

Energijsko iskorištavanje niskotemperaturnog geotermalnog izvora

Al-Mufleh, Tareq

Undergraduate thesis / Završni 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:149:256556>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-02-27**



Repository / Repozitorij:

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



Sveučilište u Zagrebu
Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije

Tareq Al-Mufleh

Završni rad

Zagreb,rujan,2018

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET KEMIJSKOG INŽENJERSTVA I TEHNOLOGIJE
SVEUČILIŠNI PREDIPLOMSKI STUDIJ

Tareq Al-Mufleh

**ENERGETSKO ISKORIŠTENJE NISKOTEMPERATURNIH
GEOTERMALNIH IZVORA**

ZAVRŠNI RAD

Voditelj rada: Prof.dr.sc. Veljko Filipan

Članovi ispitnog povjerenstva:

Prof.dr.sc. Veljko Filipan

Prof.dr.sc. Igor Sutlović

Prof.dr.sc. Emi Govorčin Bajsić

Zagreb, rujan 2018

Zahvala

Posebna zahvala mentoru prof.dr.sc. Veljku Filipanu na stručnoj pomoći, pri izradi ovoga rada.

Zahvaljujem se svojoj obitelji i prijateljima na podršci tijekom školovanja.

Sažetak

Geotermalna je energija kao jedan od najvažnijih obnovljivih izvora energije. Čovječanstvo se geotermalnom energijom koriste kroz cijelu nam znanu povijest, gdje se najprije počela koristiti u obliku toplica odnosno rekreacijsko-ljekovitog kupanja. Problemi današnjice kao što su porast cijena fosilnih goriva, ograničenost zaliha i smanjenje emisija stakleničkih plinova, razlog su okretanju prema napretku iskorištavanja obnovljivih izvora. Prednost geotermalne energije su praktički nepresušne zalihe. Glavni pravac uporabe je iskorištavanje postojećih, poznatih i dostupnih nam resursa, te bi se trebali usredotočiti na iskorištavanje drugih nam neiskorištenih i neotkrivenih izvora geotermalne energije.

U ovom završnom radu ću prikazati trenutno stanje iskorištavanja geotermalne energije u Hrvatskoj i svijetu.

Ključne riječi: niskotemperaturni geotermalni izvori, geotermalna energija, iskoristivost geotermalnih izvora izvora

Abstract

Geothermal energy is one of the most renewable energy sources. Humanity is uses geothermal energy throughout the whole history, where it was first used in the form of spa or recreational-medicinal bathing. Today's problems such as the rise in fossil fuel prices, inventory constraints and greenhouse gas emission reductions are the reasons for turning towards renewable energy exploitation. The advantage of geothermal energy is virtually inexhaustible supplies. The main course of use is exploitation of existing, known and available resources, and we should focus on exploiting other untapped and undiscovered geothermal energy sources.

In this final paper I will present the current state of exploitation of geothermal energy in Croatia and in the world.

Key words: low temperature geothermal sources, geothermal energy, utilization of geothermal sources

SADRŽAJ

Contents

1. Uvod.....	1
1.1. Geologija zemlje i geotermalna energija.....	1
1.1.1. Struktura zemlje	1
1.2. Temperaturna raspodjela zemlje.....	3
1.3 Temperaturni gradijent i toplinski tok u Hrvatskoj.....	4
2.Opći dio	6
2.1Iskorištavanje geotermalne energije za proizvodnju električne energije	6
3.Eksperimentalni dio	10
3.1Korištenja geotermalne energije u svijetu.....	10
3.1.1 Načini korištenja geotermalne energije.....	10
3.1.2 Izravno korištenje	12
3.1.3. Proizvodnja električne energije	15
3.2 Status proizvodnje u Republici Hrvatskoj	18
3.2.1 Primjer projekt firme AATG u Draškovcu	22
4.Rasprava.....	23
4.1.Geotermalne elektrane s binarnim ciklusom.....	23
4.1.2Geotermalne elektrane s organskim Rankine-ovim ciklusom (ORC)	25
4.1.3Geotermalne elektrane s Kalina ciklusom.....	26
5.Zaključak	28
6.LITERATURA.....	29
7.Životopis.....	30

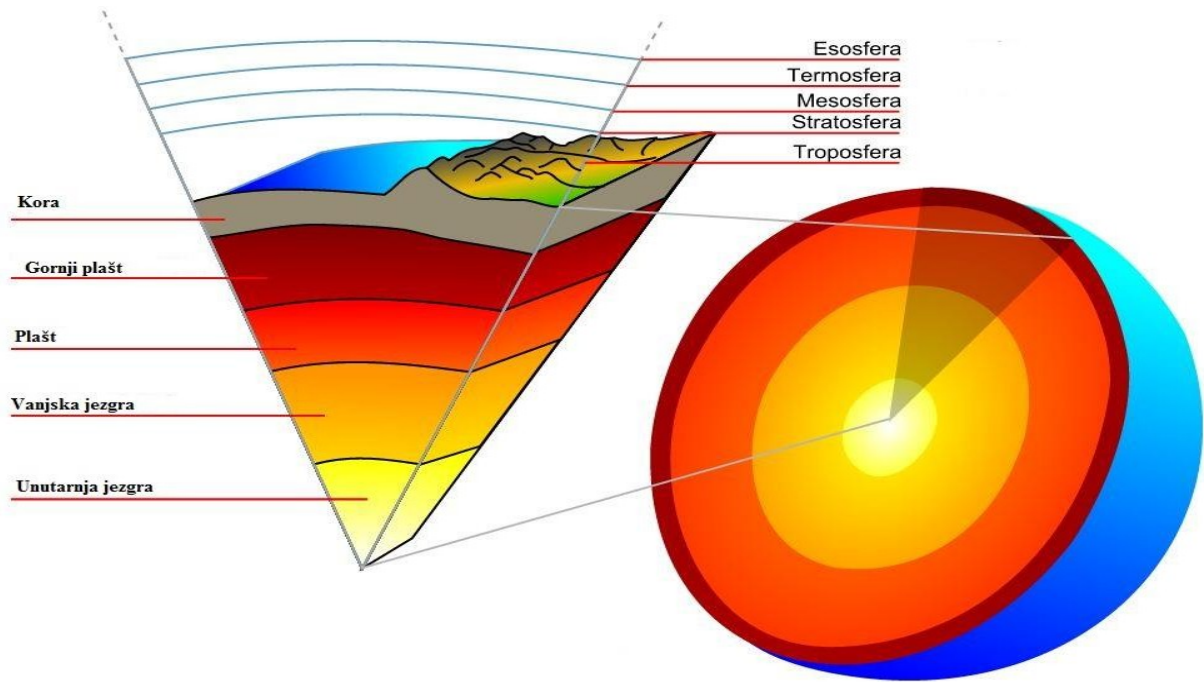
1. Uvod

1.1. Geologija zemlje i geotermalna energija

Termin „geotermalno“ dolazi od grčkih riječi *geo*, što znači zemlja i *therme*, što znači toplina. Geotermalna energija je toplinska energija koja se stvara u zemljinoj kori polaganim raspadanjem radioaktivnih elemenata (prvenstveno urana, torija i kalija-40) i ubrajamo je u obnovljive izvore energije, to jest dio energije iz dubina Zemlje koji dolazi u obliku vrućeg ili toplog geotermalnog fluida do površine Zemlje, te se može iskorištavati u izvornom obliku ili za pretvorbu u druge oblike .

1.1.1. Struktura zemlje

Čak ni danas nam struktura Zemljine unutrašnjosti nije posve razjašnjena. Do nepoznanica dolazi jer se istraživanja o strukturi Zemljine unutrašnjosti temelje na bušotinama velikih dubina. Jedno od takvih istraživanja bilo je i „Moho istraživanje“ u čast našem znanstveniku A. Mohoroviću po kojemu je nazvana granica Mohoričićev diskontinuitet. A. Mohorević je još davno zamijetio diskontinuitet u brzini seizmičkih valova na određenoj dubini, te je utvrdio da taj diskontinuitet predstavlja granicu između krute kore i rastaljenog plašta. Moho sloj odvaja oceansku i kontinentalnu koru od gornjeg dijela plašta. Većinom se nalazi potpuno u litosferi, samo kod oceanskih hrbata određuje granicu litosfere i astenosfere. Kora ispod oceana mnogo je tanja, te iznosi 7 – 10 km u prosjeku. Obuhvaća oko 65% ukupne Zemljine površine koja je u prosjeku prekrivena s 4 km debelim slojem vode.



Slika 1. Model zemlje

Slika 1. prikazuje model Zemlje koji se sastoji od nekoliko slojeva :

- jezgre koja ima dva sloja: krutu unutarnju čeličnu jezgru i vanjsku jezgru koju čine jako vruće rastaljene stijene tzv. magma;
- plašta koji okružuje jezgru, a sastoji se od magme i stijena;
- kore koja je vanjski sloj Zemlje, te čini kontinente i dno oceana.

Slojevi su nacrtani kao niz koncentričnih sferičnih ljuski. No granice su vjerojatno nepravilne i neizrazite tako da je takav prikaz Zemljine unutrašnjosti približan.

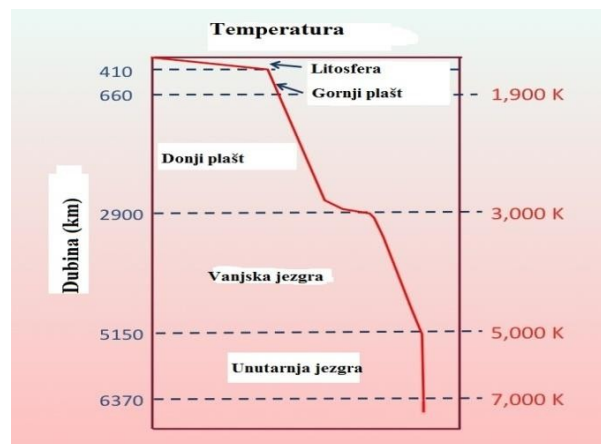
Jezgra se sastoji od dva područja, unutarnje i vanjske jezgre, i ima najveću srednju gustoću koja prelazi 10^4 kg/m^3 . Danas je općeprihvaćeno da je najvjerojatniji konstituent željezo–nikal legura bez obzira na različita gledišta o pojedinim detaljima o sastavu jezgre, no zapažene karakteristike jezgre se ne slažu s pretpostavkom da je ona čista željezo–nikal legura.

Kontinentalna kora varira u debljini od 25 km do 60 km dok bi u prosjeku njena debljina iznosila 35 km. Površina sadrži veliku raznolikost stijena koje uključuju sedimente, kao što su glina, pješčenjak ili vapnenac, i prastare štitove koji se sastoje od granita i vulkanske lave. Zemljina jezgra 16%, plašt 82% , a kora zauzima samo 2% od ukupnog volumena Zemlje.

1.2. Temperaturna raspodjela zemlje

Tri uzroka zbog kojih je Zemlja topla:

- toplina formiranja
- toplina hlađenja unutarnje jezgre
- radioaktivna toplina



Slika 2. Temperaturna raspodjela unutrašnjosti Zemlje

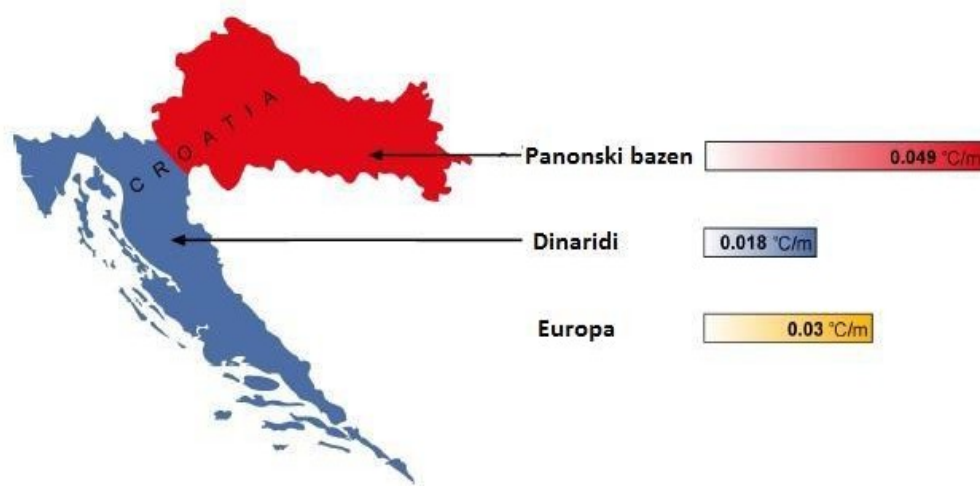
Vjerojatni model temperaturne raspodjele unutar Zemlje prikazan je na sl. 2. i temelji se na geofizikalnim i petrolozijskim istraživanjima uz korištenje eksperimentalnih istraživanja ponašanja sastavnih minerala plašta i jezgre kod visokih tlakova i temperatura te njihovom interpretacijom.

S povećanjem dubine raste i temperatura Zemljine unutrašnjosti. Temperatura stijena ispod Zemljine kore na dubini od oko 80 do 100 km je između 650 i 1200⁰C. Kod dubina od oko 100– 250 km temperatura se procjenjuje u području 700 i 1500⁰C, dok na dubini od 400 km procjena temperature je u području 1400 do 2000⁰C. Temperature uz tlak oko 330 GPa na granici između unutarnje i vanjske jezgre se procjenjuju u području 5000-5800⁰C, dok se na vrhu vanjske jezgre procjenjuje u području 3500-4700⁰C, a u središtu jezgre procjenjuje se i do 6650⁰C.

1.3 Temperaturni gradijent i toplinski tok u Hrvatskoj

Dva su sedimentna bazena koji pokrivaju gotovo cijelo područje Republike Hrvatske. Dijelimo ih na: Panonski bazen i Dinaride. Velike su razlike u geotermalnim potencijalima koji su istraženi u svrhu pronalaska nafte i plina što je vidljivo iz *slike 3*.

Prosječni toplinski tok i geotermalni gradijent u Dinaridima iznose 29 mW/m^2 i $0,018^\circ\text{C/m}$. Ovo područje ne obiluje značajnijim geotermalnim ležištima.



Slika 3. Raspodjela temperaturnog gradijenta u RH [5]

Prosječni toplinski tok i geotermalni gradijent Panonskog bazena su mnogo viši te iznose 76 mW/m^2 i $0,049^\circ\text{C/m}$ za razliku od Dinarida koji nemaju značajnih geotermalnih potencijala. Pošto je geotermalni gradijent na panonskom području znatno veći od europskog prosjeka na ovom području se može očekivati pronalaženje novih geotermalnih ležišta pored već otkrivenih ležišta.

Na slici 4. prikazana su do sada poznata geotermalna ležišta u Republici Hrvatskoj.

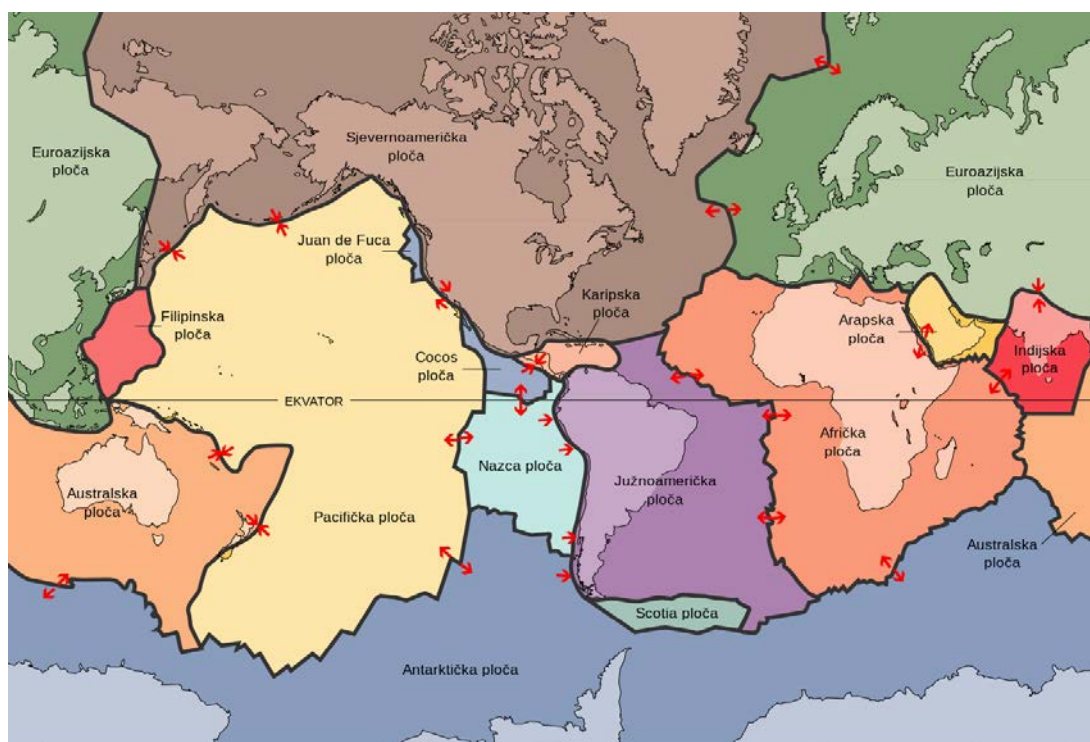
Slika 4. Geotermalna ležišta u RH [5]



2.Opći dio

2.1Iskorištavanje geotermalne energije za proizvodnju električne energije

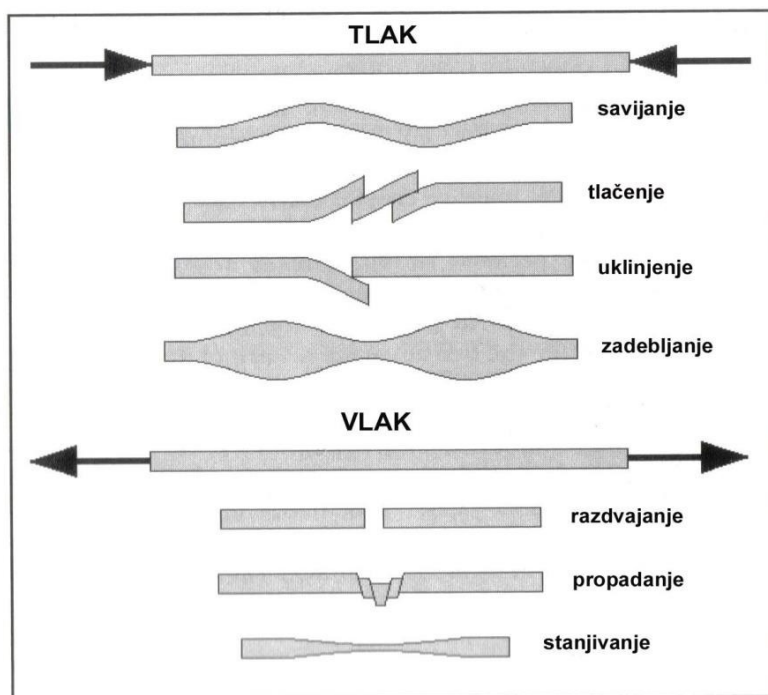
U početku su sve kopnene mase bile spojene u jedan kontinent nazvan Pangaea. Raspadom Zemljine kore dolazi do stvaranja velikih tektonskih ploča. Slika 5. prikazuje gibanja tih tektonskih ploča.



Slika 5. Tektonske ploče koje čine zemljinu koru

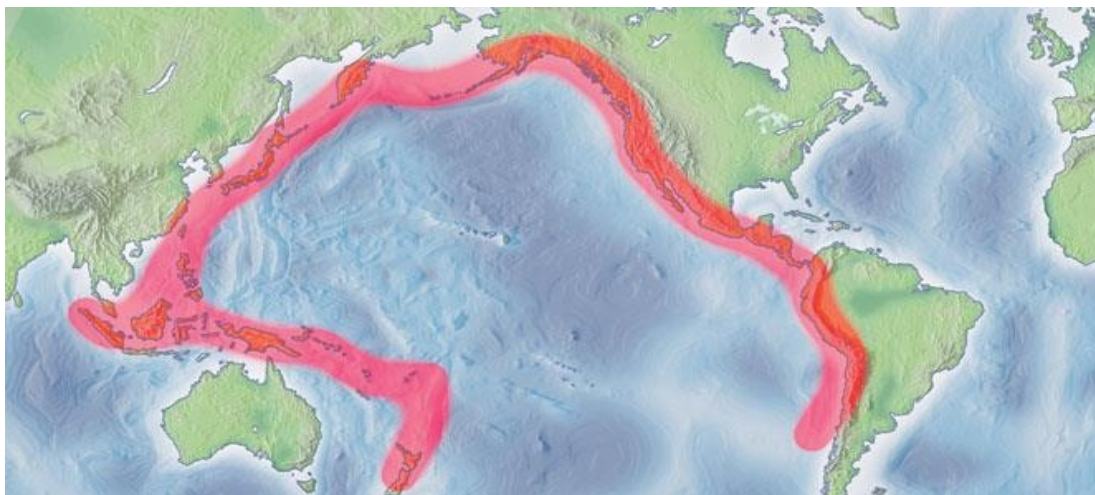
Litosfera je vanjski dio Zemlje, uključuje koru i područje gornjeg plašta, koji čini krute ploče. Ispod litosfere je astenosfera koja se vjerojatno rasprostire na 700 km. Za razliku od tekuće astenosfere koja se može deformirati se, litosfera se ne može i hladnija je od litosfere.

U Zemljinoj unutrašnjosti se odvijaju mnogi procesi, tako da ti procesi mogu pomicati tektonske ploče na način da između njih nastaju procijepi, ili pomicati ploče jednu prema drugoj, skraćujući i/ili savijajući ih, kao i skliznuti jedna ispod druge prilikom njihova kontakta. Kao posljedica tih gibanja ploča događaju se razorni zemljotresi, no ta područja su istovremeno i od velikog geotermalnog značaja. Kod gibanja ploča dolazi do njihovog sabijanja ili rastezanja, te se ploče oslobađaju naprezanja na načine koji su prikazani slikom 6.



Slika 6. Načini oslobađanja ploča od naprezanja pri sabijanju i rastezanju

Kod odmicanja ploča jedne od druge, topli i djelomično rastaljeni materijal iz astenosfere se podiže i popunjava rascjep, te se izdiže iz morskog dna. Taj se rastaljeni materijal hladi i postaje dio krutih ploča s obje strane. Posljedica uzastopnog nadodavanja i hlađenja novog materijala je nastajanje tzv. srednje-oceanskih grebena, pošto zauzimaju središnje pozicije u Atlantskom i Indijskom oceanu. Za razliku od oceanske litosfere, kod kontinentalne litosfere teško dolazi do subdukcije. Stoga kada su u koliziji dvije kontinentalne ploče dolazi do kompresije i savijanja, pa nastaju veliki planinski lanci.



Slika 7. Pacifički vatreni prsten

S točke iskorištavanja geotermalnih izvora najviše geotermalnih aktivnosti se događa u području koje se naziva „Pacifički vatreni prsten“ (slika 7.). Ako se uz tu Pacifičku ploču uključe još i dvije susjedne istočne ploče, kao i jedna zapadna, uz „Pacifički vatreni prsten“ su smještene sljedeće zemlje: SAD, Meksiko, Gvatemala, El Salvador, Honduras, Nikaragva, Costa Rica, Panama, Kolumbija, Ekvador, Peru, Bolivija, Čile, Novi Zeland, Mikronezija, Papua Nova Gvineja, Indonezija, Filipini, Kina, Japan i Rusija. Sve nabrojane zemlje imaju geotermalne resurse pogodne za eksploataciju, a 12 zemalja ima čak i instalirane geotermalne elektrane.

Za proizvodnju geotermalne topline koriste se različite tehnologije. One se temelje ili na kondukciji ili na advekciji topline. Kod proizvodnje topline kondukcijom, toplina difundira u izolirani podzemni izmjenjivač topline bez ikakve promjene tvari. Adveksijska proizvodnja topline temelji se na proizvodnji toplog fluida, uglavnom geotermalne vode iz podzemnih spremnika na prikladnoj dubini. Ta se tehnika koristi za izravno korištenje i za proizvodnju električne energije iz nisko-, srednje- i visokotemperaturnih geotermalnih polja, zavisno o temperaturi geotermalnog fluida. Tablica 1. prikazuje raspodjelu temperatura geotermalne vode

Tablica 1. Klasifikacija geotermalnih resursa [3]

Tip	Resurs	Temperaturno područje, °C	Sadržaj energije
Vodom dominantni	Topla voda	< 100	Nisko-entalpijski
	Vlažna para	100 – 150	Srednje-entalpijski
Parom dominantni	Suha para	> 150	Visoko-entalpijski

Od približno 100 hidrotermalnih sustava diljem svijeta, manje od 10% su sa suhom parom dominantna ležišta, 60% su s vlažnom parom odnosno vodom dominantna ležišta, te 30% ležišta proizvodi toplu vodu. O vrsti ležišta ovisi i izbor tehnologije za iskorištavanje pri čemu je glavni parametar temperatura kao što se vidi iz tablice 2.

Tablica 2. Tipovi ležišta i tehnologije za iskorištavanje[3]

Temperatura ležišta	Fluid u ležištu	Uobičajena primjena	Uobičajena tehnologija
> 220°C	voda ili para	<ul style="list-style-type: none"> • proizvodnja električne energije 	<ul style="list-style-type: none"> • parna turbina (ciklus sa suhom parom ili isparavanjem) • kombinirani ciklus (ciklus sa suhom parom ili isparavanjem i binarni ciklus) • izravno korištenje fluida • izmjenjivač topline • toplinska crpka
100 – 220°C	Voda	<ul style="list-style-type: none"> • proizvodnja električne energije • izravno korištenje 	<ul style="list-style-type: none"> • binarni ciklus • izravno korištenje fluida • izmjenjivač topline • toplinska crpka
50 – 150°C	Voda	<ul style="list-style-type: none"> • izravno korištenje 	<ul style="list-style-type: none"> • izravno korištenje fluida • izmjenjivač topline • toplinska crpka

3. Eksperimentalni dio

3.1 Korištenja geotermalne energije u svijetu

3.1.1 Načini korištenja geotermalne energije

Geotermalna energija može se koristiti izravno tj. bez daljnjih pretvorbi, kao toplina, te se tada naziva izravnim korištenjem. Nasuprot tome, geotermalna toplina može se pretvoriti u druge oblike energije uz određeni gubitak prilikom pretvorbe.

Tablica.3. Upotreba geotermalne energije u odnosu na druge izvore obnovljive energije u EU u 2013. godini (Topliceanu i Puiu, 2016.)

EU	2013.						
– 28	Obnovljiva energija	Biomasa	Voda	Vjetar	Solarna	Geotermalna	Plime, valova, oceana
	196.8	128.1	31.9	20.2	10.6	5.9	0.0
Udio (%)	11.8%	7.7%	1.9%	1.2%	0.6%	0.4%	0.0%

Korištenje geotermalne energije dovodi do smanjenja stakleničkih plinova s oko 4500 tona CO₂ koji bi se emitirao pri proizvodnji iste količine energije na temelju fosilnih goriva (Fridleifsson et al, 2008.).

Unatoč svom velikom potencijalu, geotermalna energija je premalo iskorištena, uglavnom zbog tehnoloških, zakonodavnih i financijskih teškoća.

Tablica.4. Prikaz podataka za različite kategorije primjene geotermalne energije u svijetu s aspekta kapaciteta, potrošnje i faktora opterećenja za razdoblje od 1995.-2015. (Lund i Boyd, 2015.)Kapacitet, MWt

	2015.	2010.	2005.	2000.	1995.
Geotermalne dizalice topline	49.898	33.134	15.384	5.275	1.854
Grijanje prostora	7.556	5.394	4.366	3.263	2.579
Grijanje staklenika	1.830	1.544	1.404	1.246	1.085
Grijanje ribnjaka	695	653	616	605	1.097
Sušenje poljoprivrednih Proizvoda	161	125	157	74	67
Upotreba u industriji	610	533	484	474	544
Saune i bazeni	9.140	6.700	5.401	3.957	1.085
Hlađenje/topljenje snijega	360	368	371	114	115
Drugo	79	42	86	137	238
Ukupno	70.329	48.493	28.269	15.145	8.664

tablica5.Potrošnja, TJ/god

	2015.	2010.	2005.	2000.	1995.
Geotermalne dizalice topline	325.028	200.149	87.503	23.275	14.617
Grijanje prostora	88.222	63.025	55.256	42.926	38.230
Grijanje staklenika	26.662	23.264	20.661	17.864	15.742
Grijanje ribnjaka	11.958	11.521	10.976	11.733	13.493
Sušenje poljoprivrednih proizvoda	2.030	1.635	2.013	1.038	1.124
Upotreba u industriji	10.453	11.745	10.868	10.220	10.120
Saune i bazeni	119.381	109.410	83.018	79.546	15.742
Hlađenje/topljenje snijega	2.600	2.126	2.032	1.063	1.124
Drugo	1.452	955	1.045	3.034	2.249
Ukupno	587.786	423.830	273.372	190.699	112.441

tablica 6.Faktor opterećenja

	2015.	2010.	2005.	2000.	1995.
Geotermalne dizalice topline	0,207	0,19	0,18	0,14	0,25
Grijanje prostora	0,370	0,37	0,40	0,42	0,47
Grijanje staklenika	0,462	0,48	0,47	0,45	0,46
Grijanje ribnjaka	0,546	0,56	0,57	0,61	0,39
Sušenje poljoprivrednih proizvoda	0,400	0,41	0,41	0,44	0,53
Upotreba u industriji	0,543	0,70	0,71	0,68	0,59
Saune i bazeni	0,414	0,52	0,49	0,64	0,46
Hlađenje/topljenje snijega	0,229	0,18	0,17	0,30	0,31
Drugo	0,583	0,72	0,39	0,70	0,30
Ukupno	0,265	0,28	0,31	0,40	0,41

3.1.2 Izravno korištenje

Izravno korištenje geotermalne energije, kao što i samo ime kaže, koristi se kao toplina bez daljnje pretvorbe u druge oblike energije. U mnogim dijelovima svijeta postoji veliki potencijal za ovakav način korištenja geotermalnih izvora. Posebno se to odnosi na upotrebu toplinske energije nisko- i srednjetemperaturnih izvora. Izravno korištenje geotermalne vode je termodinamički efikasnije od pretvorbe u električnu energiju, međutim i tu postoji niz poteškoća od koji je jedna od najvećih nemogućnost transportiranja na velike udaljenosti zbog postojanja velikih toplinskih gubitaka.

Direktna upotreba toplinske energije iz geotermalnih resursa možemo klasificirati u tri skupine:

1. Privatna i komercijalna upotreba: grijanje prostora, hlađenje prostora, toplinske pumpe;
b) voda (pitka, korištenje kao tople ili hladne, kupanje, plivanje i balneološke potrebe rashladna tehnika, otapanje snijega i leda, gospodarenje otpadom i biokonverzija (npr. pridobivanje metana, etanola i drugih kemijskih spojeva pomoću anaerobnog vrenja i fermentacije gradskog krutog otpada uz istovremeno smanjivanje volumena otpada);
2. Poljoprivreda i s njom povezana upotreba: stočarstvo, uzgoj riba, grijanje staklenika, tretman poljoprivrednih proizvoda kao sušenje, fermentacija, gospodarenje otpadom i njegova pretvorba;
3. Industrijska upotreba: obrada pulpe, papira i drveta u procesima proizvodnje zlata, srebra i drugih minerala, obrada otpadnih voda, proizvodnja dijatomejske i infuzorijske zemlje.

Iz *tablice 7.* možemo vidjeti različite načine korištenja geotermalne energije i za to potrebne temperature.

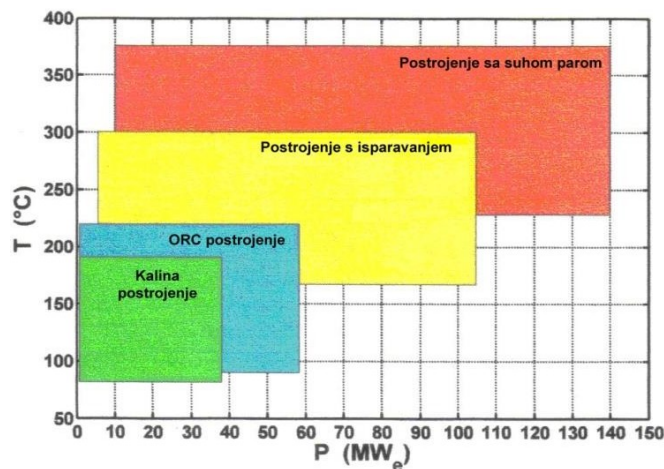
Tablica 7. Različiti načini izravnog korištenja geotermalne energije i za to potrebne temperature geotermalnog fluida[3]

Temperatura, °C	Proces
180	Isparavanje visoko koncentriranih otopina Hlađenje apsorpcijom amonijaka Vrenje pulpe papira
170	Proizvodnja teške vode procesom vodik-Sulfid Sušenje dijatomejske i infuzorijske zemlje Vrenje pulpe papira
160	Sušenje ribe u prehrambenoj industriji Sušenje drva
150	Proizvodnja aluminija Bayerovim procesom
140	Sušenje poljoprivrednih proizvoda u velikim Količinama Konzerviranje hrane
130	Isparavanje vode u šećeranama Izlučivanje soli isparavanjem i kristalizacijom Dobivanje pitke vode destilacijom
120	Većina kombiniranih isparavanja Koncentracija slanih otopina
110	Sušenje i stvrdnjavanje cementnih blokova
100	Sušenje organskih materijala (morskog raslinja, trave, povrća, itd.) Pranje i sušenje vune
90	Sušenje bakalara Procesi brzog odleđivanja
80	Grijanje prostora (zgrada i staklenika)
70	Hlađenje (niska temperaturna granica)
60	Stočarstvo Staklenici s kombiniranim grijanjem prostora i zemlje
50	Uzgoj gljiva Balneologija
40	Grijanje tla Bazeni, biorazgradnja, fermentacija
30	Topla voda za grijanje rudnika u hladnim Krajevima Odleđivanje Uzgoj riblje mlađi i kornjača
20	Uzgoj riba

3.1.3. Proizvodnja električne energije

Proizvodnja mehaničkog rada pomoću geotermalne energije zahtijeva paru za pogon turbina. Ona može biti dobivena kao vlažna ili suha para iz prirodnih ležišta. Ako ne postoje prirodna ležišta pare, ona se može proizvoditi u vrućim suhim stijinama ili tzv. naprednim geotermalnim sustavima. Na nižim temperaturnim razinama, para za pogon turbina može se dobiti posredno isparavanjem fluida s nižom točkom ključanja od vode. Ciklus je poznat kao Organski Rankineov Ciklus (ORC) pošto su na samom početku korišteni organske tvari kao toluol (C_7H_8), pentan (C_5H_{12}), propan (C_3H_8), te ostali ugljikovodici.

Geotermalne elektrane koje se danas nalaze u radu mogu se podijeliti u tri osnovna tipa: postrojenja sa suhom parom, postrojenja s isparavanjem (jednostrukim i dvostrukim), te binarna postrojenja. Koji tip postrojenja će biti instaliran zavisi o vrsti ležišta. Iz slike 8. vidimo područja primjene osnovnih tipova geotermalnih elektrana zavisno o jediničnoj snazi i temperaturi ležišta.



Slika 8. Područja primjene osnovnih tipova geotermalnih elektrana

Niskotemperaturna geotermalna ležišta s temperaturama do 100⁰C nisu dovoljno topla za isparavanje, ali se mogu koristiti za proizvodnju električne energije u binarnim geotermalnim elektranama s Organskim Rankineovim Ciklusom. Kod binarnog postrojenja, geotermalni fluid prolazi kroz izmjenjivač topline, gdje se njegova toplina prenosi na binarni fluid s niskom točkom vrenja. Zagrijavanjem binarni fluid prelazi u paru koja ekspandira u turbini. Para se nakon ekspanzije odvodi u kondenzator, a nastali kondenzat se pomoću cirkulacijske pumpe vraća ponovo u izmjenjivač topline.

Tablica 8. Binarne elektrane su relativno slabo zastupljene, ali u posljednje vrijeme se njihov udjel povećava.

Tablica 8. Struktura instaliranih kapaciteta geotermalnih elektrana prema tehnologiji[3]

Tip elektrane	Instalirana snaga, MW	Udjel, %
Suha para	2 545	28,6
S jednostrukim isparavanjem	3 296	37,0
S dvostrukim isparavanjem	2 268	25,4
Binarna/kombinirana/hibridna	685	7,7
Protutlačna	118	1,3
UKUPNO	8 912	100,0

Tablica 9. Prikazuje instalirane kapacitete geotermalnih elektrana u 24 zemlje svijeta kao i povećanje instaliranih kapaciteta od 2007. do 2013. godine.

Tablica 9. Instalirana električna snaga geotermalnih elektrana u svijetu

Zemlja	Kapacitet(MW) 2007.	Kapacitet(MW) 2010.	Kapacitet(MW) 2013.	Postotak u nacionalnoj proizvodnji el. en.
SAD	2687	3086	3389	0.3
Filipini	1969.7	1904	1894	27
Indonezija	992	1197	1333	3.7
Meksiko	953	958	980	3.0
Italija	810.5	843	901	1.5
Novi Zeland	471.6	628	895	13.6
Island	421.2	575	664	30
Japan	535.2	536	537	0.1
Kenija	128.8	167	215	11.2
Kostarika	162.5	166	208	14
El Salvador	204.4	204	204	25
Turska	38	82	163	0.3
Nikaragva	87.4	88	104	10
Rusija	79	82	97	
Papua Nova G.	56	56	56	
Gvatemala	53	52	42	
Portugal	23	29	28	
Kina	27.8	24	27	
Francuska	14.7	16	15	
Etiopija	7.3	7.3	8	
Njemačka	8.4	6.6	13	
Austrija	1.1	1.4	1	

Australija	0.2	1.1	1	
Tajland	0.3	0.3	0.3	
UKUPNO	9 731.9	10 709.7	11 765	

Kao što je vidljivo iz tablice, napredak u proizvodnji električne energije je u porastu. Priključivanjem drugih zemalja u razvoju napredak će biti još vidljiviji. Za razliku od direktne upotrebe geotermalne energije, proizvodnja električne energije nije koncentrirana u zemljama s umjerenom ili hladnom klimom već je raspodijeljena prema raspoloživim resursima pare i vruće vode. Danas u zemljama s rastućom ekonomijom i zemljama u razvoju proizvodnja električne energije pomoću geotermalne pomaže cjelokupnom industrijskom razvoju. Tablica 4. također prikazuje doprinos geotermalne proizvodnje električne energije u cjelokupnoj proizvodnji električne energije i instaliranim kapacitetima za proizvodnju električne energije u 2013. godini na nacionalnoj razini. Ovdje je Island jedina od razvijenih zemalja među vodećih pet obzirom na oba kriterija, ostale su zemlje u razvoju ili s rastućom ekonomijom.

3.2 Status proizvodnje u Republici Hrvatskoj

U Hrvatskoj je zastupljeno iskorištavanje geotermalne energije i izvora u medicinske svrhe i za kupanje. Geotermalna energija je osnova na kojem se zasnivaju brojni uspjesi toplica u RH (Varaždinske, Daruvarske, Stubičke toplice, Lipik, Topusko itd.). Proizvodnja geotermalne vode za navedene toplice prije se vršila kroz prirodne izvore dok se danas koriste plitke bušotine. U tablici 10. je pregled korištenja geotermalne energije u Hrvatskoj.

Tablica 10. Korištenje geotermalne energije u Hrvatskoj[3]

Lokacija	Način korištenja	Maksimalne mogućnosti korištenja			Toplinska snaga, MW	Ostvareni proizvodni parametri		
		Protok	Temperatura, °C			Prosječni protok, l/s	Proizvodnja topline, TJ/god	Faktor iskorištenja
			Ulaz	Izlaz				
Topusko	grijanje + kupanje	124,5	62,0	19,7	22,0	31,3	174,6	0,251
Stubičke toplice	grijanje + kupanje	95,0	53,4	10,1	17,2	3,7	21,1	0,039
Zagreb (Mladost)	grijanje + kupanje	50,0	80,0	10,5	14,5	6,6	60,5	0,132
Zlatar	kupanje	220,0	32,0	19,4	11,6	1,7	2,8	0,008
Krapinske toplice	grijanje + kupanje	70,0	41,0	9,8	9,1	5,4	22,2	0,077
Bizovac	grijanje + kupanje	26,0	90,7	11,0	8,7	5,1	53,6	0,196
Tuhelj	kupanje	75,0	32,0	10,0	6,9	75,0	217,6	1,000
Zagreb (SB)	grijanje	55,0	80,0	50,0	6,9	1,6	6,3	0,029
Varaždinske Toplice	grijanje + kupanje	27,0	58,0	10,0	5,4	5,3	33,5	0,196
Daruvar	kupanje	18,0	47,0	10,8	2,7	5,5	26,3	0,305
Zelina	kupanje	30,0	40,0	20,2	2,5	3,0	7,8	0,100
Lipik	grijanje + kupanje	8,3	61,0	10,7	1,7	4,5	29,8	0,542
Samobor (Šmidhen)	kupanje	30,0	28,0	20,2	1,0	4,0	4,1	0,133
Velika (toplic)	kupanje	35,0	25,0	20,0	0,7	8,8	5,8	0,251
Ivanić Grad	kupanje	2,7	62,0	10,8	0,6	1,3	8,8	0,481
Livade (toplice)	kupanje	2,0	28,0	11,3	0,1	0,7	1,5	0,350
UKUPNO		927,0			113,9	168,7	681,6	0,190

Geotermalni potencijali u Hrvatskoj mogu se podijeliti u tri skupine –

srednjetemperaturna ležišta: 100 – 200 °C

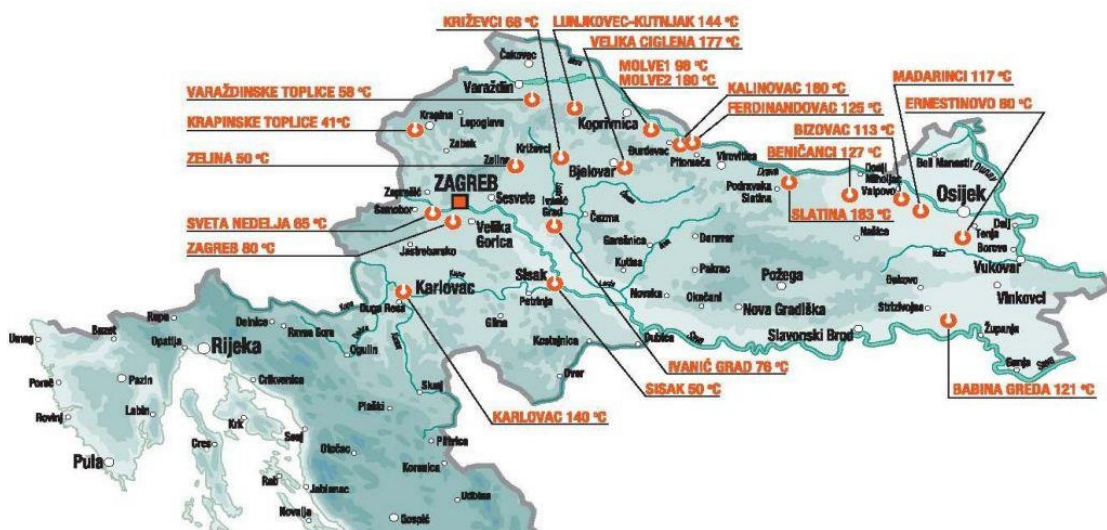
niskotemperaturna ležišta: 65 do 100°C

geotermalni izvori temperature vode ispod 65 °C

Geotermalni energetske potencijal iz sve tri skupine prikazan je u tablici 7

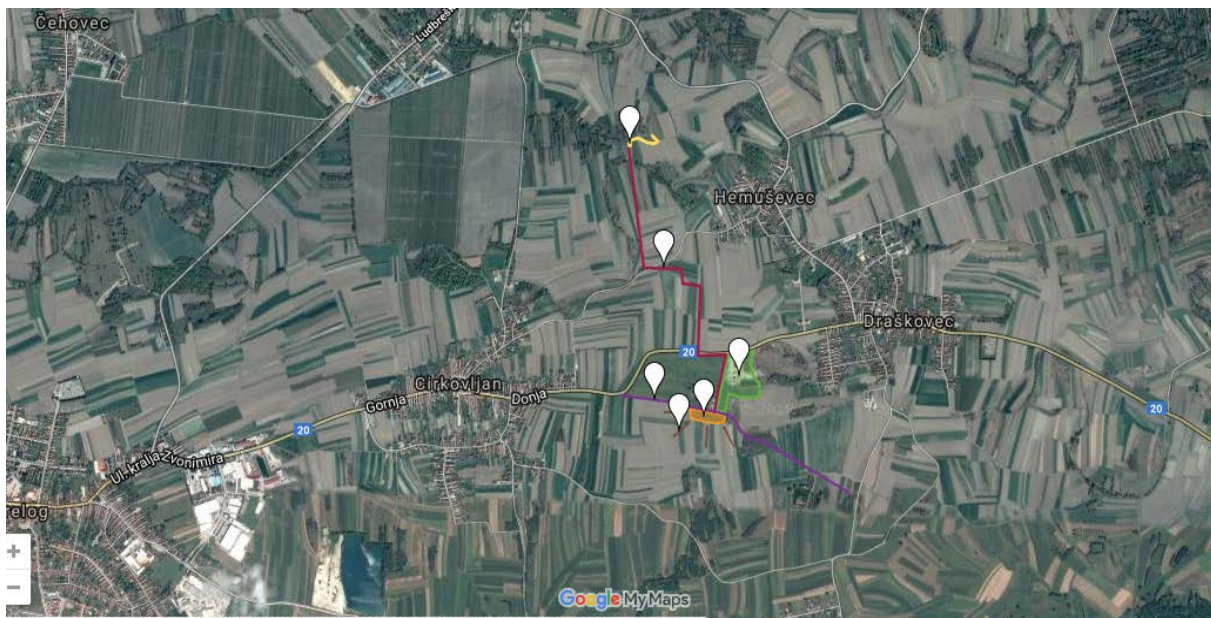
MW (toplinska snaga)	do 50⁰C	do 25⁰C
Iz već izrađenih bušotina	203,47	319,21
Uz potpunu razradu ležišta	839,14	1169,97

Geotermalna energija iz srednjetemperaturnih ležišta može se iskoristavati za grijanje prostora, u različitim tehnološkim procesima, te za proizvodnju električne energije binarnim ciklusom. Geotermalna energija iz niskotemperaturnih ležišta može se iskoristavati za grijanje prostora, tople sanitarne vode, za rekreaciju, te u različitim tehnološkim procesima. Na 10. slici su prikazani značajniji geotermalni lokaliteti u RH.



Slika 9. Prikaz značajnijih geotermalnih lokaliteta u Hrvatskoj[4]

3.2.1 Primjer projekt firme AATG u Draškovcu



SLIKA 10. Satelitska snimka geotermalnog projekta u Draškovcu

Količina vode : 300 m³/h

Temperatura : 100 °C, 60 °C i 40 °C

Tlak: 85 bar i 65 bar

CO₂

Količina : 2000 kg/h

Temperatura : 50 °C

Tlak: 85 bar i 65 bar

4. Rasprava

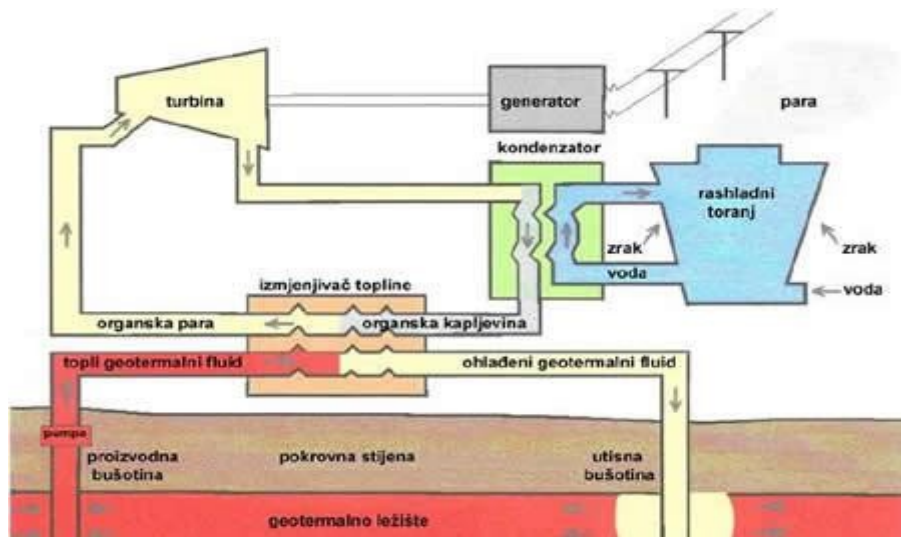
4.1. Geotermalne elektrane s binarnim ciklusom

U geotermalnim elektranama s binarnim ciklusom, toplina geotermalne vode (prvi fluid) predaje se preko izmjenjivača topline zatvorenom ciklusu radnog fluida (drugi fluid) u kojem se toplinska energija pretvara u mehanički rad. Radni fluid, odabran prema povoljnim termodinamičkim svojstvima, prima toplinu dakle od geotermalnog fluida, isparava, ekspandira u turbini, kondenzira, te se vraća u isparavač pomoću napojne pumpe. Mehanički rad turbine pretvara se pogonom generatora u električnu energiju.

Za razliku od ostalih tipova geotermalnih elektrana kod binarnih elektrana postoje dva fluida, geotermalna voda (primarni fluid) i radni medij (sekundarni fluid) koji se nalaze u potpuno odvojenim krugovima što znači da ne dolazi do njihovog miješanja. Topliji, geotermalni fluid predaje toplinsku energiju hladnijem radnom fluidu u izmjenjivaču topline. Najvažnija karakteristika radnog fluida je da ima mnogo nižu točku isparavanja od vode. Stoga je odabir radnog medija veoma važna komponenta pri dizajniranju ovakvog tipa elektrane.

Danas su binarna postrojenja najčešće korišteni tip geotermalnih elektrana u svijetu a ukupna instalirana električna snaga iznosi cca 274 MW. Prema broju jedinica čine 33% od svih geotermalnih elektrana u radu, ali proizvode samo 3% od ukupne snage. Prosječna snaga po jedinici je mala, samo 1,8 MW, mada u budućnosti dolaze u eksploataciju i jedinice sa snagama 7 - 10 MW s tzv. naprednim ciklusom.

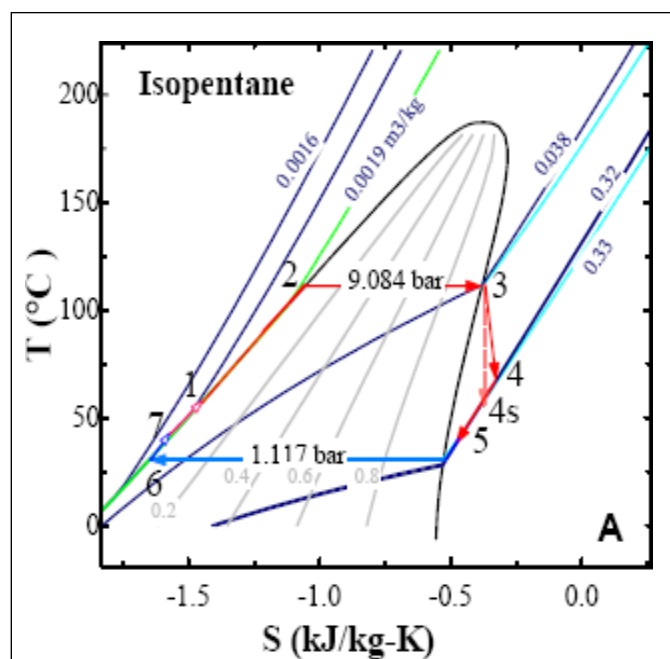
Većina binarnih elektrana (slika 17.) na svijetu kao radni medij koriste fluide organskog porijekla, poput *izobutana* i *izopentana*. No, između ostalog koriste se i radni mediji anorganskog porijekla(Kalina ciklus).



Slika 11. Shema binarne elektrane[2]

4.1.2 Geotermalne elektrane s organskim Rankine-ovim ciklusom (ORC)

Organski Rankine-ov ciklus se bazira na istim termodinamičkim principima i ima iste komponente (izmjenjivač, turbina, kondenzator, kondenzatorska pumpa) kao konvencionalni parni ciklus, samo što se umjesto vode kao radnog medija koriste organski spojevi poput toluena, pentana i drugih. Ovi fluidi su karakterizirani kao suhi fluidi i imaju neka zanimljiva svojstva u usporedbi s vodom. Organski fluidi su u prednosti u odnosu na vodu jer mogu ispariti pri nižim temperaturama i tlakovima, nije potrebno pregrijavanje i toplina koja se oslobađa isparavanjem je oko 10 puta manja nego kod vode.



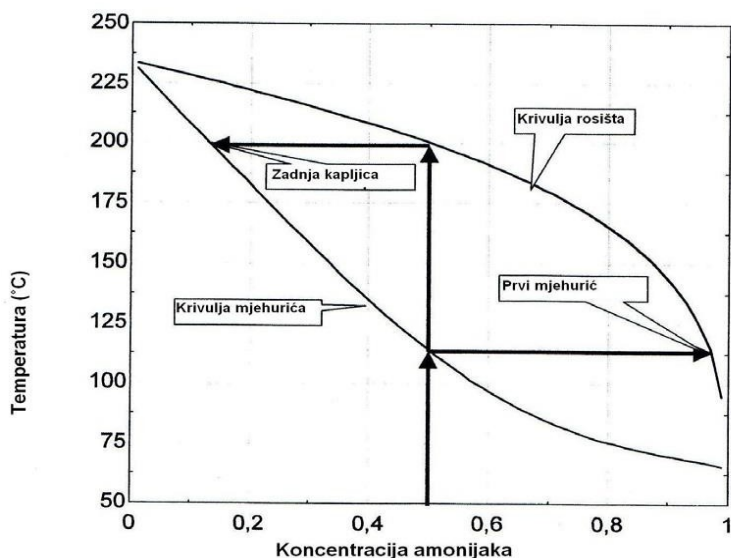
Slika 12. Osnovni termodinamički dijagram Rankineovog ciklusa sa izopentanom kao radnim fluidom

Na slici 18. prikazan je termodinamički dijagram ireverzibilnog Rankineovog ciklusa, tj. stvarni proces koji se odvija nad radnim medijem u sekundarnom krugu. On se razlikuje od idealnog Rankineovog ciklusa jer se uzimaju u obzir nepovratni gubici topline zbog trenja, promjene kinetičke i potencijalne energije, itd.

4.1.3 Geotermalne elektrane s Kalina ciklusom

Kalina tehnologija je dobila ime po izumitelju Alexanderu Kalina, ruskom znanstveniku. Metodologija je bazirana na proizvodnji električne energije upotrebljavajući toplinu geotermalnih resursa s ciljem isparavanja mješavine amonijaka i vode, koja cirkulira u zatvorenom krugu. Upravo mješavina amonijaka i vode čini ovu tehnologiju posebnom. Prednost ove mješavine je da se i isparavanje i kondenzacija mješavine događaju pri različitim temperaturama, tj. postoji raspon temperatura pri kojima se događa isparavanje i kondenzacija. Temperatura isparavanja je najveća pri 67 %-oj koncentraciji amonijaka i tada iznosi oko 95 °C.

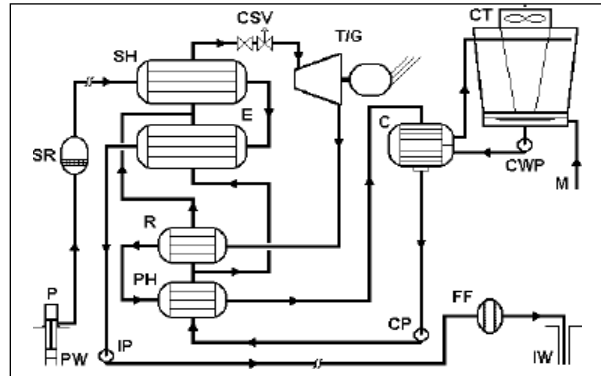
Na slici 19. je prikazan fazni dijagram mješavine amonijak-voda pri tlaku od 30 bara i procesu isparavanja 50%-tne mješavine. Donja krivulja, tzv. krivulja mjehurića, predstavlja krivulju pojave prvog parnog mjehurića. Taj mjehurić ima višu koncentraciju amonijaka od tekućine koja isparava. Kako je sadržaj amonijaka u mjehuriću veći nego onaj u tekućoj fazi, sadržaj amonijaka u tekućoj fazi se smanjuje. Gornja krivulja je krivulja rosišta kada zadnja kapljica ispari. Ta kapljica ima osjetno nižu koncentraciju amonijaka nego para.



Slika 13. Fazni dijagram amonijak voda pri tlaku 30 bara

Temperature izvora (geotermalni fluid) i ponora (rashladna voda u kondenzatoru) topline ograničuju gornju i donju temperaturu radnog fluida. Promjenom sastava mješavine amonijaka i vode kao radnog medija možemo upravljati tlakom u sistemu. Pri zadanim

uvjetima hlađenja tlak u kondenzatoru možemo sniziti smanjivanjem koncentracije amonijaka u radnom fluidu u fazi kondenzacije. Povećanje koncentracije amonijaka podiže se tlak isparavanja u drugom dijelu procesa. Na slici 20. prikazana je tipična shema postrojenja Kalina ciklusa.



Slika 14. Toplinska shema Kalina ciklusa[1]

5.Zaključak

Geotermalna energija uz promišljeno korištenje predstavlja obnovljivi resurs koji nema većih utjecaja na okoliš. Iako je većinom vezana za geološki aktivna područja iskorištavanjem srednje i nisko -temperaturnih izvora postala je važan dio, te je rasprostranjena u svim dijelovima svijeta, njen razvoj i uporaba se ubrzavaju čime predstavlja jedan od glavnih istraživačkih pravaca u energetici. U Republici Hrvatskoj postoji nekoliko obećavajućih geotermalnih izvora na kojima je moguća proizvodnja električne energije, a među njih spada i Draškovec.

6.LITERATURA

- [1] DiPippo R. *Geothermal Power Plants – Principles, Applications and Case Studies*. Oxford: Elsevier Ltd, 2005.
- [2] Geotermalna energija, <http://www.obnovljivi.com/geotermalna-energija/69-nacini-pretvorbe-geotermalne-energije-u-elektricnu-energiju?start=1>
- [3] I. Samodol i p. Zvonimir Guzović, Diplomski rad, Zagreb, 2008.
- [4] Koncept izvodljivosti, strategija i ciljevi geotermalnih istraživanja na području grada Slatine, Geoslatina d.o.o, 2010. God
- [5] Nacionalni energetska program za korištenje geotermalne energije – GEOEN, <http://www.eihp.hr/hrvatski/geoen-kop.htm#geoen>
- [6] http://hr.wikipedia.org/wiki/Tektonika_plo%C4%8Da (pristup 9.8.2018)
- [7] Toplinske tablice, FSB, Zagreb, 2007.
- [8] <http://www.obnovljivi.com/geotermalna-energija> (pristup 8.9.2018)
- [9] Guzović, Z., *Podloge za vježbe iz predmeta Turbostrojevi II*, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Sveučilište u Zagrebu, Zagreb, 1994.
- [10] Guzović Z. *Konstrukcija i proračun čvrstoće elemenata parnih i plinskih turbina*, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Sveučilište u Zagrebu, Zagreb, 1994.
- [11] www.eere.energy.gov/geothermal/powerplants (pristup 8.9.2018)
- [12] www.eihp.hr (pristup 8.9.2018)
- [13] <https://www.geothermal-energy.org/pdf/IGAstandard/WGC/2010/0517.pdf> (pristup 8.9.2018)
- [14] <https://www.energy.gov/eere/geothermal/electricity-generation#binarycycle> (pristup 8.9.2018)
- [15] <https://www.energy.gov/eere/geothermal/low-temperature-coproduced-resources> (8.9.2018)
- [16] <https://www.planete-energies.com/en/medias/close/low-temperature-geothermal-energy-heating> (8.9.2018)

7. Životopis

Tareq Al-Mufleh, student fakulteta kemijskog inženjerstva i tehnologije, [REDACTED]. Svoje školovanje je počeo u Osnovnoj školi Goričan te nastavio u Gimnaziji Josipa Slavenskog u Čakovcu. Tijekom školovanja trenirao atletiku i šah. S atletikom osvojili državno te se plasirali na svjetsko u Talinu, a šahom juniorsko prvenstvo .