

# Praktični primjer mogućnosti korištenja geotermalne energije

---

Kudumija, Hrvoje

Undergraduate thesis / Završni rad

2021

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University North / Sveučilište Sjever**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:122:485825>

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

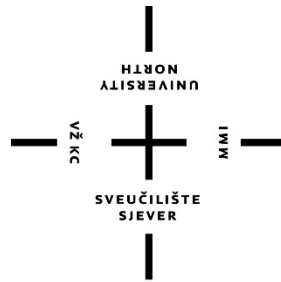
Download date / Datum preuzimanja: **2024-11-27**



Repository / Repozitorij:

[University North Digital Repository](#)





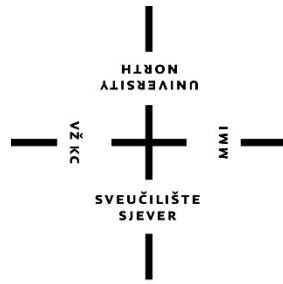
# Sveučilište Sjever

Završni rad br. 002/MEH/2021

## Praktični primjer mogućnosti korištenja geotermalne energije

Hrvoje Kudumija, 3103/336





# Sveučilište Sjever

Odjel za Mehatroniku

Završni rad br. 002/MEH/2021

## Praktični primjer mogućnosti korištenja geotermalne energije

**Student**

Hrvoje Kudumija, 3103/336

**Mentor**

Prof.dr.sc. Ante Čikić

Varaždin, kolovoz 2021. godine



# Prijava završnog rada

## Definiranje teme završnog rada i povjerenstva

ODJEL	Odjel za mehatroniku		
STUDIJ	preddiplomski stručni studij Mehatronika		
PRISTUPNIK	Hrvoje Kudumija	JMBAG	0336027795
DATUM	26.07.2021.	KOLEGIJ	Obnovljivi izvori energije
NASLOV RADA	Praktični primjer mogućnosti korištenja geotermalne energije		
NASLOV RADA NA ENGL. JEZIKU	A practical example of the possibility of using geothermal energy		
MENTOR	prof.dr.sc. Ante Čikić	ZVANJE	redoviti profesor
ČLANOVI POVJERENSTVA	1. doc.dr.sc. Tanja Tomić - predsjednica povjerenstva		
	2. prof.dr.sc. Ante Čikić		
	3. doc.dr.sc. Tomislav Veliki		
	4. Zoran Busija, dipl.ing.stroj., predavač - rezervni član		
	5.		

## Zadatak završnog rada

BROJ	002/MEH/2021
OPIS	<p>Potrebno je praktičnim primjerom prikazati korištenje energije iz geotermalnog izvora protoka vode <math>V = 250 \text{ m}^3/\text{h}</math> i maksimalne temperature <math>125^\circ\text{C}</math>. Toplinsku energiju geotermalnog izvora treba koristiti kombinirano; manjim dijelom za proizvodnju električne energije (ORC), većim dijelom za stupnjevito korištenje toplinske energije do temperature oko <math>25^\circ\text{C}</math> za grijanje agro objekata i bazena. Također predvidjeti dizalicu topline voda - voda za djelomično povećanje toplinske snage i pogon električnom energijom iz ORC elektrane. Prikazati bilancu topline i mase za odabrane kapacitete te dimenzionirati izmjenjivače, cjevovode, opremu i pogonske uređaje za odgovarajuće termotehničke i hidrauličke parametre te izabrati opremu, uređaje i sklopove optimalnih karakteristika. Usporediti ekonomičnost i emisiju <math>\text{CO}_2</math> u odnosu na korištenje prirodnog plina kao pogonskog goriva za odgovarajuće toplinske snage godišnje i u razdoblju od 5 godina.</p> <p>Uz analitičke i pisane sadržaje, grafički (sheme, crteži - dispozicija prema odabranom mjerilu, slike, tablice, dijagrami,...) ilustrirati i prikazati praktični primjer prepoznatljivo stručnoj praksi. Dati odgovarajuće analize, komentar i zaključak. Ostale fizikalne parametre, tehničke karakteristike i podatke koristiti iz stručne prakse i literature.</p>

ZADATAK URUČEN

30.08.2021.





## Sažetak

Obnovljivi izvori energije neiscrpni su izvori energije koji se sve više koriste u današnjem svijetu u kojem se potrebe za energijom povećavaju iz dana u dan. Takvi izvori predstavljaju čišću, jeftiniju i dugovječniju varijantu od fosilnih goriva koja se danas najviše koriste. Geotermalna energija jedan je od takvih izvora. To je energija koja se nalazi u unutrašnjosti našeg planeta Zemlje. Geotermalni potencijal u svijetu je iznimno velik, no iskorištenost tog potencijala je na niskoj razini u većini država. U našoj državi također su otkriveni mnogi geotermalni izvori, no rijetki su uopće u uporabi te je takva vrsta energije još jedno od naših bogatstava koje smo do sada slabo iskoristili. U ovom radu prikazana je mogućnost iskorištavanja jednog tipičnog geotermalnog izvora srednje temperature koja su nalazišta pretežito u području panonske Hrvatske. Također, su prikazane efikasnost iskorištavanja takvog izvora, njegove prednosti i nedostaci u odnosu na prirodni plin kao i ekonomske prednosti u odnosu na ostale mogućnosti zagrijavanja prostora i proizvodnja električne energije. Analiziran je utjecaj iskorištavanja geotermalne energije na okoliš i zdravlje ljudi te emisija CO<sub>2</sub> u usporedbi s korištenjem prirodnog plina.

**Ključne riječi:** geotermalna energija, geotermalni izvor, toplina, električna energija, sustav

## Summary

Renewable energy sources are inexhaustible energy sources that are increasingly used in today's world where energy needs are increasing day by day. Such sources represent a cleaner, cheaper and more durable variant than the fossil fuels most widely used today. Geothermal energy is one such source. That is the energy that we can find on the inside of our planet Earth. Geothermal potential in the world is extremely large, but the utilization of this potential is low in most countries. Many geothermal sources have been discovered in our country as well, but they are rarely used at all, and this type of energy is another one of our resources that we have so far made little use of. This paper will present the possibility of using a typical geothermal medium temperature source that can be found in Pannonian Croatia. Also, the efficiency of exploitation of such a source, its advantages and disadvantages in relation to natural gas as well as economic advantages in relation to other possibilities of space heating and electricity production will be presented. We will also take into account the impact of the use of geothermal energy on the environment and human health, as well as CO<sub>2</sub> emissions compared to the use of natural gas.

**Keywords:** geothermal energy, geothermal source, heat, electricity, system





## **Popis korištenih kratica**

**ORC**      Organski Rankineov ciklus



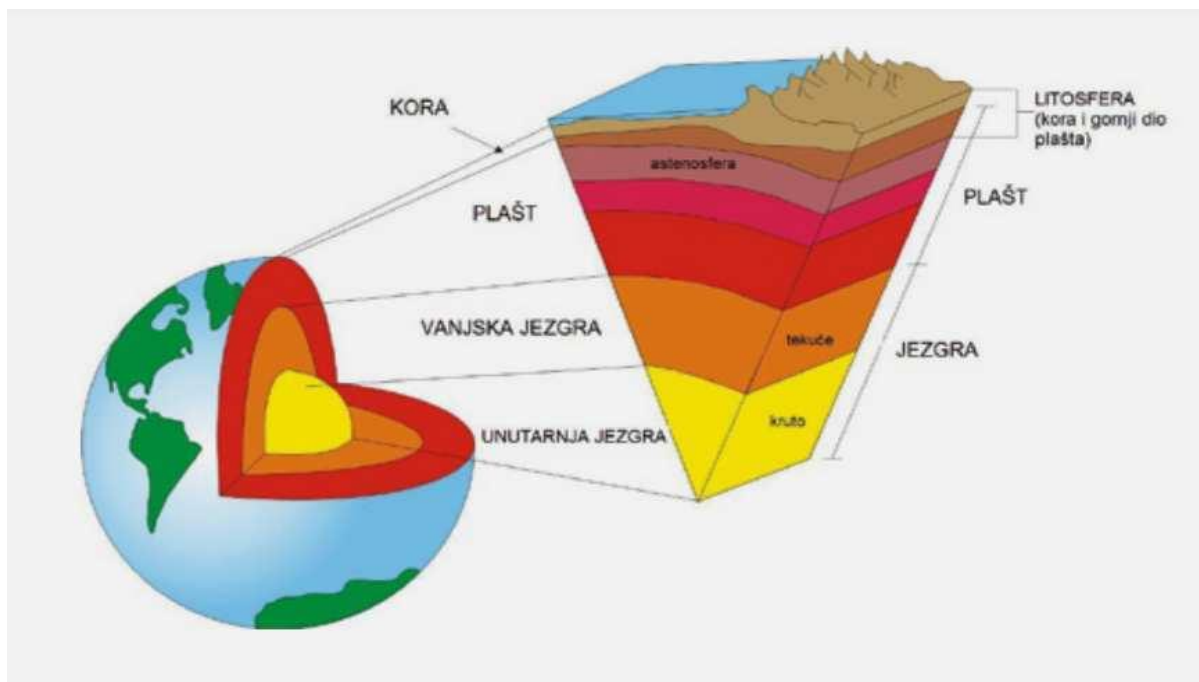
# Sadržaj

1.	1
2.	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
3.	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
3.1.	10
3.1.1.	10
3.1.2.	13
3.1.3.	15
3.2.	17
3.2.1.	18
3.2.2.	23
3.3.	24
3.3.1.	25
3.4.	26
3.5.	27
3.6.	29
4.	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
5.	32
6.	<b>Error! Bookmark not defined.</b>

# 1. Uvod

Geotermalna energija, u širem smislu riječi, termalna je energija koja se nalazi unutar našeg planeta. Ona je neiscrpan obnovljivi izvor energije. Toplina se kreće od središta Zemlje, gdje su temperature uvijek vrlo visoke, prema površini. Spomenuta toplina nastala je, u neodređenom omjeru, formiranjem našeg planeta kroz milijarde godina i propadanjem dugoživićih radioaktivnih izotopa koji su se nalazili u mineralima unutar stijena Zemljine kore. Ti izotopi su izotopi urana ( $U^{238}$ ,  $U^{235}$ ), torija ( $Th^{232}$ ) i kalija ( $K^{40}$ ). Danas se pojam „geotermalna energija“ koristi u vrlo širokom smislu, no u ovom radu razmatrati će se na onaj dio Zemljine topline koji je dostupan tehničko tehnološkim dosezima za uporabu pomoću razvijenih tehnologija. Dubina do koje je čovječanstvo uspjelo doprijeti bušenjem iznosi oko 10 kilometara.

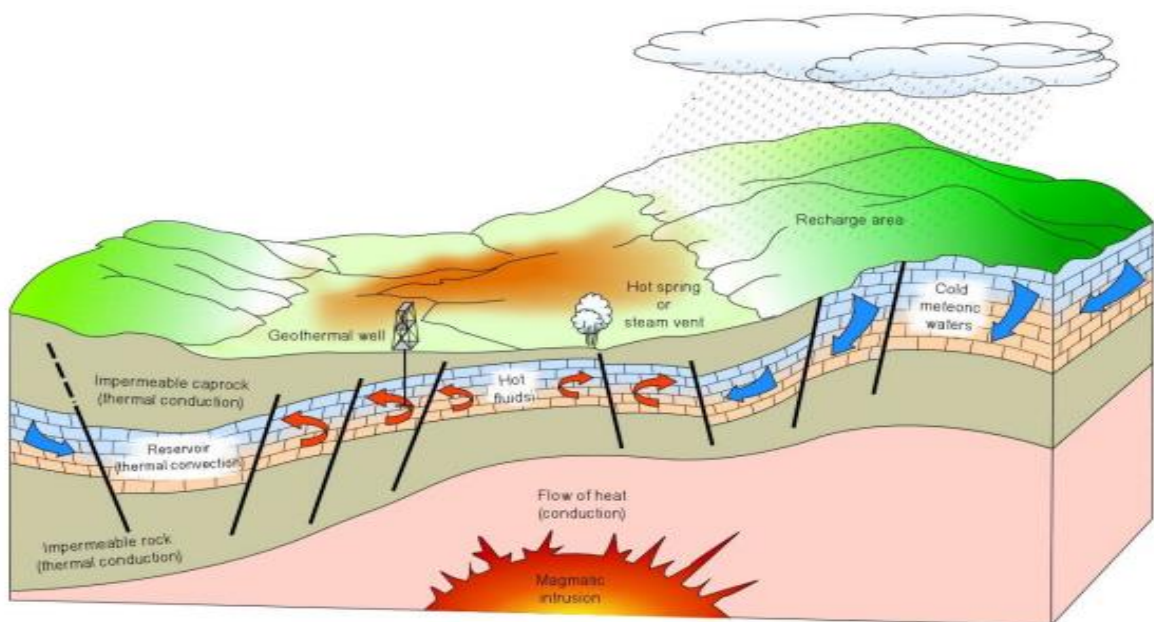
Temperatura i toplinska energija povećavaju se proporcionalno s dubinom Zemljine unutrašnjosti. Izraz definiran tom pojavom nazivamo geotermalni gradijent. U prosjeku on iznosi oko  $2.5-3^{\circ}C/100m$ . Ako uzmemo za primjer da temperatura prvih nekoliko metara ispod površine tla odgovara prosječnoj temperaturi zraka i iznosi  $15^{\circ}C$  tada možemo pretpostaviti da je temperatura na dubini od 2000 metara između  $65$  i  $75^{\circ}C$ , na dubini od 3000 metara između  $90$  i  $105^{\circ}C$  i tako dalje za idućih nekoliko tisuća metara. Naravno, postoje mnoga područja u kojima je geotermalni gradijent različit od prosječnih vrijednosti te može varirati između  $1^{\circ}C/100m$  pa sve do i više od 10 puta većih vrijednosti nego prosječnih.



Slika 1.1 Presjek Zemljine unutrašnjosti [3]

Do sada je upotreba geotermalne energije ograničena na područja u kojima uvjeti omogućuju prijenos energije pomoću vode u tekućem ili plinovitom obliku. Voda prenosi toplinu iz dubokih vrućih zona do površine ili barem u blizinu površine što omogućuje ljudima njenu uporabu. Kora Zemlje je propusna za tekućine, površinska voda, u osnovi kišnica, prodire u dubinu i izmjenjuje toplinu sa stijenama. Dva glavna oblika izmjene topline odvijaju se unutar kore: kondukcija i konvekcija. Na mjestima gdje su stijene jako razbijene i cirkulirajućih voda ima u izobilju, rezultirajući konvekcijski prijenos topline je vrlo učinkovit i može se lako iskoristiti bušenjem bušotina i ispuštanjem vrućih fluida na površinu. U rijetkim slučajevima tekućina ima toliko visoku temperaturu da, ovisno o tlaku nastaje para. U područjima koja zadovoljavaju uvjete nastaju geotermalni sustavi.

Geotermalni sustavi mogu se nalaziti u regijama s prosječnim ili iznadprosječnim geotermalnim gradijentom, a osobito u regijama oko rubova litosfernih ploča gdje geotermalni gradijenti mogu biti znatno veći od prosječne vrijednosti. Takav sustav čine 3 glavna elementa: izvor topline, rezervoar i tekućina. Izvor topline može biti magmatska intruzija visoke temperature koja je dosegla plitke dubine (5-10 km) ili Zemljina normalna temperatura koja se povećava s dubinom. Rezervoar je nakupina vrućih propusnih stijena iz kojih cirkulirajuća tekućina (voda) izvlači toplinu. Jedini element geotermalnog sustava koji treba biti prirodan je izvor topline. Ako su uvjeti povoljni, druga dva elementa mogu biti umjetno konstruirana. Tekućina izvađena iz rezervoara za pogon turbina u geotermalnoj elektrani može se, nakon uporabe, ponovno vratiti ispod površine kroz posebne utisne bušotine. Utiskivanjem iskorištene tekućine natrag ispod površine uvelike se smanjuje utjecaj sustava na okoliš.



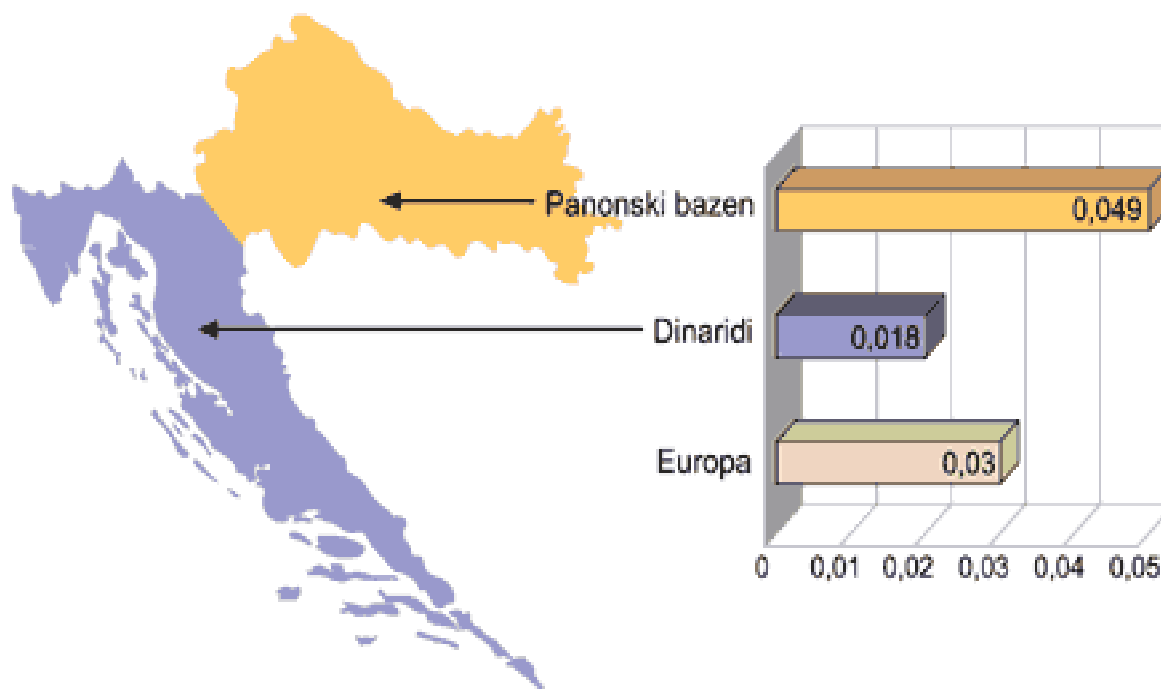
Slika 1.2 Pojednostavljeni prikaz geotermalnog sustava [6]

Direktnim korištenjem geotermalna energija koristi se samo kao toplina bez daljnjih pretvorbi u neke druge oblike energije. Na Svjetskom geotermalnom kongresu 2015. godine 83 zemlje sudionice izvijestile su da koriste geotermalnu energiju za izravnu uporabu. Direktna uporaba geotermalne topline koristi se još od antičkog vremena sve do danas. Rimska i kineska civilizacija te američki domorodci ostavili su jasne dokaze korištenja geotermalne vode u svakodnevnom životu te u terapijske svrhe. Danas se geotermalna voda koristi na mnogo različitih načina ovisno o temperaturi i protoku izvora. Najvažnija uporaba je proizvodnja električne energije kod izvora visoke temperature ( $>120\text{ }^{\circ}\text{C}$ ). Ostale poznate uporabe geotermalne energije također ovise o temperaturi izvora. Farme riba i grijanje tla koriste izvore niske temperature, grijanje, hlađenje ili sušenje prostora izvore srednjih temperatura dok industrijska uporaba iziskuje visoke temperature izvora.

U ovom radu fokusirat ćemo se na praktičnu primjeru geotermalnih izvora na našem području. Konkretno iskoristiti ćemo geotermalni izvor temperature  $125^{\circ}\text{C}$  i protoka  $250\text{m}^3/\text{h}$ . Ovakav izvor i takvom slični pronađeni su u Republici Hrvatskoj. Energiju iz izvora koristiti ćemo kombinirano; manjim dijelom za proizvodnju električne energije pomoću organskog Rankineovog ciklusa (ORC), a većim dijelom za grijanje odabranih agro objekata i proizvodnju povrća i voća te grijanje prostora bazena i turističke benefite. U sustav ćemo uključiti i dizalicu topline voda – voda koja će raditi pomoću električne energije proizvedene u ORC elektrani. Također usporediti ćemo ekonomičnost i emisiju  $\text{CO}_2$  u odnosu na korištenje prirodnog plina kao pogonskog goriva ovakvog sustava u razdoblju od 1 godine i 5 godina.

## 2. Geotermalna energija u Hrvatskoj

U Republici Hrvatskoj otkriveno je više od 25 prirodnih geotermalnih izvora. Većina njih koristi se u turističke, rekreacijske i medicinske svrhe. Cijelo područje naše države pokrivaju 2 bazena u kojima leže nalazišta geotermalnih izvora. To su Panonski bazen i Dinaridi. Najviše izvora pronađeno je u Panoniji kada se sredinom 20. stoljeća intenzivno tragalo za naftom i zemnim plinom diljem Panonske nizine. Geotermalni gradijent Panonskog bazena iznosi  $0.049^{\circ}\text{C}/\text{m}$ . Nekoliko izvora nalazi se i u Dinaridima no njihov geotermalni gradijent je znatno manji. On iznosi oko  $0.018^{\circ}\text{C}/\text{m}$  pa se iz tog razloga na tom području ne mogu očekivati otkrića geotermalnih izvora visoke temperature i visoke iskoristivosti. Do sada otkrivena ležišta nalaze se u Istarskim Toplicama, Splitu, Omišu, Sinju i Dubrovniku. Geotermalni gradijent na području Panonske nizine znatno je veći nego europski prosjek koji iznosi  $0.049^{\circ}\text{C}/\text{m}$ . Iz tog razloga na tom području može se očekivati otkriće novih geotermalnih izvora uz već postojeća ležišta.



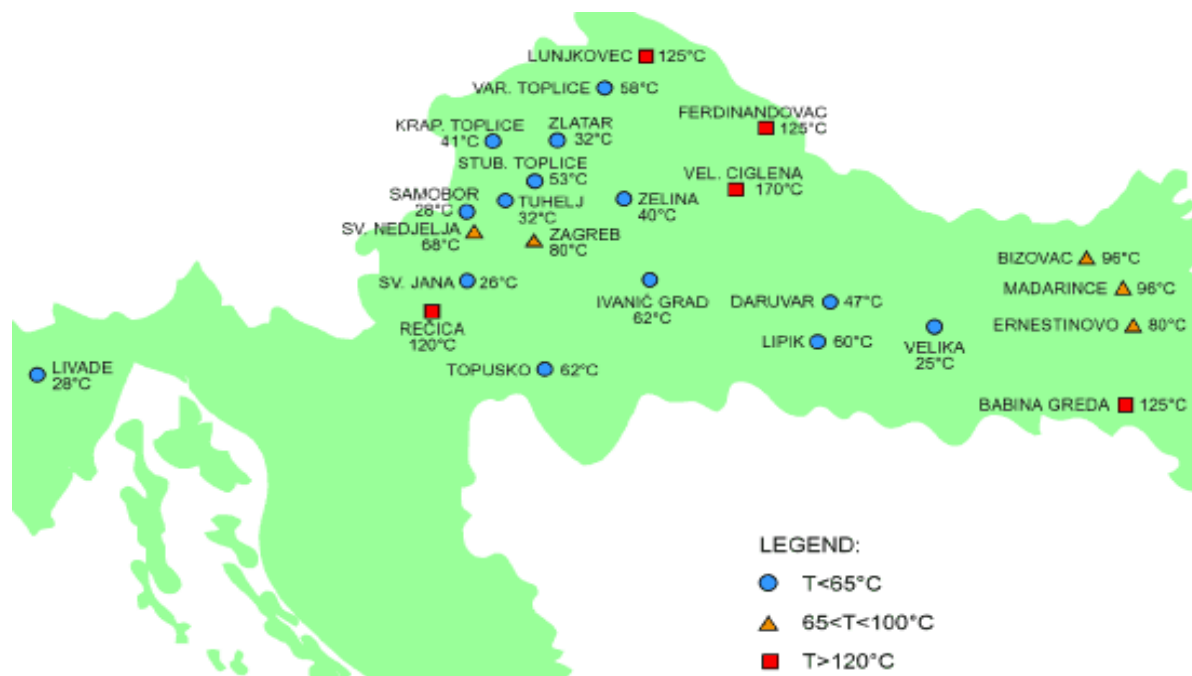
Slika 2.1 Geotermalna podjela Hrvatske [7]

Kao što je spomenuto u uvodu, zbog različitih temperatura i protoka vode kod geotermalnih izvora otkrivenih na području naše države oni se koriste u različite svrhe. Neke od najviših temperatura izvora otkrivene su na području Velike Ciglene kod Bjelovara gdje je temperatura vode oko  $170^{\circ}\text{C}$ . Ondje se nalazi jedna od najvećih geotermalnih elektrana u Europi. Većina izvora nema toliko visoke temperature pa se najviše koriste u turističke svrhe tj. kao toplice.



Geotermalni potencijali na našem području tako se mogu podijeliti u 3 skupine:

1. rezervoare srednje temperature (100-200°C)
2. rezervoare niske temperature (65-100°C)
3. geotermalne izvore temperature hladnije od 65°C



Slika 2.2 Geotermalni izvori Panonske Hrvatske [7]

Područje	Geotermalni izvor	Temperatura (°C)	Protok (L/s)
Bjelovar	Velika Ciglena	170	115
Ludbreg	Lunjkovec	125	156
Đurđevac	Ferdinandovac	125	100
Karlovac	Rečica	120	100
Županja	Babina Greda	125	200
Zagreb	Mladost	80	50
	Blato (Sveučilišna bolnica)	80	55
Valpovo	Bizovac – TG	96	3
	Bizovac – PP	90	46
	Madrinci	96	10
Osijek	Ernestinovo	80	46
Samobor	Sveta Nedjelja	68	90

Tablica 2.1 Geotermalni izvori topliji od 65°C

<b>Područje</b>	<b>Geotermalni izvor</b>	<b>Temperatura (°C)</b>	<b>Protok (L/s)</b>
Daruvar	Daruvarske toplice	47	21
Split	Splitske toplice	21	24
Krapina	Krapinske toplice	41	41
Lipik	Lipičke toplice	58	7
Livade	Istarske toplice	28	2
Samobor	Šmidhen SRC	26	20
Donja Stubica	Stubičke toplice	65	17
Sveta Jana	Sveta Jana RC	25	40
Topusko	toplice Topusko	65	100
Tuhelj	Tuheljske toplice	41	85
Varaždin	Varaždinske toplice	58	95
Zelina	Zelina RC	24	35
Zlatar	Sutinske toplice	38	10

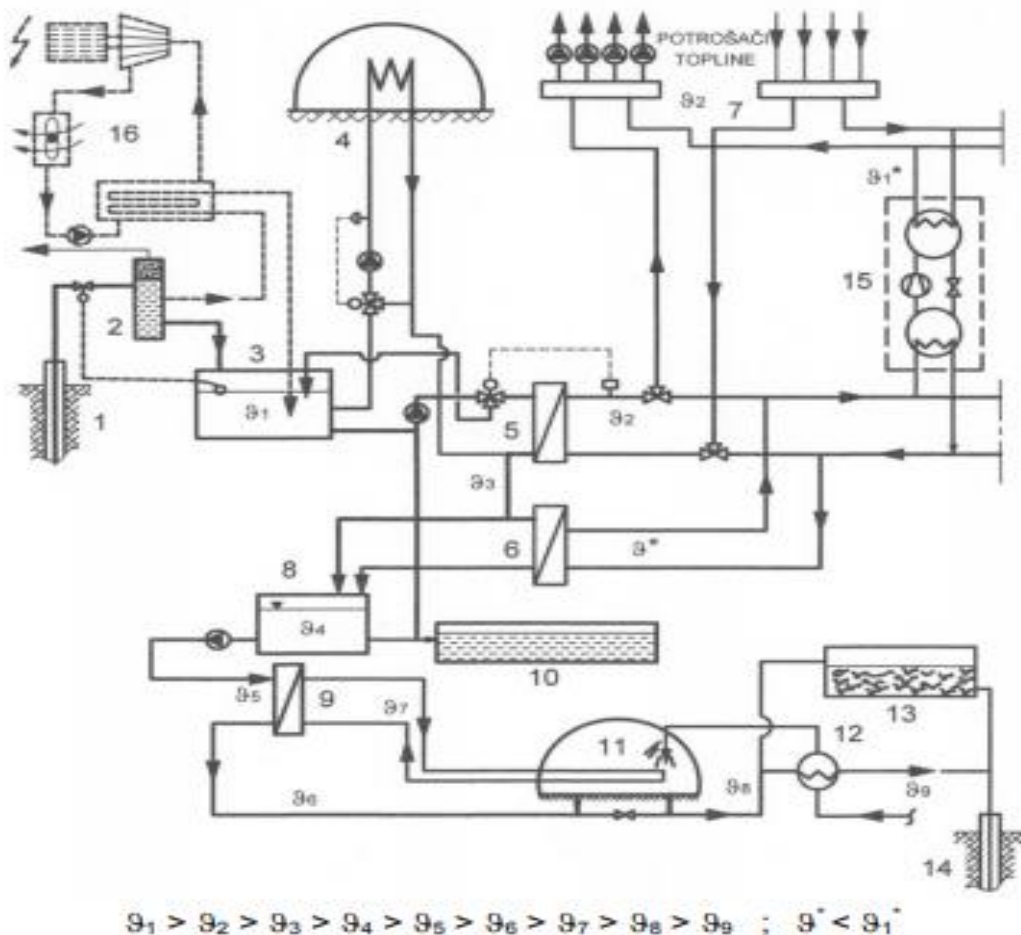
*Tablica 2.2 Geotermalni izvori hladniji od 65°C*

Interes za iskorištavanje potencijalnih geotermalnih resursa koje Hrvatska ima mnogo je manji od potencijala koji postoji. Značajnija uloga potencijala, iako je on dokazan i službeno potvrđen istraživanjima, nije prepoznata u većini geotermalnih polja poput Lunjkovca, Kotoribe, Legrada, Ferdinandovca i drugih. Otkrivena nalazišta potrebno je pravilno razvijati kako bi ostvarili pune benefite ovog načina dobivanja energije. Osim Velike Ciglene, napredna geotermalna elektrana razvija se i u Draškovcu. To je jedinstven projekt u kojem će biti hibridni sustav dizajniran za korištenje izravne topline geotermalne vode, ali isto tako i energije geotermalnih plinova kako bi proizvodili električnu energiju. Također, lokalne zajednice i investitori su pokazali interes za razvoj projekata grijanja pogonjenih geotermalnom energijom u gradovima Zagrebu, Karlovcu i Križevcima kao i u drugim industrijskim i poljoprivrednim područjima u sjevernom dijelu zemlje. Investitori i potrošači sve više počinju prepoznavati i koristiti potencijale koje im nudi geotermalna energija na našem području.



### 3. Praktični primjer mogućnosti korištenja geotermalne energije

Primjena geotermalne energije širokog je spektra. Osim očite primjene proizvodnje električne energije, ovisno o rasponu temperature i protoku geotermalnog izvora, geotermalna energija još se koristi za grijanje različitih vrsta objekata poput stambenih zgrada ili društvenih objekata, u prerađivačkoj industriji, turističkim objektima i atrakcijama te poljoprivredi. Najefikasnija upotreba izvora je kombiniranim korištenjem energije. Takav način korištenja energije omogućuje korištenje topline geotermalnog izvora (najčešće između 110°C i 125°C), u manjoj količini za proizvodnju električne energije pomoću elektrane koja koristi organski Rankineov ciklus, dok u većoj količini ona služi za grijanje određenog objekta i dodatan izvor prihoda.

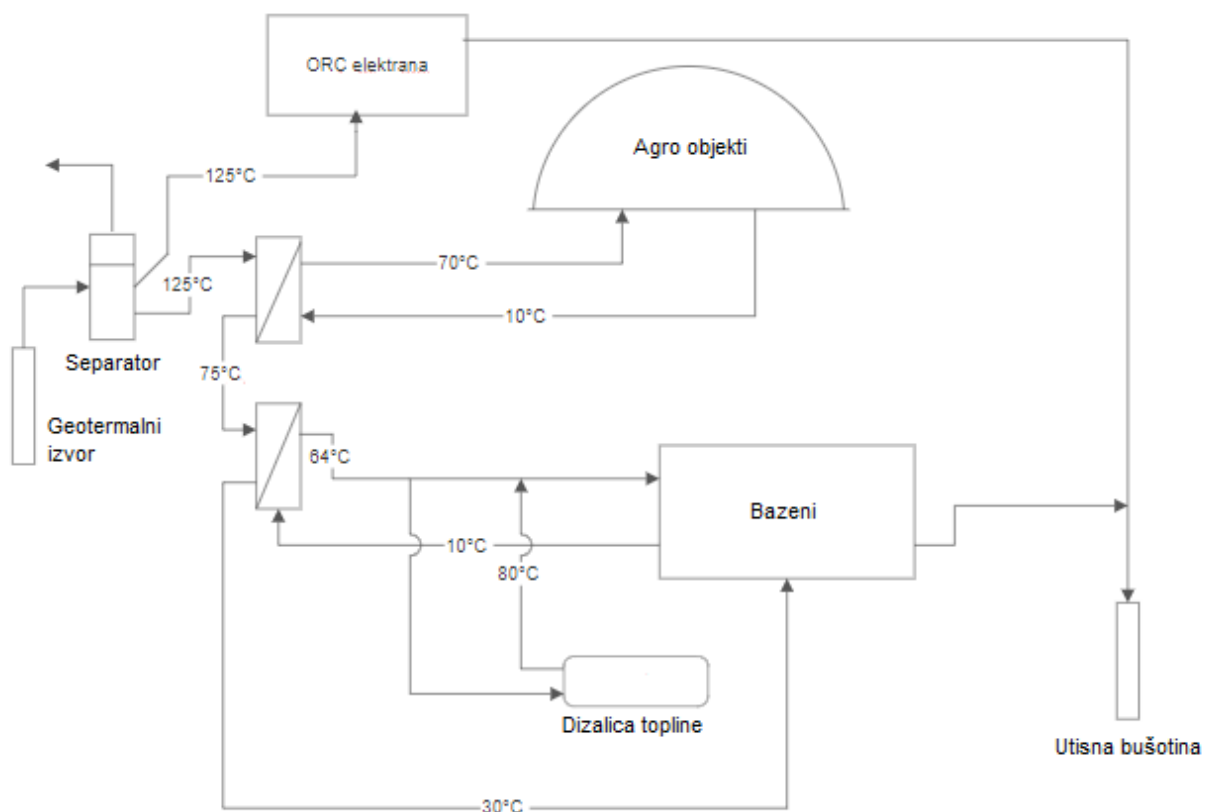


- |   |                                    |
|---|------------------------------------|
| 1. Geotermalni izvor, $\vartheta < 125^\circ\text{C}$ | 11. Plastenik – podno g.           |
| 2. Separator  | 12. Izmjenjivač - navodnjavanje    |
| 3., 8. Izolirani spremnik                             | 13. Uzgoj ribe, algi, gljive,...   |
| 4. Plastenik – zonsko grijanje                        | 14. Utisna bušotina                |
| 5., 6., 9. Izmjenjivač topline                        | 15. ORC – el. energija (mogućnost) |
| 7. Toplovodni potrošači topline                       | 16. Dizalica topline (mogućnost)   |
| 10. Bazeni, turizam, rekreacija                       |                                    |

Slika 3.1 Shema primjera stupnjevitog korištenja geotermalne energije,  $\vartheta < 125^\circ\text{C}$  [1]

Primjer jednog od načina stupnjevitog korištenja topline geotermalnog fluida hladnijeg od 125°C shematski je ilustrirano na slici 3.1. Ovisno o temperaturi izvora i protoku istog, dobiva se poprilično jeftina toplinska energija koja se zatim koristi za grijanje objekata, industrijsku upotrebu, uzgoj voća, povrća, cvijeća i ostalih kultura unutar agro objekata s kontroliranim uvjetima rasta biljaka, itd. Nakon korištenja geotermalni fluid se vraća u zemlju kroz utisnu bušotinu. Uz prijašnju analizu ekonomičnosti i procjenu mogućnosti, dogradnjom ORC elektrane i dizalice topline iskoristivost energetskog potencijala dodatno raste.

U ovom završnom radu zadatak je prikazati praktični primjer mogućnosti korištenja geotermalne energije izvora koji ima maksimalnu temperaturu 125°C i protok 250m<sup>3</sup>/h. Kombiniranim korištenjem, manjim dijelom za proizvodnju električne energije u ORC elektrani, a većim dijelom za stupnjevito korištenje toplinske energije za grijanje agro objekata i bazena, analizirati će se i usporediti ekonomičnost korištenja ovog obnovljivog izvora energije s prirodnim plinom u kratkoročnom i dugoročnom periodu. Sustav će također sadržavati i dizalicu topline voda – voda koja će nižu temperaturu vode u nekom od stupnjeva izmjene topline povećavati na višu temperaturu pomoću električne energije iz ORC elektrane.



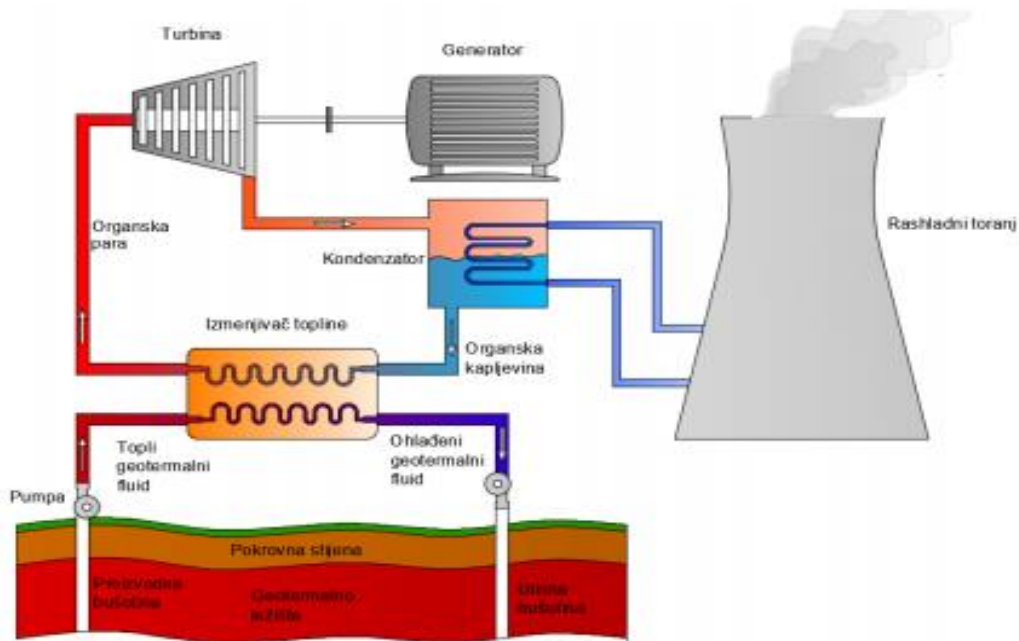
Slika 3.2 Shema osmišljenog sustava

### **3.1. ORC elektrana**

Prvi dio sustava do kojega dolazi geotermalni fluid temperature 125°C je ORC elektrana ili binarno postrojenje. To je sustav koji se zasniva na termodinamičkome ciklusu za proizvodnju električne energije iz toplinske energije. ORC sustavi mogu generirati električnu energiju iskorištavajući više vrsta izvora poput obnovljivih izvora energije (biomasa, geotermalna energija, solarna energija), tradicionalnih goriva i otpadne topline iz industrijskih procesa, spalionica otpada i sl. Razlika između organskog Rankineovog ciklusa i običnog Rankineovog ciklusa je u tome što Rankineov ciklus kao radni medij koristi vodu dok organski Rankineov ciklus kao radni medij koristi organski fluid. Niža temperatura isparavanja nekog od organskih fluida omogućuje korištenje više vrsta toplinskih izvora koji su nešto nižih temperatura. Takav tip postrojenja je najčešće korišten kod geotermalnih elektrana i čini oko trećinu svih aktivnih geotermalnih elektrana u svijetu.

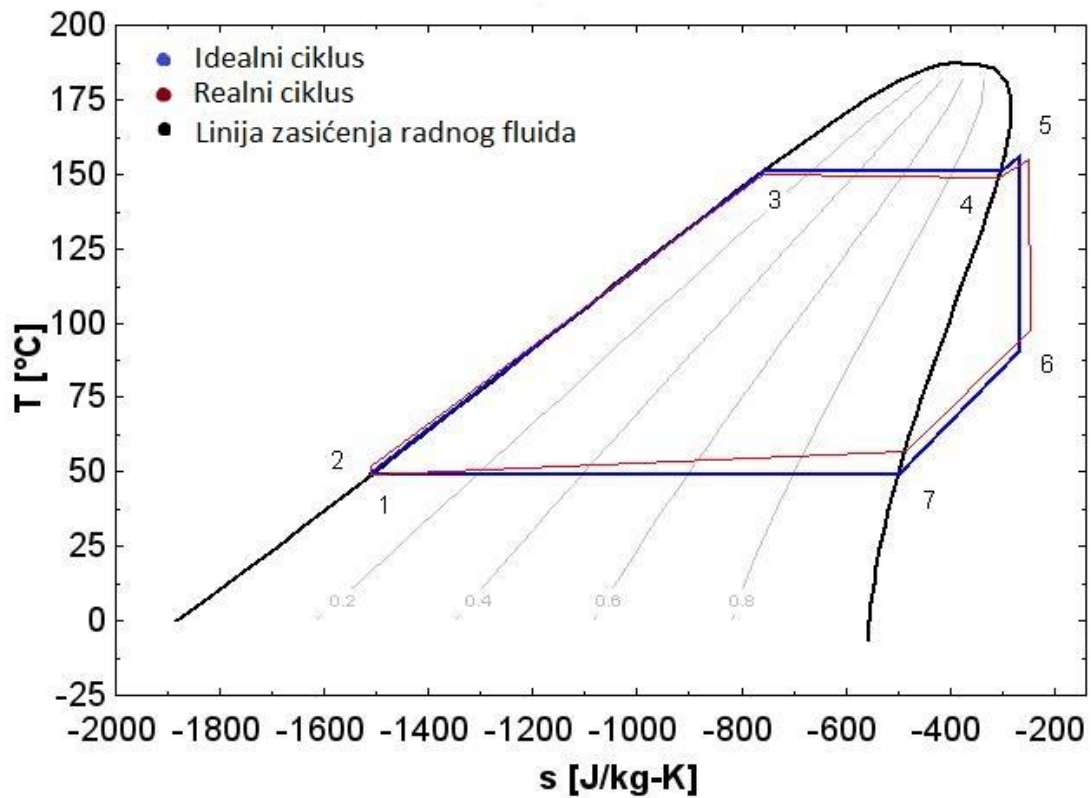
#### **3.1.1. Princip rada ORC elektrane**

ORC radi na istom principu kao i Rankineov ciklus: radni fluid se transportira do izmjenjivača topline gdje se zagrijava do temperature isparavanja. Zatim dolazi do uređaja za ekspanziju (najčešće turbine) koji pretvara energiju u mehanički rad. Radni fluid zatim dolazi do kondenzatora koji ga hladi i ponovno vraća u početno stanje.



*Slika 3.3 Princip rada ORC elektrane [15]*

U idealnom ciklusu ekspanzija je izentropna promjena dok su isparavanje i kondenzacija izobarni procesi. Izentropna promjena je idealiziran termodinamički proces koji je ujedno adijabatski i reverzibilan. U bilo kakvom realnom ciklusu ne postoje reverzibilne promjene pa se s time smanjuje i efikasnost istih. Nereverzibilne promjene se pojavljuju tijekom ekspanzije i u izmjeni topline. Prilikom ekspanzije samo dio energije se pretvara u mehanički rad dok se ostatak pretvara u toplinu i gubitak. Tijekom izmjene topline radni fluid izaziva pad tlaka koji smanjuje količinu snage koju dobijemo u ciklusu.



Slika 3.4 T-s dijagram idealnog/realnog ORC-a [6]

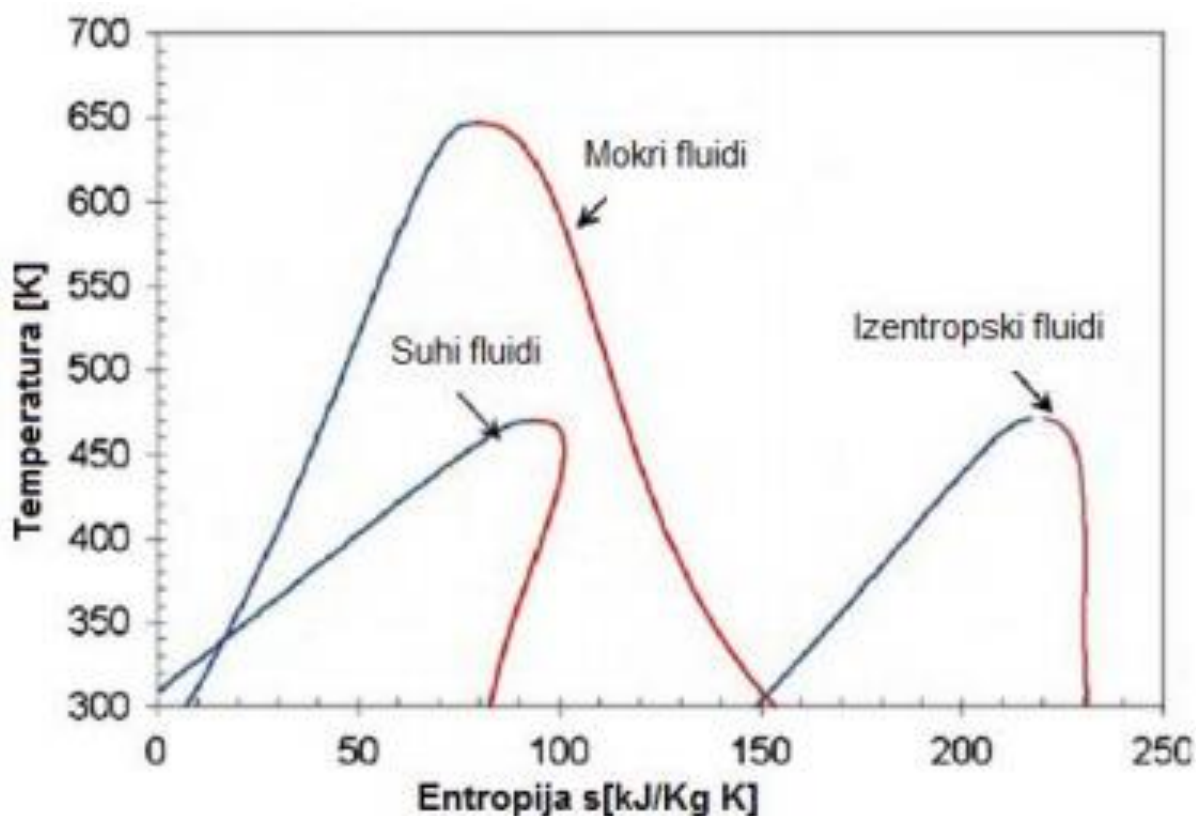
Korištenjem geotermalnog izvora kao izvora topline, njegova namjena je zagrijavanje radnog fluida u izmjenjivaču topline do njegove točke isparavanja pomoću temperature vruće vode koja se crpi iz ležišta. Veća temperatura izvora i veći protok pridonose većoj konačnoj toplinskoj energiji što povećava efikasnost elektrane.



### 3.1.2. Odabir radnog fluida

Odabir organskog radnog fluida koji se koristi za dobivanje električne energije ovisi o kriterijima kao što su vrste izvora topline, cijene opreme i svojstava fluida. Bitna svojstva su niska temperatura smrzavanja, visoka temperaturna stabilnost, visoka toplota isparavanja i gustoća, mali učinak na okoliš, sigurnost, dostupnost, niska cijena, itd. Organski fluidi imaju niže točke vrenja od vode pa se zato koriste u sustavima s nižom temperaturom izvora topline. Zbog organskih fluida koji se koriste se ovaj proces naziva organski Rankineov ciklus.

Radni fluidi se dijele u 3 kategorije: mokri (voda, propan, R22), suhi (izobutan, R123, R245ca, R245fa) i izentropski (R11, R142b). Razlikuju se prema krivulji zasićene pare koja je negativnog nagiba kod mokrih fluida, vertikalna kod izentropskih i pozitivnog nagiba kod suhih fluida. Suhi i izentropski fluidi pokazuju najbolje performanse u ORC-u iz razloga jer se ne kondenziraju nakon što fluid dođe do faze ekspanzije. Radni fluidi se također mogu podijeliti i po kemijskom sastavu. Glavne skupine su: ugljikovodici, eteri, alkoholi, siloksani, fluorovodici, klorofluorouglicji (CFC) i klorofluorouglicjikovodici (HCFC).



Slika 3.5 Prikaz krivulja mokrog, izentropskog i suhog radnog fluida [20]



Mnogi fluidi pogodni za korištenje u ORC sustavima mogu imati štetan utjecaj na okoliš ili zdravlje ljudi. Uzmemo li za primjer klorofluorouglikje, koji imaju vrlo dobra termodinamička svojstva, termalno su stabilni i neotrovni, prepreku im predstavljaju ioni klora koje se otpuštaju u gornji sloj atmosfere te tako uništavaju molekule ozonskog omotača. Iz tog razloga su radni fluidi čiji kemijski sastav sadrži ione klora zabranjeni odlukom u Montrealovom protokolu donesenom u rujnu 1987. Ugljikovodici poput pentana i toluena imaju također dobra termodinamička svojstva, ali su isto tako otrovni i iznimno zapaljivi. Usprkos tome uz pravilne predostrožnosti i kontrolu upotrebe alkani se uspješno koriste u ORC sustavima bez utjecaja na ljudsko zdravlje ili okoliš. Zbog prednosti koje ima u minimalnom utjecaju na okoliš i ljudsko zdravlja te uz sva dobra termodinamička svojstva u ovom zadatku završnog rada primijeniti će se radni fluid izopentan.

### 3.1.3. Efikasnost postrojenja

U primjeru geotermalnog izvora temperature 125°C i protoka 250m<sup>3</sup>/h manji dio toplinske energije koristit će se za proizvodnju električne energije u ORC elektrani. Tu energiju koristiti će se za pogon dizalice topline i ostalih pogonskih uređaja na sustavima toplifikacije.

Toplinska energija iskoristiva za proizvodnju električne energije može se izračunati pomoću sljedeće jednadžbe:

$$Q = V \cdot \rho_{sr} \cdot c_{p,sr} \cdot \Delta = 250 \cdot 962 \cdot 1,17 \cdot (125 - 69) \approx 15\,800 \text{ kW} \quad (1)$$

Gdje je:

Q – toplina (kW)

V - protok (m<sup>3</sup>/h)

$\rho_{sr}$  – srednja gustoća vode (kg/m<sup>3</sup>)

$c_{p,sr}$  – srednja specifična toplina vode (Wh/kgK)

$\Delta\vartheta$  - razlika temperature vode ORC-a (°C ili K)

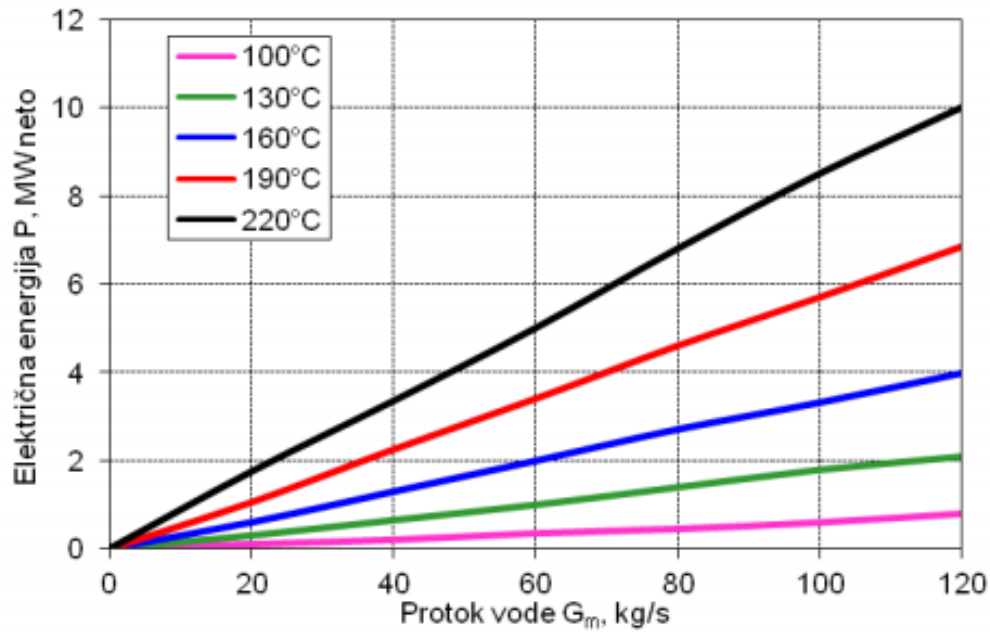
Kada bi efikasnost postrojenja ( $\eta_{ORC}$ ) iznosila približno 12% proizvedena električna energija iznosila bi:

$$P = Q \cdot \eta_{ORC} = 15800 \cdot 0.12 \approx 1900 \text{ kW} \quad (2)$$

Gdje je:

P – snaga (kW)

$\eta_{ORC}$  – efikasnost ORC elektrane



Slika 3.6 Proizvedena snaga ORC elektrane [1]

Kada se uspoređuje efikasnost ORC elektrane s efikasnošću Carnotovog procesa vidljivo je da su ta 2 procesa u ovom konkretnom primjeru približno slična u efikasnosti:

$$\eta_{Carnot} = \frac{T - T_0}{T} = \frac{398 - 342}{398} = 0.1407 \approx 14\% \quad (3)$$

Gdje je:

$\eta_{Carnot}$  – efikasnost Carnotovog procesa

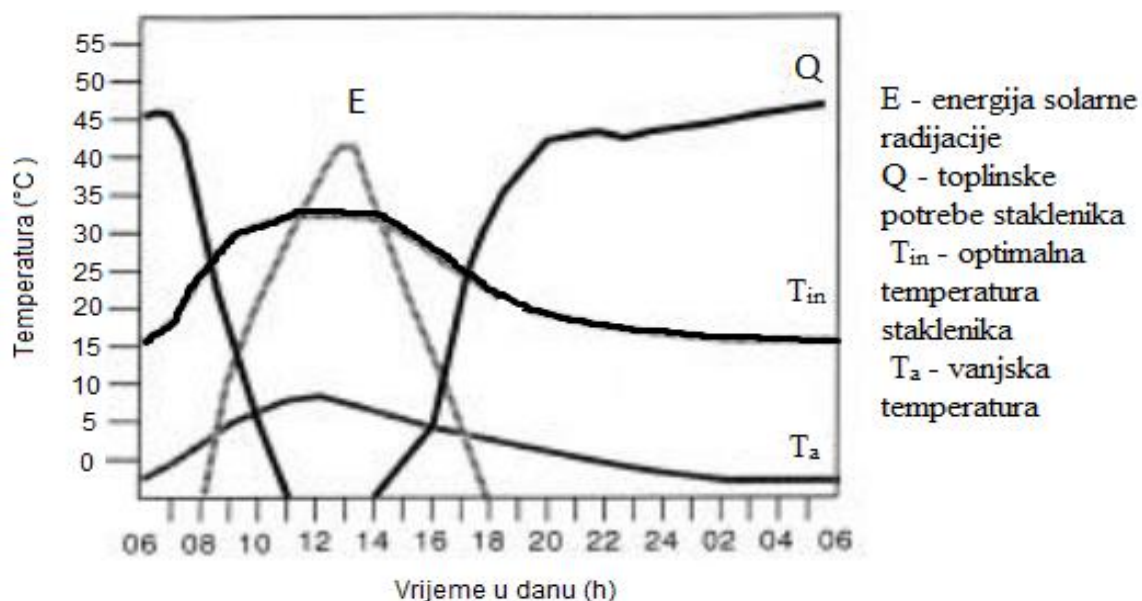
T – temperatura (K)

Približan broj zaposlenih u ORC elektrani je 10 zaposlenika, dok bi početna investicija u cijeli sustav iznosila otprilike 25 000 000,00 kuna. Godišnji rashodi za ovakav tip postrojenja iznosili bi oko 10 000 000,00 kuna.

## 3.2. Agro objekti

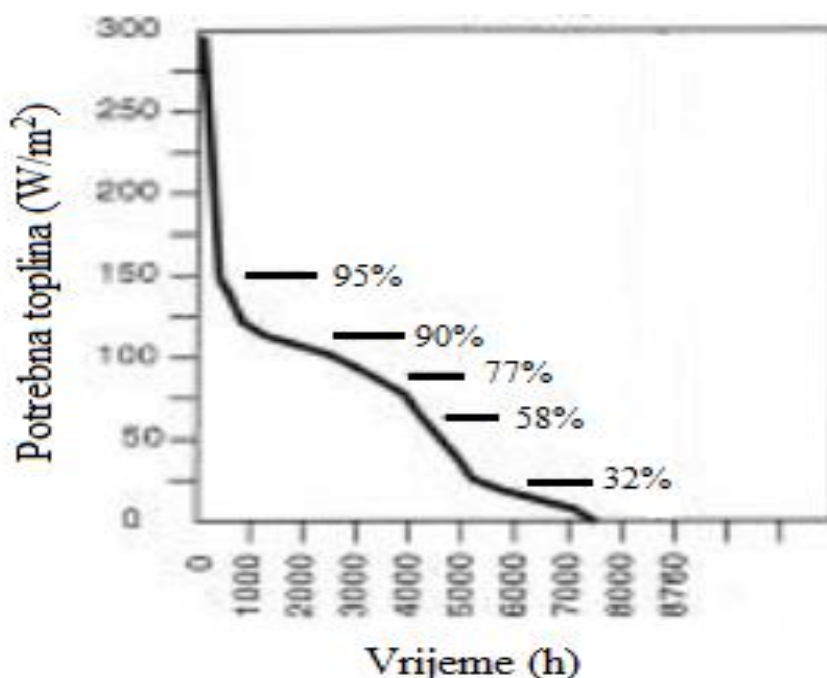
Kombinirani način korištenja geotermalne energije nije nova pojava. U Rusiji na poluotoku Kamčatki, koji je poznat po velikoj količini geotermalne energije i velikom broju vulkana, takav način primjene koristi se od kasnih 1960-ih godina. Proizvodnja energije iz srednje toplih geotermalnih izvora, koji su u temperaturnom rasponu 100-150°C, teško opravdava uložena sredstva ako se radi o sustavu korištenom isključivo za proizvodnju energije pomoću ORC elektrane. Iz tog razloga se u sustav dodaju ostali izvori prihoda kako bi se povrat uloženi sredstava ostvario u što kraćem roku. U predloženom primjeru predviđeni su agro objekti u kojima će se uzgajati kulture tijekom cijele godine na temperaturama pogodnim za rast odabranih biljaka. Agro objekti mogu biti staklenici i/ili plastenici. Uz agro objekte toplinska energija iz izvora zagrijavat će i prostor toplica.

Staklenik je prostor ograđen prozirnim staklenim pregradama koje služe kao zidovi. Unutar tog prostora održavaju se podesivi mikroklimatski uvjeti sukladno agro tehnološkim uvjetima. Pravilnim održavanjem optimalnih uvjeta za rast biljaka unutar staklenika mogu se proizvoditi velike količine visokokvalitetnog voća, povrća ili cvijeća. Glavni cilj staklenika je omogućiti povoljne uvjete za rast biljaka i tijekom perioda godine kada vanjski klimatski uvjeti nisu pogodni za to. Najvažniji uvjeti koje omogućuje staklenik su dovoljna količina svjetlosti koja ulazi kroz prozirni materijal od kojeg je izgrađen te održavanje povoljne i podešene temperature unutar objekta. Toplinske potrebe staklenika osigurava se geotermalnom energijom izmjenom topline pomoću prilagođenog toplifikacijskog sustava u različitim temperaturnim režimima rada.



Slika 3.7 Potreba za dodatnim izvorom topline u staklenicima tijekom hladnijih mjeseci [16]

Tijekom toplih mjeseci u godini staklenik ne treba dodatan izvor topline za vrijeme dana. U tom razdoblju solarna energija je dovoljna da održava optimalne uvjete unutar staklenika. Izraženija količina toplinske energije je potrebna noću i/ili za vrijeme hladnih mjeseci u godini. Kao što je vidljivo na slici 3.8. u tim razdobljima potreban je dodatan izvor topline kako bi se regulirala temperatura. Količina dodatne topline potrebne za održavanje optimalnih uvjeta ovisi o lokalnoj klimi, potrebama biljaka i tipu konstrukcije agro objekta. U razdoblju od godine dana najbitnije promjene koje utječu na temperaturu staklenika su promjene u vanjskoj temperaturi i insolaciji. Slika 3.8. prikazuje uvjete za vrijeme jednog od zimskih mjeseci. Povećanjem energije solarne radijacije smanjuje se toplinska potreba staklenika iz dodatnih toplinskih izvora.



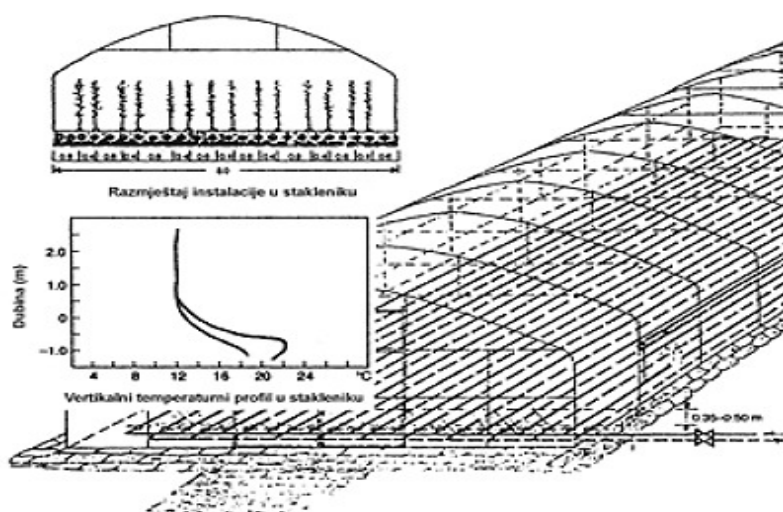
Slika 3.8 Godišnja potrebna toplina za zagrijavanje staklenika iz dodatnog izvora[16]

Slika 3.7. prikazuje toplinske potrebe staklenika tijekom godine. Vidljivo je da je maksimalna upotreba dodatnog izvora topline kratkog perioda. Potreba za uporabom dodatne topline varira iz dana u dan te iz godine u godinu s kratkim periodima maksimalne potrošnje. Iz tog razloga često se varijantno ocjenjuje i racionalizira investicija tijekom instalacije sustava koji će zadovoljavati toplinske potrebe staklenika.

### 3.2.1. Izbor povrća i načina grijanja

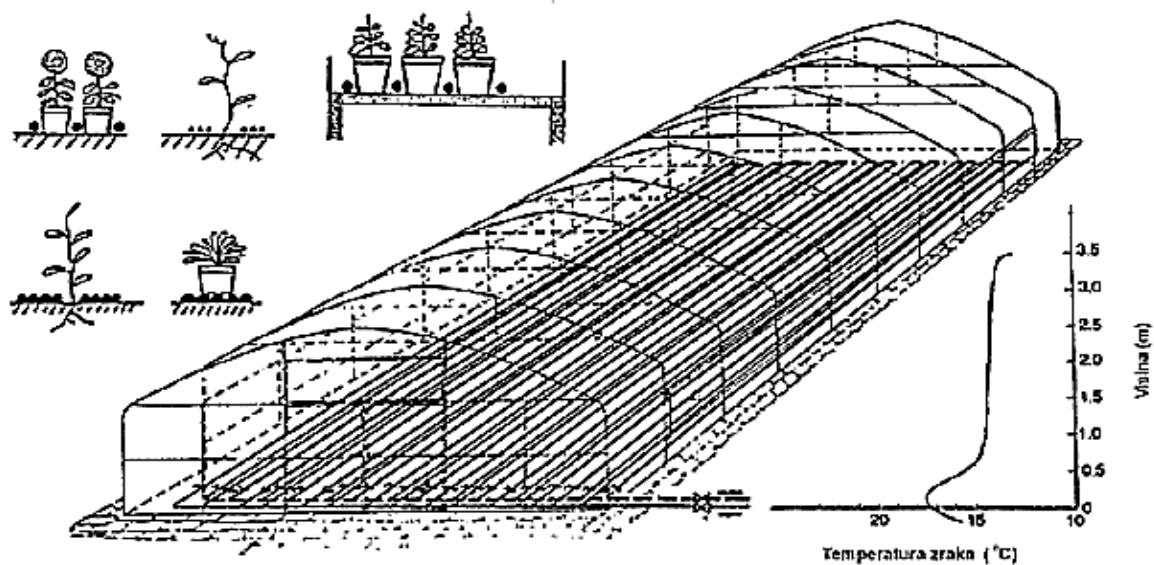
Uzgoj biljaka u plasteniku može se provoditi izravno na zemlji ili t.z.v. hidroponskim uzgojem prema različitim mikroklimatskim uvjetima tijekom cijele godine. Vrste biljaka se mogu podijeliti u 2 velike skupine s obzirom na temperaturne uvjete uzgoja i oscilacije temperatura u bio zoni tijekom uzgoja. To su biljke koje se uzgajaju pri nižim unutarnjim temperaturama poput zelene salate, brokule, graška i mrkve i biljke koje se uzgajaju pri višim unutarnjim temperaturama kao krastavci, rajčice, paprike ili tikvice. Za lakši uzgoj i kontrolu temperature najbolje bi bilo kada se unutar jednog staklenika ne bi miješala ova 2 tipa biljaka. Nema velikih prednosti ili nedostataka jedne skupine povrća u usporedbi s drugom. Također teško je predvidjeti cijene na tržištu u budućnosti pa iz tih razloga izbor povrća koje je moguće odabrati i uzgajati u staklenicima grijanim pomoću geotermalne energije može se svesti na preference vlasnika. U ovom primjeru unutar staklenika uzgajati će se različite vrste paprike, rajčice, krastavaca i salate.

Izbor načina grijanja, u odnosu na izbor povrća, nešto je složeniji proces. Detaljan opis svakog pojedinog načina grijanja i izbor najprikladnijeg za ovakvu situaciju na temelju prednosti i nedostataka zahtijevao bi zaseban završni rad. Iz tog razloga ukratko su opisane neke od mogućnosti i izabrati najprikladniju. Sustavi grijanja koji se često razmatraju za manje i srednje veličine staklenika su: sustav za grijanje tla, sustav za grijanje tla i zraka, sustav za grijanje zraka, sustav za grijanje ventilatorskim provođenjem topline i kombinirani sustavi. Glavni zadatak sustava za grijanje tla je zagrijavanje korijena biljaka. Ovaj sustav može zadovoljiti samo dio ukupne toplinske potrebe i može biti korišten bez drugih sustava grijanja samo u vrlo blagim klimatskim uvjetima.



Slika 3.9 Sustav za grijanje tla [8]

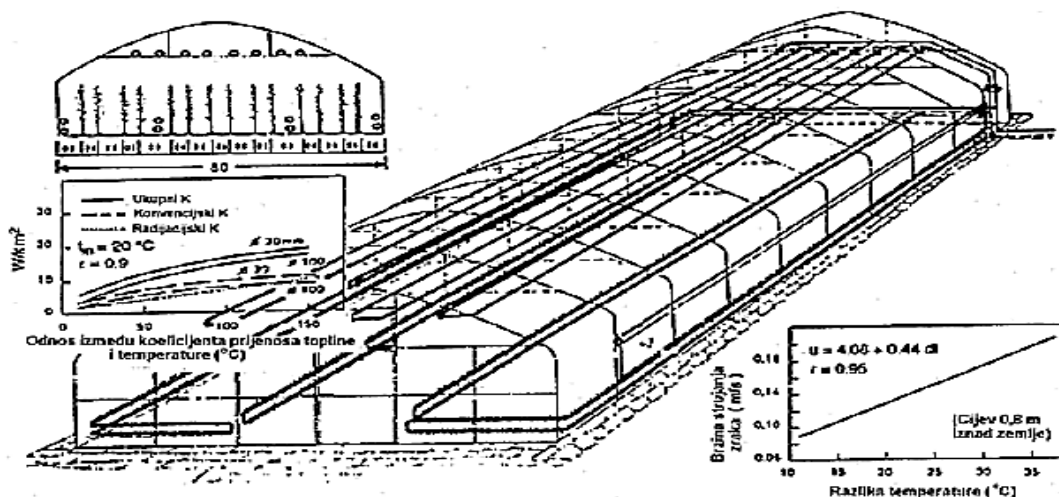
Sustav za grijanje tla i zraka sastoji se od grijača koji su pozicionirani na tlo. S takvim pozicioniranjem gornji sloj tla i zrak se zagrijevaju, što je vrlo pogodno za mnoge kulture. Pravilan raspored grijača dozvoljava optimalan prijenos topline na biljke i minimalne gubitke. Ovakav sustav prikladan je izbor u blažim klimatskim uvjetima ili u uvjetima kad treba zadovoljiti minimalne potrebe u umjerenim i oštrim klimatskim uvjetima.



Slika 3.10 Sustav za grijanje tla i zraka [8]

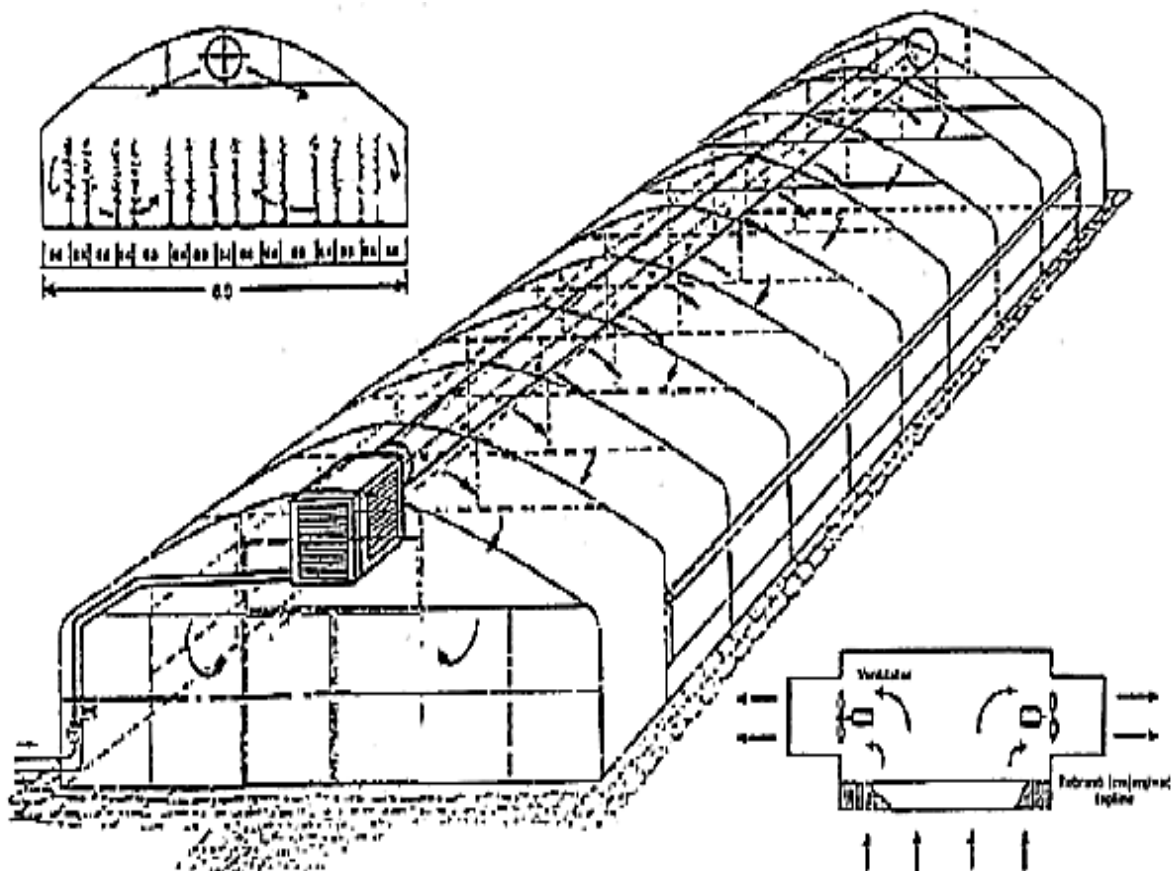
Sustav za grijanje zraka koristi metalne cijevi ili izmjenjivače topline koji su postavljeni iznad površine tla. Ovakav sustav omogućuje brzu i preciznu regulaciju temperature te se također može upotrebljavati i u oštrijim klimatskim uvjetima. Negativna strana ovog sustava je nizak koeficijent prelaska topline kod nisko temperaturnih fluida pa je potrebno koristiti grijače velikih površina što smanjuje rasprostranjenost svjetlosti u stakleniku.





Slika 3.11 Sustav za grijanje zraka [8]

Sustav za grijanje s ventilatorskim provođenjem topline koristi ventilatore koji distribuiraju zagrijani zrak u prostoru staklenika. Korištenje ventilatora znatno se povećava koeficijent prijelaza topline, čak i kada se koriste sustavi s nisko temperaturnim fluidima. Ovakav tip sustava popularan je na našim područjima i u SAD-u jer je jednostavan, jeftin, garantira brz odgovor na vanjske promjene temperature te se jednostavno automatizira.



Slika 3.12 Sustav za grijanje ventilatorskim provođenjem topline [8]

Kombinirani sustavi grijanja koriste više vrsta navedenih tipova grijanja u kombinaciji kako bi pokušali zadovoljiti specifične uvjete kod nekih staklenika ili kako bi ekonomičnost proizvodnje porasla.

U našem primjeru koristit ćemo sustav za grijanje s ventilatorskom distribucijom zagrijanog zraka u prostoru staklenika.

### 3.2.2. Proračun

Veći dio raspoložive toplinske energije geotermalnog izvora koristiti će se stupnjevito za grijanje agro objekata (staklenika) i bazena. Raspoloživa toplinska energija geotermalnog izvora pri ohlađivanju vode od 125°C do 25°C računa se pomoću iste formule kao i toplinska energija raspoloživa za upotrebu u ORC elektrani :

$$Q = V \cdot \rho_{sr} \cdot c_{p,sr} \cdot \Delta = 250 \cdot 975 \cdot 1,17 \cdot (125 - 25) \approx 28\,600 \text{ kW} \quad (4)$$

Dobivena toplinska energija dovoljna je za zagrijavanje površine staklenika između 10 i 12 hektara. Potrebna godišnja količina topline za zagrijavanje oko 10 ha staklenika za intenzivni uzgoj povrća, voća i/ili cvijeća s blažim mikroklimatskim uvjetima u zimskom razdoblju izračunava se pomoću površine staklenika i koeficijenta prosječne toplinske energije potrebne za zagrijavanje svakog pojedinog metra kvadratnog kroz cijelu godinu:

$$Q_{st.} \approx A \cdot q_{st} \approx 100\,000 \text{ m}^2 \cdot 600 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2}, \text{ godišnje} = 60\,000 \text{ MWh, godišnje} \quad (5)$$

Na 10 hektara površine unutar staklenika predviđa se uzgoj različitog povrća i to: paprika, rajčica, salata i krastavci. Paprike i rajčice zauzimat će po 3 hektara površine dok će salata i krastavci zauzimati po 2 hektara površine.

Povrće	Površina	Godišnji prinos	Otkupna cijena	Zarada
Paprika	2 ha	15 kg/m <sup>2</sup>	15 kn/kg	4 500 000 kn
Rajčica	3 ha	50 kg/m <sup>2</sup>	8 kn/kg	12 000 000 kn
Krastavci	2 ha	55 kg/m <sup>2</sup>	6 kn/kg	6 600 000 kn
Salata	3 ha	170 kg/m <sup>2</sup>	3.5 kn/kg	17 850 000 kn
			Ukupno:	40 950 000 kn

Tablica 3.1 Godišnji prihodi od prinosa i prodaje povrća iz staklenika

Prvobitna investicija staklenika za 10 hektara površine iznosila bi približno 55 000 000,00 kuna. Godišnji rashodi za pogon, zaposlenike, održavanje, ambalažu, kredite i ostalo iznosili bi približno 15 000 000,00 kuna godišnje. Ovakav kompleks staklenika zapošljavao bi oko 55 stalnih i oko 45 sezonski djelatnika.

### 3.3. Bazeni

Geotermalni izvori korišteni su za kupanje od antičkih razdoblja u mnogim dijelovima svijeta. U Europi tradiciju kupanja u termalnim vodama razvili su Etrušćani. Tu tradiciju kasnije su preuzeli Rimljani i koristili je za rekreaciju, opuštanje, druženje i terapiju. Primjere sličnih tradicija može se pronaći u Kini, Japanu i Južnoj Americi. Svi izvori navode kako su geotermalni izvori niske temperature medija korišteni u rekreacijske i terapijske svrhe. Iz razdoblja Rimskog Carstva na području Hrvatske pronađeni su ostaci naselja Aquae Iasae na području današnjih Varaždinskih Toplica gdje su se nalazile rimske terme. Geotermalni izvor u Varaždinskim Toplicama i danas je u upotrebi te se tamo nalazi jedno od najpoznatijih rehabilitacijskih odredišta u Hrvatskoj.



*Slika 3.13 Ostaci rimskih termi u Varaždinskim Toplicama [31]*

Postoji nekoliko načina zagrijavanja bazena poput fosilnih goriva, električne energije, solarne energije te geotermalne energije. Solarna energija se najčešće smatra najefikasnijom, no ona je ovisna o vremenskim uvjetima i geografsko klimatskom području. Oblačni i hladni dani automatski znače potrebu za pomoćnim izvorom toplinske energije ako je potrebno grijati vodu u bazenu što donosi dodatne troškove. Fosilna goriva imaju prednost jeftine instalacije sustava, no održavanje i cijene sustava prilikom rada su vrlo visoke pa se takvi sustavi često ne isplate. Električna energija omogućuje čisto i sigurno zagrijavanje vode, ali je značajna potrošnja s većim troškovima. Geotermalna energija je jedini izvor energije koji može biti efikasan cijele godine s

relativno niskim cijenama održavanja posebno ako se koristi u kombinaciji s još nekim izvorima prihoda.

U predloženom primjeru iskoristiti će se preostala toplinska energija termalnog fluida nakon zagrijavanja staklenika kako bi zagrijavali vodu bazena. Temperatura potrebna za grijanje vode bazena teško će biti ostvarena isključivo pomoću topline fluida pa ćemo iskoristiti toplinsku dizalicu voda – voda koja će podići temperaturu na željenu razinu koristeći struju iz ORC elektrane. Nakon izmjene topline termalni fluid ćemo obraditi da zadovoljava sve uvjete koji su potrebni kako bi služio kao voda za kupanje u bazenima. Prema potrebi, voda za punjenje bazena s vrućom vodom, će se dogrijavati toplinom iz sustava centralnog grijanja. Stalnom cirkulacijom bazeni će se puniti toplom vodom kroz otvore na dnu dok će hladnija voda prelijevanjem izlaziti iz bazena pa cijevima do utisne bušotine gdje će biti vraćena u zemlju.

### 3.3.1. Proračun

Grijanje prostora bazena provoditi će se pomoću sustava centralnog grijanja. Predviđeno je toplovodno grijanje što znači da će sustavom cirkulirati topla voda koja se zagrijava u spremniku topline i zatim odgovarajućim pogonskim uređajima i cjevovodima odvođi do radijatora kojima se grije prostor. Kod klasičnog centralnog grijanja potrebna temperatura vode iznosi oko 80°C. Za toplu vodu temperature 80°C radijatori u prosjeku emitiraju 100 kWh/m<sup>2</sup> topline godišnje kako bi prostor bio zagrijan na ugodnih 20°C. Korištenjem jednadžbe:

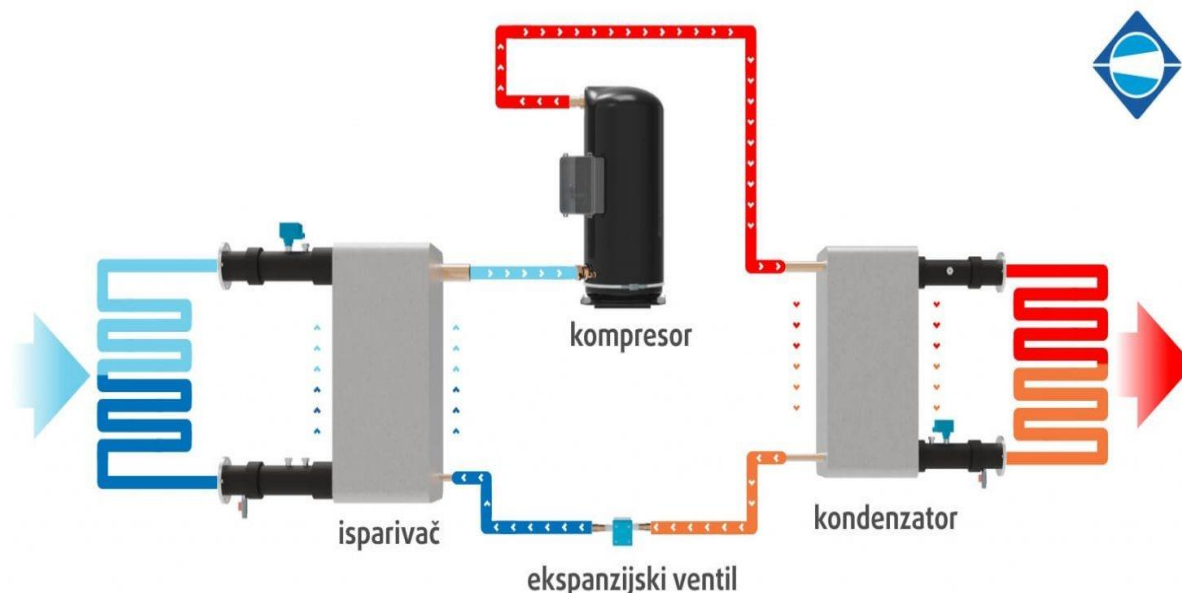
$$Q_{baz.} \approx A \cdot q_{baz} \approx 20\,000\,m^2 \cdot 100 \frac{kWh}{m^2}, godišnje \approx 2000\,MWh, godišnje \quad (6)$$

Investicijska vrijednost bazena površine 2 hektara iznosila bi približno 20 000 000,00 kuna. Godišnji rashodi za zaposlenike, energiju, kredite i ostalo iznosili bi približno 5 500 000,00 kuna godišnje. Ovakve toplice zapošljavale bi oko 15 stalnih zaposlenika. Prihodi bazena ostvarivali bi se najvećim dijelom od naplate pruženih usluga. Ako bi cijena ulaznica iznosila 35,00 kuna po osobi tada bi dnevno bazene trebalo posjetiti približno 430 osoba da bi ostvareni prihodi bili veći nego godišnji rashodi. Očekivani godišnji prihodi bazena iznosili bi oko 6 000 000,00 kuna.

### 3.4. Dizalica topline

Dizalica topline je uređaj koji omogućuje prelazak s nižih temperatura sustava na više temperature sustava pomoću uložene dodatne energije. Često se koristi kao samostalna jedinica za zagrijavanje stambenih objekata ili opskrbu potrošnom toplom vodom. Radi na principu prikupljanja energije iz nekog izvora (zraka, vode ili tla) te pretvorbe prikupljene energije u korisnu koja najčešće služi za zagrijavanje i/ili hlađenje prostora. Toplina izvora dovodi se do sustava cijevi (indirektni izmjenjivač topline) gdje tu toplinu predaje radnom mediju. Radni medij isparava i komprimira se u kompresoru te se pri tome zagrijava. Kada temperatura radnog medija dosegne željenu razinu distribuira se do unutarnjih jedinica za zagrijavanje prostora. Radni medij nakon predaje toplinske energije dolazi do ekspanzijskog ventila koji smanjuje njegov tlak i zatim se u ohlađenom stanju (kondenzirani medij) vraća do sustava cijevi gdje ponovo preuzima toplinu iz vanjskog izvora.

Dizalica topline voda – voda kao toplinski izvor energije koristi vodu. Izvor vode mogu biti i rijeke, potoci ili jezera, ali najčešće su to dijelom ohlađena voda u sustavima toplifikacije i podzemne vode odnosno geotermalni izvori. Podizanjem temperature sustava dizalice topline povećavaju njegovu efikasnost i otvaraju više mogućnosti i bolju fleksibilnost kod planiranja sustava te maksimalnog iskorištavanja mogućnosti geotermalnog izvora.



Slika 3.14 Princip rada dizalice topline [30]

### 3.5. Dimenzioniranje opreme

Geotermalni sustav se, osim ORC elektrane, agro objekata i bazena, sastoji i od cjevovoda koji prenosi geotermalni fluid i radne fluide do određenih lokacija u sustavu, pumpi koje omogućavaju pravilnu distribuciju fluida te izmjenjivača topline pomoću kojih termalni fluid predaje svoju toplinu radnom fluidu. Bez cjevovoda, pumpi i izmjenjivača topline geotermalni sustavi ne bi bili funkcionalni. Sastavni dijelovi cjelovitog energetskog sustava su crpilište na geotermalnom izvoru te utisna bušotina kojom se iskorišteni geotermalni fluid utiskuje ispod zemljine površine.

Izmjenjivači topline su naprave koje služe za prijenos topline s jednog medija na drugi. U ovom slučaju toplina se prenosi s geotermalnog fluida na vodu kao ogrjevni medij koja se koristiti za zagrijavanje prostora staklenika i bazena. Mogu se podijeliti na 3 tipa: izmjenjivači s paralelnim tokom fluida, izmjenjivači s protustrujnim tokom fluida i križni izmjenjivači fluida. Najčešće se primjenjuje i najučinkovitiji za prijenos topline su izmjenjivači s protustrujnim tokom fluida. Za proračun promjene temperature ogrjevnih medija u izmjenjivaču topline koriste se jednačbe (7) i (8):

$$\frac{C_H}{C_T} = \frac{T_{T1} - T_{T2}}{T_{H2} - T_{H1}} \quad (7)$$

Gdje je:

C – vodena vrijednost ili kapacitivna brzina fluida (W/K)

T – temperatura (K)

Indeksi T i H označavaju topli i hladni fluid

Brojke 1 i 2 u indeksima označavaju ulazno i izlazno stanje fluida

$$C = V \cdot \rho \cdot c_p \quad (8)$$

Uz pretpostavku da nema toplinskih gubitaka fluid s manjom kapacitivnom brzinom ima veću promjenu temperature u izmjenjivaču. Ako u jednačbe (7) i (8) uvrstimo vrijednosti za geotermalni fluid i ogrjevnu vodu promjena temperature geotermalnog fluida na izmjenjivaču topline 1 bit će sa 125°C na 75°C uz protok od 250 m<sup>3</sup>/h dok će promjena temperature ogrjevne vode biti s 10°C na 70°C uz protok od 200 m<sup>3</sup>/h. Promjena temperature geotermalnog fluida na izmjenjivaču topline 2 bit će sa 75°C na 30°C uz protok od 250 m<sup>3</sup>/h dok će promjena temperature vode biti s 10°C na 64°C uz protok od 200 m<sup>3</sup>/h. Izmjenjivač topline 1 koristiti će se za grijanje prostora staklenika dok će se izmjenjivač topline 2 koristiti za zagrijavanje prostora bazena te, prema potrebi, dogrijavanje vode u bazenima uz pomoć dizalice topline kojom će se povećati temperaturu radnog fluida s 64°C na potrebnih 80°C za potrebe grijanja prostorom sustavom centralnog grijanja.

Dimenzioniranje cijevi cjevovoda provodi se pomoću jednadžbe kontinuiteta, odnosno pomoću jednadžbe za određivanje promjera cijevi (9) uz pretpostavku da je brzina vode u cijevima 1,5 m/s.

$$V = w \cdot A$$

$$V = w \cdot \frac{d^2 \cdot \pi}{4}$$

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot V}{\pi \cdot w}} \quad (9)$$

Gdje je:

V – protok (m<sup>3</sup>/s)

w – brzina (m/s)

A – površina (m<sup>2</sup>)

d – promjer cijevi (m)

Koristeći jednadžbu (9) izračunati promjer cijevi potreban da se zadovolji protok geotermalnog fluida od 250 m<sup>3</sup>/h iznosi 0.243 metara odnosno približno 250 mm. Izračunati promjer cijevi potreban da se zadovolji protok vodovodne vode, radnog fluida u izmjenjivačima topline, je 0.217 metara odnosno približno 22 mm. Nakon proračuna odlučili smo se koristiti cijevi unutarnjeg promjera NO 250.



### 3.6. Ekonomičnost i emisija CO<sub>2</sub> u odnosu na plin

Ekonomske vrijednosti obnovljivih izvora energije doprinose većoj učinkovitosti, boljem iskorištenju resursa te zaštiti okoliša. Samim imenom „obnovljivi“ ukazuju na to da su neiscrpn i što upućuje da će u razmatranom razdoblju prihodi biti veći od rashoda i početne investicije.

Ekonomičnost korištenja geotermalne energije uspoređena je s mogućim korištenjem prirodnog plina donje ogrjevne vrijednosti  $H_d = 9.26 \text{ kWh/m}^3$ . Kada bi se proizvela jednaka godišnja količinu toplinske energije koja se potroši za ogrijavanje agro objekata i bazena (62 000 MWh) pomoću rada toplovodnog postrojenja s pogonom na prirodni plin potrošnja, količina potrošenog prirodnog plina bi iznosila:

$$B = \frac{Q}{H_d \cdot \eta} = \frac{62\,000\,000}{9.26 \cdot 0.95} = 7\,047\,857 \text{ m}^3 \quad (10)$$

Gdje je:

B – potrošnja plina (m<sup>3</sup>)

Q – toplina (kWh)

H<sub>d</sub> – donja ogrjevna moć plina (kWh/m<sup>3</sup>)

η – efikasnost

Za proizvodnju iste količine topline geotermalnom energijom utrošilo bi se:

$$V = \frac{Q}{\rho_{sr} \cdot c_{p, sr} \cdot \Delta\vartheta} = \frac{62\,000\,000\,000}{975 \cdot 1.17 \cdot 100} = 543\,502 \text{ m}^3 \quad (11)$$

Otkupna cijena plina iznosi 2,93 kune (bez PDV-a), a otkupna cijena geotermalne vode je 4 kune/m<sup>3</sup>.

Množenjem ovih vrijednosti s količinom utrošenog prirodnog plina i geotermalne energije ukupna cijena prirodnog plina u jednoj godini iznosi 20 650 221 kuna i 2 119 660 kuna za geotermalnu energiju u jednoj godini. Razlika u cijeni tijekom jedne godine pri proizvodnji i korištenju toplinske energije pomoću geotermalne energije u odnosu na korištenje prirodnog plina kao pogonskog goriva za istu količinu proizvedene toplinske energije iznosi 18 530 561 kuna, a za razdoblje od 5 godina pri istim uvjetima iznosi 92 652 805 kuna.

Emisija CO<sub>2</sub> utvrđuje se proračunati koristeći faktor emisije CO<sub>2</sub> koji iznosi 0.22 kgCO<sub>2</sub>/kWh za prirodni plin i 0.023 kgCO<sub>2</sub>/kWh za geotermalnu energiju. Ukupna emisija CO<sub>2</sub> u slučaju korištenja prirodnog plina kao pogonskog goriva toplovodnog termoenergetskog postrojenja iznosi 13 640 000 kg CO<sub>2</sub>, a u slučaju korištenja geotermalne energije za proizvodnju iste količine

toplinske energije emisija CO<sub>2</sub> je znatno manja i iznosi 1 426 000 kg CO<sub>2</sub>. Razlika u emisiji CO<sub>2</sub> iznosi 12 214 000 kg CO<sub>2</sub>.

Procijenjena investicijska ulaganja za ORC elektranu, agro objekte, bazene i opremu jednaka je zbroju investicija za svaki od navedenih objekata, jer u prikazanom primjeru čine energetska, proizvodna i funkcionalna cjelina:

$$\text{ORC elektrana} + \text{agro objekti} + \text{bazeni} + \text{oprema} = 25\,000\,000 + 55\,000\,000 + 20\,000\,000 + 5\,000\,000 = 105\,000\,000 \text{ kuna} \quad (12)$$

Godišnji rashodi svih dijelova sustava iznose:

$$\text{ORC elektrana} + \text{agro objekti} + \text{bazeni} + \text{oprema} = 10\,000\,000 + 15\,000\,000 + 5\,500\,000 + 100\,000 = 30\,600\,000 \text{ kuna} \quad (13)$$

Godišnji prihodi svih dijelova sustava iznose:

$$\text{Agro objekti} + \text{bazeni} = 40\,950\,000 + 6\,000\,000 = 46\,950\,000 \text{ kuna} \quad (14)$$

Godišnja dobit sustava iznosi:

$$\text{Prihodi} - \text{rashodi} = 46\,950\,000 - 30\,600\,000 = 16\,350\,000 \text{ kuna} \quad (15)$$

Za isplativost ukupne investicije postrojenja i sustava iskorištavanja geotermalne energije sa agro objektima i bazenima tijekom korištenja i eksploatacije trebaju se ostvarivati veći prihodi, ekonomičnost i tržišna održivost kako bi se mogli pravovremeno servisirati svi rashodi te ostvarivati odgovarajuća dobit i uspješno poslovanje u duljem vremenskom periodu. Prema prikazanim proračunskim vrijednostima stupnjevitog iskorištavanja geotermalne energije sa agro objektima i bazenima moguće je realizirati optimalne uvjete tehničke učinkovitosti, ekološke održivosti i ekonomičnosti u tržišnim uvjetima poslovanja u duljem periodu. Godišnji profit sustava iznosi 16 350 000 kuna. Prema prikazanim parametrima i investicijskim vrijednostima očekivani povrat ulaganja u investiciju ostvariti će se nakon 6.42 godina odnosno oko 7 godina. Korištenjem poticajnih i nepovratnih sredstva fondova Europske unije (npr. 50 %), tada bi otplativost investicijskih ulaganja mogla biti značajno kraća, oko 3.2 godine odnosno maksimalno oko 4 godine.

## 4. Analiza rezultata

Rezultati odabranog primjera geotermalnog izvora ohrabrujući su za sve koji planiraju iskoristiti potencijal ovog obnovljivog izvora energije. Geotermalni izvor srednje temperature i protoka u ovakvom sustavu iskorišten je u 3 različita dijela: ORC elektrani, uzgoju povrća unutar agro objekata i za potrebe toplica, prije utiskivanja u unutrašnjost Zemlje.

ORC elektrana proizvodi električnu energiju koja je potrebna za sve dijelove sustava. Najveći dio proizvedene električne energije troši se na dizalicu topline kako bi se zagrijavao prostor bazena, dok se manji dio proizvedene električne energije troši pogonske uređaje, automatizaciju i upravljanje, rasvjetu i električne potrebe ostalih objekata. Investicija i održavanja ORC postrojenja imaju visoki udjel u ukupnoj investiciji te izravno ne stvara prihode na prvi pogled se čini nepotrebnim, no ukupni troškovi koji su smanjeni zbog korištenja postrojenja nakon dužeg vremena opravdavaju uključenje ORC elektrane u sustav.

Agro objekti, tj. staklenici glavni su izvor prihoda u ovom sustavu. Prostiru se na velikoj površini te zahtijevaju veći broj stalno zaposlenih i sezonskih radnika. Kontinuiranim uzgojem povrća tijekom cijele godine ostvaruju se visoki prihodi te tako doprinose ekonomičnosti i učinkovitosti ovakvog postrojenja.

Bazeni su još jedan dodatan izvor prihoda korištenjem niže temperature ogrjevnog medija.. Prodajom ulaznica i ekonomičnim poslovanjem moguće je ostvariti profit i ovog dijela sustava, no taj profit ne bi mogao opravdati investiciju u njihovu izgradnju. Korištenje bazena moglo bi se bolje iskoristiti za privlačenje sponzora i za dobre marketinške strategije kako bi mogli povećati ukupne prihode u svim dijelovima sustava te bi na taj način on postao još efikasniji. Uz veće prihode povećale bi se i mogućnosti novih ulaganja u agro objekte te u prostor bazena u obliku teretane, golf terena, vodenog parka i sl.

	<b>Investicija</b>	<b>Godišnji prihodi</b>	<b>Godišnji rashodi</b>	<b>Zaposlenih</b>
<b>ORC elektrana</b>	25 000 000 kuna	/	10 000 000 kuna	10
<b>Agro objekti</b>	55 000 000 kuna	40 950 000 kuna	15 000 000 kuna	55+45
<b>Bazeni</b>	20 000 000 kuna	6 000 000 kuna	5 500 000 kuna	15
<b>Oprema</b>	5 000 000 kuna	/	100 000 kuna	/
<b>Ukupno</b>	105 000 000 kuna	46 950 000 kuna	30 600 000 kuna	80+45
<b>Vrijeme povrata investicije: 6.42 godine</b>				
<b>Vrijeme povrata investicije uz sufinanciranje: 3.2 godine</b>				

Tablica 4.1 Ekonomičnost geotermalnog sustava

	<b>Geotermalna energija</b>	<b>Prirodni plin</b>
<b>Potrebna količina energije</b>	62 000 MWh	62 000 MWh
<b>Potrošnja</b>	529 915 m <sup>3</sup>	7 047 857 m <sup>3</sup>
<b>Otkupna cijena</b>	4.00 kn	2.93 kn
<b>Ukupna cijena otkupa</b>	2 119 660 kn	20 650 221 kn
<b>Razlika nakon godine dana</b>	+18 530 561 kn	-18 530 561 kn
<b>Razlika nakon 5 godina</b>	+92 652 802 kn	-92 652 802 kn
<b>Faktor emisije CO<sub>2</sub></b>	0.023 kgCO <sub>2</sub> /kWh	0.22 kgCO <sub>2</sub> /kWh
<b>Emisija CO<sub>2</sub></b>	1 426 000 kgCO <sub>2</sub>	12 214 000 kgCO <sub>2</sub>

*Tablica 4.2 Usporedba geotermalne energije i prirodnog plina*

Najbitnija analiza za ovakav sustav je u odnosu na prirodni plin. Isplativost geotermalne energije u odnosu na prirodni plin prikazana je u tablici 4.2.

Osim isplativosti sustava za investitora te očite prednosti u ekološkim i financijskim aspektima u odnosu na korištenje prirodnog plina opisani geotermalni sustav zapošljavati će oko 80 stalnih zaposlenika i 45 sezonskih djelatnika te i u tom pogledu uvelike pomoći zajednici u gospodarskom smislu na određenom području.

## 4. Zaključak

Iskoristiva geotermalna energija tehnički i tehnološki dostupan i raširen obnovljivi izvor energije koji se nalazi u Zemljinoj unutrašnjosti. Povećanjem dubine povećava se i energetska vrijednost dostupne energije, a samim time i mogućnosti korištenja koje se razlikuju s obzirom na temperaturu i protok izvora. Izvori visoke temperature geotermalnog fluida često se koriste za proizvodnju električne energije, a izvori srednjih i niskih temperatura za toplifikaciju objekata, procesnoj i prerađivačkoj industriji, ribogojstvu, balneologiji i sl. U Hrvatskoj geotermalni izvori otkriveni u 2 područja, Panonskoj nizini i Dinaridima, imaju velik potencijal. Mali broj takvih izvora je iskorišten u potpunosti, a i oni koji jesu u uporabi najčešće su niske temperature i koriste se u svrhu toplica jer su investicije za takvu upotrebu najniže.

Najefikasnija upotreba geotermalnih izvora je kreiranje kombiniranih sustava na odgovarajućem području kroz proizvodnje električne energije i uzgoja povrća ili grijanja kućanstava i uzgoja ribe. Predloženi primjer prikazan je u završnom radu iskorištavajući geotermalni izvor temperature 125°C i protoka fluida 250 m<sup>3</sup>/h. Ulaganjem u kombinirano korištenje energije u ovakvom sustavu koji se sastoji od ORC elektrane, agro objekata za uzgoj povrća i bazena otplativost investicije se ostvaruje u relativno kratkom roku od nekoliko godina (oko 7 godina), a značajno brže ako investicije budu potpomognute oko 50 % nepovratnim sredstvima Europskih fondova. Utjecaj sustava na gospodarstvo određene regije ili lokacije je značajan jer se otvaraju mogućnosti većeg zapošljavanja i daljnjeg gospodarskog i društvenog razvoja.

Ulaganja u sustav pogonjen geotermalnom energijom mnogo su isplativija u odnosu na prirodni plin. Kroz nekoliko godina razlika u otkupnim cijenama između ova 2 pogonska goriva uvelike je na strani geotermalne energije. Osim financijskih prednosti u odnosu na prirodni plin, ekološka održivost, visoka energetska učinkovitost i ekonomičnost prednosti su iskorištavanja geotermalne energije koja pravilnim upravljanjem i kontrolom osigurava rentabilnost i eksploatacijsku održivost.

U Varaždinu, \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_  
Potpis studenta

## 5. Literatura

- [1] A. Čikić, B. Pavković, B. Delač: Geotermalna energija – razvojni čimbenik neke regije i /ili energetski resurs, 5. Kongres inženjera strojarstva – HKIS. Split, 2010.
- [2] [https://geothermalcommunities.eu/assets/elearning/1.2.Geothermal\\_energy\\_enMeryDicks\\_on.pdf/](https://geothermalcommunities.eu/assets/elearning/1.2.Geothermal_energy_enMeryDicks_on.pdf/), dostupno 3.9.2021.
- [3] <https://postava.mxstroy.ru/plast-zemlje/>, dostupno 3.9.2021.
- [4] A. Manzella: Geothermal energy, Pisa, 2017.
- [5] <https://www.menea.hr/wp-content/uploads/2013/12/6-geotermalna.pdf>, dostupno 3.9.2021.
- [6] <http://www.oil-gasportal.com/introduction-to-geothermal-energy/>, dostupno 3.9.2021.
- [7] <http://www.eihp.hr/stari/hrvatski/geoen-ep.htm>, dostupno 3.9.2021.
- [8] <http://www.eihp.hr/stari/hrvatski/geoen-kge.htm>, dostupno 3.9.2021.
- [9] [https://en.wikipedia.org/wiki/Geothermal\\_heating](https://en.wikipedia.org/wiki/Geothermal_heating), dostupno 3.9.2021.
- [10] A. Čikić: Ekonomično nisko temperaturno grijanje plastenika, EGE br. 4/2007, Zagreb, 2007., str. 48 – 53
- [11] A. Čikić.: Dinamička stabilnost i ekonomičnost zonskog grijanja, dostupno 3.9.2021. niskoakumulativnih agrotehnoških objekata; 21. međunarodni kongres o procesnoj industriji, Procesing 08, Subotica 4 – 6. lipanj 2008.
- [12] <https://www.sciencedirect.com/topics/chemical-engineering/geothermal-heating>, dostupno 3.9.2021.
- [13] <http://europeangeothermalcongress.eu/wp-content/uploads/2019/07/CUR-06-Croatia.pdf>, dostupno 3.9.2021.
- [14] <https://www.turboden.com/products/2463/orc-system>, dostupno 3.9.2021.
- [15] <https://repozitorij.vuka.hr/islandora/object/vuka%3A565/datastream/PDF/view>, dostupno 3.9.2021.
- [16] <https://www.geothermal-energy.org/pdf/IGAstandard/Russia/IGW2003/W00037.PDF>, dostupno 3.9.2021.
- [17] <https://orkustofnun.is/gogn/unu-gtp-sc/UNU-GTP-SC-18-22.pdf>, dostupno 3.9.2021.
- [18] <https://repozitorij.fsb.unizg.hr/islandora/object/fsb%3A5554/datastream/PDF/view>, dostupno 3.9.2021.
- [19] [http://www.encert-eihp.org/wp-content/uploads/2014/11/0-FAKTORI\\_primarne\\_energije.pdf](http://www.encert-eihp.org/wp-content/uploads/2014/11/0-FAKTORI_primarne_energije.pdf), dostupno 3.9.2021.
- [20] [https://www.researchgate.net/publication/278961762\\_Performance\\_Predictions\\_of\\_Axial\\_Turbines\\_for\\_Organic\\_Rankine\\_Cycle\\_ORC\\_Applications\\_Based\\_on\\_Measurements\\_of\\_the\\_Flow\\_Through\\_Two-Dimensional\\_Cascades\\_of\\_Blades](https://www.researchgate.net/publication/278961762_Performance_Predictions_of_Axial_Turbines_for_Organic_Rankine_Cycle_ORC_Applications_Based_on_Measurements_of_the_Flow_Through_Two-Dimensional_Cascades_of_Blades), dostupno 3.9.2021.
- [21] [https://www.researchgate.net/publication/284685252\\_The\\_possible\\_role\\_and\\_contribution\\_of\\_geothermal\\_energy\\_to\\_the\\_mitigation\\_of\\_climate\\_change](https://www.researchgate.net/publication/284685252_The_possible_role_and_contribution_of_geothermal_energy_to_the_mitigation_of_climate_change), dostupno 3.9.2021.
- [22] [https://www.researchgate.net/publication/284365345\\_Analysis\\_of\\_Alternatives\\_for\\_a\\_Multiproduct\\_System\\_Using\\_Geothermal\\_Energy\\_Under\\_Cascade\\_Utilization\\_Concept](https://www.researchgate.net/publication/284365345_Analysis_of_Alternatives_for_a_Multiproduct_System_Using_Geothermal_Energy_Under_Cascade_Utilization_Concept), dostupno 3.9.2021.
- [23] [https://www.geothermal\\_energy.org/pdf/IGAstandard/NZGW/2007/033\\_Lund\\_\(Engineering\\_IV\).pdf](https://www.geothermal_energy.org/pdf/IGAstandard/NZGW/2007/033_Lund_(Engineering_IV).pdf), dostupno 3.9.2021.
- [24] [https://www.researchgate.net/publication/263970625\\_Thermoeconomic\\_Analysis\\_of\\_Hybrid\\_Power\\_Plant\\_Concepts\\_for\\_Geothermal\\_Combined\\_Heat\\_and\\_Power\\_Generation](https://www.researchgate.net/publication/263970625_Thermoeconomic_Analysis_of_Hybrid_Power_Plant_Concepts_for_Geothermal_Combined_Heat_and_Power_Generation), dostupno 3.9.2021.

- [25] A. Čikić, T. Veliki: Predavanja i vježbe kolegija Obnovljivi izvori energije, UNIN, Varaždin, 2020.
- [26] A. Čikić, B. Hršak: Predavanja i vježbe kolegija Termodinamika i mehanika fluida, UNIN, Varaždin, 2019.
- [27] <https://eko.zagreb.hr/geotermalna-energija/97>, dostupno 3.9.2021.
- [28] <https://www.vaillant.ba/krajnji-korisnici/savjeti-i-iskustvo/kako-razlicite-tehnologije-rade/dizalice-topline/water-water-heat-pumps/>, dostupno 3.9.2021.
- [29] <https://repozitorij.fsb.unizg.hr/islandora/object/fsb%3A5554/datastream/PDF/view>, dostupno 3.9.2021.
- [30] <https://www.menerga.hr/blog/2020/11/02/princip-rada-dizalica-topline-voda-voda-zrak-voda/>, dostupno 3.9.2021.
- [31] [https://hr.wikipedia.org/wiki/Aquae\\_Iasae](https://hr.wikipedia.org/wiki/Aquae_Iasae), dostupno 3.9.2021.

## Popis slika

Slika 1.1 Presjek Zemljine unutrašnjosti [3]	1
Slika 1.2 Pojednostavljeni prikaz geotermalnog sistem [6]	2
Slika 2.1 Geotermalna podjela Hrvatske [7]	4
Slika 2.2 Geotermalni izvori Panonske Hrvatske [7]	5
Slika 3.1 Shema primjera stupnjevitog korištenja geotermalne energije, $\vartheta < 125^{\circ}\text{C}$ [1]	7
Slika 3.2 Shema osmišljenog sustava	8
Slika 3.3 Princip rada ORC elektrane [15]	9
Slika 3.4 T-s dijagram idealnog/realnog ORC-a [6]	10
Slika 3.5 Prikaz krivulja mokrog, izentropskog i suhog radnog fluida [20]	11
Slika 3.6 Proizvedena snaga ORC elektrane [1]	13
Slika 3.7 Potreba za dodatnim izvorom topline u staklenicima tijekom hladnijih mjeseci [16]	14
Slika 3.8 Godišnja potrebna topline za zagrijavanje staklenika iz dodatnog izvora [16]	15
Slika 3.9 Sustav za grijanje tla [8]	16
Slika 3.10 Sustav za grijanje tla i zraka [8]	17
Slika 3.11 Sustav za grijanje zraka [8]	17
Slika 3.12 Sustav za grijanje ventilatorskim provođenjem topline [8]	18
Slika 3.13 Ostaci rimskih termi u Varaždinskim Toplicama [31]	20
Slika 3.14 Princip rada dizalice topline [30]	22

## Popis tablica

Tablica 2.1 Geotermalni izvori topliji od $65^{\circ}\text{C}$	5
Tablica 2.2 Geotermalni izvori hladniji od $65^{\circ}\text{C}$	6
Tablica 3.1 Godišnji prihodi od prinosa i prodaje povrća z staklenika	19
Tablica 4.1 Ekonomičnost geotermalnog sustava	27
Tablica 4.2 Usporedba geotermalne energije i prirodnog plina	28



# Sveučilište Sjever

UNIVERSITY  
NORTH



SVEUČILIŠTE  
SJEVER

## IZJAVA O AUTORSTVU I SUGLASNOST ZA JAVNU OBJAVU

Završni/diplomski rad isključivo je autorsko djelo studenta koji je isti izradio te student odgovara za istinitost, izvornost i ispravnost teksta rada. U radu se ne smiju koristiti dijelovi tuđih radova (knjiga, članaka, doktorskih disertacija, magistarskih radova, izvora s interneta, i drugih izvora) bez navođenja izvora i autora navedenih radova. Svi dijelovi tuđih radova moraju biti pravilno navedeni i citirani. Dijelovi tuđih radova koji nisu pravilno citirani, smatraju se plagijatom, odnosno nezakonitim prisvajanjem tuđeg znanstvenog ili stručnoga rada. Sukladno navedenom studenti su dužni potpisati izjavu o autorstvu rada.

Ja, HRVOJE KUDUMIJA pod punom moralnom, materijalnom i kaznenom odgovornošću, izjavljujem da sam isključivi autor završnog rada pod naslovom PRAKTIČNI PRIMJER MOGUĆNOSTI KORIŠTENJA GEOTERMALNE ENERGIJE te da u navedenom radu nisu na nedozvoljeni način (bez pravilnog citiranja) korišteni dijelovi tuđih radova.


Student:  
*HRVOJE KUDUMIJA*

  
(vlastoručni potpis)

Sukladno Zakonu o znanstvenoj djelatnosti i visokom obrazovanju završne/diplomske radove sveučilišta su dužna trajno objaviti na javnoj internetskoj bazi sveučilišne knjižnice u sastavu sveučilišta te kopirati u javnu internetsku bazu završnih/diplomskih radova Nacionalne i sveučilišne knjižnice. Završni radovi istovrsnih umjetničkih studija koji se realiziraju kroz umjetnička ostvarenja objavljuju se na odgovarajući način.

Ja, HRVOJE KUDUMIJA neopozivo izjavljujem da sam suglasan s javnom objavom završnog rada pod naslovom PRAKTIČNI PRIMJER MOGUĆNOSTI KORIŠTENJA GEOTERMALNE ENERGIJE čiji sam autor.

Student:  
*HRVOJE KUDUMIJA*

  
(vlastoručni potpis)