

# Geotermalna energija

---

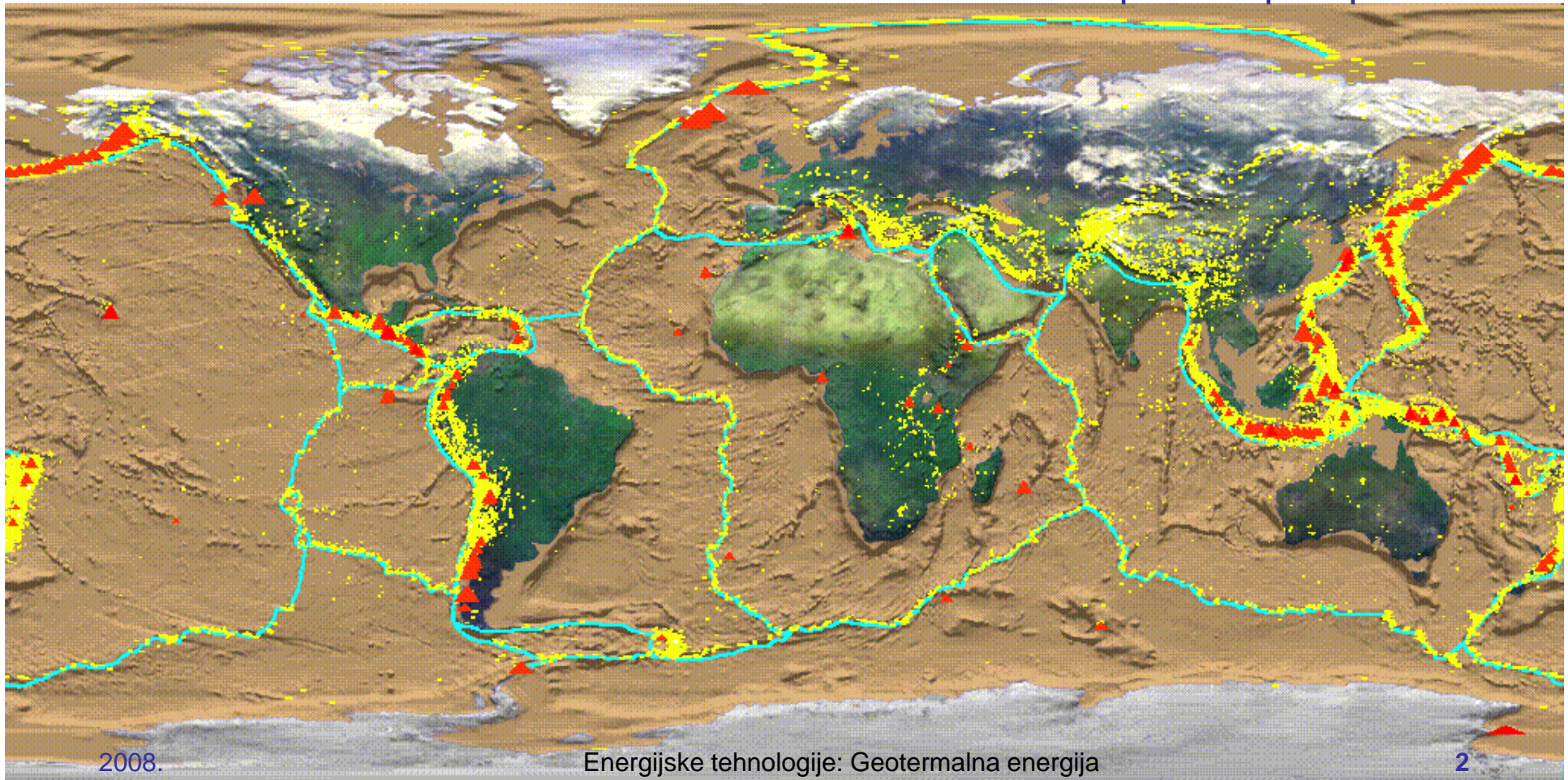
Pozadina i korištenje  
Energijske tehnologije  
FER 2008.



# Sadržaj

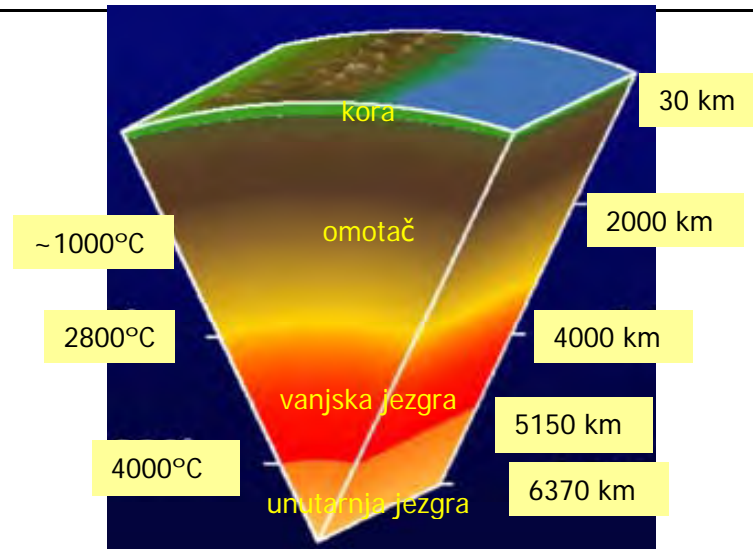
---

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

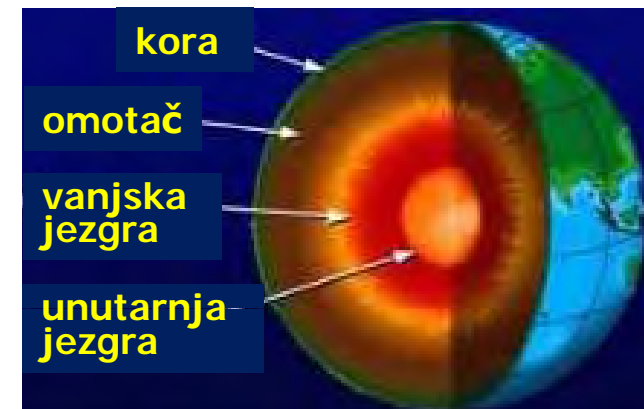
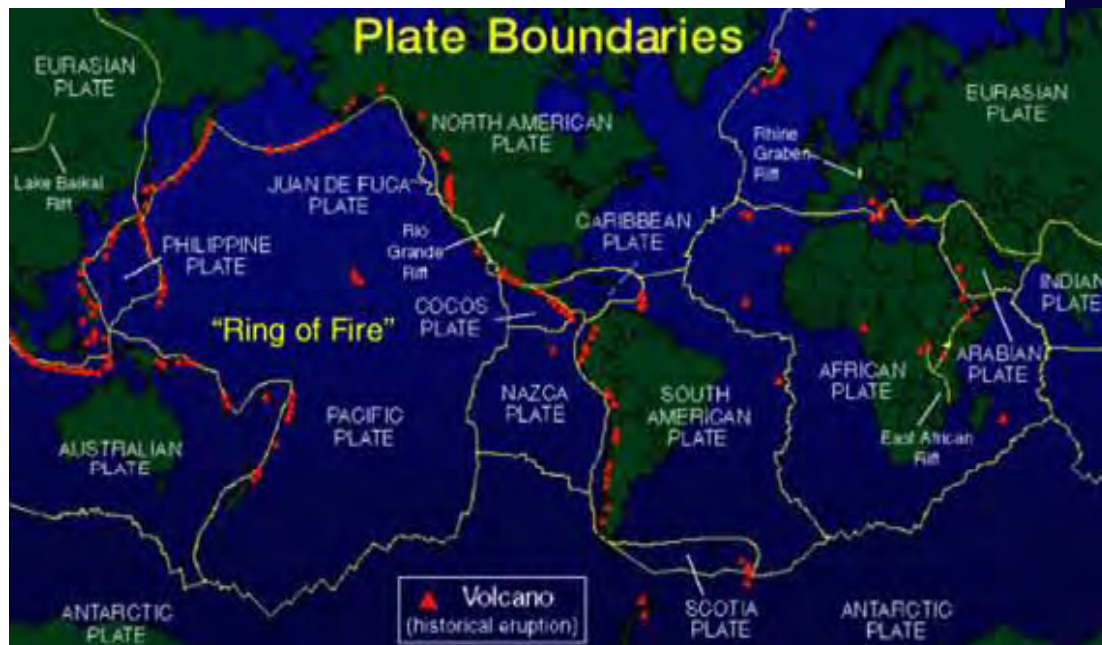
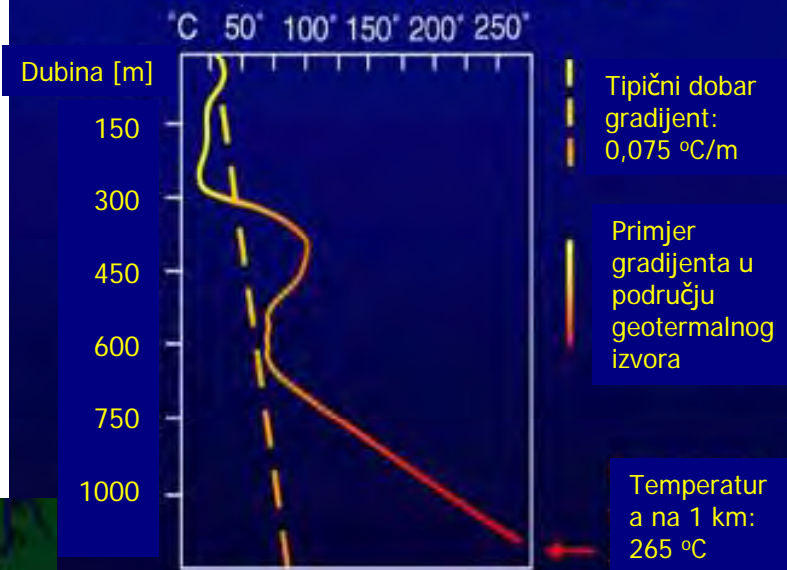




# Temperature u Zemlji

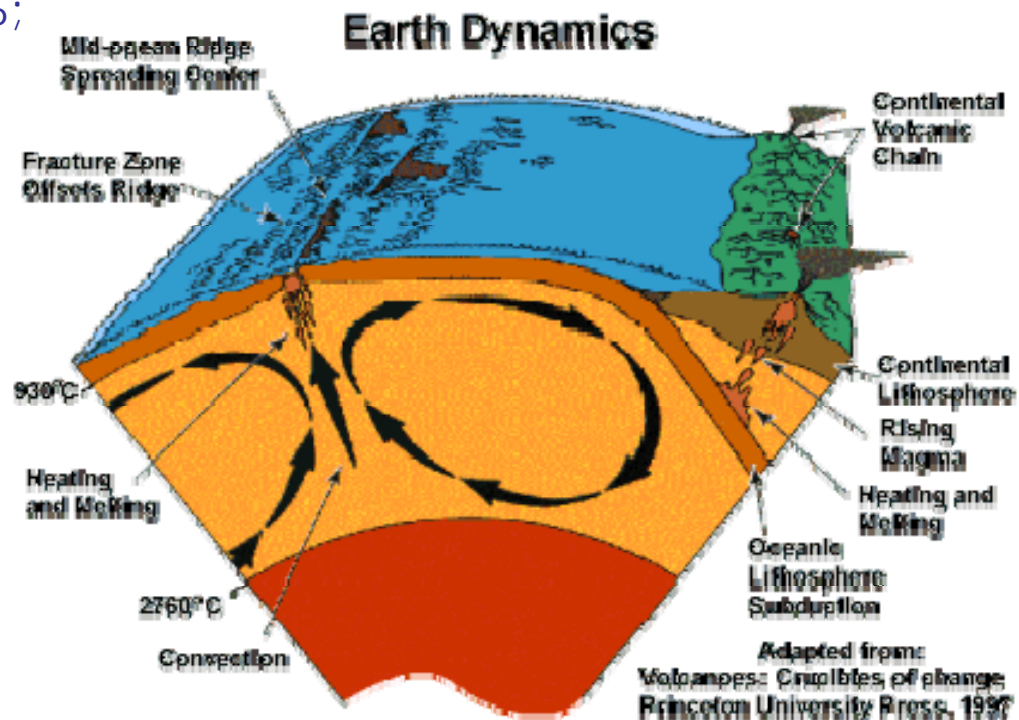


## Temperaturni gradijent – u kori



# 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

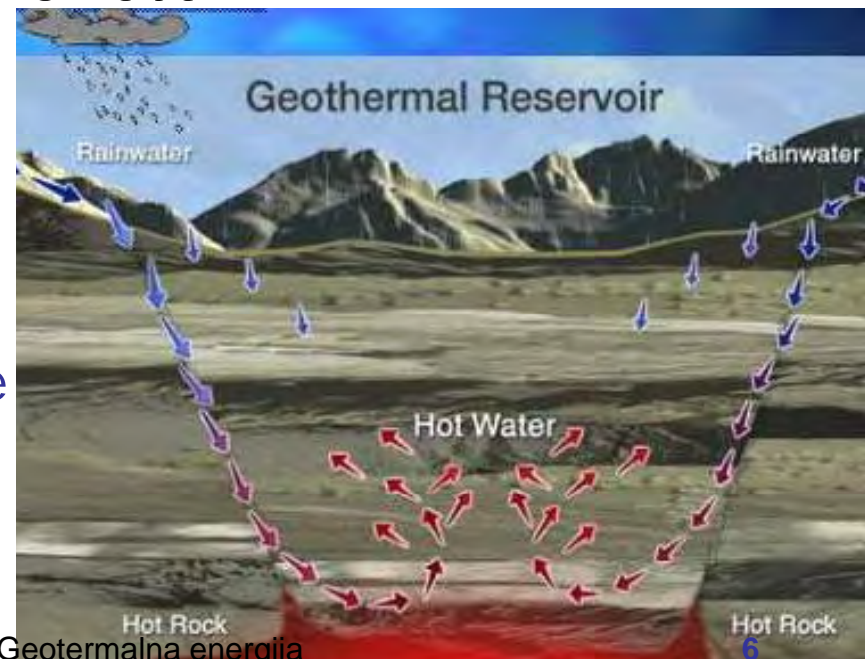
- Dubina i temperatura:
  - 2,5 do 9 km
  - oko 160 °C i veliki tlak (>1000 bar)
- Ostale karakteristike
  - Velika slanost (4-10%)
  - Zasićeno prirodnim plinom
    - Najviše metana CH<sub>4</sub>
    - Oko 5x više plina volumno
    - Potencijal za kombinirano korištenje
- Istražuje se

# Voda/para na manjim tlakovima i dubinama

---

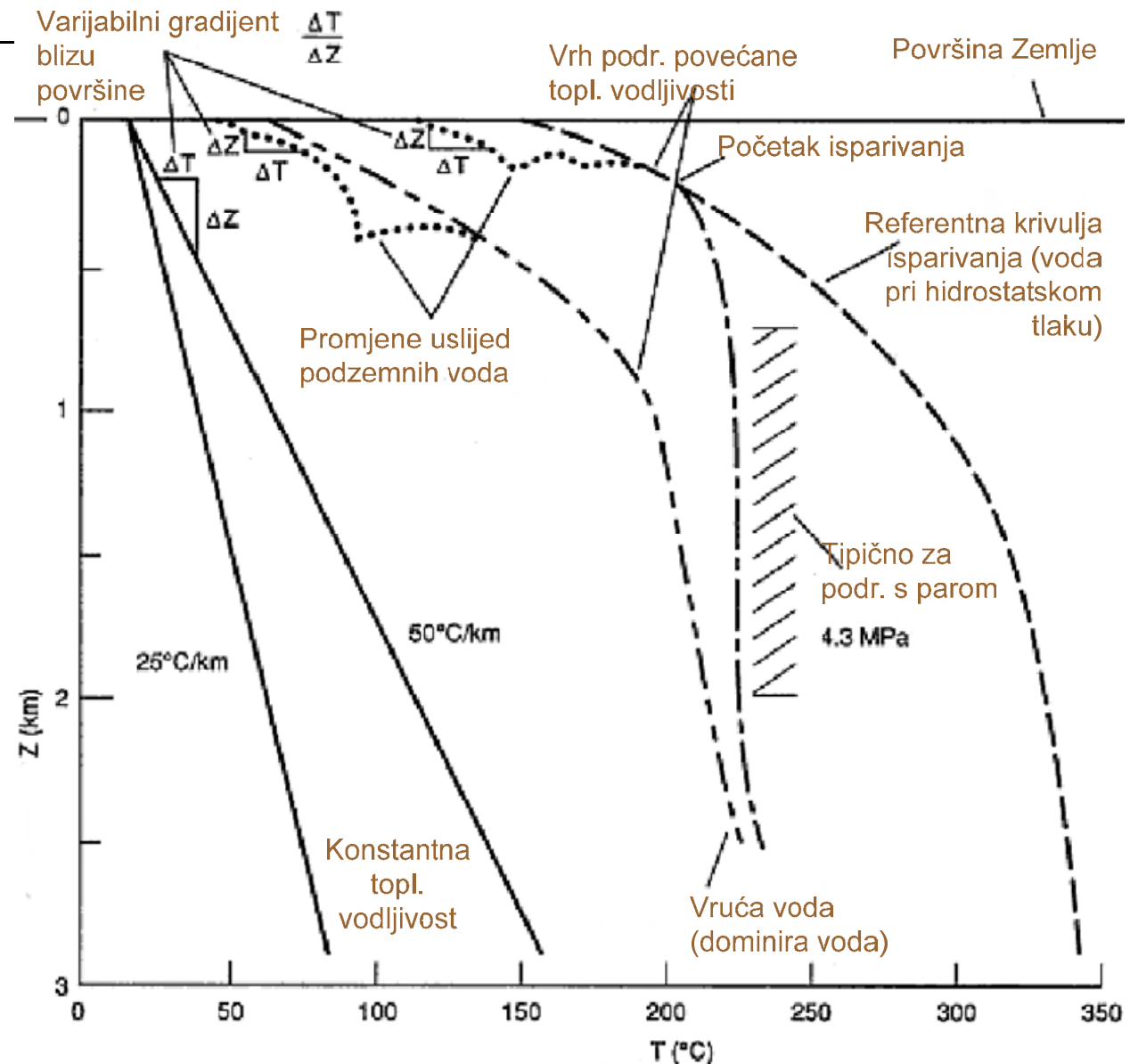
- Dubina, temperature i tlakovi:
  - do 5 km, do preko 300 °C, do 8 bara
- Parni izvori su najpoželjniji ali malobrojni
  - Para sama izlazi van iz bušotine (oko 200 °C)
  - Geysers (SAD) i Larderello (Italija)
- Vodeni izvori se najčešće koriste
  - Voda izlazi sama ili se pumpa
  - Velike koncentracije 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

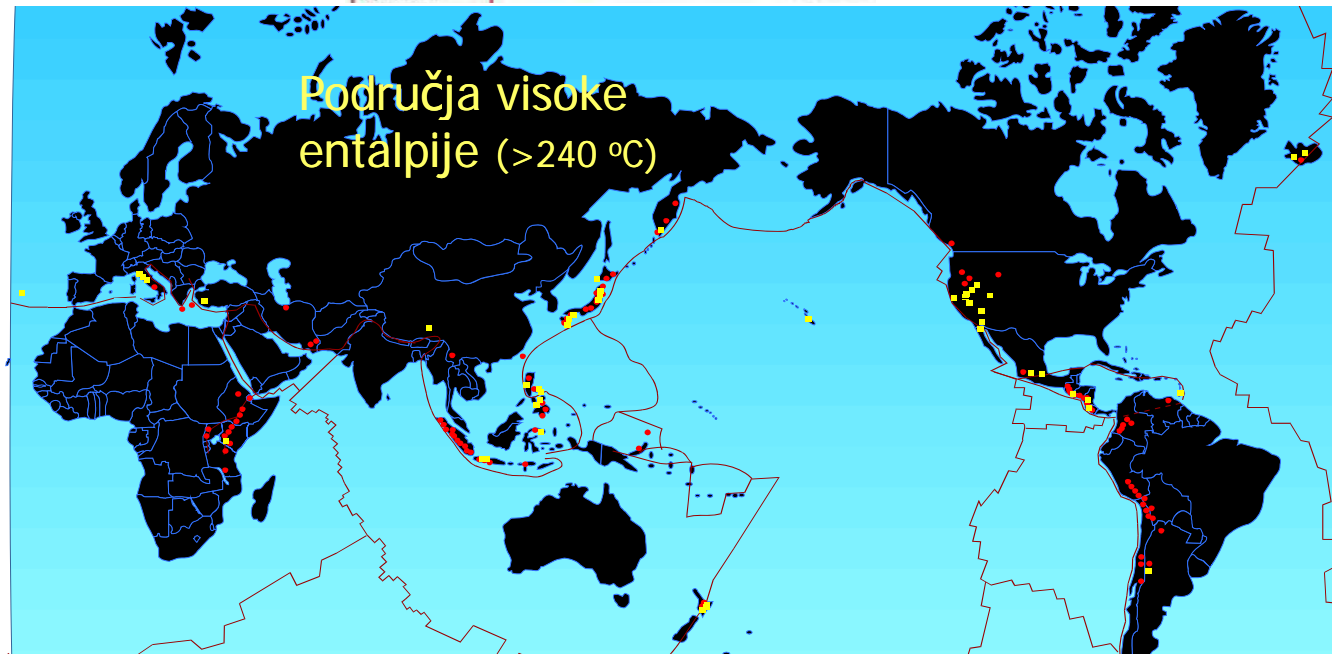
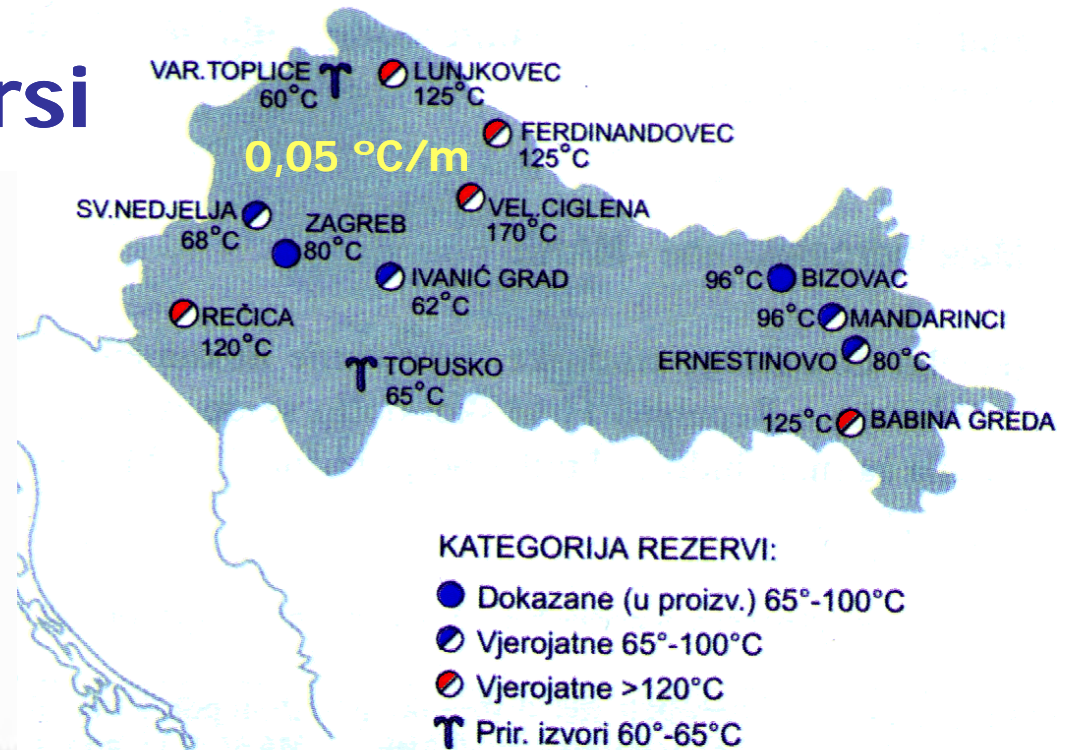
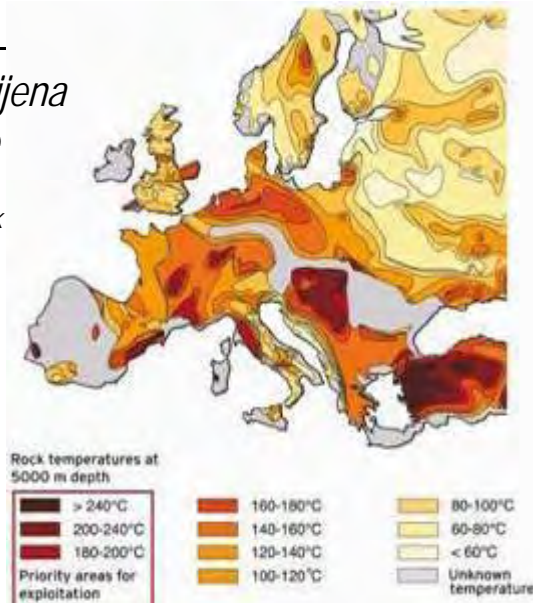
Geotermalne prilike i vodljivost tla određuju gradijent rasta temperature u tlu.





# 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



A fish farm in Colorado

Gretz, Warren



Greenhouse in Colorado

Gretz, Warren



Crop dehydration plant in Nevada.

Gretz, Warren

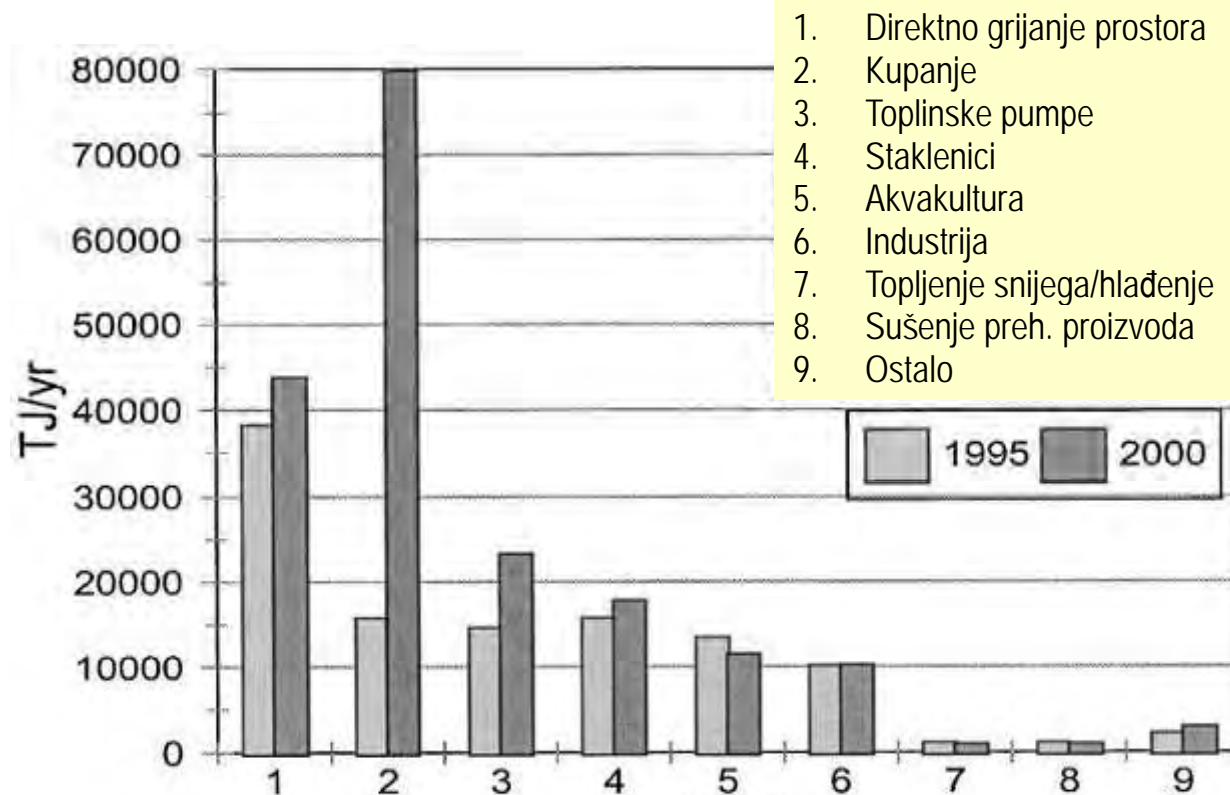
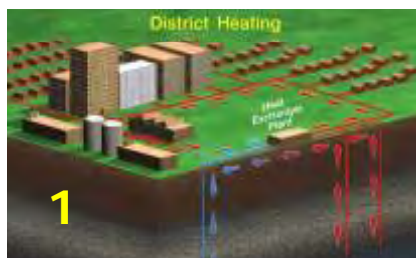


Najstariji način korištenja geotermalne energije:

- 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

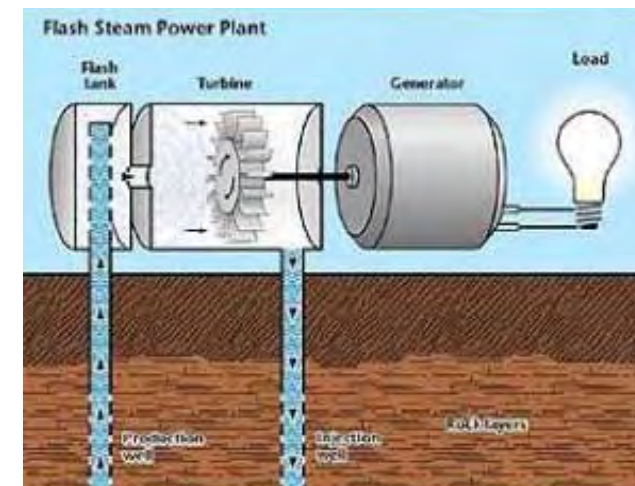
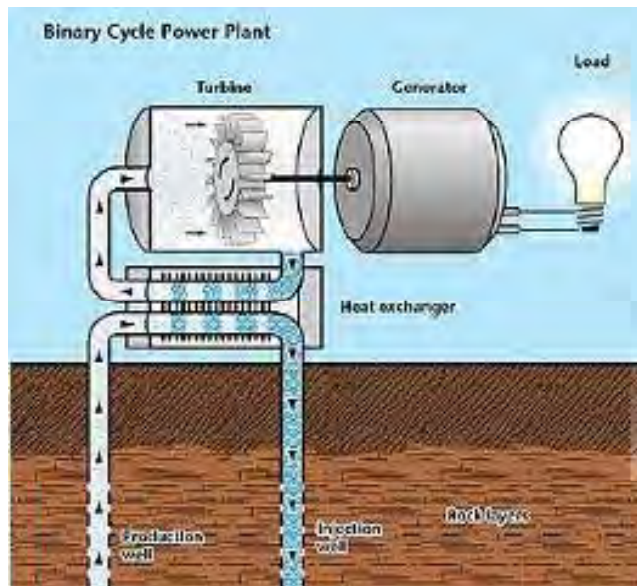
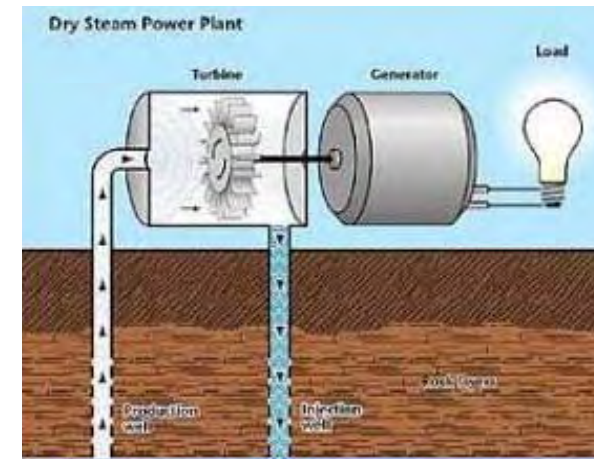


Kapaciteti u svijetu 2000.:

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

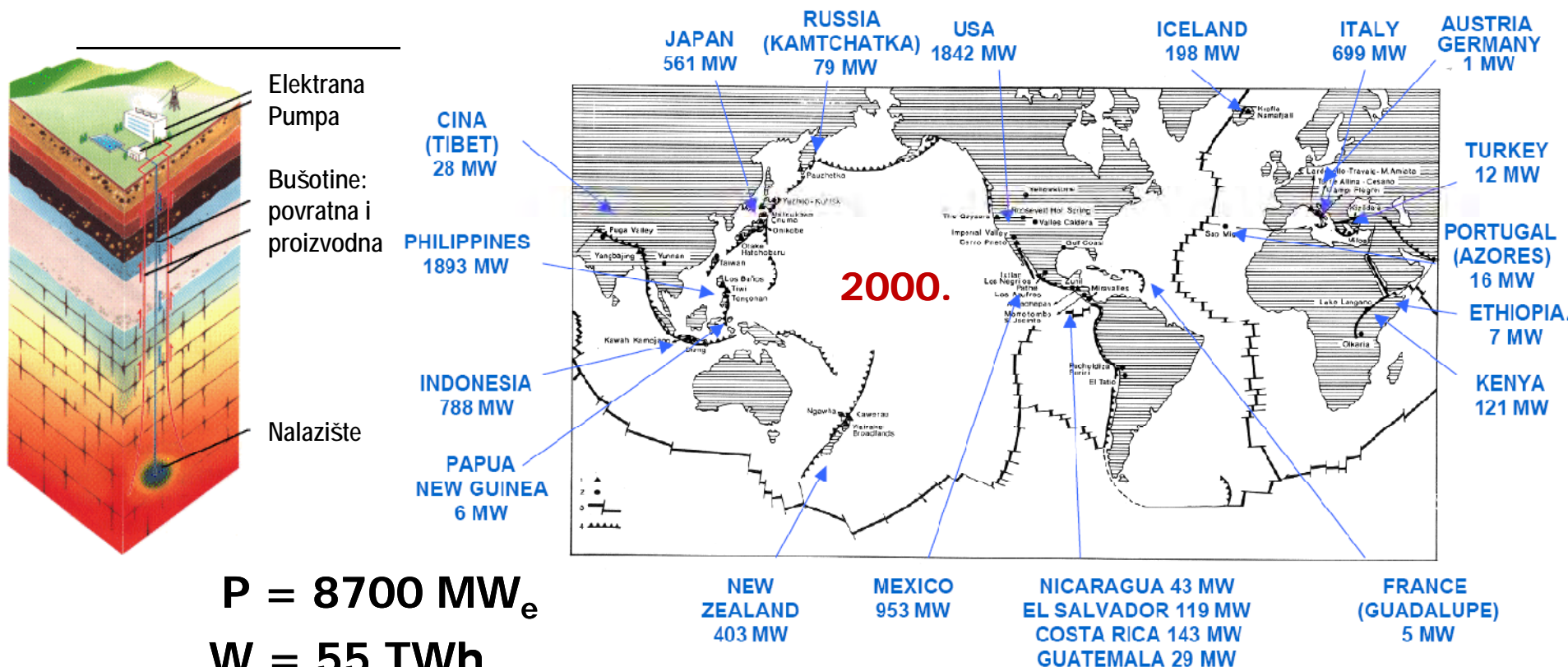
# Geotermalne elektrane

- Elektrane na suhu paru
- Elektrane sa separiranjem pare (*Flash steam*)
- Elektrane s binarnim ciklusom

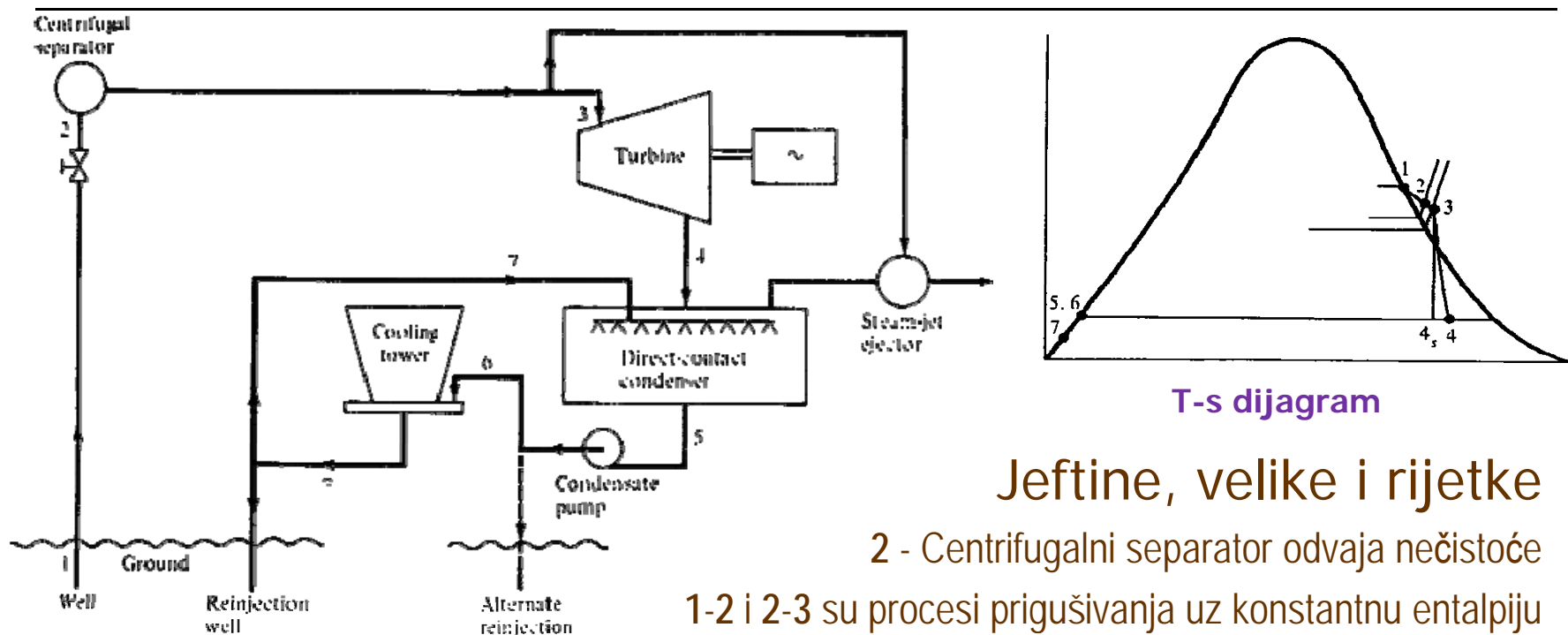




# Geotermalna električna energija



# Elektrane na suhu paru



Jeftine, velike i rijetke

2 - Centrifugalni separator odvaja nečistoće

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

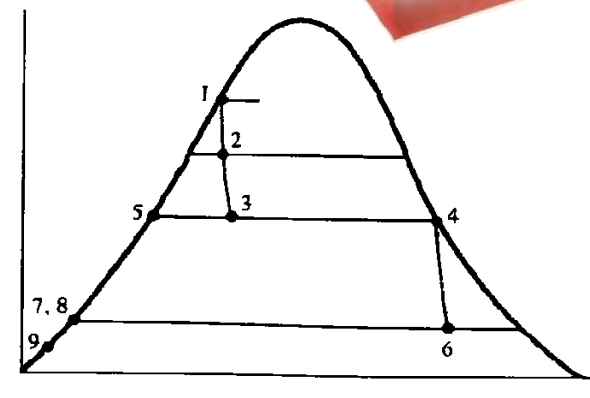
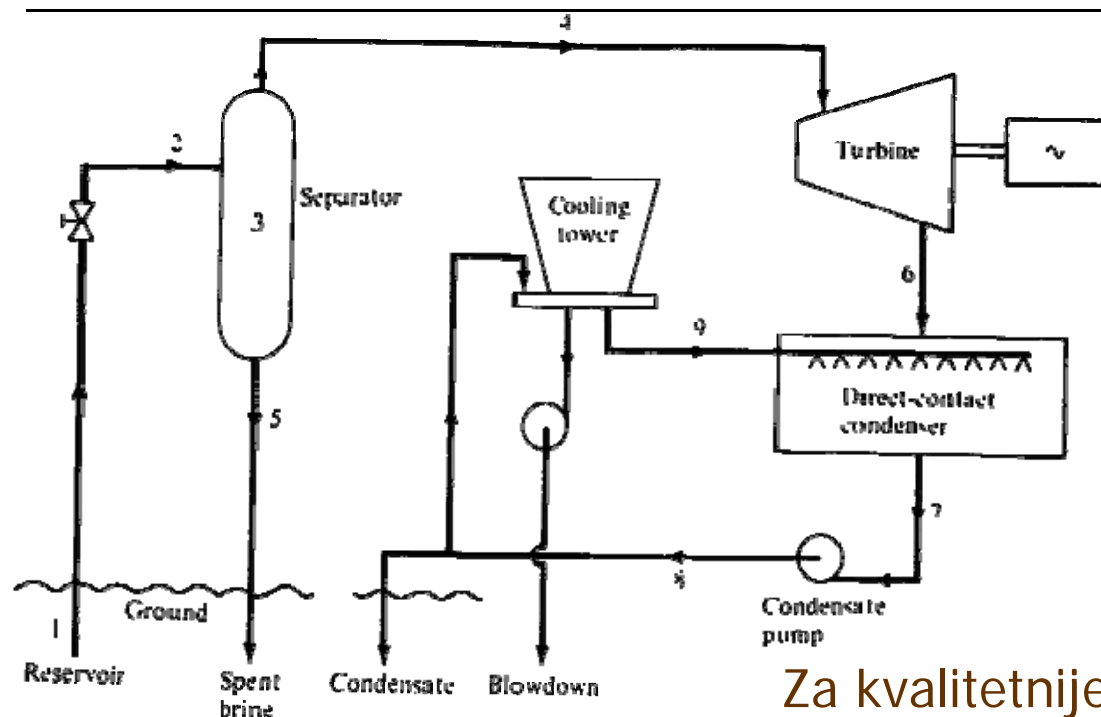
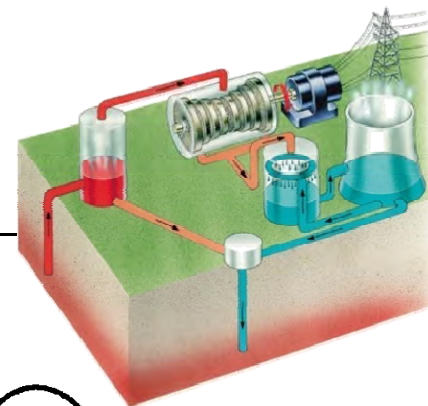
4 - izlaz iz turbine se miješa s recirkuliranom (5, 7) rashladnom vodom u kondenzatoru s direktnim kontaktom i višak se vraća u zemlju

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

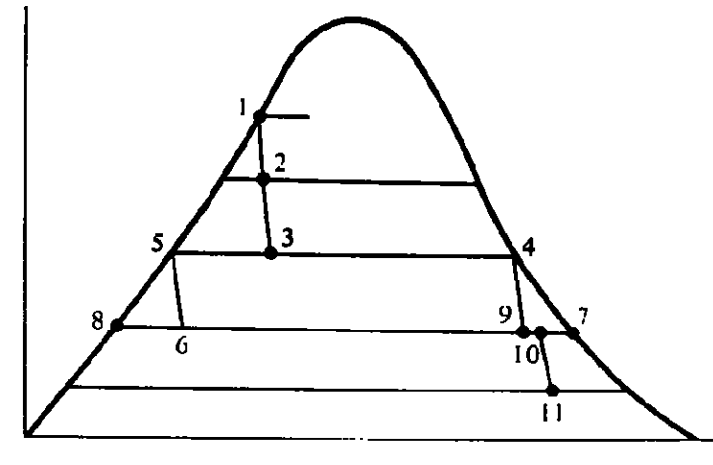
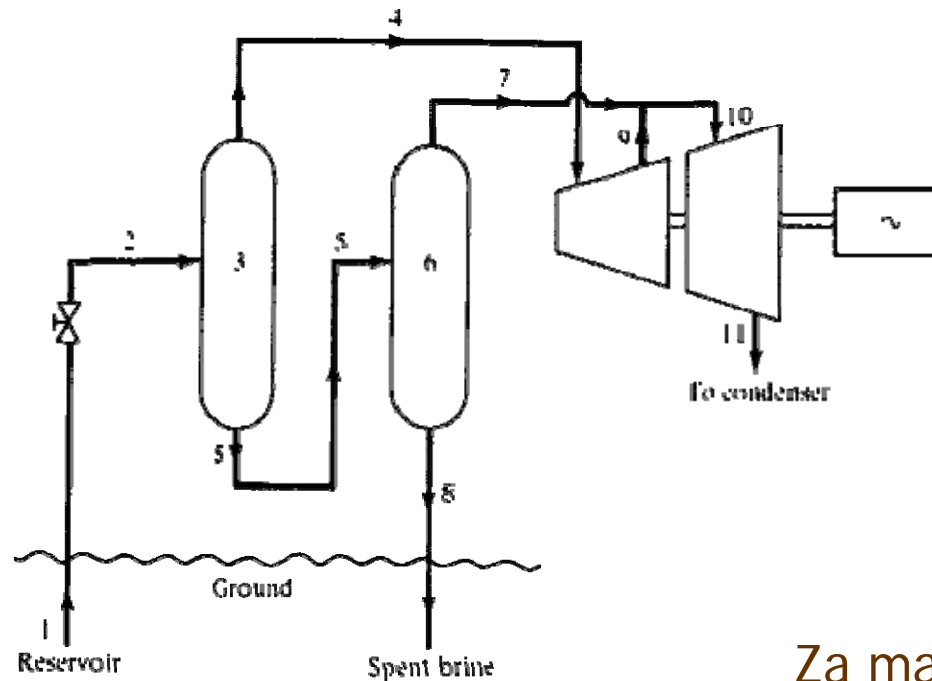
**Problemi:** Znatno veći potrebni protoci (utjecaj na okolno zemljište te dimenzije i degradiranje postrojenja zbog dodatnih sastojaka)

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 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.

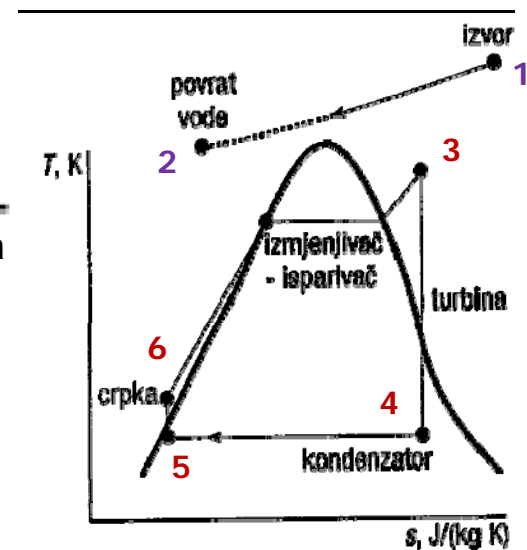
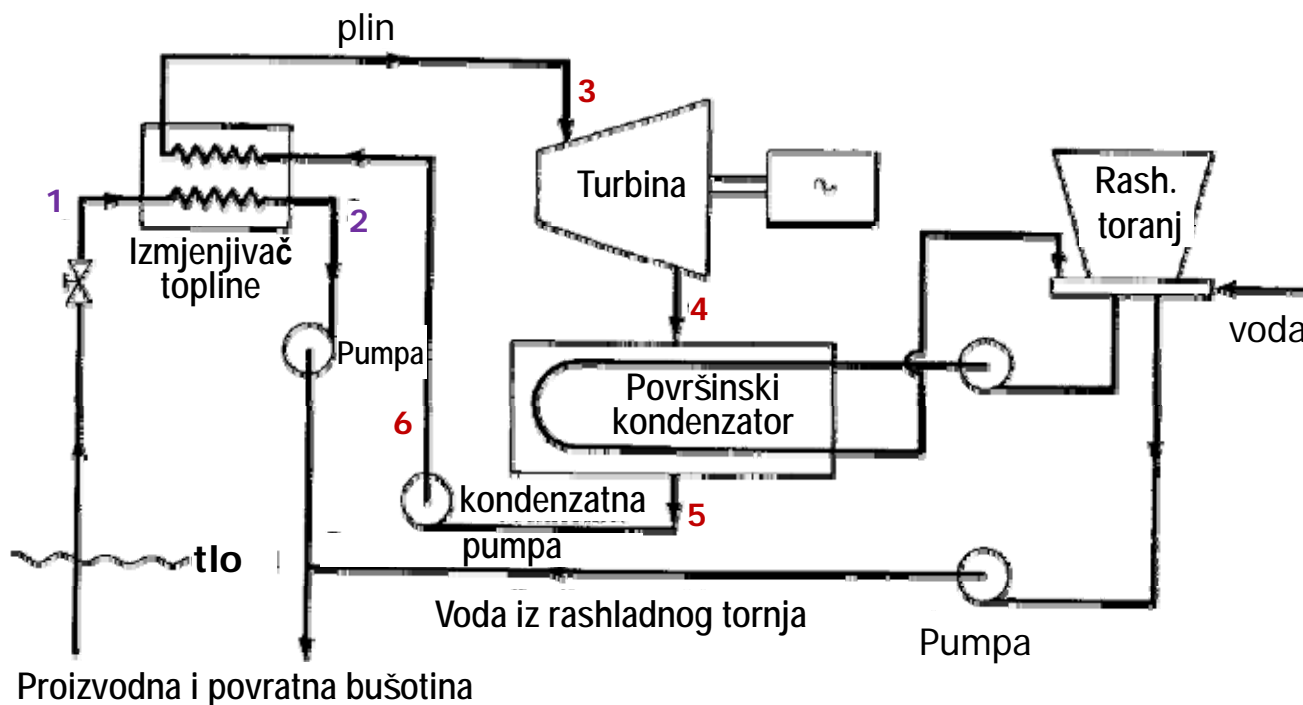
5 – povratni medij se vodi na dodatnu separaciju pare koja pogoni turbinu na nižem tlaku

**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.

# Elektrane s binarnim ciklusom



## T-s diagram

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)

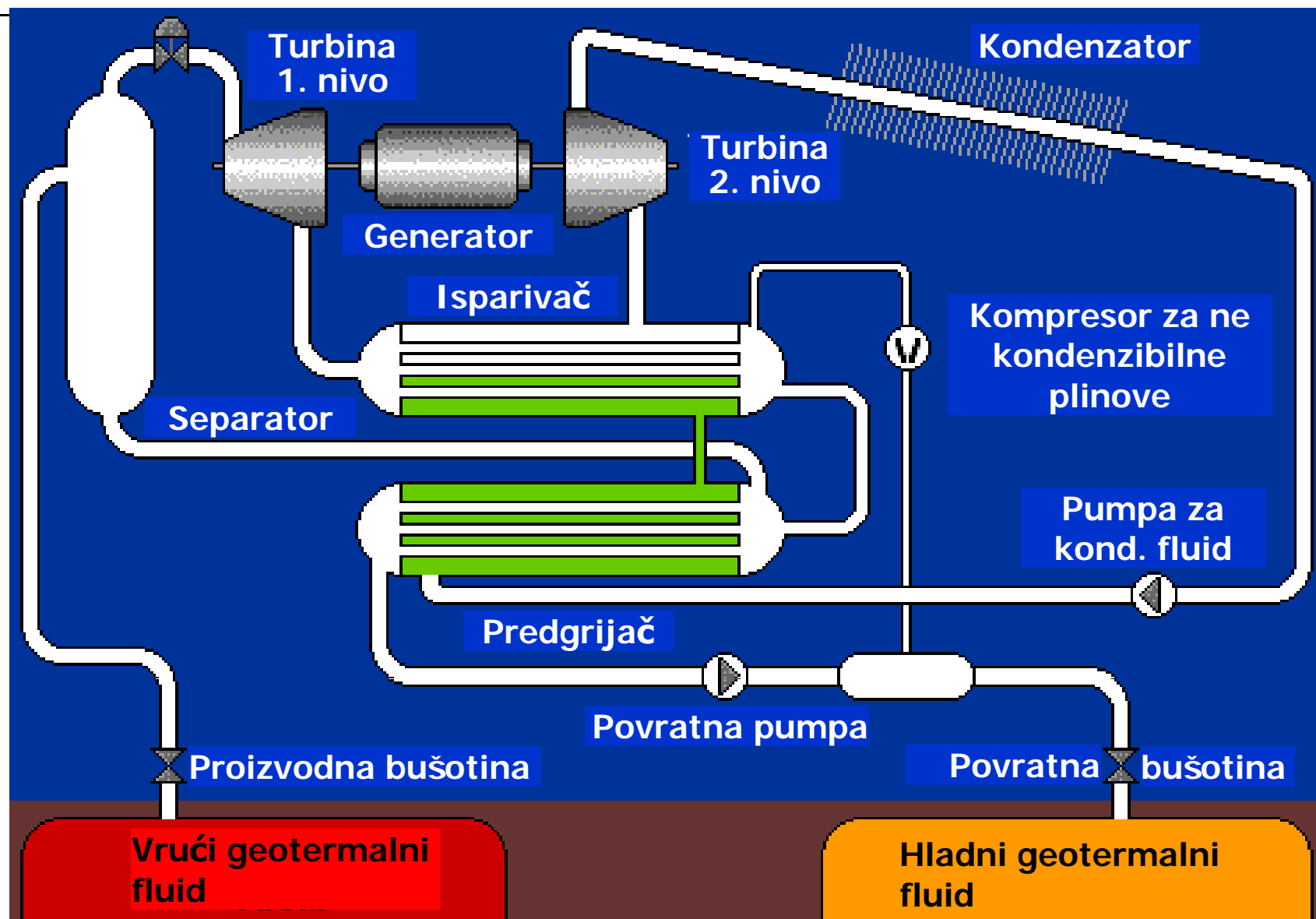
Vlastita potrošnja u elektrani je oko 35%.

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

## Rješenje za uvjete u HR.

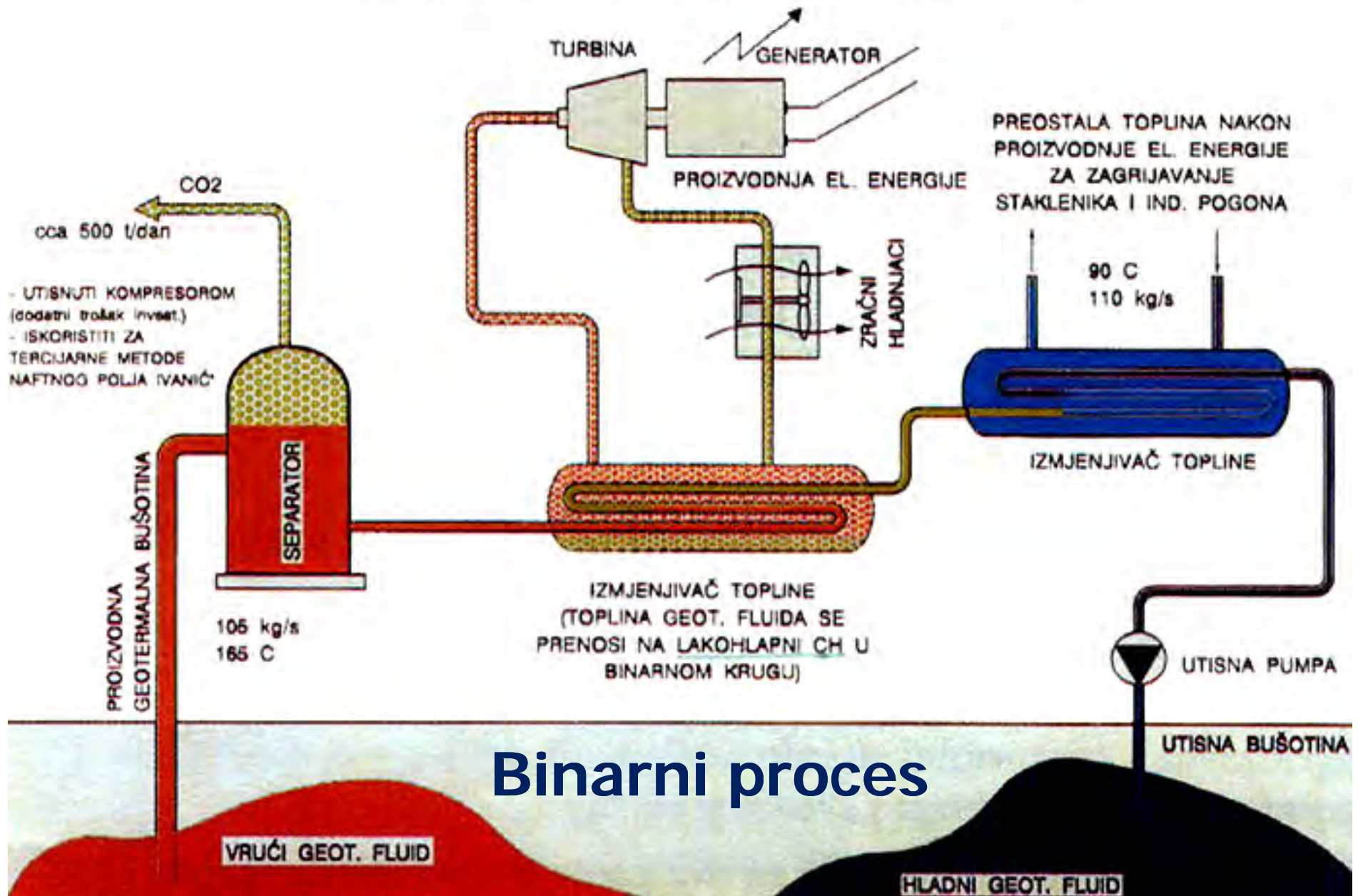
Proračun za ovaj proces provodi se kao i za Rankineov s vodom, ali sa parametrima radnog.

# Elektrana sa separiranjem pare i binarnim ciklusom





# GEOTERMALNO POLJE VELIKA CIGLENA



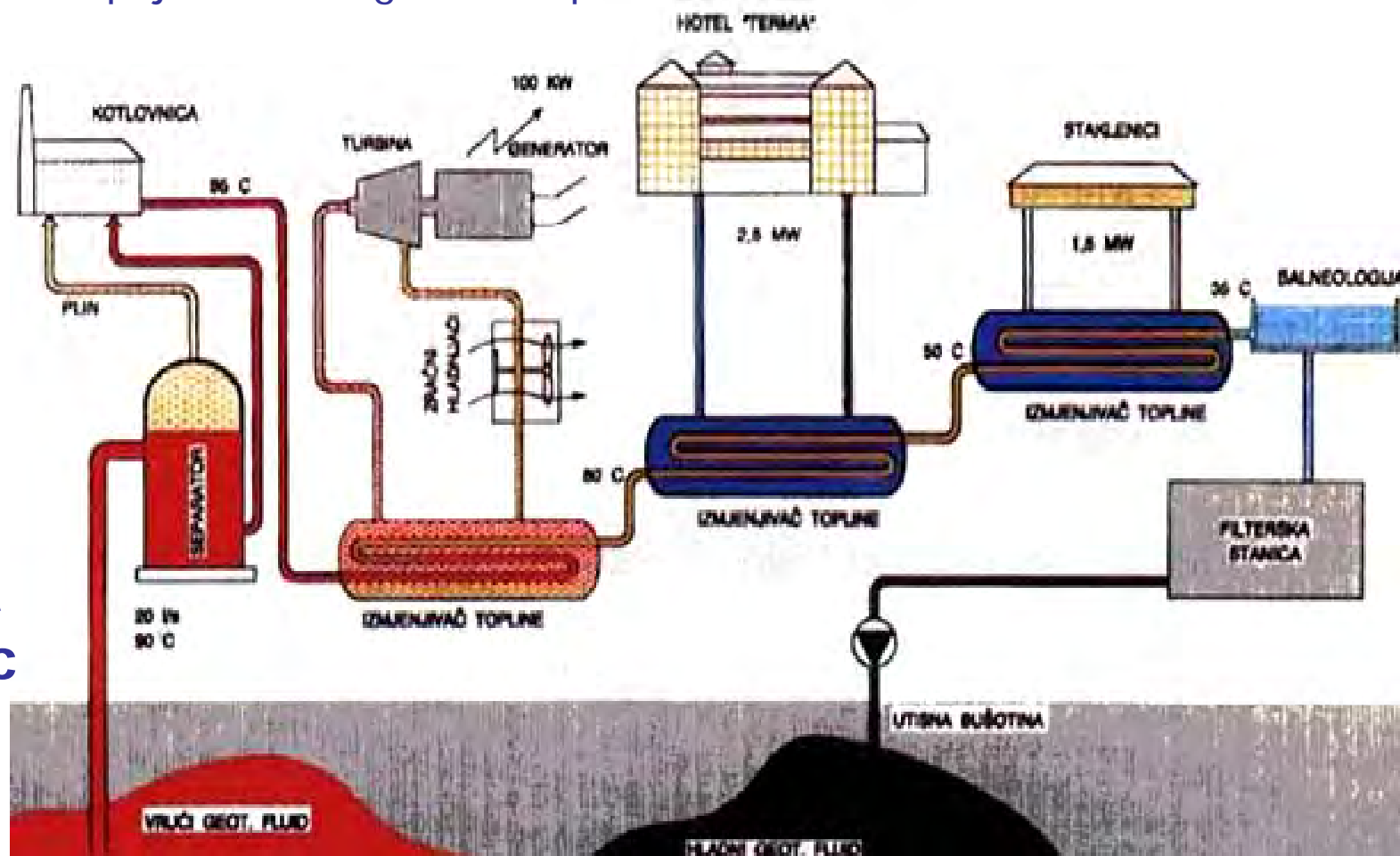
## Binarni proces

# Kombinirani procesi

Bolji stupanj djelovanja se može 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

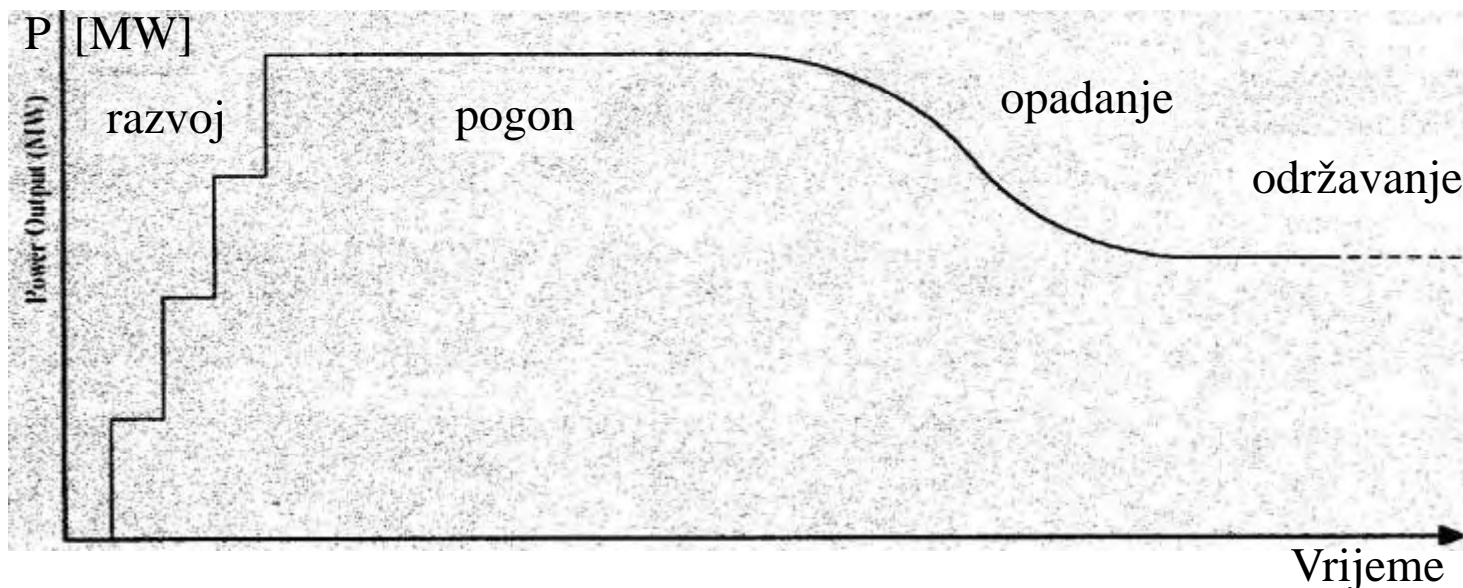
Plan za  
Bizovac



# Bušenje, testiranje i korištenje izvora



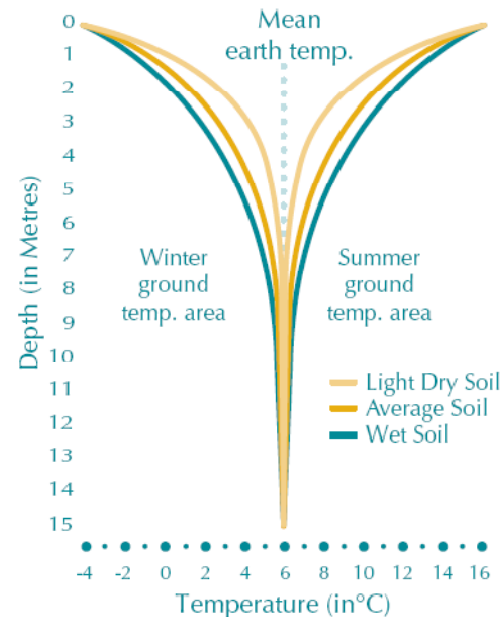
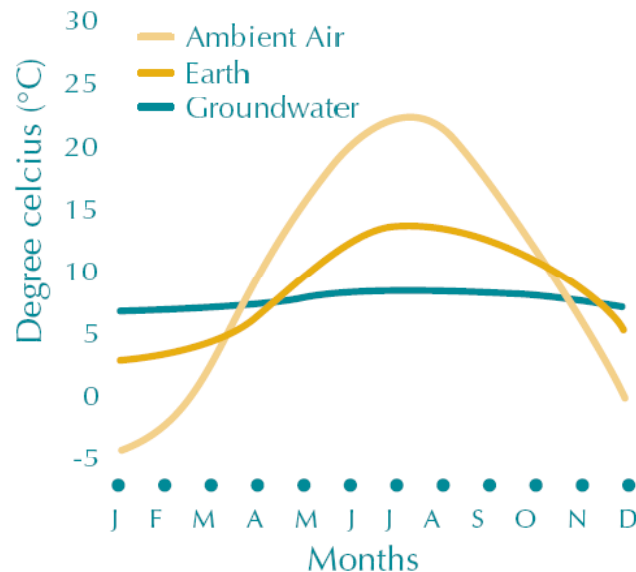
- Bušotine od ~200 m do ~4 km za određivanje temp. gradijenta i karakteristika nalazišta.
- Nalazište može smanjiti toplinsku snagu nakon nekog vremena (5, 10, 15 godina) i tada treba dodati bušotinu ili koristiti manji kapacitet.
- Planirani radni vijek je oko 30 godina.



- 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



# Toplinska pumpa i hlađenje

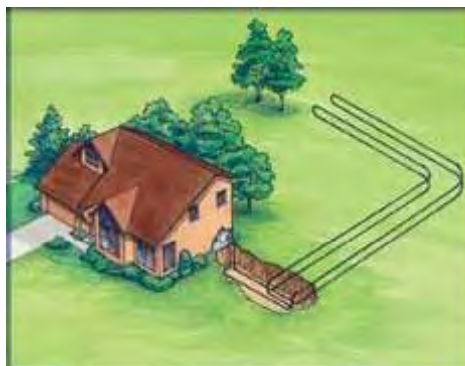


- Temperatura tla
  - konstantna od sunčevog zračenje i zbog slabe toplinske vodljivosti tla
  - konstantnija kroz godinu na većoj dubini i kod manje vlažnog tla
- Time je relativna razlika prema temperaturi okolice razmjerno velika tijekom većeg dijela godine
  - Pogodno za grijanje toplinskom pumpom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

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

Praktično se postiže faktor preobrazbe od 3 do 5.

# 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

# Ukratko

---

Korištenje geotermalne energije može imati opravdanje kao cjeloviti gospodarske 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 veliki, ali postoji potencijal za povećanje.

Ekološki prihvatljiv izvor uz dužnu brigu.

Tehnologija je zrela i iskustvo je značajno.

Položaj izvora određuje mjesto korištenja.

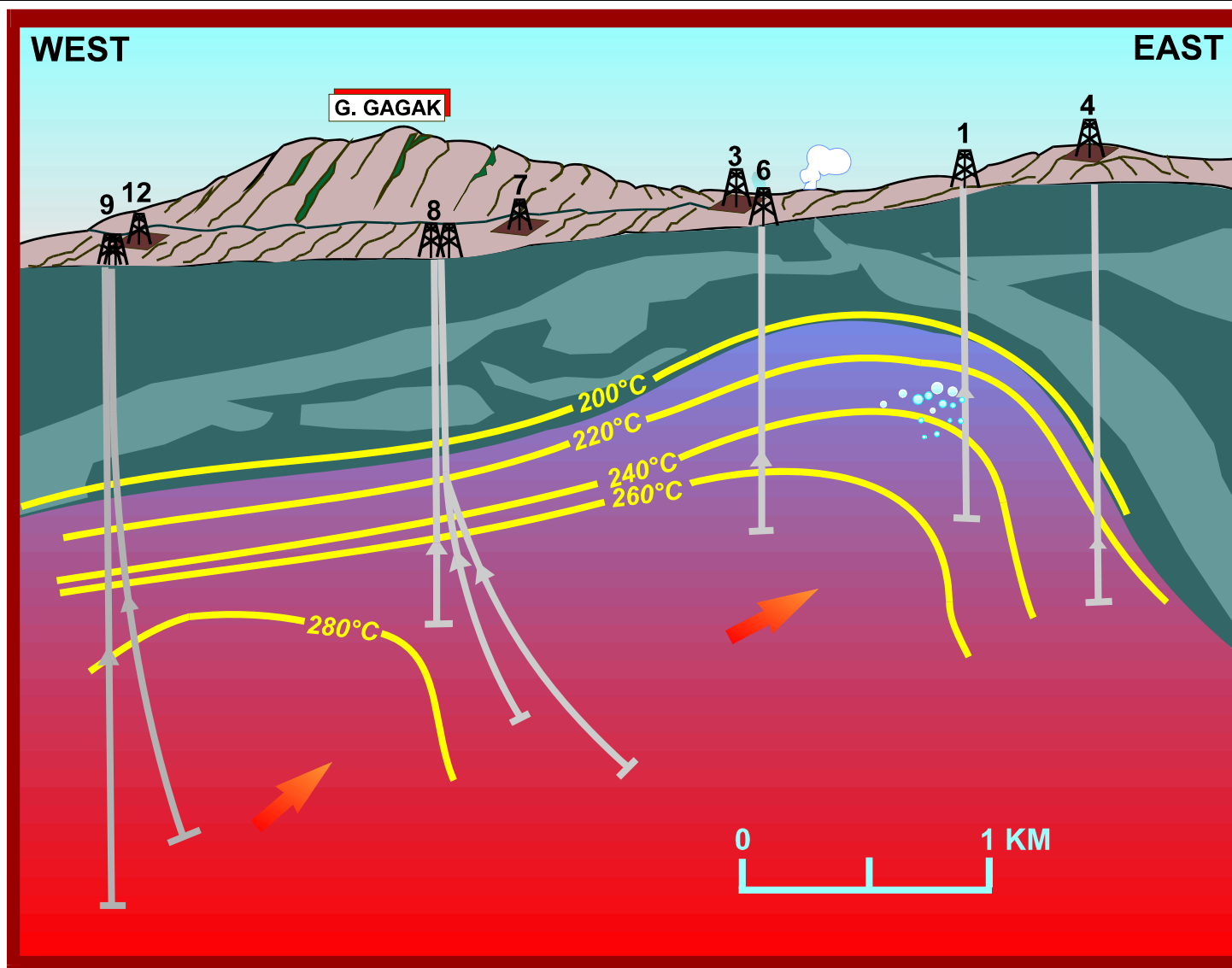


---

Za ilustraciju i one koje zanima više

**DODATNO**

## Presjek jednog geotermalnog nalazišta - Awibengkok, Indonezija



# Imperial Valley, California

---



# Podaci o poljima u HR iz kojih se koristi geotermalna energija

Mjesto	Područje	Ime bušotine	Kol. fluida kg/s		Temperatura na ušću buš.	Tlak na ušću buš.	
			prizv.	utisna		proiz.	utisni
Bizovac	Bizovac Bizovac	Biz-2	5	5	-	-	50
		Biz-4		3	96	2	-
		Biz-2*	3		-	-	20
		Slk-1			85	2	-
Zagreb	Mladost	Mla-3	50		80	3	-
		Mla-2		50	-	-	10
		Mla-1		8	-	-	15
Zagreb	Blato	KB-1A	5		70	2	-
		KB-1B*	50		80	3	-
		KB-2A*		25	-	-	15
		KB-3A*		25	-	-	10
Ivanić	Ivanić	IvaT-1	2		62	2	-



# Podaci o poljima u HR na kojima su izvršena ispitivanja

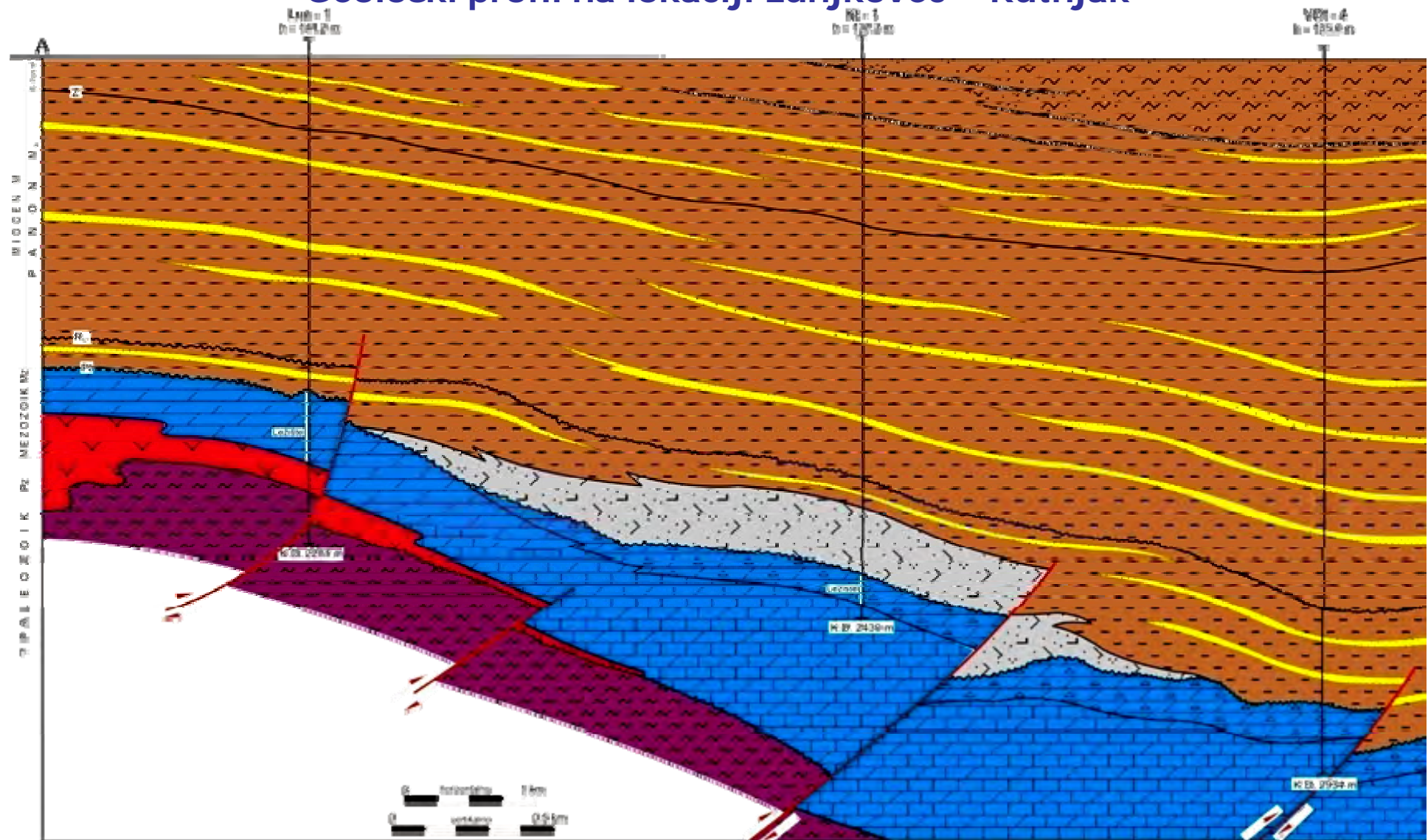
---

Mjesto	Područje	Ime bušotine	Kol. fluida kg/s		Temperatur a na ušću buš.	Tlak na ušću buš.	
			proiz.	utis.		proiz.	utisni
Lunjkovec -Kutnjak	Lunjkovec Kutnjak	Lunj-1 Kt-1	23	23	120 131	12	-
			23	23		14	-
Velika Ciglana	Velika Ciglana	VC-1 VC-2	30	30	- 152	-	1
			56	56		35	-

# Geotermalna elektrana na lokaciji Lunjekovec – Kutnjak

Parametri	Jedinica	Režim 1	Režim 2	Režim 3
Protok geotermalne vode	l/s	53	70	5 dana 53 l/s, 2 dana 70 l/s
Temperatura geotermalne vode	°C	140	140	140
Povratna temperatura geotermalne vode	°C	65 - 70	65 - 70	65 - 70
Rashladni sistem	-	voda iz Drave	voda iz Drave	voda iz Drave
Period rada sistema	h/god	7 884	7 884	7 884
Period rada sistema	%	90	90	90
Neto električna snaga (prag GTE)	kW	1 854	2 474	1 854 / 2 474
Proizvedena električna energija	kWh/god	16 327 779	21 564 991	17 824 125
Vlastita potrošnja*	kWh/god	2 957 406	3 765 518	3 188 295
Neto proizvedena električna energija	kWh/god	13 370 373	17 799 473	14 635 830
Prosječna efikasnost sistema	%	12,8	12,8	12,8

# Geološki profil A-A' Geološki profil na lokaciji Lunjkovec – Kutnjak



## LEGENDA:

Pješuvita glina	Lopa	Dolomit	Andazit
Vojen	Gnejs	Dolomitna klasta	Šeripan
Pješuvjak	R. R. - En markas	Vojen dolomit	

# Kalina – kružni proces mješavine vode i amonijaka (85 i 15 težinski %)

-postiže se oko 50% bolji stupanj djelovanja u odnosu na čisti binarni proces

