	2,11	2,55
19	1,78	2,91	4,42	6,21	5,99	6,49	7,43	5,77	4,17	3,21	1,74	2,56
20	1,90	3,08	4,17	5,35	5,97	6,80	7,45	5,94	4,33	2,85	2,10	2,48
21	1,51	3,00	4,51	5,61	6,34	7,37	7,75	5,59	4,17	3,03	1,81	2,47
22	1,72	2,74	4,58	5,47	6,36	6,43	7,82	6,07	4,37	3,16	1,76	2,60
23	1,67	2,71	3,98	5,41	6,31	7,28	7,25	6,75	4,04	3,47	1,59	2,53
24	1,59	2,82	4,16	5,28	6,70	7,49	6,69	6,65	4,13	2,75	1,81	2,56
25	2,00	2,68	4,22	5,54	6,51	7,05	6,91	5,91	3,95	3,53	1,81	2,48
26	2,09	3,19	4,41	5,35	6,72	7,42	7,10	6,04	3,91	3,33	1,84	2,49
27	1,96	2,81	4,69	4,69	6,88	7,60	7,63	5,97	4,13	3,31	1,63	2,45
28	1,79	3,01	4,16	3,96	6,42	7,23	7,18	5,69	4,09	3,29	1,78	2,48
29	1,81	3,17	4,61	5,22	6,41	6,81	7,10	5,70	4,27	2,89	1,93	2,44
30	1,82		4,43	4,44	7,12	7,22	7,12	5,68	4,13	2,69	1,65	2,48
31	1,75		4,52		6,68		7,45	5,15		2,54		2,45
<b>Prosjek</b>	<b>1,7</b>	<b>2,8</b>	<b>4,4</b>	<b>4,8</b>	<b>6,1</b>	<b>6,8</b>	<b>7,3</b>	<b>5,7</b>	<b>4,4</b>	<b>3,2</b>	<b>1,8</b>	<b>2,5</b>

Kako se vidi iz tablice 6., prosječna dozračena solarna energija za otok Vis iznosi 4,3 kWh/m<sup>2</sup>. Na slici 22. prikazane su srednje vrijednosti globalnog zračenja.



Slika 22. Grafički prikaz srednjih mjesečnih vrijednosti solarnog globalnog zračenja za lokaciju otoka Visa.

### 3.3. Proizvodnja električne energije iz raspoložive dozračene solarne energije

Proračun za proizvodnju električne energije iz raspoložive dozračene solarne energije uzet je iz rada Glasnović i dr. [15]

Nominalna električna snaga  $P_{el}$  (W) može se izračunati jednadžbom:

$$P_{el(ST)} = \eta_{0,el} * A_{coll} * G_0 \quad (1)$$

gdje je  $\eta_{0,el}$ , prosječna godišnja učinkovitost konverzije solarne u električnu energiju,  $A_{coll}$  površina aperture (otvora) paraboličnog kolektora ( $m^2$ ), a  $G_0$  je intenzitet sunčeva zračenja.

Ukupnu električnu energiju  $E_{el(ST)}$  proizvedenu iz termalne energije  $Q(J/m^2)$  u solarnoj termalnoj elektrani može se izračunati koristeći efikasnost konverzije termalne energije u električnu energiju,  $\bar{\eta}_{Q-EL}$ , i površnu otvora kolektora,  $A_{coll}$ :

$$E_{el(ST)} = \bar{\eta}_{Q-EL} * f_m * A_{coll} * \bar{Q} \quad (2)$$

gdje se faktor prilagođenja  $f_m = 0.8$  podudara s karakteristikama generatora solarne termalne elektrane. Efikasnost konverzije termalne energije u električnu energiju za standardnu solarnu termalnu elektranu iznosi 17%, a za solarnu termalnu elektranu s DSG procesom 22.03%. Površina kolektora je 199000  $m^2$ .

Energija prikupljena praćenjem solarnog zračenja paraboličnim kolektorom je produkt faktora efikasnosti za uklanjanje topline  $F$  (taj broj jednak je 1 ako izračun za količinu prikupljene solarne energije uključuje operativnu temperaturu površine kolektora od 360° C), dugoročnog prosječnog faktora efikasnosti,  $\eta_{opt} = 0.65$ , dugoročnog prosječnog faktora iskorištenja solarne energije  $\Phi$  baziran na Hottel-Whillier-ovom konceptu i prosječne dnevne vrijednosti prikupljene solarne energije  $E_{S(coll)}(J/m^2/dan)$ :

$$\bar{Q} = F * \bar{\eta}_{opt} * \bar{\Phi} * E_{S(coll)} \quad (3)$$

Dugoročni prosječni faktor iskorištenja solarne energije bazirana na Hottel-Whillierovom konceptu,  $\Phi$ , opisujemo kao faktor prosječnog iskorištenja solarne energije, a koji nije linearna funkcija indeksa prozračnosti atmosfere i kritičnog odnosa između gubitka energije s površine kolektorske cijevi i prosječne dnevne dozračene solarne energije.

Međutim, s obzirom na kompleksnost njegovog proračuna za potrebe ovog rada, odnosno proračuna, taj će se faktor uzeti konstantnim s prosječnom vrijednošću od 0.75.

Energija prikupljena kolektorom izračunava se kao razlika zračenja iz hemisfere (direktno zračenje) i difuznog zračenja:

$$E_{S(coll)} = R_h E_{S(h)} - R_d E_{S(d)} \quad (4)$$

$$E_{S(coll)} = [R_h - R_d (E_{S(d)}/E_{S(h)})] * E_{S(h)} \quad (5)$$

$$E_{S(coll)} = R_{coll} * E_S \quad (6)$$

gdje je  $E_{S(h)}$  prosječno dnevno ozračenje na horizontalnu površinu iz hemisfere ( $J/m^2$ ),  $E_{S(d)}$  je prosječno dnevno ozračenje na horizontalnu površinu difuznim zračenjem ( $J/m^2$ ),  $R_h$  je vremenski integral zračenja iz hemisfere,  $R_d$  je vremenski integral difuznog zračenja,  $R_{coll}$  je omjer prosječnog dnevnog prikupljenog zračenja praćenjem paraboličnog kolektora na nagnutoj i horizontalnoj površini.

Uvrštavanjem jednadžbe 3 u jednadžbu 2 dobiva se prosječna dnevna proizvedena električna energija u solarnoj termalnoj elektrani (J/dan):

$$E_{el(ST)} = \eta_{Q-EL} * f_m * A_{coll} * F * \bar{\eta}_{opt} * \bar{\Phi} * E_{S(coll)} \quad (7)$$

Proizvedena električna energija za jediničnu površinu otvora kolektora:

$$E_{el(ST)} = \eta_{Q-EL} * f_m * F * \bar{\eta}_{opt} * \bar{\Phi} * E_{S(coll)} \quad (8)$$



Proizvedena električna energija standardnom solarnom termalnom elektranom prikazana je u tablici 7.

Tablica 7. Proizvedena električna energija standardnom solarnom termalnom elektranom

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
<b>1</b>	<b>21241</b>	<b>32741</b>	<b>56675</b>	<b>68251</b>	<b>72366</b>	<b>82992</b>	<b>94703</b>	<b>82712</b>	<b>62816</b>	<b>51676</b>	<b>24700</b>	<b>33850</b>
<b>2</b>	20755	36705	45051	65500	79543	95547	92804	87966	59460	49610	26599	34468
<b>3</b>	24365	35937	52609	66519	83701	94091	89718	85625	61275	44114	29849	33581
<b>4</b>	25788	31206	57966	72478	79675	95365	88911	86199	58502	42934	29069	33916
<b>5</b>	29744	34115	54283	71307	75211	90937	93848	86246	52750	40942	28185	33311
<b>6</b>	22872	37120	60262	68607	78099	83295	90667	81088	61001	41385	21502	33601
<b>7</b>	19957	40924	53805	77368	82738	95607	85398	82616	54154	45627	23556	33995
<b>8</b>	17875	39422	54235	68251	78715	92090	88483	81900	55523	39356	28627	33916
<b>9</b>	19714	34019	48065	66876	78405	94758	98691	85100	56002	44631	29199	32522
<b>10</b>	20443	38623	58062	58675	90047	92150	94086	84240	55078	41864	24180	32371
<b>11</b>	18812	34595	55288	58879	77530	85054	91047	81518	61001	46291	26781	33114
<b>12</b>	21415	36513	55910	69320	87027	92272	98074	78938	56927	45405	24622	33410
<b>13</b>	23046	38207	51126	70747	91403	85600	100685	83667	52750	49315	25402	33417
<b>14</b>	23323	37792	60358	64278	86195	92757	99545	83619	54154	42860	26521	32752
<b>15</b>	25579	33732	49643	69219	84882	95668	97789	85052	57098	43155	24362	32378
<b>16</b>	28113	33987	51030	58726	83219	89845	100495	83333	51757	47950	20332	33357
<b>17</b>	23566	38175	62272	68200	83438	89845	96744	86103	48504	48983	26885	31937
<b>18</b>	21796	45784	57584	70696	79412	91786	100115	82521	51346	42418	27899	33653
<b>19</b>	23428	38335	58253	81902	79018	85600	98074	76072	55044	42418	23010	33778
<b>20</b>	25128	40637	55001	70645	78712	89724	98263	78317	57098	37622	27743	32706
<b>21</b>	19922	39518	59497	73956	83701	97245	102204	73780	54975	39946	23946	32628
<b>22</b>	22733	36193	60406	72122	83920	84811	103153	80037	57680	41717	23166	34252
<b>23</b>	22074	35746	52561	71358	83263	96032	95605	89112	53332	45811	21008	33384
<b>24</b>	20963	37216	54857	69677	88384	98822	88246	87727	54496	36295	23894	33831
<b>25</b>	26343	35362	55718	73039	85933	93060	91142	77935	52133	46512	23842	32733
<b>26</b>	27592	42043	58206	70543	88690	97912	93658	79655	51551	43893	24284	32805
<b>27</b>	25857	37056	61841	61833	90747	100217	100685	78747	54462	43635	21528	32266
<b>28</b>	23636	39678	54905	52308	84707	95365	94750	75069	53948	43414	23426	32680
<b>29</b>	23913	41841	60884	68913	84576	89906	93706	75165	56276	38139	25506	32220
<b>30</b>	23948	0	58397	58573	93985	95244	93991	74926	54462	35483	21814	32693
<b>31</b>	23046	0	59593	0	88121	0	98311	68000	0	33565	0	32358

***Ukupno = 21189798 kWh ili 21 GWh.***

U tablici 8. je prikazana proizvedena električna energija DSG solarnom termalnom elektranom.

Tablica 8. Proizvedena električna energija DSG solarnom termalnom elektranom

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	27526	42428	73444	88445	93778	107548	122724	107185	81402	66966	32009	43866
2	26896	47565	58381	84881	103079	123817	120263	113993	77054	64289	34469	44667
3	31574	46571	68175	86201	108466	121931	116264	110960	79405	57167	38681	43517
4	33418	40439	75118	93924	103249	123582	115218	111703	75811	55637	37670	43951
5	38545	44209	70345	92405	97464	117844	121616	111765	68357	53056	36524	43168
6	29640	48103	78093	88907	101207	107941	117494	105080	79050	53630	27864	43542
7	25862	53033	69725	100260	107219	123896	110665	107061	70177	59127	30526	44054
8	23163	51086	70283	88445	113797	119337	114664	106132	71951	51001	37097	43951
9	25547	44085	62286	86663	101604	122796	127892	110280	72572	57836	37839	42145
10	26492	50051	75242	76036	116690	119416	121924	109165	71375	54251	31335	41949
11	24378	44831	71646	76300	100470	110220	117986	105637	79050	59987	34705	42912
12	27751	47316	72452	89831	112777	119573	127092	102295	73770	58840	31908	43295
13	29865	49512	66253	91679	118448	110927	130476	108423	68357	63907	32919	43304
14	30224	48973	78217	83296	111699	120202	128999	108361	70177	55542	34368	42443
15	33148	43712	64332	89699	109998	123975	126723	110218	73992	55924	31571	41958
16	36431	44044	66129	76102	107843	116429	130229	107989	67071	62138	26347	43227
17	30539	49471	80697	88379	108126	116429	125369	111579	62856	63477	34839	41387
18	28246	59330	74622	91613	102909	118944	129737	106937	66538	54968	36154	43611
19	30359	49678	75490	106135	102398	110927	127092	98581	71330	54968	29818	43773
20	32563	52660	71274	91547	102001	116272	127338	101490	73992	48754	35952	42384
21	25817	51211	77101	95838	108466	126018	132444	95610	71241	51766	31031	42282
22	29460	46902	78279	93462	108750	109906	133675	103718	74747	54060	30020	44386
23	28605	46322	68113	92471	107899	124446	123893	115479	69112	59366	27223	43261
24	27166	48228	71088	90293	114535	128062	114357	113684	70620	47033	30964	43841
25	34137	45825	72204	94650	111359	120595	118109	100995	67559	60274	30897	42418
26	35756	54483	75428	91415	114932	126883	121370	103223	66805	56880	31470	42512
27	33508	48021	80139	80128	117597	129870	130476	102047	70576	56546	27897	41813
28	30629	51418	71150	67785	109771	123582	122785	97281	69910	56259	30357	42350
29	30989	54221	78899	89303	109601	116508	121432	97405	72927	49423	33053	41753
30	31034	0	75676	75904	121794	123424	121801	97095	70576	45982	28268	42367
31	29865	0	77225	0	114194	0	127399	88120	0	43496	0	41932

***Ukupno= 27459485 kWh ili 27 GWh.***

## 4. REZULTATI I RASPRAVA

Usporedbom sume proizvedene električne energije standardnom solarnom termalnom elektranom, koja iznosi 21189.79 MWh/m<sup>2</sup>, i sume proizvedene električne energije solarnom termalnom elektranom s DSG tehnologijom, koja iznosi 27459.48 MWh/m<sup>2</sup>, jasno možemo vidjeti da je više električne energije proizvedeno u solarnoj termalnoj elektrani s DSG tehnologijom.

Možemo zaključiti kako je solarna termalna elektrana s DSG tehnologijom efikasnija i isplativija zato što temperatura radnog fluida (demineralizirana voda) u solarnoj termalnoj elektrani s DSG tehnologijom iznosi 500°C što rezultira boljom efikasnošću konverzije termalne energije u električnu energiju od 22.03%, dok temperatura radnog fluida (ulje) u standardnoj solarnoj termalnoj elektrani iznosi 400°C, a postiže efikasnost konverzije od 17%.

Prednost standardnih solarnih termalnih elektrana definitivno je jednofazni protok fluida. Međutim, on zahtijeva izmjenjivač topline što povećava operativne troškove, dok solarne termalne elektrane s DSG tehnologijom zbog dvofaznog protoka fluida su konstrukcijski jednostavnije i jeftinije, ali to rezultira drugim problemima.

Mogući problemi vezani za solarne termalne elektrane s DSG tehnologijom [16]:

1. Stabilnost prstenastog oblika fluida unutar cijevi kako bi se osiguralo unutarnje hlađenje stijenke i spriječile takozvane „hot spots“.
2. Strukturni integritet cijevi apsorbera te povezanost kolektora i samih cijevi apsorbera pri visokom tlaku i temperaturi.
3. Kompleksniji sustav kontrole solarne termalne elektrane naročito tijekom kratkotrajnih razdoblja solarnih zračenja
4. Integracija sa sustavom skladištenja prilagođenim posebnim karakteristikama dvofaznog fluida voda/ para u pogonu za isparavanje.

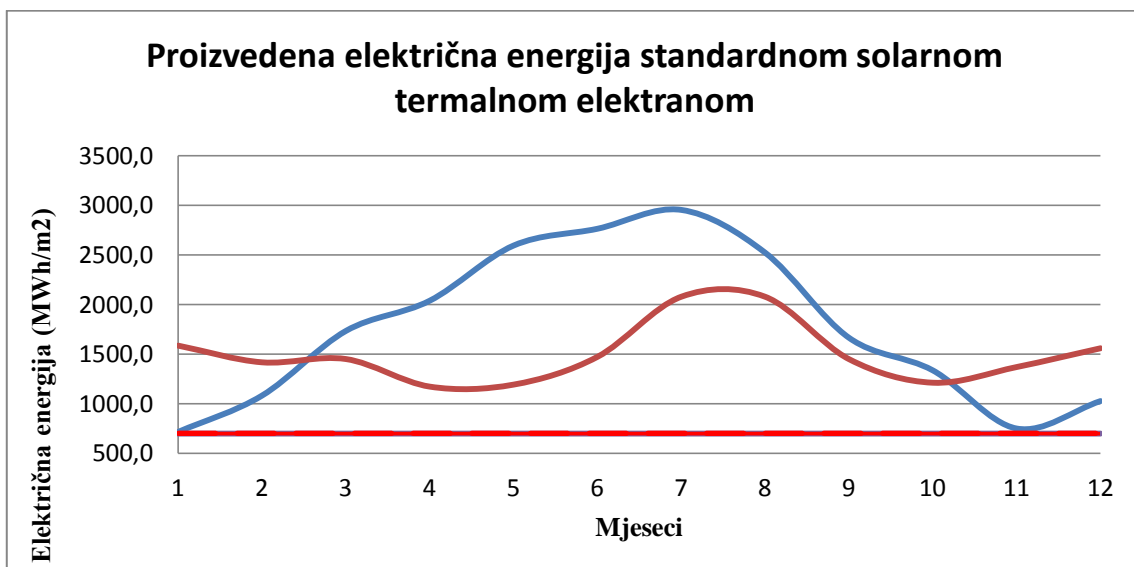
Skladištenjem energije se mogu uravnotežiti ljetni viškovi sa zimskim manjkovima energije.

Za potrebe ovoga rada, veličina potrebnog skladišta energije može se na jedan vrlo pojednostavljen način procijeniti na osnovi najveće razlike proizvedene energije ( $E_{el}$ ) i njene potrošnje ( $E_c$ ), odnosno prema jednadžbi:

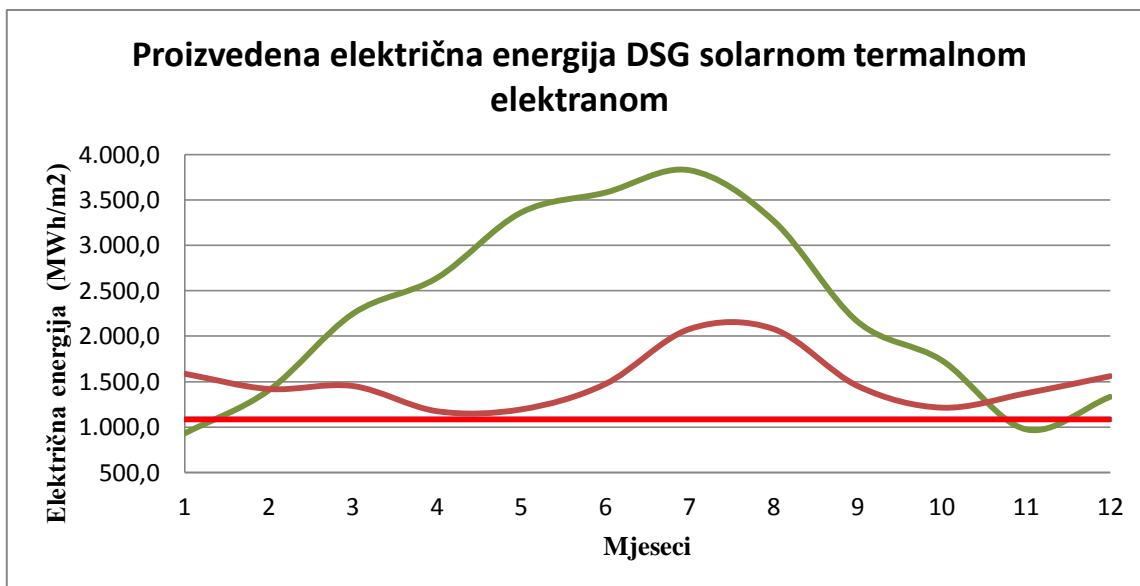
$$E_{sto} = MAX \frac{E_{el} - E_c}{2} \quad (9)$$

Iz dobivenih rezultata možemo vidjeti kako kod standardnih solarnih termalnih elektrana veličina skladišta od 700,427 MWh trebala bi uravnotežiti ljetne viškove i zimske manjkove energije, dok kod solarnih termalnih elektrana s DSG tehnologijom potrebna je veličina skladišta od 1084,26 MWh.

Na slikama 23. i 24. prikazane su prosječne mjesečne vrijednosti proizvedene električne energije standardnom solarnom termalnom elektranom i DSG sustavom respektivno za lokaciju Visa, zatim je prikazana potrošnja energije i potrebna veličina sezonskog skladišta energije.

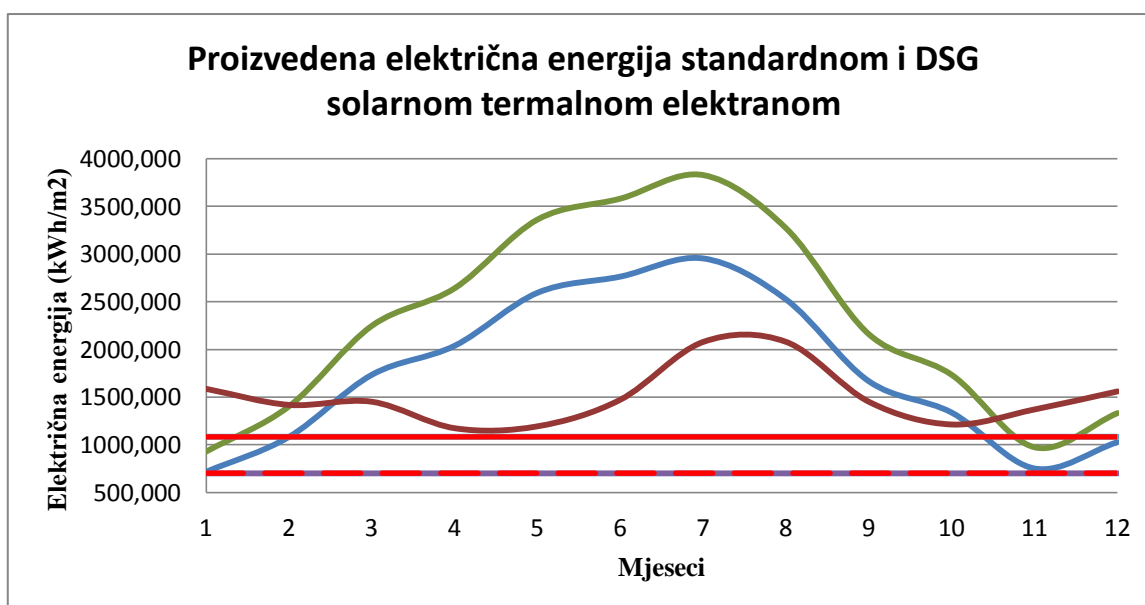


Slika 23. Prosječne mjesečne vrijednosti proizvedene električne energije standardnom solarnom termalnom elektranom za lokaciju otoka Visa, potrošnja energije i veličina skladišta energije.



Slika 24. Prosječne mjesečne vrijednosti proizvedene električne energije DSG solarnom termalnom elektranom za lokaciju otoka Visa, potrošena energija i veličina skladišta energije.

Na slici 25. prikazana je usporedba prosječnih mjesečnih vrijednosti proizvedene električne energije standardnom solarnom termalnom elektranom i DSG solarnom termalnom elektranom te usporedba veličina skladišta energije.



Slika 25. Usporedba prosječnih mjesečnih vrijednosti proizvedene električne energije standardnom solarnom termalnom elektranom i DSG solarnom termalnom elektranom, usporedba veličina skladišta energije

## 5. ZAKLJUČAK

Radom su prikazane osnovne karakteristike standardnih solarnih termalnih elektrana s paraboličnim kolektorima koje rade tako da imaju dva kruga, odnosno primarni krug u kojem kao radni fluid struji ulje, a pomoću izmjenjivača topline se ta toplinska energija prenosi u sekundarni krug u kojem se nalazi voda koja isparava i odlazi na turbine koje onda pokreću generatore u svrhu proizvodnje električne energije;

U cilju povećanja efikasnosti cijelog sustava, a što je moguće višim temperaturama, razvijen je tzv. DSG sustav u kojem demineralizirana voda direktno struji kroz apsorberske cijevi kolektorskog sustava te se u njima djelomično isparava, a u visokotlačnim separatorima se odvaja parna faza od tekuće te se para odvodi na turbine koje proizvode mehaničku energiju, a generatori koji su s njima spregnuti i električnu energiju.

Na osnovi izgrađenih sustava, pokazuje se da standardne solarne elektrane rade na temperaturama od 400 °C, pri čemu postižu ukupnu efikasnost sustava od 17%. S druge strane, DSG tehnologijom postižu se temperature iznosi 500 °C, a što rezultira njihovom većom efikasnošću koja iznosi 22.03%.

Dakle, u odnosu na standardne solarne elektrane s paraboličkim kolektorima, DSG tehnologija ima značajne prednosti, tj, od već spomenute više efikasnosti i ekološke prihvatljivosti (jer nemaju problem s uljima) do toga da im nije potreban izmjenjivač topline, tako da je i jednostavnija konfiguracija takvog sustava. Međutim, nedostaci DSG tehnologije su da se mora koristiti dvofazni fluid koji iziskuje korištenje visokotlačnih separatora te da je kod te tehnologije složenije upravljanje sustavom kod promjena intenziteta solarnog zračenja.

U eksperimentalnom dijelu su za lokaciju otoka Visa promatrana oba sustava, tj, i standardni i DSG sustav, pri čemu je za standardni sustav dobiveno da ona može proizvesti 21 GWh, dok se DSG sustavom može dobiti 27 GWh električne energije. S obzirom na to da je potrošnja otoka Visa 18 GWh, to pokazuje da oba tipa elektrana mogu zadovoljiti tu potrošnju. Međutim, kako su podaci o potrošnji dosta stari (iz 2007. godine) te da se elektrane uvijek trebaju graditi s određenom rezervom, DSG tehnologija je u konkretnom slučaju sigurnije rješenje u smislu kontinuirane opskrbe energijom tijekom cijele godine. Da bi se taj kontinuitet i postigao, radom je dan jedan vrlo jednostavan, ali i u tehničkom smislu i dovoljno dobar proračun veličina sezonskog skladišta energije koje za standardnu elektranu iznosi 700 MWh, dok bi za DSG tehnologiju to skladište trebalo biti kapaciteta 1084 MWh.

## 6. LITERATURA

1. Matić, Z., Sunčevo zračenje na području RH, priručnik za energetske korištenje Sunčevog zračenja, Energetski institut Hrvoje Požar, Zagreb, 2007
2. Lozić, S., Sunčeva energija, Odjel za geografiju, Sveučilište u Zadru, 2012 (<http://www.unizd.hr/Portals/6/nastavnici/Sanja%20Lozic/OPK%205%20-%20Sun%C4%8Deva%20energija.pdf>)
3. Gospodarsko interesno udruženje, Obnovljivi izvori energije Hrvatske, Radnička cesta 80, 10 000 Zagreb, <https://oie.hr/koncentrirajuće-solarne-elektre-inovacije/> (pristup 28. siječnja 2018.)
4. Energetske transformacije, [http://powerlab.fsb.hr/enerpedia/index.php?title=ENERGETSKE\\_TRANSFORMACIJE](http://powerlab.fsb.hr/enerpedia/index.php?title=ENERGETSKE_TRANSFORMACIJE) (pristup 28. siječnja 2018.)
5. Kaltschmitt, M., Wolfgang Streicher Andreas Wiese, Renewable Energy, Technology Economics and Environment, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2007
6. Pandžić, H., Rajšl, I., Capuder, T., Kuzle, I., Obnovljivi izvori energije, priručnik, Diozit, Slavonski brod ([http://www.stem-genijalci.eu/wp-content/uploads/eucenje/oie/Prirucnik Obnovljivi izvori web.pdf](http://www.stem-genijalci.eu/wp-content/uploads/eucenje/oie/Prirucnik%20Obnovljivi%20izvori%20web.pdf))
7. Fabian Feldhoff, F., J., Direct Steam Generation (DSG), Technology Overview, Španjolska, 2012 ([http://sfera.sollab.eu/downloads/Schools/Fabian\\_Feldhoff\\_Direct\\_Steam\\_Generation.pdf](http://sfera.sollab.eu/downloads/Schools/Fabian_Feldhoff_Direct_Steam_Generation.pdf))
8. Romero-Alvarez, M., Zarza, E., Concentrating Solar Thermal Power, Plataforma Solar de Almeria-CIEMAT, by Taylor & Francis Group, LLC, 2007
9. EU SOLARIS, Parabolic Trough, The concept: „Linear concentration of solar energy by curved reflective surface“, <http://www.eusolaris.eu/Technology/ParabolicTrough.aspx> (pristup 16. veljače 2018.)
10. Zarza, E., Medium temperature solar concentrators (Parabolic- Troughs Collectors), SOLAR ENERGY CONVERSION AND PHOTOENERGY SYSTEMS, Spain, 2006
11. Glasnović, Z., Margeta, J., Solar thermal hydro electric power plant with direct pumping system (WO2013011333), 2011.

12. Wikipedija, Parabolični kolektor,  
[http://www.wikiwand.com/hr/Paraboli%C4%8Dni\\_kolektor](http://www.wikiwand.com/hr/Paraboli%C4%8Dni_kolektor) (pristup 20. siječnja 2018.)
13. Zarza, E., Rojas, M., E., Gonza´lez, L., Caballero, J., M., Rueda, F., INDITEP: The first pre-commercial DSG solar power plant, *Science direct*, 80 (2006) 1270-1276
14. Pitz-Paal, R., Hennecke, K., Heller, P., Buck, R., *Solar thermal power plants; Utilising concentrated sunlight for generating energy*, Germany, 2013
15. Glasnović, Z., Rogošić, M., Margeta, J., A Model for Optimal Sizing of Solar Thermal Hydroelectric Power Plant, *Solar energy*. 85 (2011) 5; 794-807
16. Ravelli, S., Franchini, G., Perdichizzi, A., Rinaldi, S., Valcarenghi, V.E.: Modeling of Direct Steam Generation in Concentrating Solar Power Plants, *Science Direct*, 101 ( 2016 ) 464 - 471



# ŽIVOTOPIS

## OSOBNI PODACI

*Ime i prezime:* Andreja Osonički

████████████████████

████████████████████

██████

██

## OBRAZOVANJE

2014. upisala diplomski studij ekoinženjerstva, FKIT, Zagreb

2007. – 2014. Preddiplomski studij ekoinženjerstva, FKIT, Zagreb

2003. – 2007. Prirodoslovna škola Vladimira Preloga, Zagreb

### *Dodatne aktivnosti:*

Sažetak u zborniku skupa , SMLKI: K. Novaković, A. Osonički, Z. Katančić, V. Gilja, Z.

Hrnjak- Murgić: Ocjena efikasnosti katalitičke razgradnje azo bojila primjenom TiO<sub>2</sub>/PEDOT nanokompozitnog fotokatalizatora

Ekoinženjerski laboratorij: Sinteza i karakterizacija fotokatalitičkih nanokompozita s elektrovodljivim polimerima, voditelj: dr. sc. Zvonimir Katančić

Završni rad: Održive tehnologije spremanja toplinske energije za potrebe energetski učinkovitih zgrada, voditelj: izv. prof. dr. sc. Zvonimir Glasnović

Stručna praksa: Olival d.o.o., Zagreb. Upoznavanje s načinom rada postrojenja i postupkom dobivanja kozmetičkih proizvoda.

## VJEŠTINE

*Strani jezici:* engleski

*Rad na računalu:* Izvrsno vladanje programskim paketom Microsoft Office.  
Poznavanje rada u programima Matlab i Mathematica.