

**OBNOVLJIVI IZVORI ENERGIJE**  
**GEOTERMALNA ENERGIJA**

Doc.dr.sc. Zdenko Šimić

U Zagrebu, ožujak 2010.

## Sadržaj:

G. GEOTERMALNA ENERGIJA.....	1
G.1 Porijeklo i priroda geotermalne energije .....	1
G.2 Geotermalni resursi.....	3
G.3. Direktno korištenje geotermalne energije za grijanje.....	5
G.4. Korištenje geotermalne energije za proizvodnju električne energije .....	7
Organski Rankineov kružni proces, [14] .....	9
Literatura: .....	12

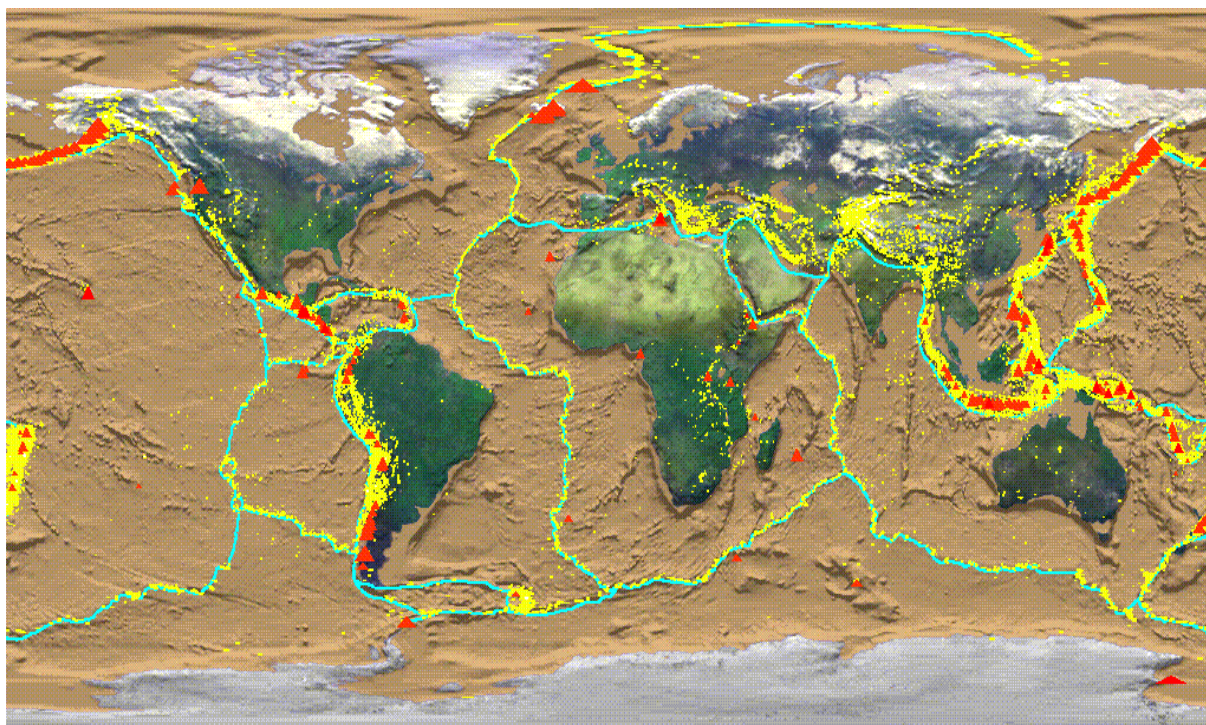
## G. GEOTERMALNA ENERGIJA

Svrstavanje geotermalne energije u obnovljive izvore opravdano je u širem smislu. Energija unutrašnjosti Zemlje nije obnovljiva, ali je ima toliko da za praktične primjene njeno eventualno iscrpljivanje nije važno. Povezanost geotermalne energije sa krutim, tekućim i plinovitim štetnim tvarima zahtjeva zatvoreni pristup korištenju da bi se osigurao relativno mali štetni utjecaj na okoliš.

Nastavak sadrži objašnjenje prirode i porijekla geotermalne energije. Slijedi procjena geotermalnih resursa. Nakon toga opisani su načini korištenja geotermalne energije: direktno zagrijavanje i proizvodnja električne energije. Poseban osvrt je dan na specifičnosti vezane za postrojenja u kojima se proizvodi električna energija. Navedena je i procjena resursa te stanje korištenja kako za svijet općenito tako za Hrvatsku specifično.

### G.1 Porijeklo i priroda geotermalne energije

Gravitaciona energija i zaostala toplina od formiranja Zemlje te radioaktivni raspad rezultirali su enormnom unutrašnjom kaloričkom energijom Zemlje. Procijenjena temperatura unutrašnje jezgre od oko 4000 °C, na dubini od 6370 km, postupno opada do samo nekoliko stupnjeva na površini zemlje (uz značajan doprinos Sunčeve energije). Zemljina kora debljine oko 30 km pliva na omotaču oko vanjske i unutrašnje jezgre. Ponašanje unutar jezgri je relevantno za magnetske polove Zemlje, a dinamika omotača utječe na vulkanske erupcije i velike potrese. Za korištenje geotermalne energije od važnosti je samo Zemljina kora i to posebno na mjestima gdje se dodiruju tzv. tektonske ploče. To je stoga što ne postoji tehnološka mogućnost pristupa većim dubinama. Granice tektonskih ploča predstavljaju mjesta velikog rizika od aktivnih vulkana, potresa i dobar potencijal za korištenje geotermalne energije.

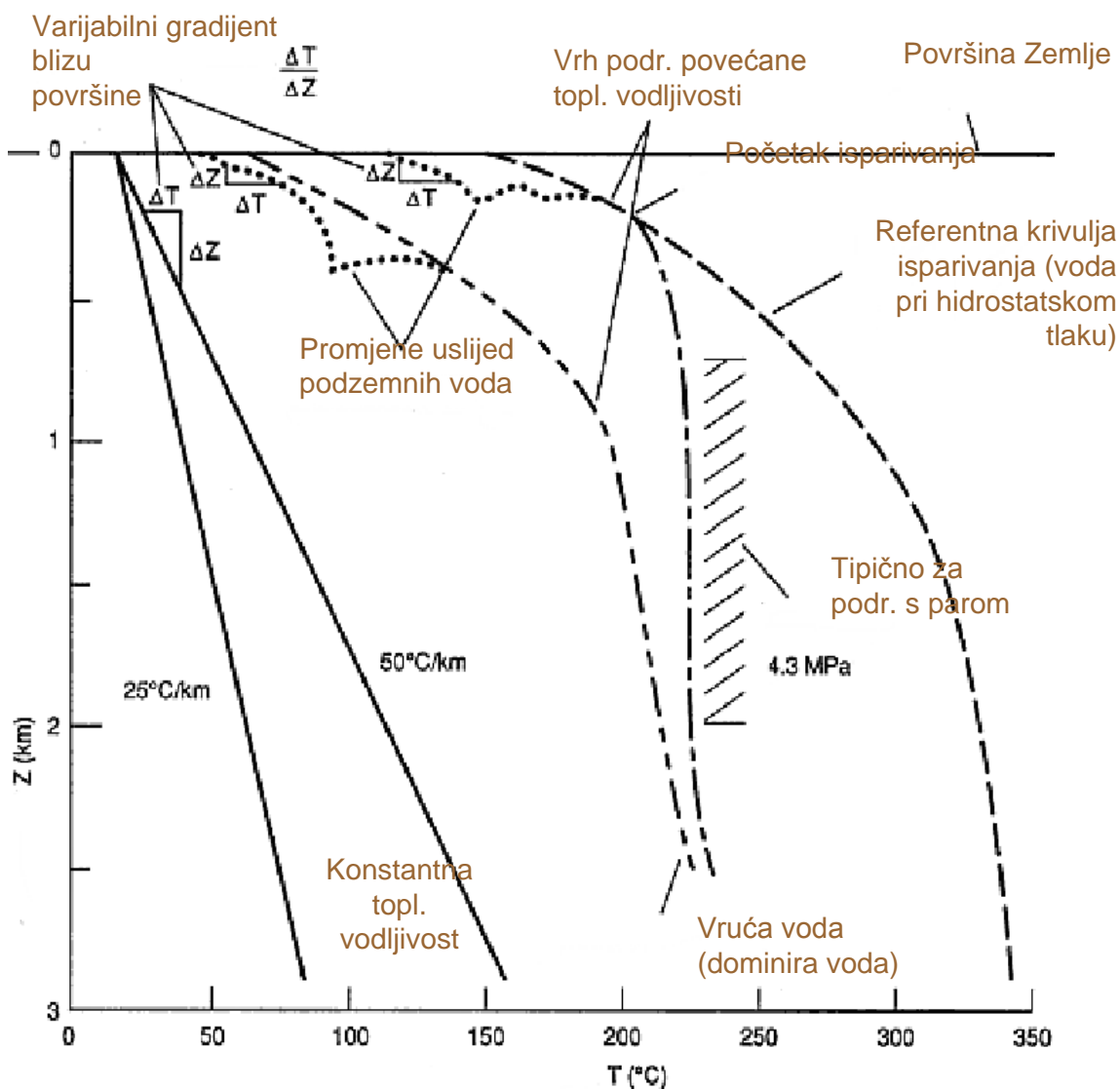


Slika G.1 Tektonske ploče, aktivni vulkani i geotermalni izvori (UiB, *Institutt for geovitenskap*)

Potencijal nekog područja za korištenje geotermalne energije grubo se može ocijeniti preko temperaturnog gradijenta ispod površine zemlje. Prosječan porast temperature iznosi manje od 30 stupnjeva Celzijevih na 1 km. Područje sa posebno dobrim potencijalom za korištenje geotermalne energije ima porast temperature oko 100 °C na 1 km. Međutim, kod dobrih izvora gdje se geotermalna energija i koristi porast temperature može biti i viši. Temperaturni gradijent služi samo za pojednostavljeni prikaz jer je stvarno kretanje temperature ovisno o prirodi geotermalnog izvora i sastavu tla.

Potencijal za korištenje geotermalne energije ovisi o dubini na koju treba bušiti, sastavu tla i prisutnosti te stanju vode.

Kapacitetom unutrašnje kaloričke energije prednjače najteže iskoristive **suhe vruće stijene**. Dostupne temperature se kreću između 150 i 300 °C na dubinama od 2,5 do 6 km. Najveći problem korištenju predstavlja preuzimanje toplinske energije. Da bi se preuzela toplina potrebno je dovesti medij (npr. vodu) i ostvariti kontakt sa vrućim stijenjem. Postoje razne ideje o stvaranju pukotina, ali sve je još uvijek u istraživanju.



Slika G.1a Porast srednje temperature u ovisnosti o dubini prema [12]

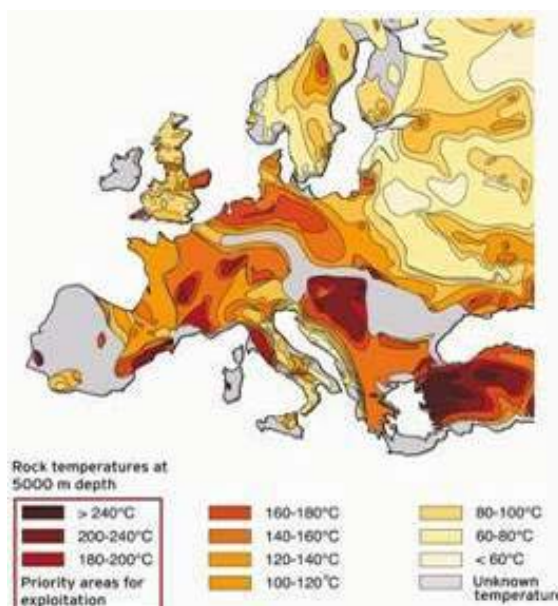
Na drugom mjestu po kapacitetu i potencijalu korištenja su geotermalni izvori na velikim dubinama s **vodom pod velikim tlakom**. Na dubinama od 2,5 do 9 km dostupne su temperature od oko 160 °C sa tlakovima preko 100 MPa. Pored problema sa velikim tlakom smetnju predstavlja i velika slanost (4-10%). Potencijal za kombinirano korištenje predstavlja zasićenost prirodnim plinom - volumno pet puta više plina (najviše metana). Za iskorištavanje ovog potencijala još uvijek nedostaju tehnološka rješenja.

Trenutno se koriste samo izvori do dubina od 5 km s **parom ili vodom na manjim tlakovima** (do 0,8 MPa). Temperature su u rasponu od 90 pa sve do preko 300 °C. Veće vrijednosti su rjeđe. Najpoželjniji su rjeđi isključivo parni izvori (npr. Geysers SAD i Larderello Italija) gdje para izlazi na temperaturi od oko 200 °C. Brojniji su izvori vode gdje voda izlazi sama ili se mora pumpati. Korištenje izvora vode i pare na nižim tlakovima ne zahtjeva posebnu tehnologiju za bušenje. Ipak, postrojenja moraju raditi u uvjetima velikih koncentracija otopina (i preko 25000 ppm).

## G.2 Geotermalni resursi

Korištenjem podataka dobivenih bušenjem, satelitskim snimanjem i modeliranjem moguće je procijeniti geotermalne resurse. Pri tome najvažniji su podaci o temperaturama, količini vode/pare te o sastavu tla na nekom području. Geotermalne se resurse može klasificirati prema temperaturi: nisko temperaturni (ispod 90 °C), visoko temperaturni (preko 150 °C), a srednje temperaturni između. Temperature određuju mogućnosti korištenja i načine primjene. Samo visoko temperaturni izvori se smatraju ekonomičnim i praktičnim za proizvodnju električne energije.

Procjena resursa se uobičajeno posebno iznosi za proizvodnju električne energije i za direktno korištenje toplinske energije. Dodatno se uzima u obzir sadašnje stanje tehnologije i predvidivo unapređivanje. Slike G.3 i G.3a koje slijede ilustriraju podloge za procjenu geotermalnih resursa u Europi i Hrvatskoj. Procjene su rezultat kombiniranja podataka dobivenih stvarnim bušenjima i modeliranjem uz pretpostavke o sastavu tla.



Slika G.2 EU geotermalni potencijal (za suhe vruće stijene na 5 km dubine)

Najkonzervativnija procjena svjetskih resursa geotermalne energije prema (Cataldi 1999 [6]) iznosi 5000 EJ, od toga se smatra 10% potencijalno iskoristivim za 100 godina. Uz pretpostavku da je 75% ekonomski iskoristivo i da je 33% visoko temperaturnih izvora dobije se potencijal od 670 EJ godišnje za direktnu primjenu i 1,2 EJ godišnje za proizvodnju električne energije (uz faktor opterećenja od 82% to je 46 GWe snage).

Puno optimističnija procjena prema (Stefansson 2002 [7]) polazi od iste procjene geotermalnih resursa, ali bez pretpostavke o iscrpljivanju. Uz slične ostale pretpostavke, bez umanjivanja od 25% za ekonomsku neiskoristivost, dobije se više od 125 puta veća procjena za proizvodnju električne energije i direktno korištenje.















Slika G.3 Geotermalni potencijal u Hrvatskoj

Za Republiku Hrvatsku najprije treba naglasiti da pola zemlje nema nikakav geotermalni potencijal dok pola predstavlja potencijal. Tako, dok južni dio zemlje ima ispodprosječni temperaturni gradijent (manje od 20 °C/km) na sjeveru je temperaturni gradijent iznad prosjeka (oko 50 °C/km sa varijacijama na posebnim lokacijama). Na temelju podatak iz stvarnih bušotina (oko 50 napravila INA) na dubinama od nekoliko km poznato je da potencijalni izvori imaju temperature vode od 40 do 170 °C. Prema tome se procjenjuje da je ukupni potencijal za proizvodnju električne energije skoro 50 MWe i direktno korištenje preko 800 MWt. Uz pretpostavku o faktoru opterećenja za proizvodnju el. en. od 80% to predstavlja potencijal za 0,35 TWh godišnje. Za direktno korištenje to je potencijal od oko 7 TJ godišnje.

### G.3. Direktno korištenje geotermalne energije za grijanje

Najjednostavniji i najperspektivniji način iskorištavanja geotermalne energije predstavlja direktno korištenje toplinske energije za različite namjene u turizmu, poljoprivredi, industriji i komunalnom grijanju. Direktno korištenje može biti samostalno ili kombinirano. Kombinirati se može sa drugim (konvencionalnim) načinima proizvodnje toplinske energije ili sa proizvodnjom el. en. iz geotermalnog izvora. Tablica ispod ilustrira neke moguće direktne primjene geotermalne energije. Dodatni primjeri za direktnu primjenu su npr.: prerada mesa (od 60 do 95 °C), proizvodnja sira (od 40 do 95 °C) i sušenje žitarica (od 50 do 150 °C).

Tablica G.1 Direktna mogućnosti korištenja geotermalne energije prema temperaturi izvora

T [°C]	Direktno korištenje geotermalne energije (ilustracija nekih primjena)					
160						
140						
120						
100						
80						
60						
40						
20						

Svjetski kapaciteti za direktno korištenje geotermalne energije procjenjuju se na 15 GWt instalirane snage i 191 PJ korištene topline godišnje (2000.). EU je u 2006. direktno iskoristila skoro 90 PJ (uključujući toplinske pumpe) s 9 GWt instaliranih kapaciteta.

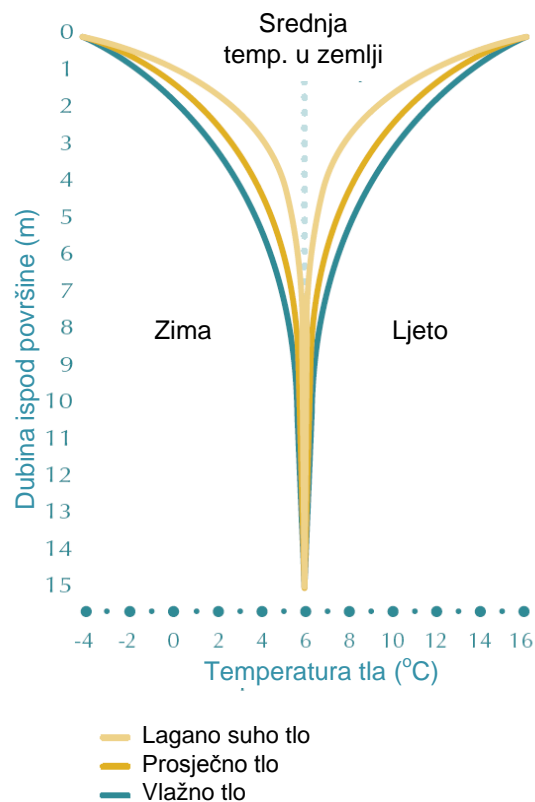
Direktna primjena je najveća za grijanje i odmah potom slijede kupališta, staklenici, ribogojstvo te industrija. Svaka zemlja ima svoje specifičnosti ovisno ne samo o geotermalnom potencijalu već i o brojnim drugim faktorima. Island je poseban primjer stoga što za ukupne potrebe primarne energije koristi oko 55% geotermalnu energiju (121 PJ, 2005.). Na prvom mjestu je grijanje (oko 60% ukupne korištene GE), a zanimljivo je korištenje za otapanje snijega i leda u naseljima.

Hrvatska najviše direktno koristi geotermalnu energiju za toplice i lječilišta (oko 114 MWt instaliranih kapaciteta), a manji dio za zagrijavanje (oko 37 MWt). Potencijal je značajan za povećavanje korištenja za toplice i komunalno grijanje. Veliki je potencijal za Hrvatsku primjena u poljoprivredi (proizvodnja u staklenicima), uzgoju riba te industriji (posebno prehrambenoj). Potencijalno važno iskustvo u ovom smjeru će predstavljati izgradnja i korištenje lokacija Velika Ciglena i Lunjkovec-Kutnjak gdje se planira, uz zdravstvenu i turističku namjenu, direktno koristiti toplinu za sušare, proizvodnju povrća, uzgoj ukrasnog bilja, komunalno grijanje te jednim dijelom i proizvodnju električne energije.

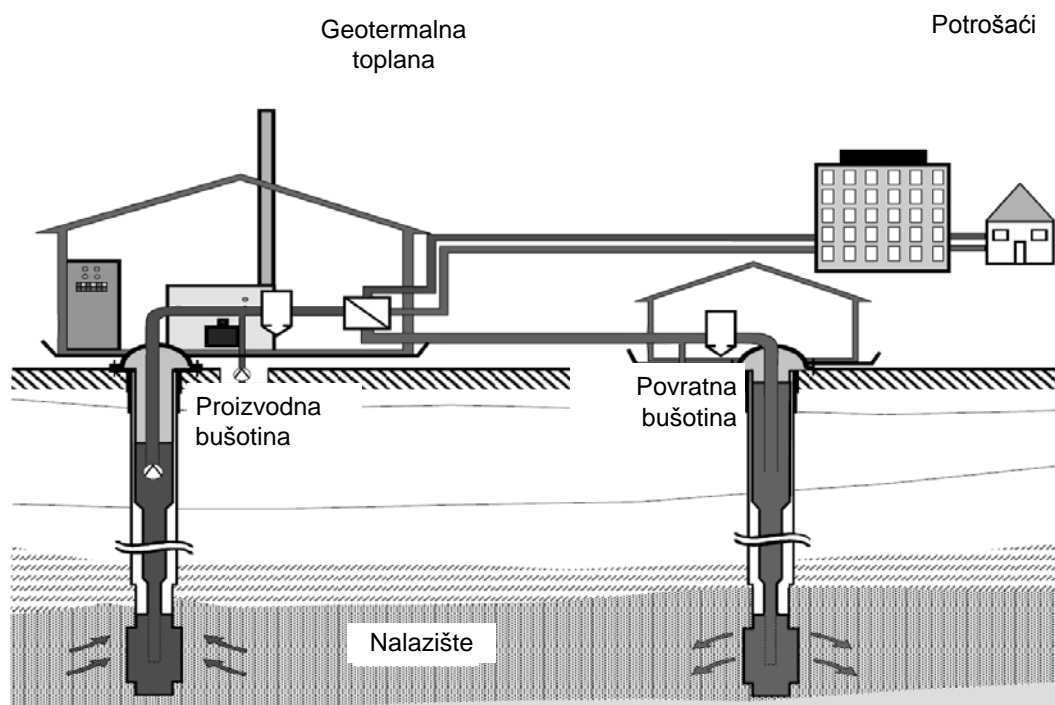
Mogućnost „pumpanja“ topline iz okoline korištenjem lijevokretnog kružnog termodinamičkog procesa često se primjenjuje za grijanje (i hlađenje) u razvijenom svijetu. Tzv. toplinske pumpe često se spominju zajedno sa geotermalnim izvorom energije. Dok se vanjska prosječna mjesečna temperatura zraka, za naše kontinentalno područje, kreće u rasponu od -5 do +25 °C temperatura tla ostaje približno konstantna (ovisno o podneblju od 6 do 8 °C) tijekom cijele godine već na dubini od 8 do 10 m. Razlika prema zraku je

iskoristiva i na dubini od 2 m gdje je godišnji raspon od 3 do 10 °C za suho tlo i par stupnjeva šire za vlažno tlo. Takav odnos temperatura u tlu i potrebne unutrašnje temperature u kući ili zgradi predstavlja potencijal za isplativo i racionalno zagrijavanje (hlađenje) s koeficijentom djelovanja od 3 do 6 (omjer dobivene toplinske energije i uložene el. en.). Ukupna djelotvornost ovisi pokraj konstantne manje razlike temperatura i o korištenoj tehnologiji a posebno o konkretnoj izvedbi (horizontalno, vertikalno, podzemne vode i drugo).

Korištenje toplinskih pumpi u razvijenom svijetu na daleko je većoj razini od situacije u Hrvatskoj. To se najprije odnosi na pojavu jeftinijih klima uređaja sa mogućnošću crpljenja topline iz zraka koje imaju relativno mali koeficijent djelotvornosti. No, faktor preobrazbe je konstantniji i bitno bolji kod primjena sa korištenjem toplinskog spremnika u zemlje (nekoliko metara ispod površine).



Slika G.4 Tipična varijacija temperature tla [13]



Slika G.5 Osnovni izgled geotermalnog postrojenja za komunalno grijanje [10]

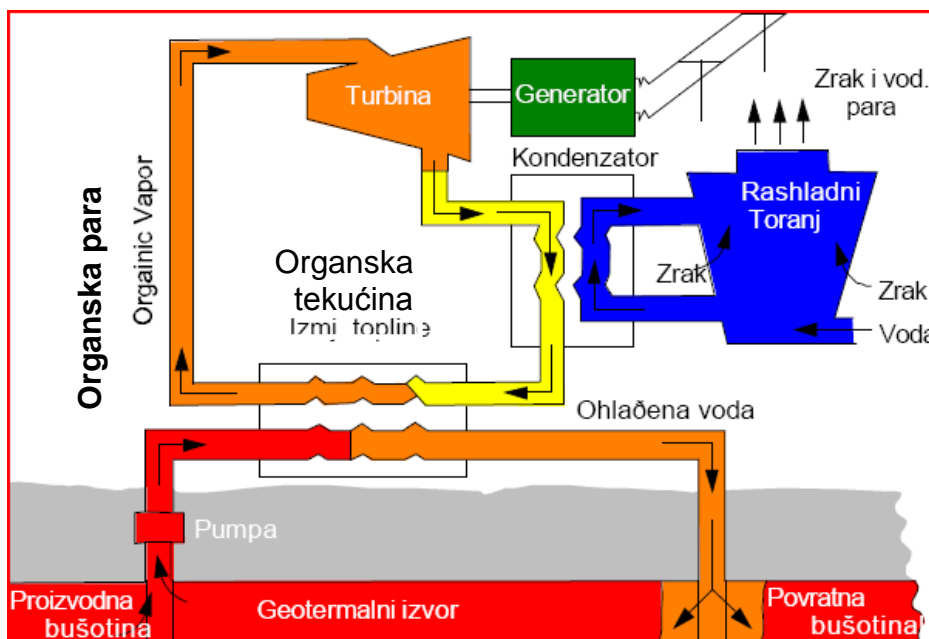


#### G.4. Korištenje geotermalne energije za proizvodnju električne energije

Proizvodnja električne energije korištenjem geotermalnog izvora u principu je slična klasičnoj konverziji unutrašnje kaloričke energije iz uobičajenih izvora toplinske energije (npr. ugljen). Sličnost prestaje kada je riječ o činjenici da treba otkriti dobro geotermalno nalazište i da je za to potrebno napraviti bušotinu (ili više njih) od nekoliko km. Dodatno, kod geotermalnih izvora vrlo su rijetki sa parametrima medija blizu parametara klasične termoelektrane.

Trenutno se u svijetu koristi skoro 9 GWe<sup>1</sup> instalirane snage geotermalnih elektrana (2005.) što predstavlja 0,2% ukupnih svjetskih kapaciteta za proizvodnju el. en. Prosječni faktor opterećenja iznosio je preko 70% i te su elektrane proizvele skoro 55 TWh el. en.. Europska unija ima ukupno 870 MWe instalirane snage geotermalnih elektrana (2007.) koje proizvode više od 9 TWh el. en. (prosječni faktor opterećenja 77%).

Najkvalitetniji geotermalni izvori daju suhu paru visoke entalpije (temperature oko 240 °C) na ulazu u postrojenje. Takva postrojenja se po svojoj izvedbi i snazi (reda 100 MW) ne razlikuju značajno od klasičnih termoelektrana. Specifičnost su centrifugalni separator nečistoća prije turbine i parni ejektor za uklanjanje nekondenzibilnih plinova (do 10% mase; CO<sub>2</sub>, NH<sub>4</sub> i H<sub>2</sub>S) iz kondenzatora. Za smanjivanje potrebnog rashladnog protoka tlak u kondenzatoru je relativno visok (~135 kPa) i to, uz relativno male temperature, dodatno umanjuje termički stupanj djelovanja prema klasičnim postrojenjima. Na svijetu ima malo primjera koji koriste izvore suhe pare (Lardarello<sup>2</sup> u Italiji, Matsukawa u Japanu, Geysers u SAD i Kamojang na Javi). Cijena ovakvih postrojenja sa bušotinama dvostruko je iznad cijene konvencionalnih (oko 2000 €/kW).



Slika G.6 Shematski prikaz binarne geotermalne elektrane

Srednje dobri i najčešće korišteni geotermalni izvori daju na izlazu mokru paru. Temperatura fluida je preko 200 °C s velikim salinitetom (do 280e3 ppm). Separiranje pare se odvija u jednom, dva i rjeđe tri stupnja. Broj stupnjeva se povećava za bolji ukupni stupanj djelovanja kod lošijih izvora. Kombinirani proces proizvodnje el. en. i topline se koristi umjesto

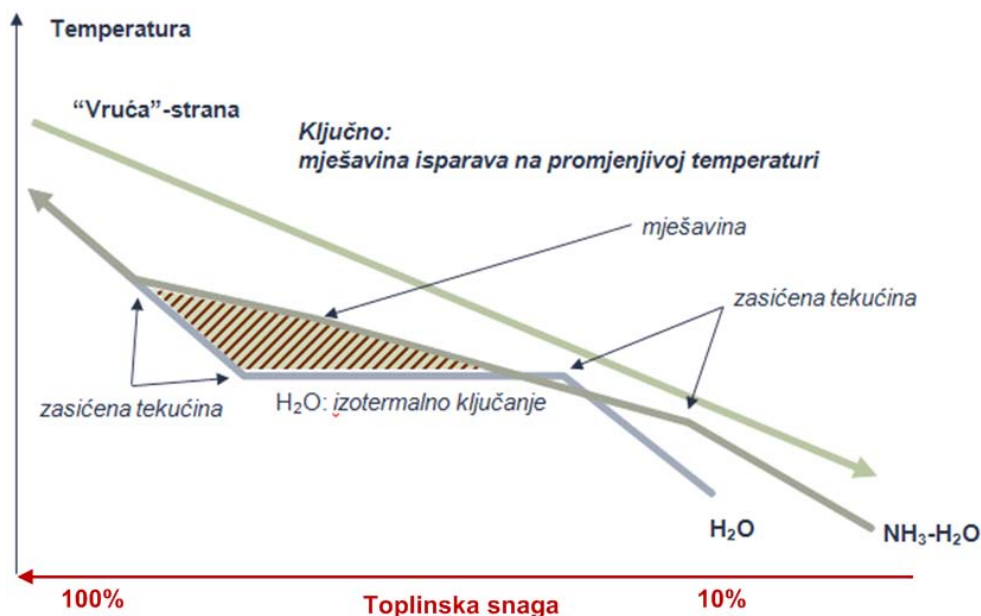
<sup>1</sup> Od ukupno 23 zemlje koje proizvode el. en. iz geotermalne energije vodeći su Filipini (1900 MWe), SAD (1850 MWe), Meksiko (1000 MWe), Italija (700 MWe), Japan (600 MWe), Novi Zeland (400 MWe), Island (200 MWe) i Costa Rica (150 MWe)

<sup>2</sup> Prva termoelektrana na geotermalnom izvoru sagrađena je u Larderellu u Toskani 1904.

trostruke separacije pare. Cijena ovakvih postrojenja otprilike je 30% veća od onih sa suhom parom. Elektrane sa mokrom parom su manjih snaga (10-50 MWe) i koriste se u SAD, Japanu, Novom Zelandu, Meksiku i na Islandu.

Ponajbolja nalazišta u Hrvatskoj dovoljno su dobra samo za korištenje najmanje djelotvornih i najskupljih postrojenja za konverziju geotermalne energije u el. en. s binarnim ciklusom. Ta se postrojenja služe Rankineovim kružnim procesom, s organskim medijem (npr. amonijak, propan, izobutan ili freon 12), a toplina iz bušotine prenosi se preko izmjenjivača u kružni proces. Binarni ciklus se koristi za bušotine koje daju medij na temperaturi od 100 do 200 °C. Radni medij stoga mora imati nisku temperaturu isparivanja. Ovakva postrojenja imaju najmanje snage (do 10 MW). Njihova prednost je u odvajanju turbinskog dijela (kružnog procesa) od medija iz izvora i time smanjivanje korozije i taloženja. Uobičajeno za ovakve primjene su potrebne pumpe u proizvodnoj bušotini (za sprečavanje isparivanja medija u nalazištu). Cijena binarnih geotermalnih postrojenja sa bušotinama se procjenjuje na oko 3000 €/kW. Njihova termodinamička efikasnost iznosi oko 8% (kod boljih rješenja i parametara nalazišta i do 15%). Slika G.6 prikazuje shematski postrojenje s binarnim ciklusom.

Na spomenutoj lokaciji Lunjkovec-Kutnjak planira se izgraditi binarno postrojenje koje će koristiti mješavinu vode i amonijaka u turbinskom krugu. Temperatura geotermalne vode je 140 °C, a protok od 53 do 70 l/s. Na povratku temperatura vode bit će manja od 70 °C. Snaga elektrane na pragu će iznositi od 1,85 do 2,47 MW ovisno o protoku. Očekivana efikasnost, uz faktor opterećenja 90%, je 13%. Ovako visok stupanj djelovanja za tako nisku temperaturu nalazišta ostvaruje tzv. Kalina ciklus. Slika G.7 prikazuje prednost Kalina ciklusa sa mješavinom vode i nisko-temperaturno hlapljivog medija u usporedbi sa ciklusom koji koristi jedan medij (Rankineov). Mješavina isparava na promjenljivoj temperaturi i to osigurava bolji prijenos toplinske energije, u izmjenjivaču topline između turbinske strane i strane geotermalnog izvora, što rezultira boljom efikasnošću.



Slika G.7 Unaprijeđeni prijenos topline sa mješavinom vode i drugog medija (Kalina)

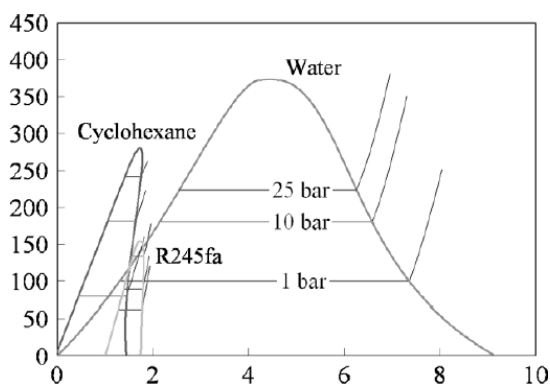
Postoje i kombinirana rješenja sa dvije turbine gdje jedna radi na separiranu paru, a druga na organski medij. Npr. elektrana Puna na Hawaiiima snage 30 MWe ima 10 modula na kombinirani ciklus spojenih na jedan generator (315 °C na 0,1 MPa).

Na kraju za povećavanje snage i poboljšavanje termodinamičkog stupnja djelovanja zanimljiva su hibridna rješenja. Dodatni izvor toplinske energije predstavljaju fosilna goriva ili biomasa. Jedno rješenje je da se geotermalnom toplinom predgrijava pojna voda ispred generatora pare. Drugo rješenje koristi konvencionalno gorivo (ili biomasu) za pregrijavanje pare prije ulaska u turbinu.

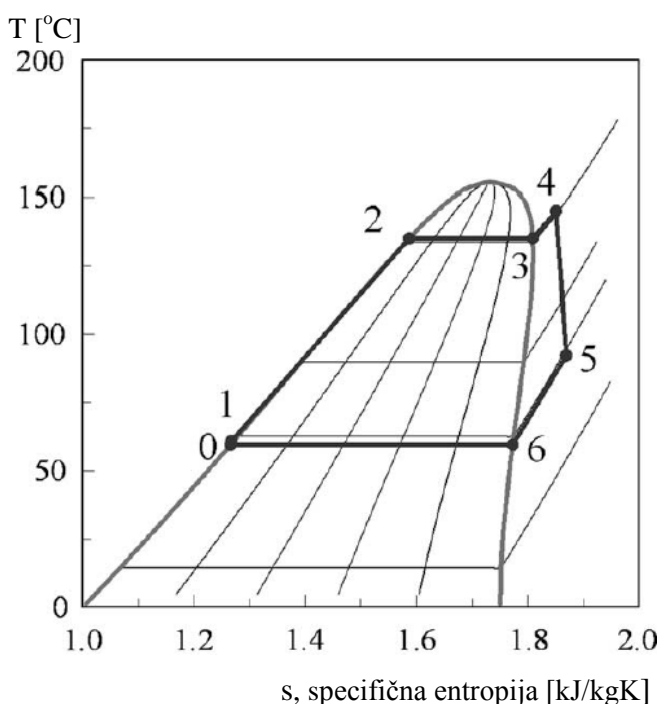
Za ekonomičnost geotermalne elektrane iznimno je važna dugotrajna iskoristivost nalazišta. Stečena iskustva i proučavanje pokazuju da se može računati na 50 do 100 godina eksploatacije. Cijena korištenja se smanjuje i blizu je konkurentnosti fosilnim gorivima (4-8 €/kWh) dijelom i standardizacijom i modularnošću korištene opreme.

### Organski Rankineov kružni proces, [14]

Najveću praktičnu prednost za geotermalne elektrane na niskim temperaturama (ispod 200 °C) ima organski Rankineov kružni proces (ORC - *Organic Rankine Cycle*). Za ORC vrijede značajne sličnosti u odnosu na Rankineov kružni proces gdje se koristi voda i vodena para. Primjena ORC nije ograničena samo na geotermalnu energiju već i na Solarnu i energiju biomase. Kod primjene biomase, gdje se mogu postići veće temperature moguće je koristiti ostatnu toplinu za grijanje. Kod izvora topline sa značajnom ostatnom toplinom moguće je korištenje ORC. Slika G.7a prikazuje T-s dijagrame za vodu i dva organska medija u području važnom za odvijanje kružnog procesa.



Slika G.7a T-s dijagram za ORC: usporedba krivulje razgraničenja za dva organska medija i vodu (gore); ORC proces za medij R245fa; 0-1 kompresija u pojnoj pumpi, 1-2 predgrijavanje, 2-3 isparivanje, 3-4 pregrijavanje, 4-5 ekspanzija, 5-6 pothlađivanje, 6-0 kondenziranje (desno)



Termodinamička efikasnost se može odrediti omjerom neto dobivenog mehaničkog rada i dovedene toplinske energije u proces:

$$\eta_{th} = \frac{w_{net}}{q_{dov}} = \frac{q_{dov} - q_{odv}}{q_{dov}} = 1 - \frac{q_{odv}}{q_{dov}} = 1 - \frac{h_6 - h_0}{h_4 - h_1}$$

Organski medij karakteriziraju važni parametri za proces, zapaljivost, otrovnost te utjecaj na atmosferu<sup>3</sup>. Premda se organski mediji pregrijavaju to nije toliko značajno za smanjivanje

<sup>3</sup> Npr. halogenizirani CFC mediji sa značajnim potencijalom za uništenje ozonskog omotača se zabranjuju (npr. R141b koji ima tzv. *Ozone Depleting Potential* 0,11 je kompletno zabranjen u EU 2010.), a za hidro- (H) i per- (P) fluorokarbonati (FC) se zahtjeva smanjeno ispuštanje u stacionarnim primjenama.

vlažnosti na izlazu iz turbine jer je medij redovito u suhom stanju (točka 5 na slici G.7a). Ovo se pozitivno odražava na lopatice i brže pokretanje ciklusa. Relativno mala razlika u entalpiji organskog medija u ORC zahtijeva veće masene protoke u odnosu na rješenje s vodom. Stoga su potrebne veće turbine koje imaju efikasnost do 85%.

Kritična se temperatura organskih medija nalazi u rasponu od 100 do 280 °C. Kritični tlak varira od 2,9 do preko 4,2 MPa. Temperatura zasićenja, pri normalnom tlaku, ide od -26 do 80 °C. Tlak zasićenja, pri 20 °C ide od 570 do 10 kPa. Npr. za medij R245fa  $T_c=154$  °C,  $p_c=3,65$  MPa,  $T_{s,1\text{ bar}}=14,8$  °C i  $p_{s,20\text{ °C}}=120$  kPa.

Za geotermalna nalazišta s medijem na nižim temperaturama primjena ORC je odgovarajuće rješenje.

Primjena ORC je zabilježena i u elektranama na biomasu za primjene gdje snaga ne prelazi 1 MWe. Efikasnost proizvodnje el. en. u ovakvim primjenama se kreće između 6 i 17 %. Prednost primjene je u jednostavnom održavanju

Svi procesi koji imaju otpadnu toplinu su potencijal za primjenu ORC za proizvodnju el. en. Kod desalizinacije također postoji potencijal za primjenu ORC jer je primjena reverzne osmoze energetski znatno efikasnija od procesa promjene faze vode. Kao izvor topline koristi Sunčeva energija preko cijevnih vakumiranih kolektora.

Iz svega navedenoga je lako zaključiti da se ORC može dobro uklopiti u rješenja gdje se kombinirano koristi toplinska i električna energija.

#### ***G.4. Zaključno***

Sastav vode/pare koja dolazi iz geotermalnog nalazišta zasićen je agresivnim plinovima i tvarima koje stvaraju naslage na dijelovima postrojenja i potencijalno predstavlja prijetnju okolišu. Razvoj tehnologije smanjuje cijenu rješavanja navedenih problema, a primjena zatvorenog ciklusa čuva okoliš. Važan uvjet za to je vraćanje iskorištenog medija u nalazište. Ukoliko se sve opasne tvari vrate u nalazište ili na drugi način zbrinu jedini problem po okoliš ostaju staklenički plinovi. To se primarno odnosi na CO<sub>2</sub>, metan i slično. Ispuštanja CO<sub>2</sub> su skoro 10 puta manja u odnosu na konvencionalnu termoelektranu na ugljen (100 kg CO<sub>2</sub>/MWh). Metan i drugi slični plinovi se mogu koristiti ili spaljivati.

Prema svemu izgleda da je geotermalna energija obnovljivi izvor koji nema problema sa nestalnošću. Ograničenje predstavlja činjenica da se može koristiti samo na mjestu gdje je nalazište. Ovo je veliki problem za direktno korištenje i potencijalno problem za mjesta koja nisu u blizini el. en. mreže.

Trenutna razina korištenja geotermalne energije u raskoraku je sa potencijalom. Glavna prepreka je u relativno velikim kapitalnim ulaganjima (istraživanje nalazišta košta i preko 20% investicije). Za pretpostaviti je da će daljnje poskupljenje fosilnih goriva i nastojanje da se smanje ukupne emisije stakleničkih plinova povećati korištenje geotermalne energije. Zemlja poput Hrvatske sigurno ne može riješiti pitanje proizvodnje el. en. korištenjem geotermalne energije, ali može potražiti mogućnost za dodatne ekonomske efekte posebno u direktnoj primjeni.



## Literatura:

- [1] Ronald DiPippo, Geothermal Power Plants, Principles, Applications, Case Studies and Environmental Impact, Second Edition, BH 2007
- [2] Harsh Gupta and Sukanta Roy, Geothermal Energy, An Alternative Resource for the 21st Century, Elsevier 2007
- [3] Renewable Energy: RD&D Priorities, Insights from IEA Technology Programmes, IEA, OECD 2006
- [4] European Commission, Directorate-General for Energy and Transport: „COM 2001/77/EC: Directive on Electricity Production from Renewable Energy Sources”
- [5] EU RES Export Masterplan 2002
- [6] Cataldi, R., Geothermal energy development in Europe to year 2020: prospects or hopes? Technica Poszukiwan Geologicznych, 4-5, 1999, 48-59.
- [7] Stefansson, V., Global perspective on geothermal energy. Submitted to IEEE, 2002.
- [8] I. Raguzin, D. Validžić, I. Kezele: „Novi propisi za obnovljive izvore energije“, časopis EGE, 2/2007.
- [9] Nacionalni energetske programi, Uvodna knjiga, Energetski institut "Hrvoje Požar", Zagreb, 1998.
- [10] M. Kaltschmitt, W. Streicher, A. Wiese, Renewable Energi – Technology, Economics and Environment, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2007
- [11] EIHP, Energija u Hrvatskoj 2006, Ministarstvo gospodarstva, rada i poduzetništva 2007.
- [12] Wohletz, Kenneth, and Grant Heiken. *Volcanology and Geothermal Energy*. Berkeley: University of California Press, 1992. <http://ark.cdlib.org/ark:/13030/ft6v19p151/>
- [13] Clean Energy Project Analysis: RETScreen Engineering & Cases, Natural Resources Canada, 2005
- [14] A. Schuster, S. Karellas, E. Kakaras, H. Spliethoff ; Energetic and economic investigation of Organic Rankine Cycle applications, Applied Thermal Energy 29 (2009) 1809-1817