

# GEOTERMALNA ENERGIJA

Doc.dr.sc. Zdenko Šimić

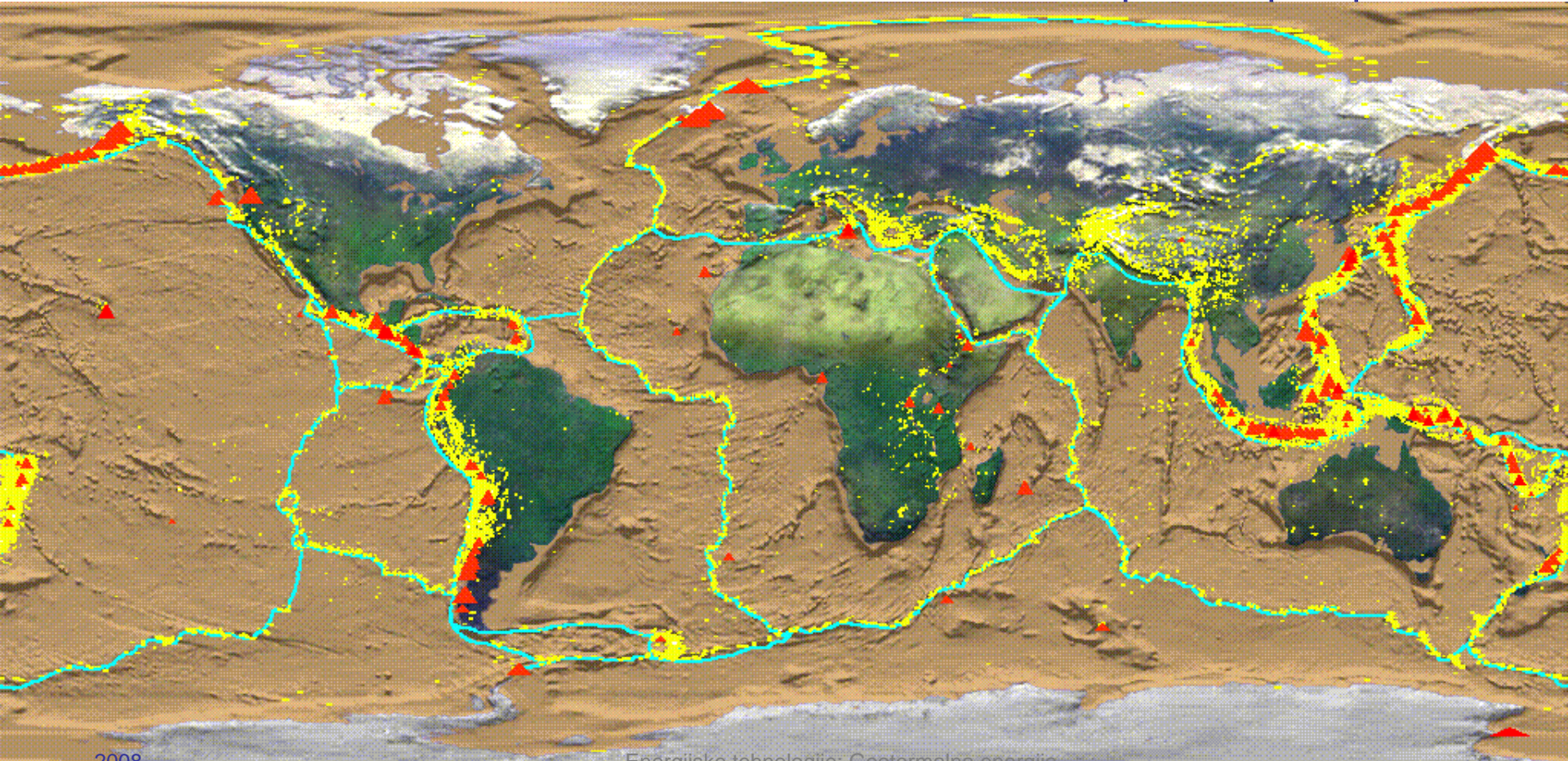
*Fakultet elektrotehnike i računarstva Zagreb,*

***Zavod za visoki napon i energetiku***

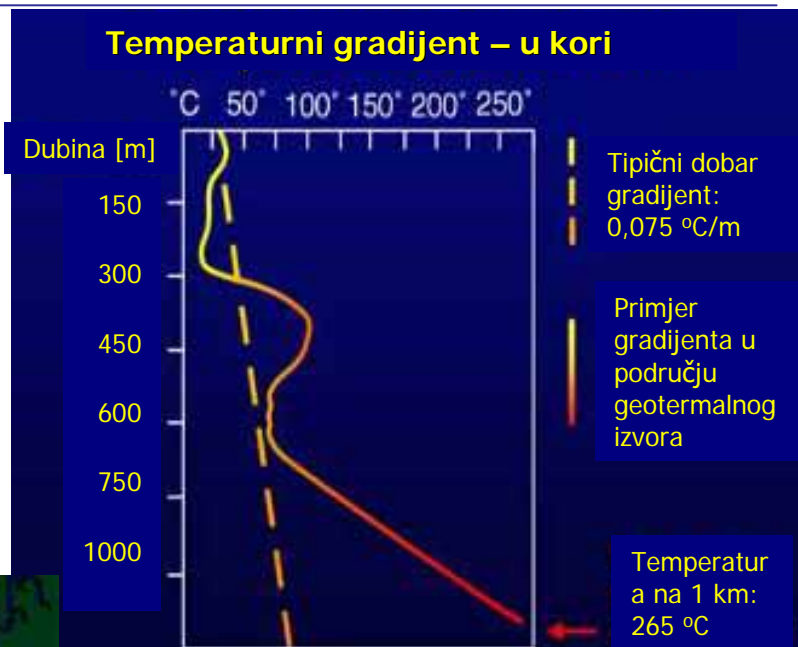
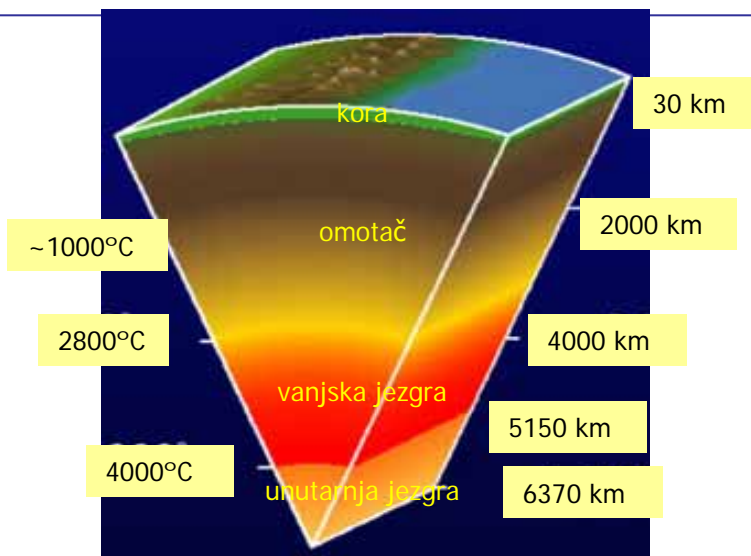
*zdenko.simic@fer.hr*

# Sadržaj

- Porijeklo
- Potencijal
- Korištenje:
  - Grijanje
  - Produkcija el. en.
  - Toplinske pumpe

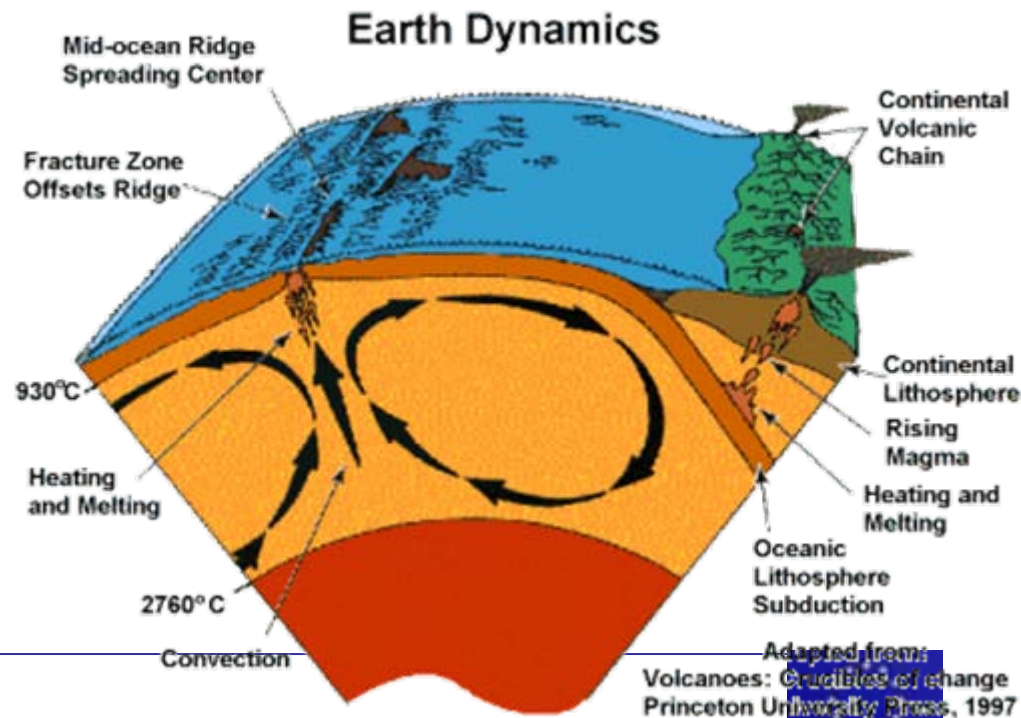


# Temperature u Zemlji



# Unutrašnja kalorička energija Zemlje

- Enormna količina energije
  - Samo mali dio dostupan
- Na površini  $0,06 \text{ W/m}^2$ 
  - Izvorna toplina i drugi procesi (~60%)
  - Radioaktivni raspad  
~40%;  $U_{235,238}$ ,  $Th_{232}$ ,  $K_{40}$
  - Površina za 100W?
- Litosfera: **kondukcija**
  - prijelaz topline bez pomicanja materije
- Omotač: **konvekcija**
  - prijenos topline gibanjem materije (nema radioaktivnosti)
- Izvor za korištenje:
  - Vruće suhe stijene
  - Voda na velikim dubinama i pod velikim tlakom
  - Voda/para na manjim dubinama



# Dobri i nedostupni izvori

## Vruće suhe stijene

- Dubina i temperatura:
  - 2,5 do 6 km
  - od 150 do 300 °C
- Najveći i najteži izvor za korištenje
  - Stijene slabo vode toplinu
  - Potrebno je izlomiti stijene i dovesti vodu
    - Eksplozije (nuklearne!?)
    - Voda pod tlakom
- Istražuje se

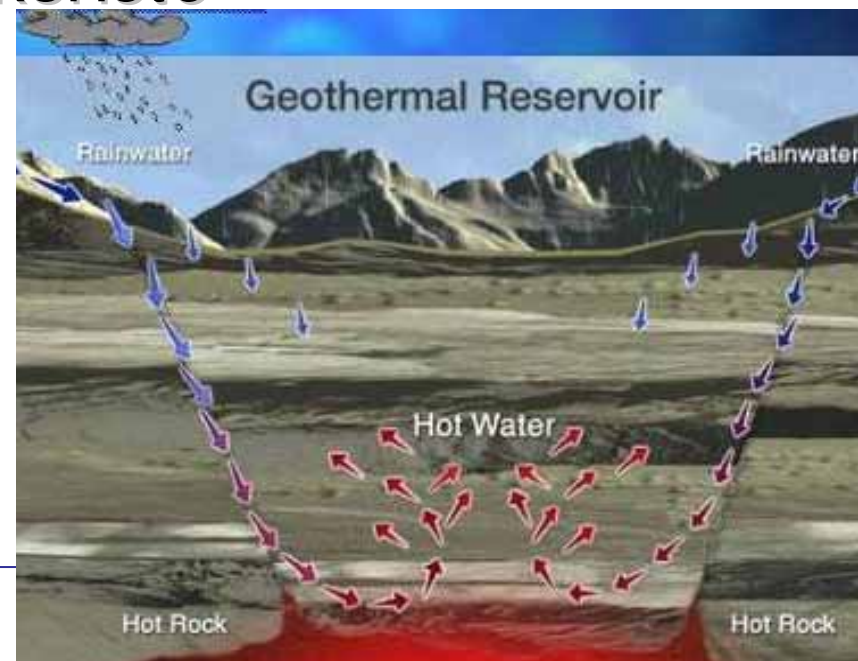
## Voda na velikoj dubini i velikom tlaku

- Dubina i temperatura:
  - 2,5 do 9 km
  - oko 160 °C i veliki tlak (>1000 bar)
- Ostale karakteristike
  - Velika slanost (4-10%)
  - Zasićeno prirodnim plinom
    - Najviše metana CH<sub>4</sub>
    - Oko 5x više plina volumno
    - Potencijal za kombinirano korištenje
- Istražuje se



# Voda/para na manjim tlakovima i dubinama

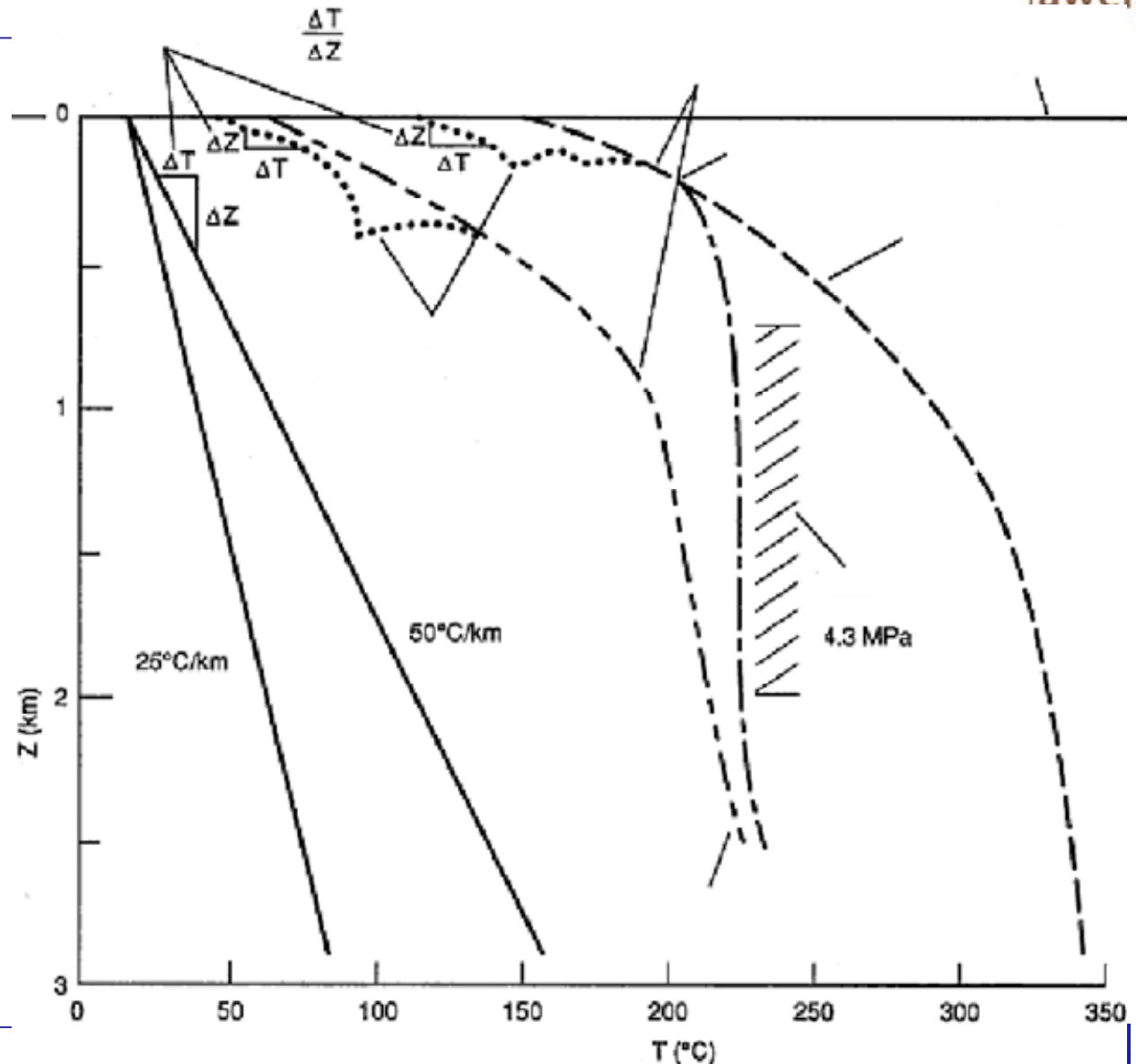
- Dubina, temperature i tlakovi:
  - do 5 km, do preko 300 °C, do 8 bara
- Parni izvori su najpoželjniji ali malobrojni
  - Para sama izlazi van iz bušotine (oko 200 °C)
  - Geysers (SAD) i Larderello (Italija)
- Vodeni izvori se najčešće koriste
  - Voda izlazi sama ili se pumpa
  - Velike koncentracije otopina ( i preko 25000 ppm)
- Komercijalno se koriste
  - ne zahtijevaju posebno napredne tehnologije za bušenje i eksploataciju



ppm – *parts per million* (dijelova u milijun)

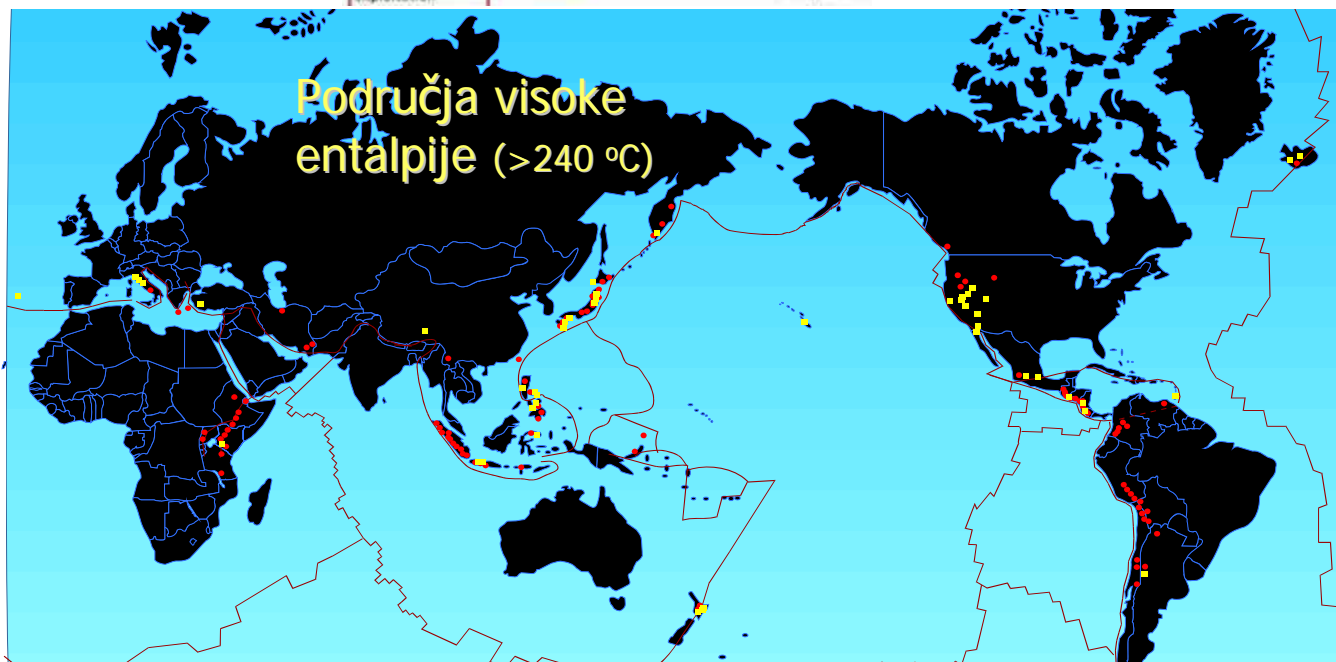
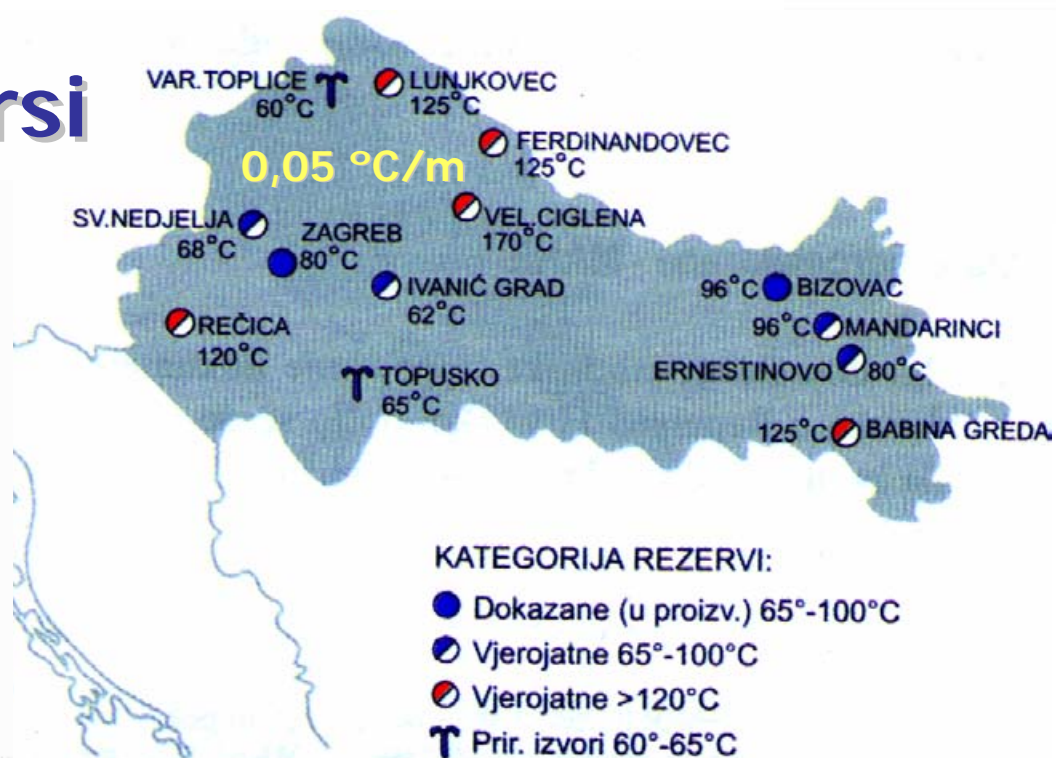
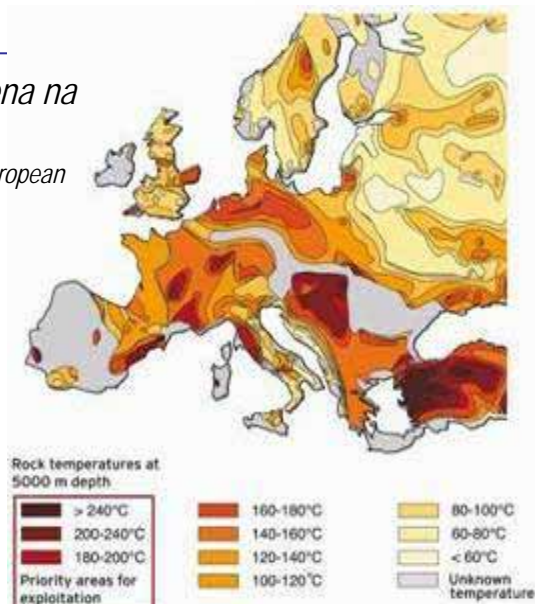
# Porast temperature u Zemlji

Geotermalne prilike i vodljivost tla određuju gradijent rasta temperature u tlu.



# Geotermalni resursi

Temperatura stijena na  
5 km dubine  
(EEIG "Heat Mining", European  
Hot Dry Rock Project)



INA od 1976. napravila više od 50 dubokih bušenja.  
Temperaturni gradijent ide i do 0,07°C/m.  
Temperature u rasponu od 40 – 170°C.  
Procjene:

~50 MW<sub>e</sub>  
~800 MW<sub>t</sub>



# Direktno korištenje



Gretz, Warren

A fish farm in Colorado



Gretz, Warren

Greenhouse in Colorado













Gretz, Warren

Crop dehydration plant in Nevada.

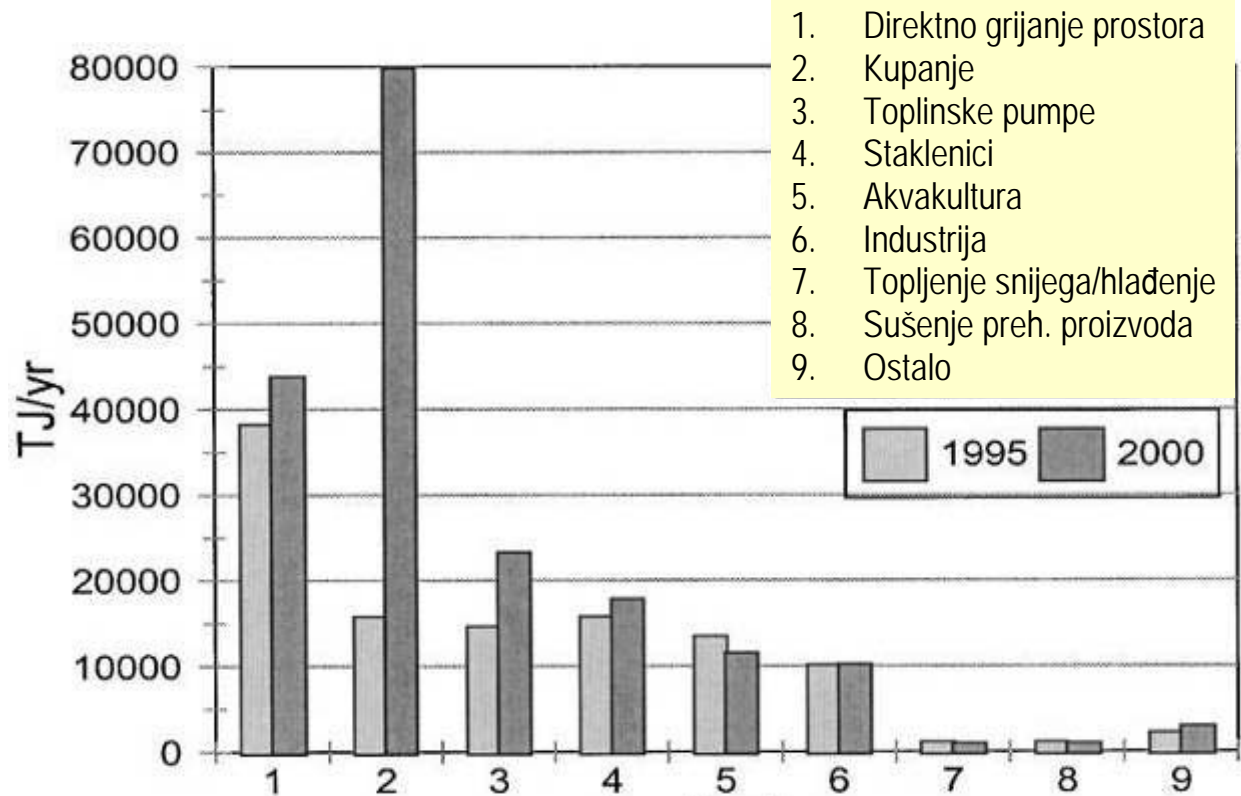
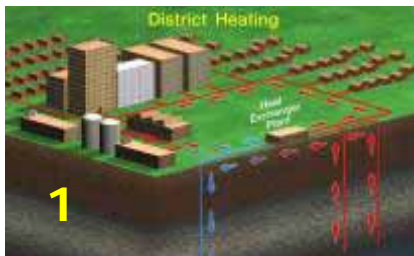


Najstariji način korištenja geotermalne energije:

- Samostalno ili
- Komplementarno proizvodnji el. en.

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

# Direktno korištenje geotermalne energije

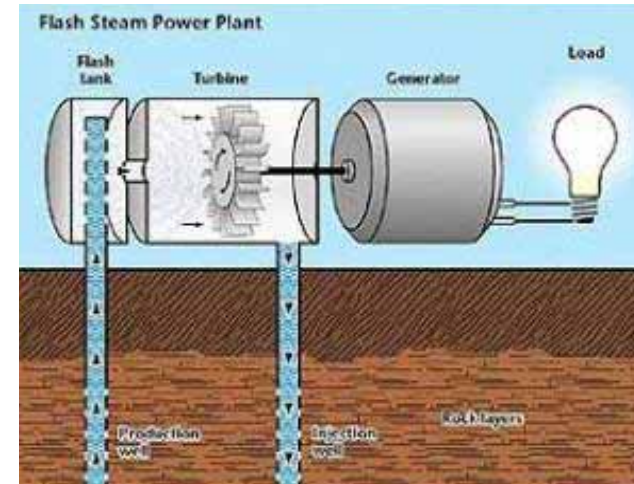
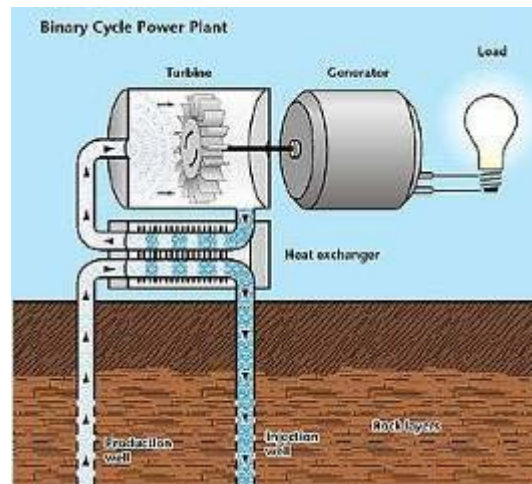
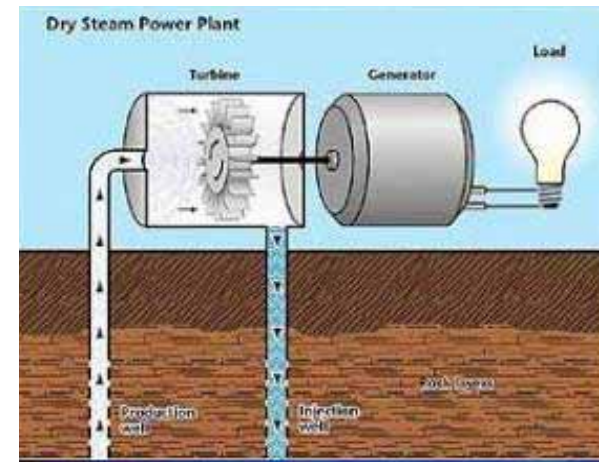


Kapaciteti u svijetu 2000.:

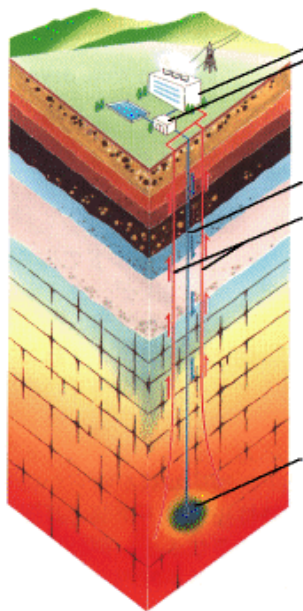
- Instalirano 15 GW<sub>t</sub>
- Iskorišteno 191 PJ

# Geotermalne elektrane

- Elektrane na suhu paru
- Elektrane sa separiranjem pare "Flash steam"
- Elektrane s binarnim ciklusom



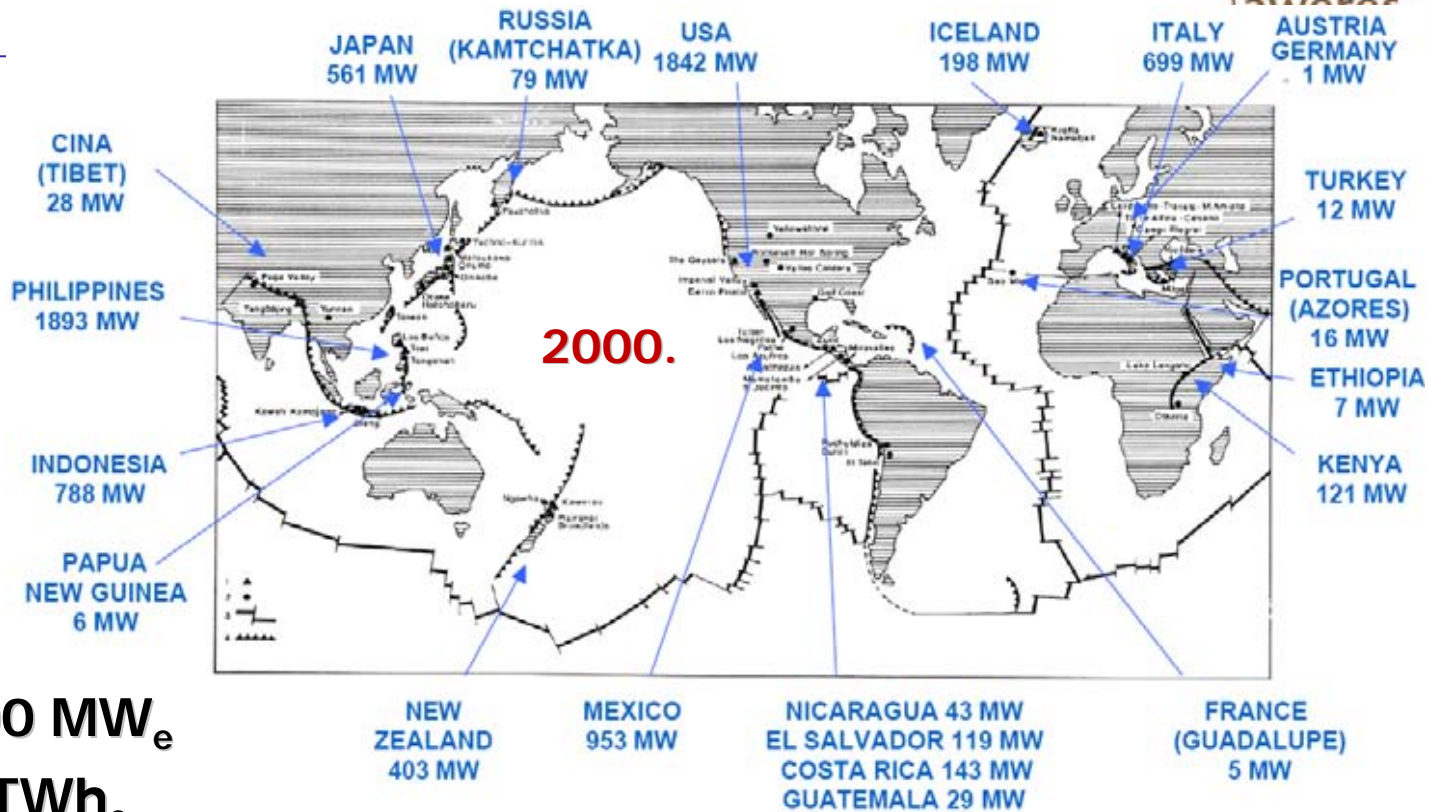
# Geotermalna električna energija



Elektrana  
Pumpa

Bušotine:  
povratna i  
proizvodna

Nalazište



$$P = 8700 \text{ MW}_e$$

$$W = 55 \text{ TWh}_e$$

Porast od ~10%/god.

Potencijal:

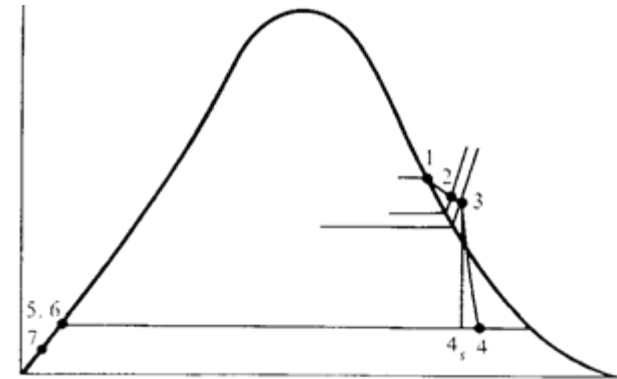
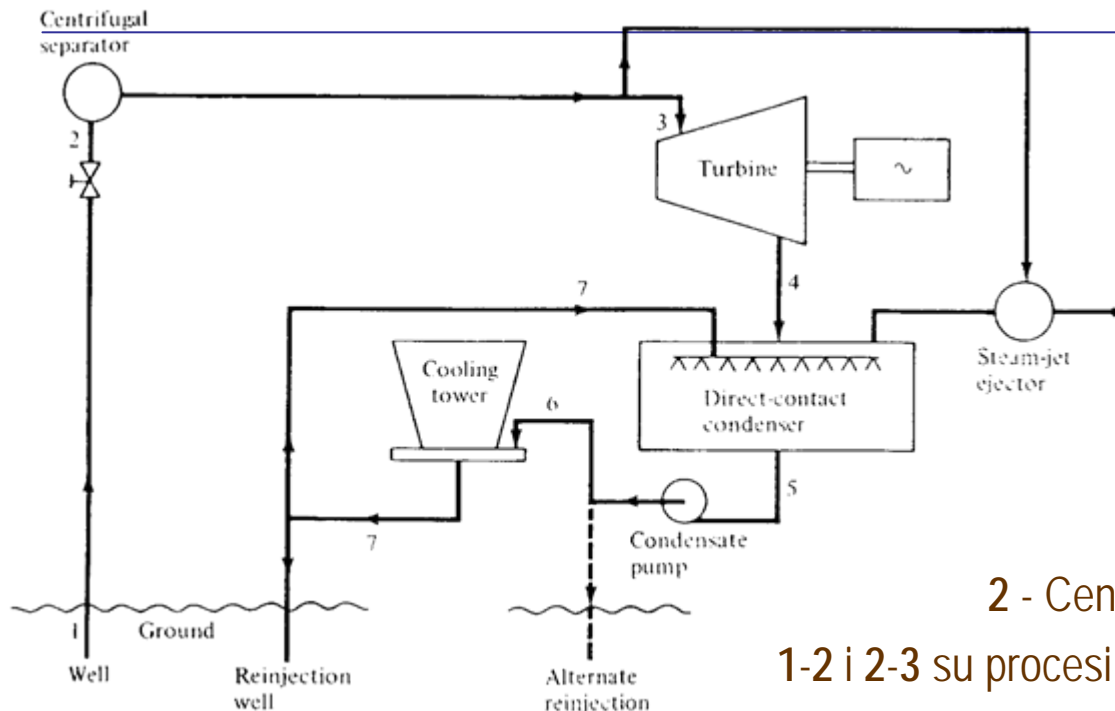
- Do 100 GW s današnjom tehnologijom
- Dvostruko više s naprednim tehnologijama
- Ukupno se procjenjuje na nekoliko tisuća GW



First Geothermal Power Plant, 1904, Larderello, Italy



# Elektrane na suhu paru



T-s dijagram

Jeftine, velike i rijetke

2 - Centrifugalni separator odvaja nečistoće

1-2 i 2-3 su procesi prigušivanja uz konstantnu entalpiju

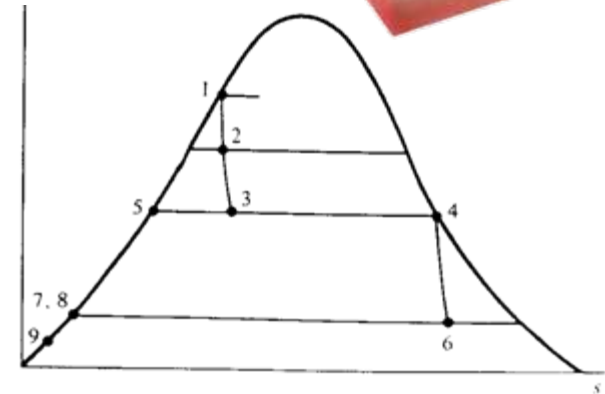
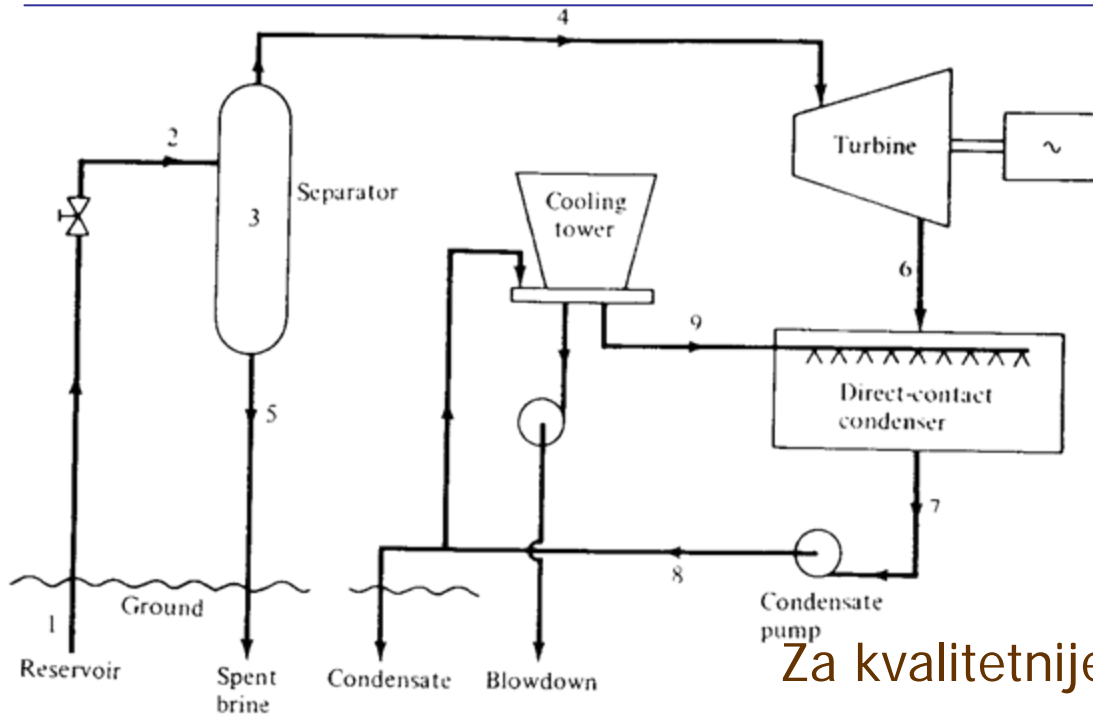
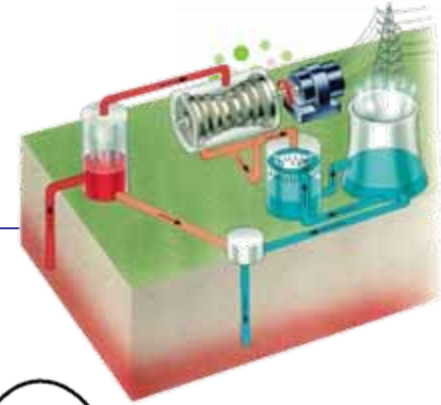
4 - izlaz iz turbine se miješa s recirkuliranom (5, 7) rashladnom vodom u kondenzatoru s direktnim kontaktom i višak se vraća u zemlju

Nekondenzibilni plinovi ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{NH}_4$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ ) se moraju ukloniti iz kondenzatora zbog korozije i tlaka parnim ejektorom (za pogon se izdvaja dio pare).

Elektrane u pogonu (jedinice npr. 100 MW): Geysers (SAD), Larderello (Italija), Matsukawa (Japan)

Za smanjivanje potrebnog rashladnog protoka tlak u kondenzatoru je visok (~135 kPa) što uz male temperature dodatno umanjuje termički stupanj djelovanja.

# Elektrane sa separiranjem pare "Flash steam"



T-s dijagram

Za kvalitetnije izvore vode, preko 200 °C  
Salinitet i do 280000 ppm.

1-234-5 su procesi prigušivanja uz konstantnu entalpiju

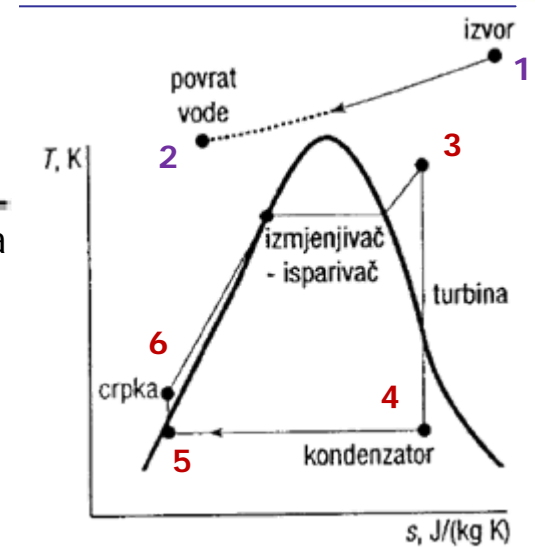
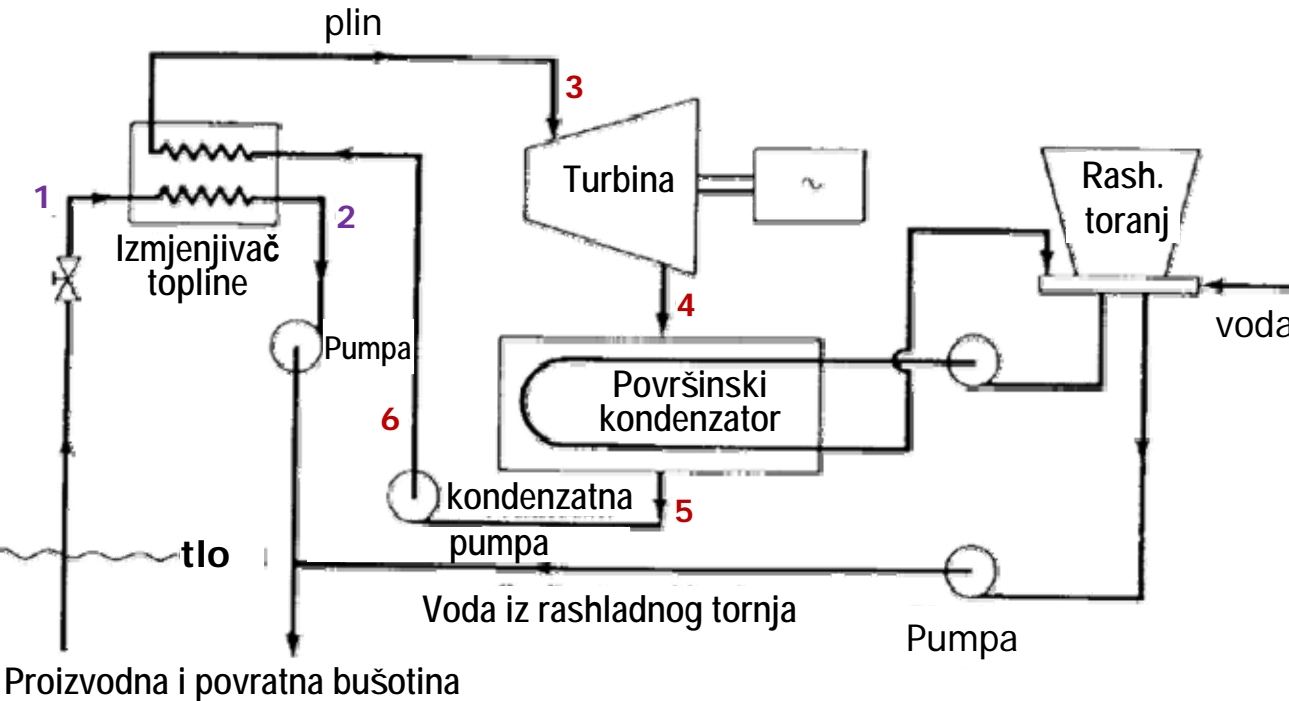
**Problemi:** Znatno veći potrebni protoci (utjecaj na okolno zemljište te dimenzije i degradiranje postrojenja zbog dodatnih sastojaka)

Elektrane u pogonu (jedinice od 10-50 MW): Italija, Japan, Novi Zeland, Meksiko, SAD

Termički stupanj djelovanja još manji zbog niske temperature i niske kvalitete pare.



# Elektrane s binarnim ciklusom



T-s dijagram

Za manje kvalitetne izvore (ispod 200 °C)

Unapređenje za veći stupanj djelovanja.

Proces se provodi kao Rankineov organski – radni fluid ima nisku temperaturu isparivanja (izobutan  $C_4H_{10}$ , freon12, amonijak ili propan)

Vlastita potrošnja u elektrani je oko 35%.

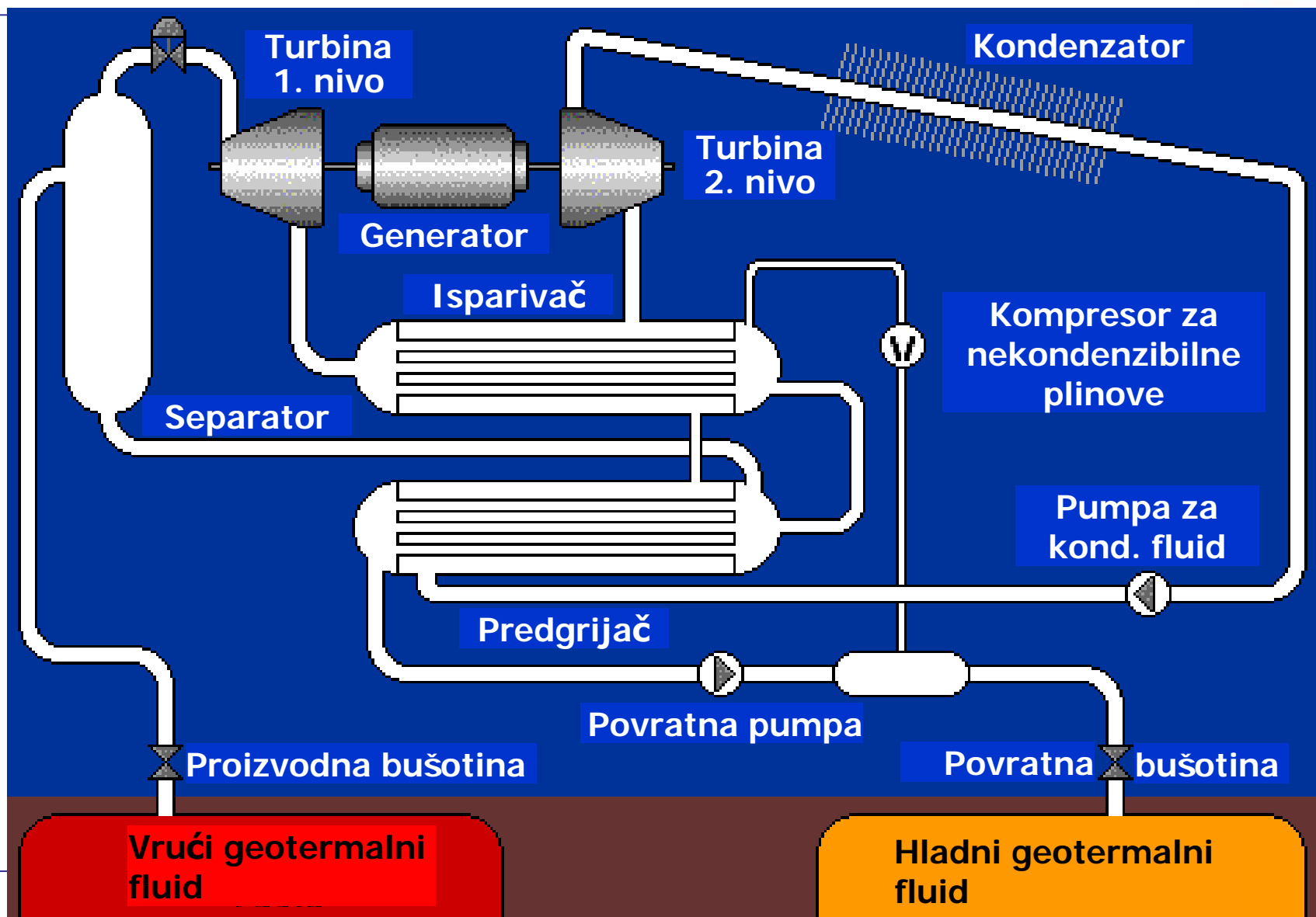
Demonstracijske elektrane u pogonu (jedinice oko 10 do 50 MW) u SAD-u.

Rješenje za uvjete u HR.

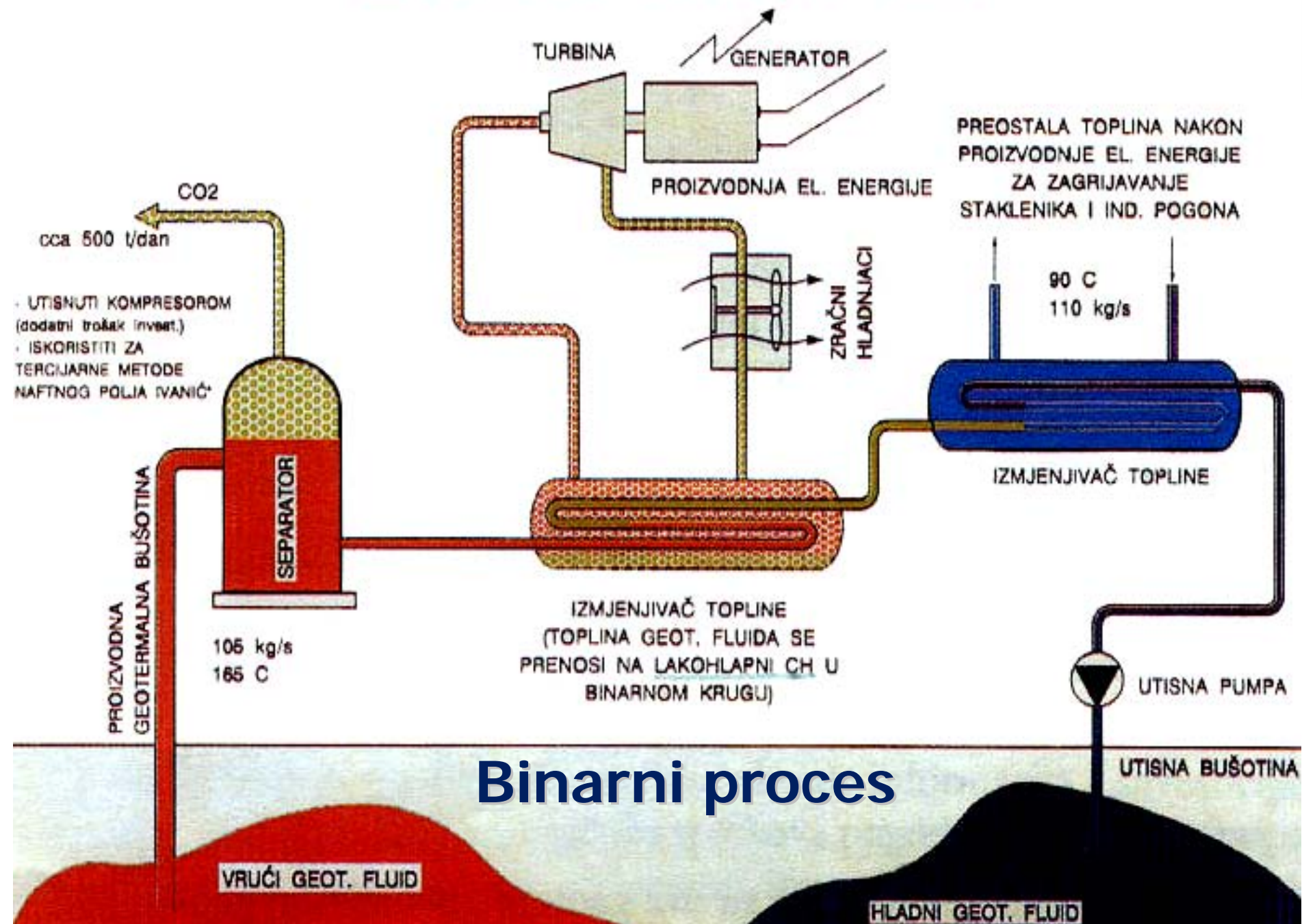
Proračun za ovaj proces provodi se kao i za Rankineov s vodom, ali s parametrima radnog medija.



# Elektrana sa separiranjem pare i binarnim ciklusom



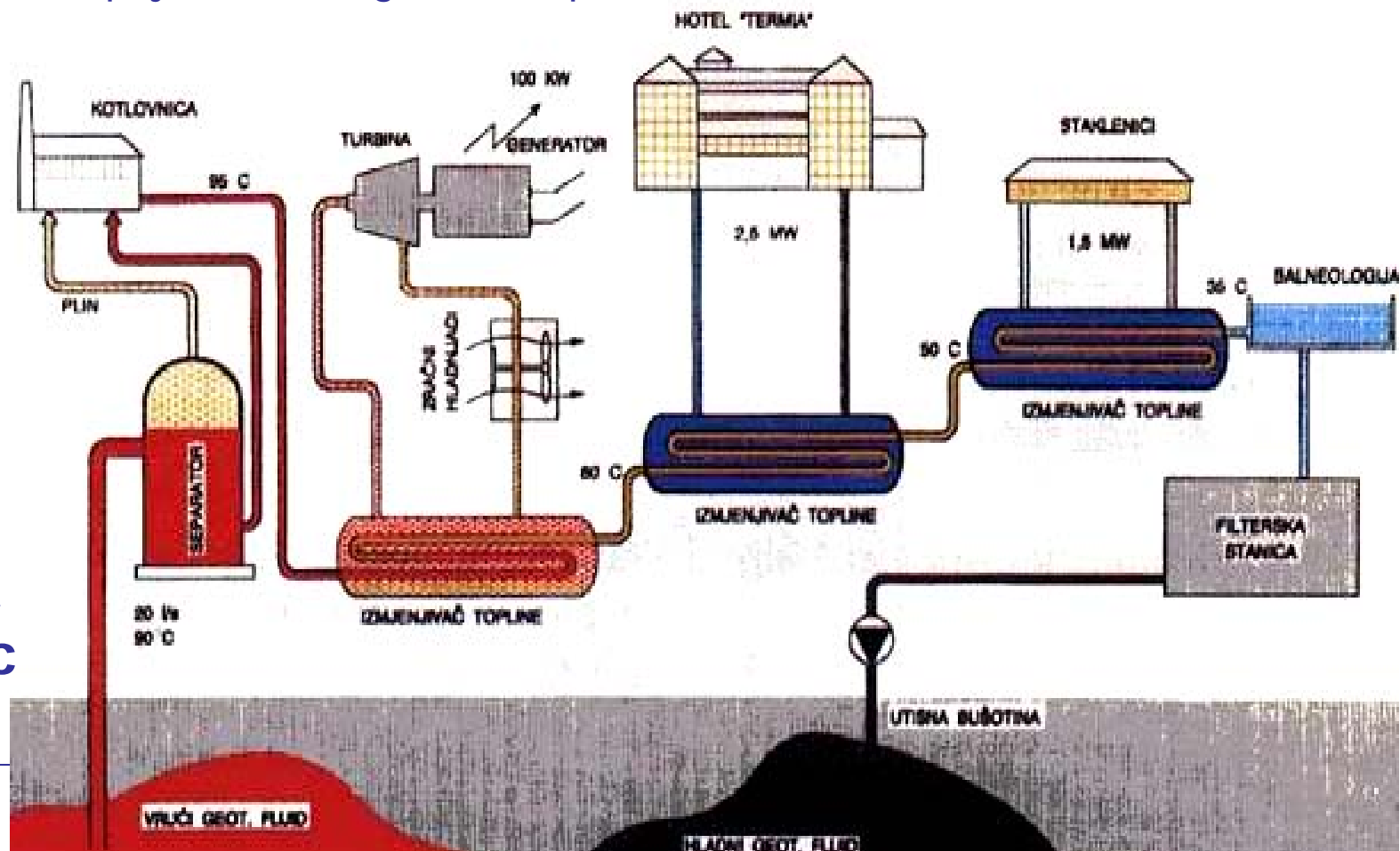
# GEOTERMALNO POLJE VELIKA CIGLENA



# Kombinirani procesi

Bolji stupanj djelovanja može se osigurati kombiniranim procesima:

- **Dogrijavanjem medija** iz geotermalnog izvora prirodnim plinom iz samog izvora ili nekim drugim gorivom
- **Predgrijavanjem** toplinskom energijom iz geotermalnog izvora kondenzata prije ulaska u generator pare konvencionalne termoelektrane



Plan za  
Bizovac

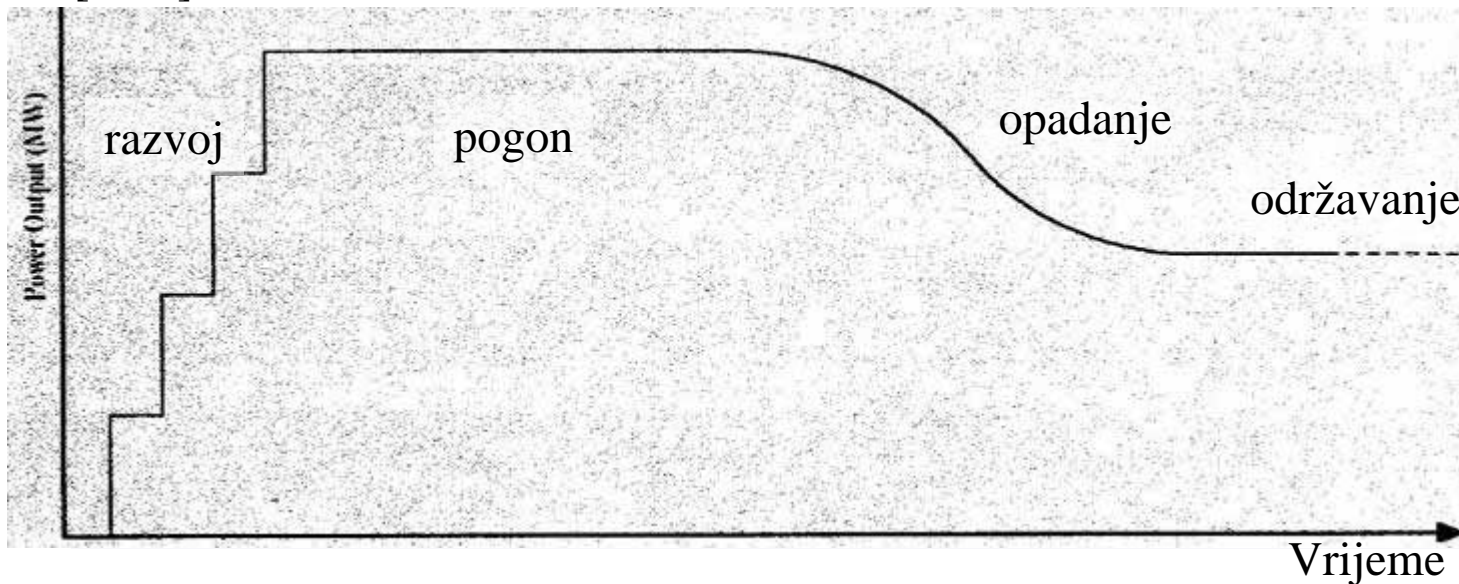
# Bušenje, testiranje i korištenje izvora



- Bušotine od ~200 m do ~4 km za određivanje temp. gradijenta i karakteristika nalazišta.
- Nalazište može smanjiti toplinsku snagu nakon nekog vremena (5, 10, 15 godina) i tada treba dodati bušotinu ili koristiti se manjim kapacitetom.
- Planirani radni vijek je oko 30 godina.



P [MW]



- Moderne metode bušenja smanjuju troškove: jedna široka (>60 cm) rupa oko 500 m i onda dvije kilometarske na razne strane za uzimanje i povrat vode



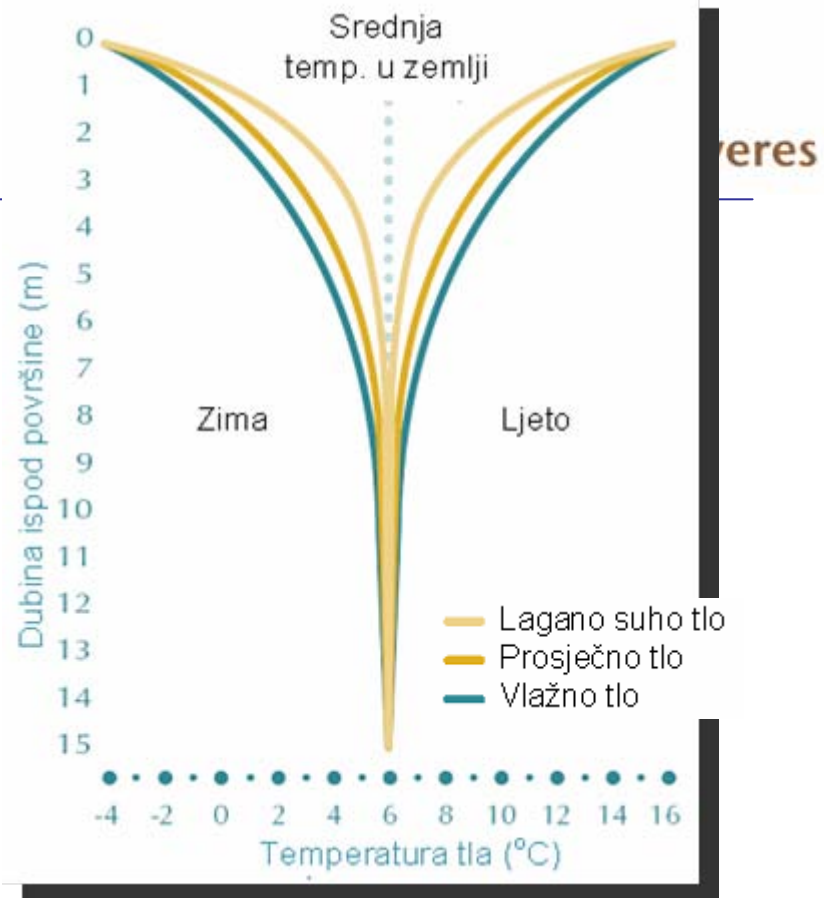
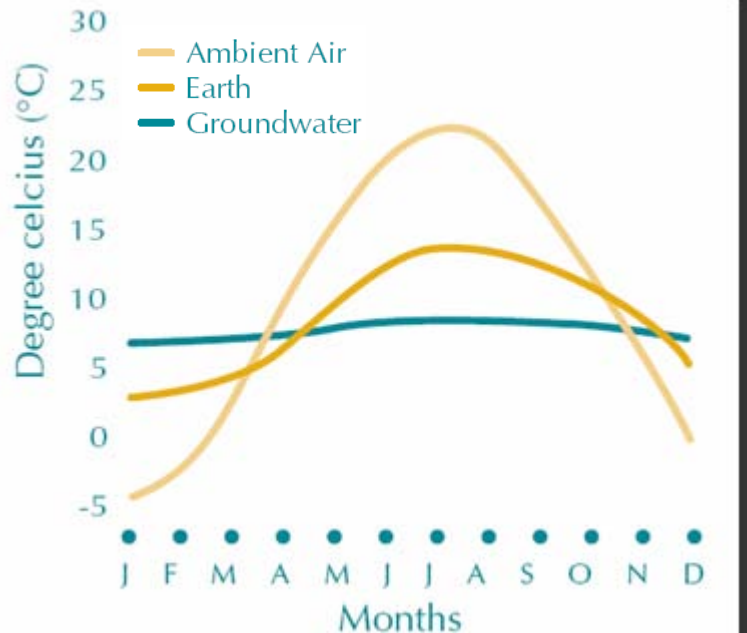
# Utjecaj na okoliš i recikliranje

---

- Agresivnost i velika koncentracija otopljenoga u vodi otežavaju rad postrojenja i smanjuju životni vijek
- Rješenje je u izdvajanju i korištenju:
  - $H_2S$  za proizvodnju sumporne kiseline
  - Metali poput cinka kao sirovina
  - Različite naslage za građevinarstvo
- Utjecaj na okoliš se može minimizirati vraćanjem svega u bušotinu uz pozornost da to ne umanji prinos



# Toplinska pumpa i hlađenje



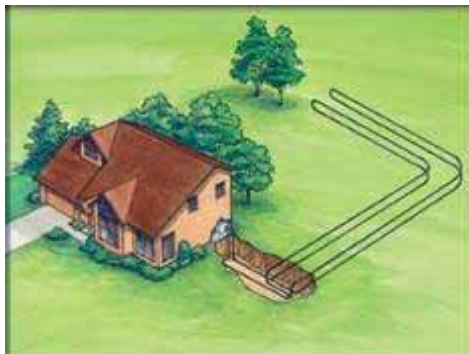
- Temperatura tla
  - konstantna od sunčevog zračenje i zbog slabe toplinske vodljivosti tla
  - konstantnija kroz godinu na većoj dubini i kod manje vlažnog tla
- Time je relativna razlika prema temperaturi okolice razmjerno velika tijekom većeg dijela godine
  - Pogodno za grijanje toplinskom pumpom i
  - Hlađenje klima uređajima



# Razne vrste sustava toplinske pumpe

## Horizontalni kružni:

zauzima najviše zemlje, jeftinije, male zgrade, ali temperatura dosta varira



Otvoreni: jeftinije, problemi s vodom



## Kružni u jezeru:

jeftinije, problemi s vodom, uvjetovani lokacijom



## Vertikalni:

stjenovito tlo, skuplji, treba manje zemlje, visoka efikasnost



Ovisno o izvedbi faktor preobrazbe iznosi oko 50% Carnotovog:

$$f.p. = q_{dov}/w_t$$

Praktično se postiže faktor preobrazbe od 3 do 5.



# Ukratko

---

Korištenje geotermalne energije može imati opravdanje kao cjeloviti gospodarski program koji uključuje proizvodnju el. en., turizam i poljoprivredu.

Ekonomičnost ovisi o karakteristikama bušotine i potporama – rizik može biti veliki.

Udio GE u proizvodnji el. en. nije velik, ali postoji potencijal za povećanje.

Ekološki prihvatljiv izvor uz dužnu brigu.

Tehnologija je zrela i iskustvo je značajno.

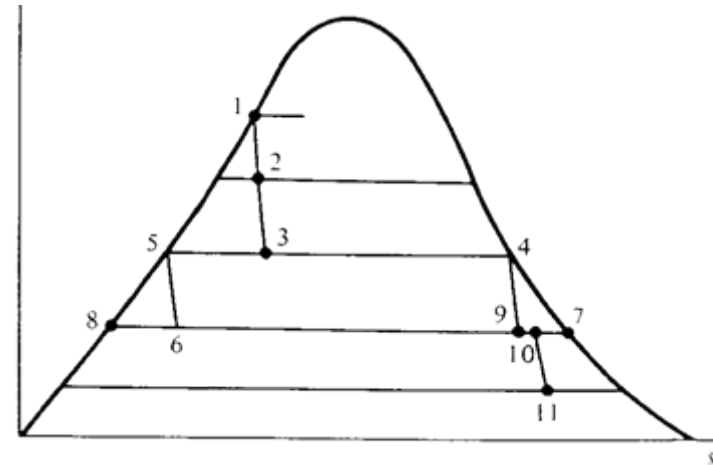
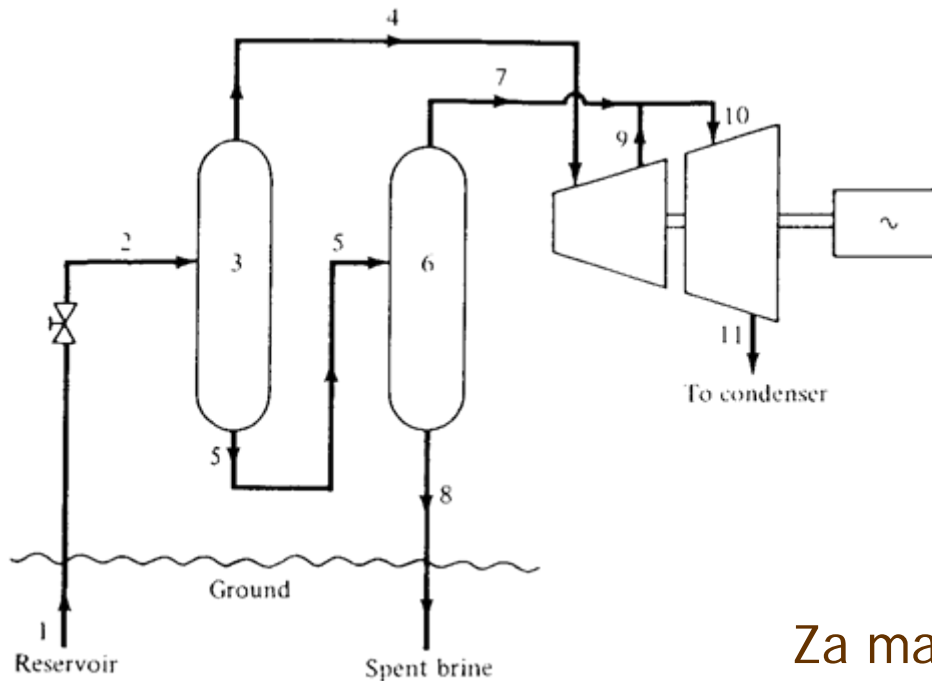
Položaj izvora određuje mjesto korištenja.



Slajdovi koji nisu stali u prezentaciju, a zanimljivi su.

**DODATNO**

# Elektrane s dvostrukim separiranjem pare "Flash steam"



T-s dijagram

Za manje kvalitetne izvore (oko 200 °C)

Unapređenje za veći stupanj djelovanja dodatnim iskorištavanjem entalpije povratnog medija.

5 – povratni medij se vodi na dodatnu separaciju pare koja pogoni turbinu na nižem tlaku

**Problemi:** Znatno veći potrebni protoci (utjecaj na okolno zemljište te dimenzije i degradiranje postrojenja zbog dodatnih sastojaka)

Elektrane u pogonu (jedinice oko 50 MW): Japan

Termički stupanj djelovanja još manji zbog niske temperature i niske kvalitete pare.