

IZKORIŠČANJE GEOTERMALNE ENERGIJE ZA PROIZVODNJO ELEKTRIČNE ENERGIJE

Geotermalna energija, ki je uskladiščena v geotermalnih vodonosnikih predstavlja za Slovenijo velik energetski potencial. Študije so pokazale, da je možno na osnovi izrabe termalnega vira v energetskih objektih izvesti proizvodnjo električne energije. Do sedaj še v Sloveniji ne obratuje nobena geotermalna elektrarna. Možnost uporabe geotermalne energije pogojuje temperatura geotermalnega vira. Ločimo nizkotemperaturne in visokotemperaturne geotermalne vire, mejno področje je približno 150 °C. Geotermični gradient je v posameznih področjih Slovenije različen. Za izkoriščanje so najprimernejša SV Slovenija, Celjska kotlina, Brežiško - Krška in Ljubljanska kotlina.

Sestavek opisuje osnovne značilnosti binarnih termodinamičnih procesov, ki jih koristimo za proizvodnjo električne energije in so zlasti primerni za izkoriščanje nizkotemperaturnih geotermalnih virov.

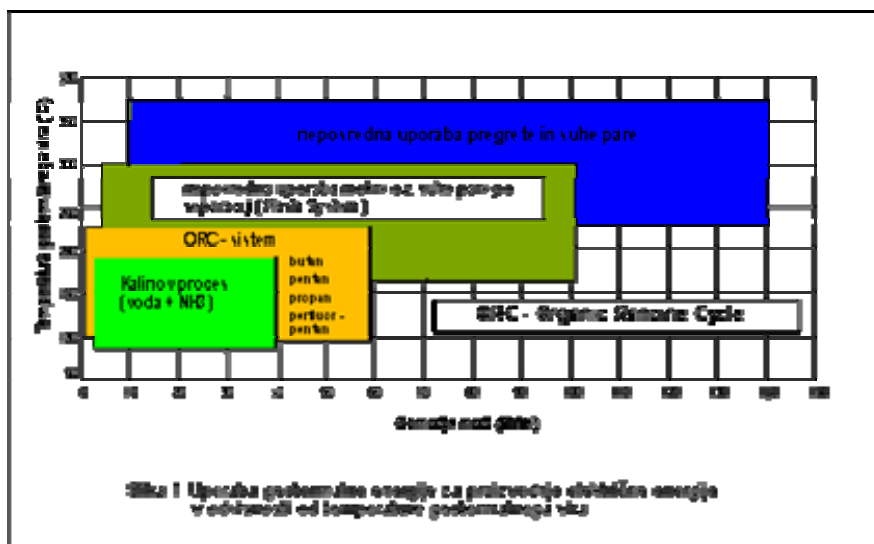
1. Izbira termodinamičnega procesa pri proizvodnji električne energije

Geotermalne elektrarne se pojavljajo se v 4 osnovnih izvedbah, glede na termodinamični -turbinski proces:

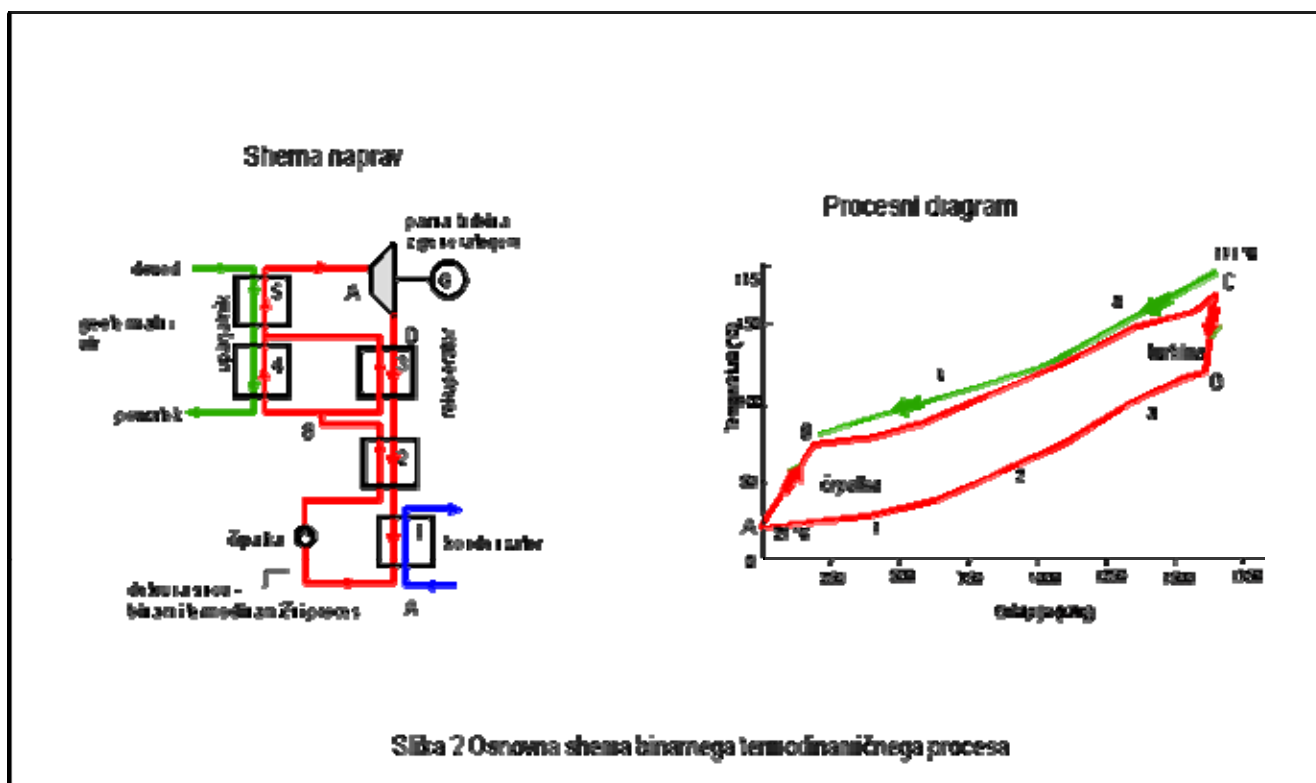
- odprt proces,
- zaprt eno ali dvostopenjski proces,
- binarni proces,
- Stirlingov proces.

Kakšen termodinamični proces uporabiti pri snovanju elektrarn, ki koristijo geotermalno energijo, je odvisno od temperature geotermalnega vira, izdatnosti (kg/s) in kemijske sestave. Za izkoriščanje geotermalnih virov z nizko temperaturo, uporabljamo binarne termodinamične procese. Pri teh procesih kot delovni medij koristimo organske snovi ali zmes amoniaka in vode. Prednost teh procesov je, da se lahko uporablja termalna voda s temperaturo do 90 °C iz plitvejših slojev zemlje, zato niso potrebna draga geološka in vrtalna dela. Delovni medij, ki se uporablja v turbinskem procesu, je pri Kalinovem procesu zmes amoniaka in vode, ki izpareva pri prehodu skozi toplotni prenosnik, v katerem se na drugi strani nahaja termalna voda. Podoben proces kot je Kalinov je tudi ORC (Organic Rankine Cycle), kjer se kot delovni medij lahko uporablja R 114 (diklortetrafluormetan $C_2Cl_2F_4$), perfluorpentan (C_5F_{12}) in izobutan (C_4H_{10}).

Pri koriščenju geotermalne energije za proizvodnjo električne energije izkoristki parnega sistema niso veliki zaradi nizke temperature medija in nizkih tlakov. Da bi izkoristili čim več energije, uporabljamo binarne termodinamične procese (Kalinov proces ali ORC), slika 1.



Na sliki 2 je prikazan procesni diagram binarnega termodinamičnega procesa in shema naprav za koriščenje geotermalne energije.



Dodatno delovno sredstvo (organske snovi) se uparja pri nižjih temperaturah. Pri tem geotermalni vir uporabimo za uparjanje delovnega sredstva v prenosniku toplote. Delovno sredstvo v turbini (v stanju pregrete pare) ekspandira. V kondenzatorju se nato utekočini in ga s črpalko potiskamo nazaj v prenosnik toplote (krožni proces je tako zaključen). Ta sistem je zelo uporaben pri nizki temperaturi geotermalne vira - termalne vode (spodnje mejno področje je do 90 °C).

Za izračun električne moči lahko uporabimo sledečo enačbo (Vir: R.B. Hudson: Proizvodnja električne energije):

$$P_e = (0,18 \cdot T - 10) \cdot Q / 87. \text{ (kW}_e\text{)}$$

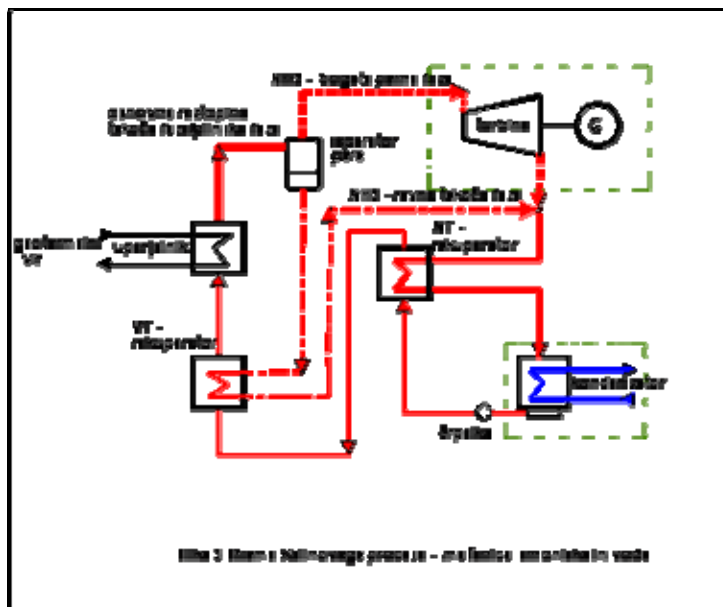
V enačbi pomeni:

- T - temperatura geotermalnega vira (□ C)
- $Q_t = q_m \cdot c_p \cdot \Delta T$ - toplotna kapaciteta - moč (kW_t)
- q_m - izdatnost geotermalnega vira (kg/s)
- c_p = specifična toplota (kJ/kgK)
- $\Delta T = T_{\text{napajanja}} - T_{\text{vračanja}}$

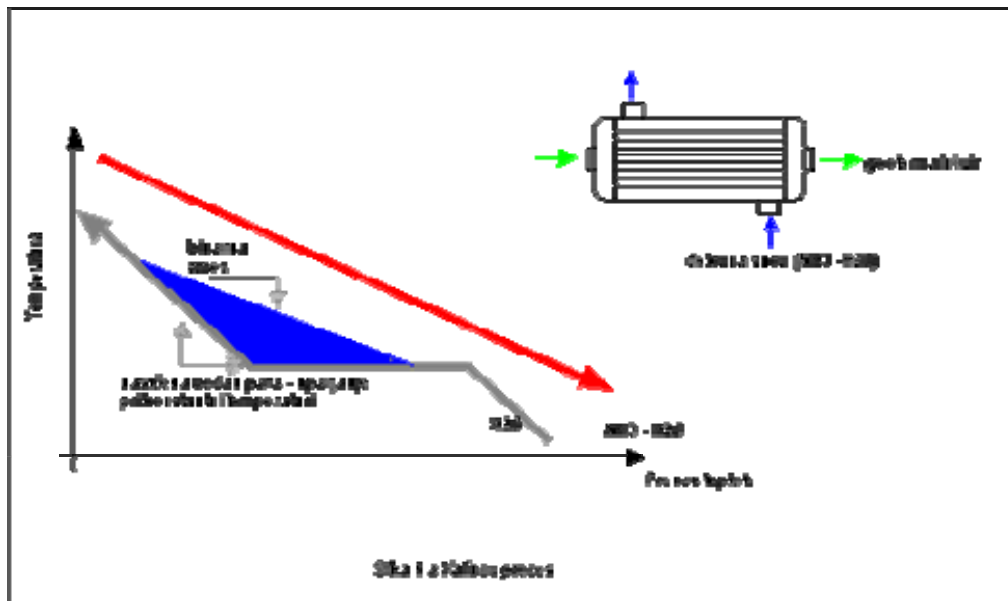
Izlivanje termalne vode v vodotoke po toplotni izrabi povzroča toplotno onesnaževanje okolja. Energijsko izrabljeno termalno vodo zato vračamo nazaj v vodonosnik (reinjektiranje).

1.a. Kalinov proces

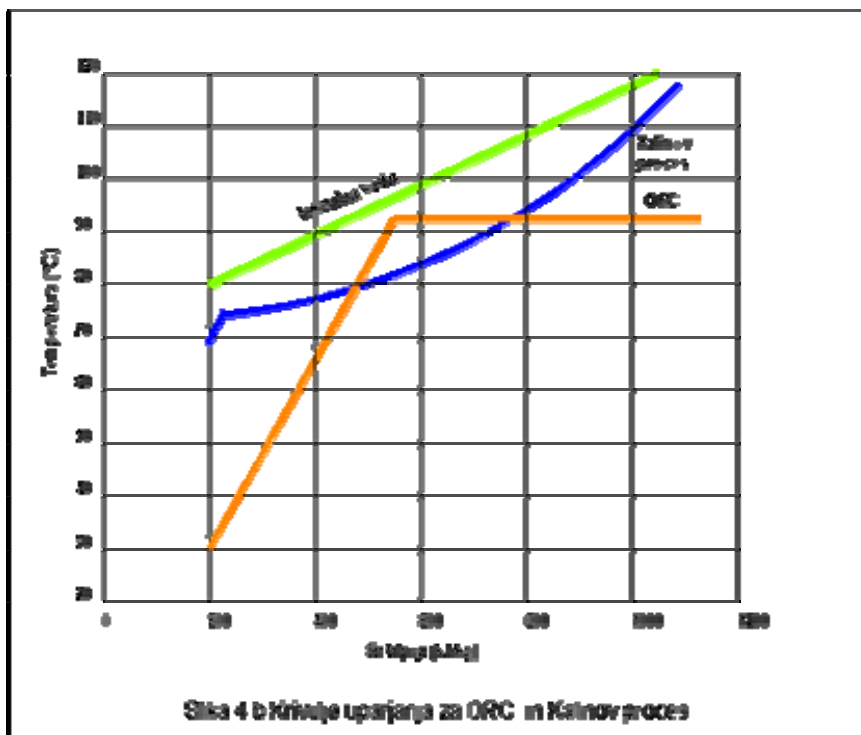
Delovni medij, ki se uporablja pri turbinskih delovnih procesih je zmes vode (85 %) in amoniaka (15 %). Ta se uparja pri prehodu skozi uparjalnik, v katerem se na sekundarni strani nahaja geotermalni vir- termalna voda. Nastala para poganja parno turbino (slika 3).



Prednost uporabe dvojne zmesi kot delovnega medija je v tem, da nima točno določene temperature uparjanja, ampak obstaja celotno področje uparjanja (slika 4 a). S tem je omogočena boljša izmenjava toplote.

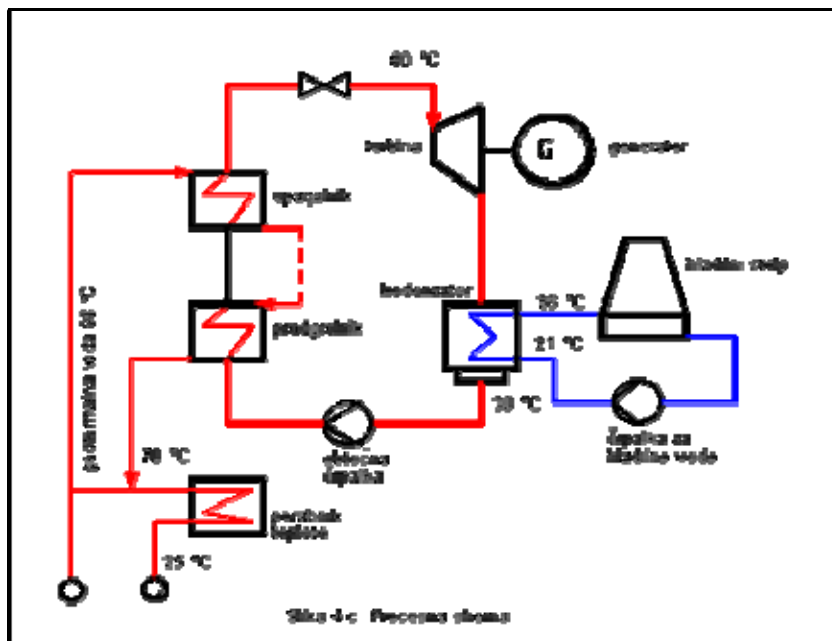


Na sliki 4 b je prikazana krivulja uparjanja za Kalinov proces in ORC.



1.b. ORC (Organic Rankine Cycle)

Na slik 4 c je prikazana funkcionalna shema geotermalne elektrarne, ki se uporablja kot delovni medij perfluorpentan (C_5F_{12}). Temperatura vstopne termalne vode znaša $98\text{ }^{\circ}\text{C}$, temperatura uparjanja delovnega medija pa $31\text{ }^{\circ}\text{C}$ pri normalnem tlaku. Molekularna masa delovne zmesi znaša 288, kar je 4 krat več od pentana (72) in mnogo več kot znaša zmes vode in amoniaka (18). Iz tega razloga je lahko turbina izvedena kot enostopenjska, za vrtljaje 3000 min^{-1} (2 polni generator, frekvenca 50 Hz).

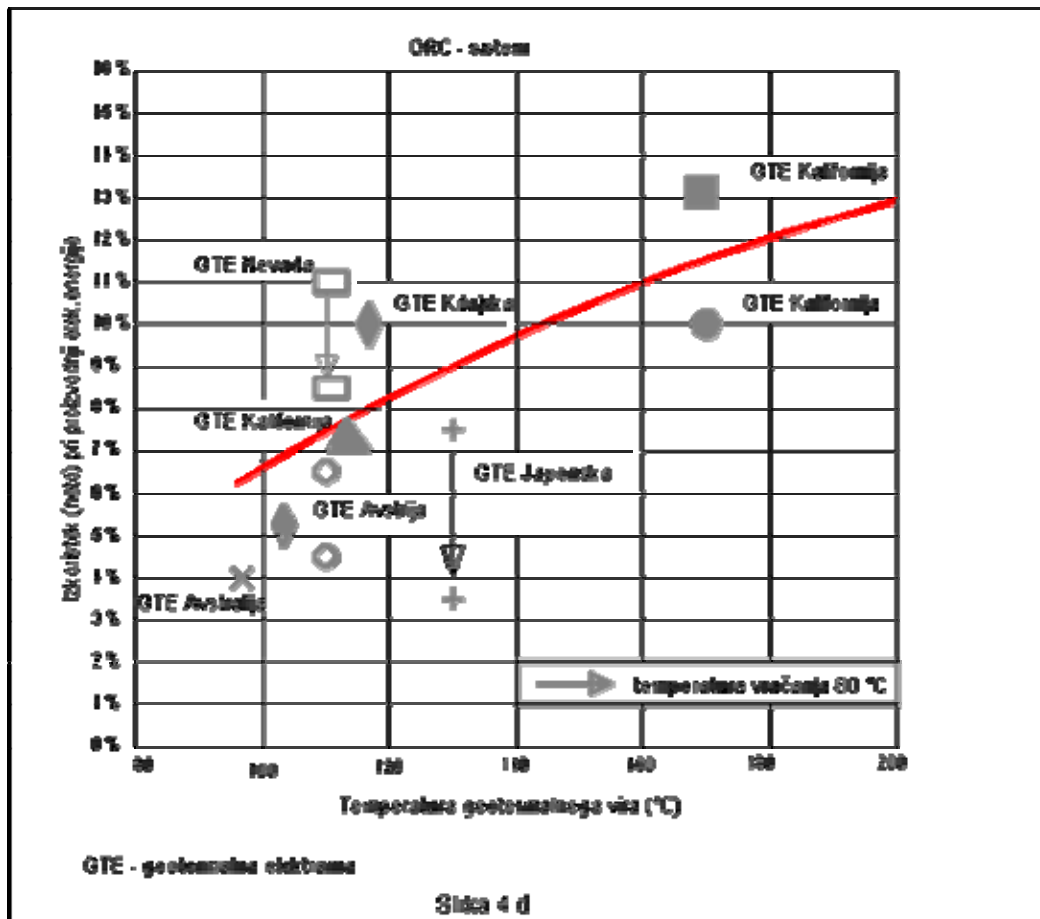


Pri uporabi lažjega pentana bi morali izvesti dve stopnji za doseganje 3000 min⁻¹. Problemi pri obratovanju postrojenja v zimskem času pri uporabi delovne snovi perfluorpentan (točka zmrzišča znaša - 53 °C) so v primerjavi s postrojenji, ki uporabljajo zmes vode in amoniaka, bistveno manjši.

Kondenzator lahko hladimo z zrakom ali vodo. Lastna raba energije (za pogon ventilatorjev in obtočnih črpalk) je sorazmerno velika. V zimskem času imamo lahko nastopijo problemi z zamrzovanjem, zato moramo v primeru okvare izpustiti hladilno vodo iz sistema.

2. Učinkovitost proizvodnje električne energije v geotermalnih elektrarnah

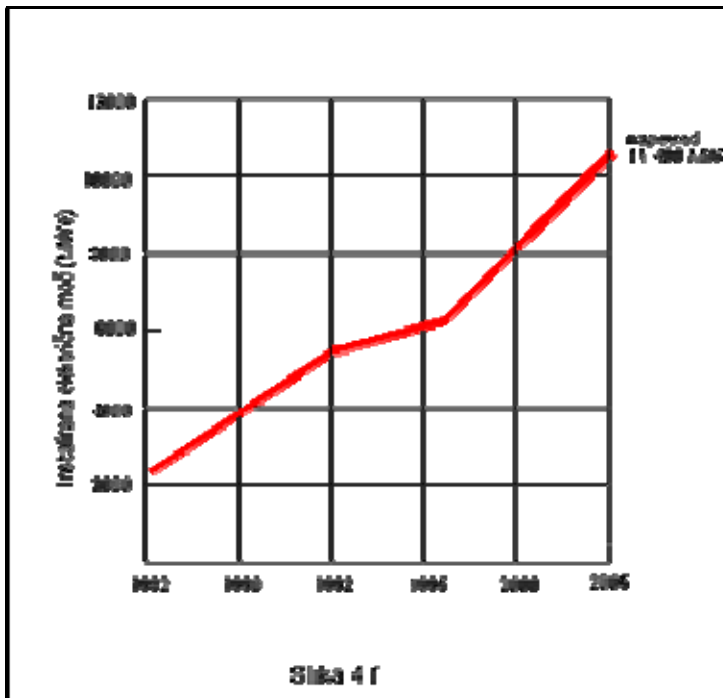
Učinkovitost proizvodnje električne energije (neto izkoristek) je odvisna od temperature geotermalnega vira (maksimalna temperatura 250 °C) in ne presega 15 %. Pri tem lastna raba geotermalnega postrojenja ni upoštevana. Na sliki 4 d je prikazan izkoristek pri proizvodnji električne energije za postrojenja, ki uporabljajo ORC sistem v odvisnosti od temperature termalne vode (Vir: Quelle: Kabus/SEIBT 2002).



Na sliki 4 e je prikazana GTE - geotermalna elektrarna moči 12 MW_e - ORC sistem, Nevada.



Diagram na sliki 4 e prikazuje skupno instalirano električno moč GTE v svetu. Napovedi za konec leta 2005 znašajo 11,4 GW_e. Največ instalirani moči imajo GTE v ZDA in sicer 2,2 GW_e, Filipini 1,9 GW_e, Italija 0,8 GW_e, Mehika 0,7 GW_e, Indonezija, Japonska, Nova Zelandija od 0,5 do 0,6 GW_e, Islandija, Salvador, Kostarika od 0,1 do 0,2 GW_e (Vir: RENEXPO, 20004).

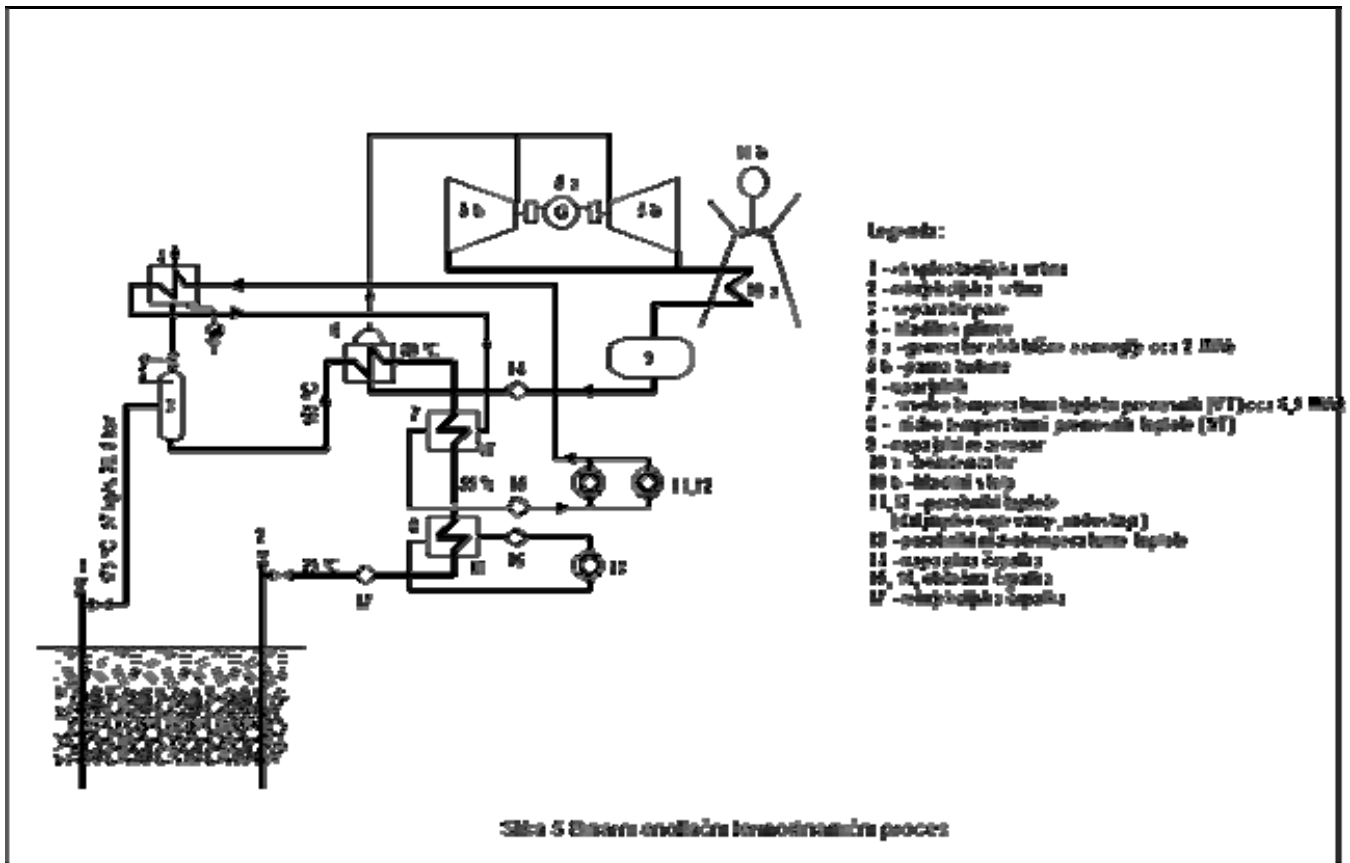


Slika 4 f

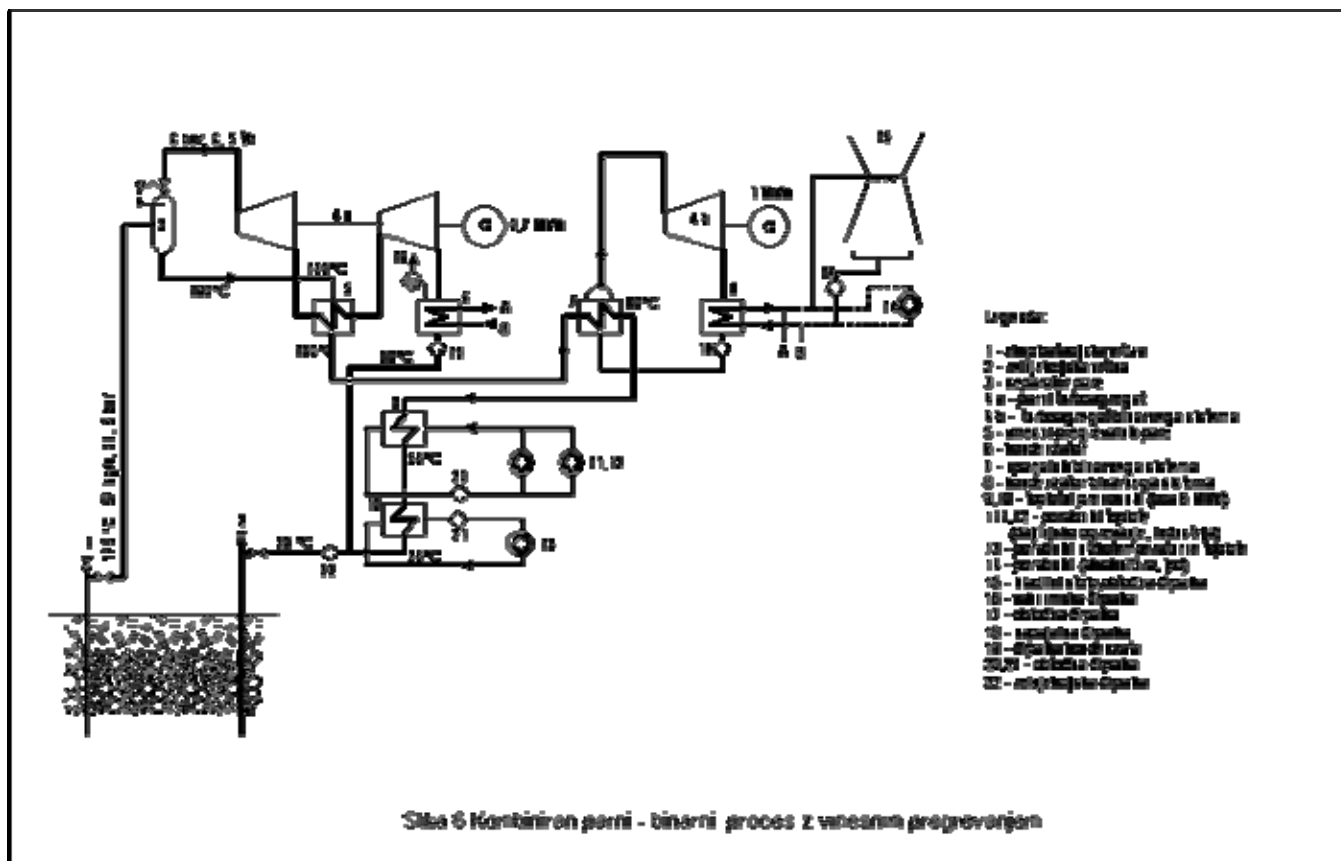
3. Možnosti gradnje geotermalnih elektrarn pri nas

Primeren za proizvodnjo električne energije je vodonosnik Termal II, ki leži na različnih globinah. Na območju depresije Ptuj - Ljutomer - Dolga Vas dosega največje globine in sicer do globine 5000 m. Vodonosnik na lokaciji okoli Ljutomer ima po ocenah temperaturo termalne slane vode med 90 in 175 °C, izdatnost vira znaša 57 kg/s. Že leta 1994 je bila izdelana študija o izkoriščanju geotermalne energije za proizvodnjo električne energije v Ljutomeru. Predvidena elektrarna, kjer bi se koristil binarni termodinamični proces ali kombiniran parno - binarni proces (na primer Rankinov proces z organsko snovjo R114), naj bi imela instalirano moč med 2 in 2,3 MW_e. Ta sistem je zelo uporaben pri visoki slanosti geotermalnega vira in nizki temperaturi vira (mejno področje je 80 do 90 °C). Zaradi manjšega specifičnega volumna organskega medija je velikost turbine manjša in s tem tudi cena. Organske snovi so stabilne in ne delujejo korozivno. Za reinjkciji je predvidena vrtina Ljutomer I. Reinjekcijska temperatura naj bi znašala 25 °C. Prvi projekti so že narejeni, izgradnja pa naj bi se začela čez nekaj let.

Na sliki 5 je prikazan binarni enotlačni sistem za proizvodnjo električne energije (približno 2 MW_e). Pridobljena toplotna energija se koristi za daljinsko ogrevanje in potrebe industrije (toplotna moč približno 6,5 MW_t).



Na sliki 6 je prikazan kombiniran parno- binarni sistem z vmesnim pregrevanjem.



Ocenjen potencial južnega polja Termal II, površine približno 1900 km², ki je primeren za neposredno pridobivanje električne energije s parnim procesom znaša približno 400 milijonov GJ, z binarnimi procesi pa še približno 650 milijonov GJ. Strokovnjaki ocenjujejo, da je možno iz ekonomskega in okolje varstvenega vidika izkoristiti maksimalno le 15 % teoretičnega potenciala.

V letu 2004 je bila v občini Benedikt uspešno izvedena prva od treh geotermalnih vrtin, ki je dokazala obstoj geotermalnega vodonosnika na globini 1800 do 1900 m. Predpostavlja se, da temperatura termalne vode na ustju vrtine ne bo nižja od 110 °C. Predvidena je izgradnja dveh geotermalnih elektrarn s skupno močjo 5 MW_e in dveh toplotnih postaj s skupno močjo 12,5 MW_t (Vir: Dr.Peter Kralj: Geotermalna energija v Benediktu, EGES, 4/2004).

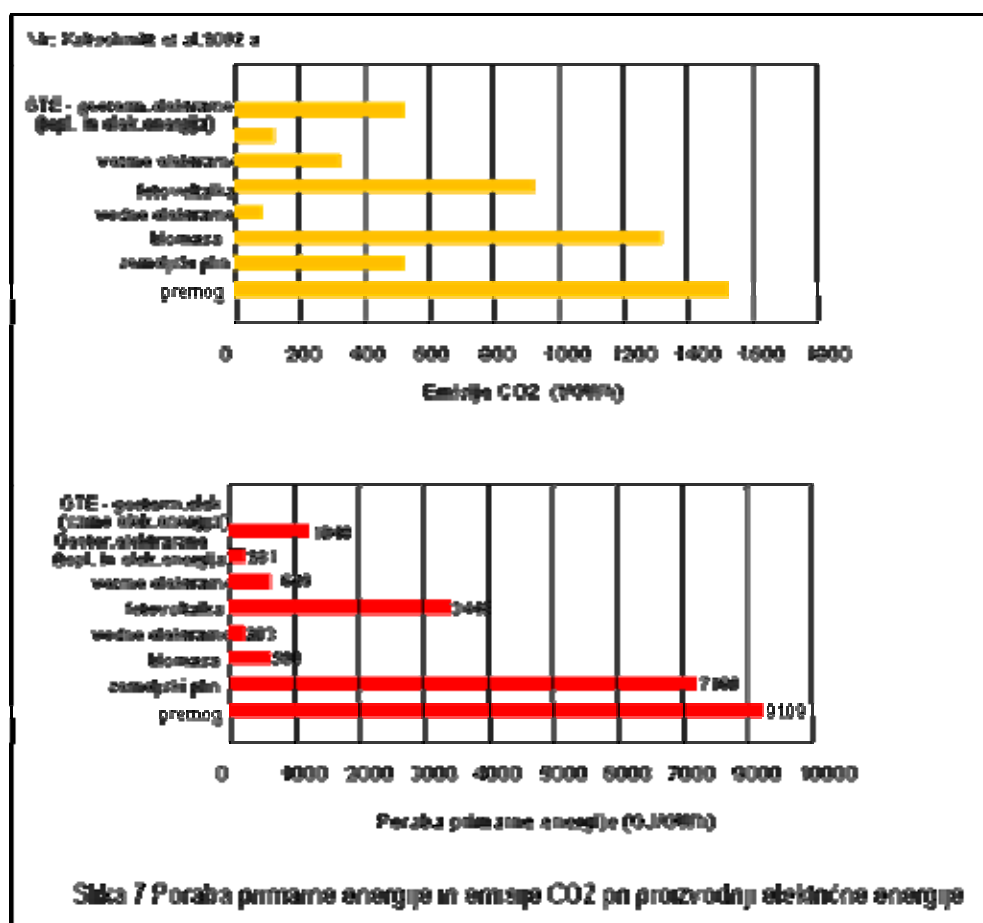
4. Vpliv geotermalnih elektrarn na okolje

Pri energetskih postrojenjih, ki koristijo obnovljive vire je vpliv na okolje vsekakor manjši, kot pri postrojenjih, ki koristijo fosilna goriva. Vplivi na okolje sledeči:

- onesnaževanje zraka in vode v času izgradnje in pogona postrojenja,
- usedanje tal zaradi praznjenja vodonosnikov, kar preprečimo z reinjektiranjem,

- odlaganje trdnih odpadkov (predvsem pri odprtih procesih),
- hrup (zvočno moč pri prostem izpusti pare znaša 120 dB, ki jo z vgradnjo dušilnikov zmanjšamo na 75 do 85 dB).

Do emisije škodljivih snovi prihaja zaradi škodljivih snovi v geotermalnem mediju. V večini gre za pline (CO_2 , H_2S , NH_3 , CH_4 , N_2 , H_2) v mejah od 1, 5 do 50 g/kg pare. Te pline pred uporabo pare izločimo v izločevalnikih. Med temi plini je največ CO_2 , vendar je njegova emisija v okolje manjša kot pri kotlih, ki koristijo fosilna goriva (diagram, slika 7).



Velika je tudi emisija vodikovega H_2S , ki oksidira v SO_2 . Emisije SO_2 znašajo 0,5 do 7 g/kWh proizvedene električne energije. Raba primarne energije je pri GTE znatno manjša, kot pri drugih energetske virih (slika 7). Ker termalne vode vsebujejo raztopljene pline in trdne snovi, zaradi česar nastanejo usedline in korozijo v ceveh sistema, kar odpravimo z odplinjanjem in ustreznimi kemičnimi postopki.

5. Zaključek

Osnovni razlogi za koriščenje geotermalne energije za proizvodnjo električne energije so zmanjšanje porabe fosilnih goriv, zmanjšanje emisij v okolje, možnosti dolgoročnega izkoriščenja (do 50 let), dolga življenjska naprava, modularna gradnja (več enot z manjšimi močmi) in prilagodljivost glede instaliranih moči (od 200 kW do 1200 MW_e). Razen tega so tudi stroški vzdrževanja in pogona mali (približno 5 do 8 % glede na skupne stroške). Med pomanjkljivosti pa prištevamo predvsem možnosti posedanja tla in hrup. Z reinjektiranjem izkoriščene termalne vode nazaj v vodosnik preprečujemo onesnaževanje, korozijske probleme in posedanje tal. Hkrati vzdržujemo tudi hidrodinamično ravnotežje v vodonosniku, kar poveča izkoriščenost vodonosnika 10 – do 20 krat. Pri gradnji GTE moramo računati tudi s tem, da učinkovitost proizvodnje električne energije (neto izkoristek) ne presega 15 % kar je odvisno od temperature geotermalnega vira. Izkoristek se giblje v mejah od 4 do 15 %.

Med alternativnimi viri, ki so pri nas na voljo, geotermalna energija vsekakor predstavlja pomemben energetske potencial, kar potrjujejo številni novi projekti, ki so že v pripravi. Projekti so usmerjeni v nove tehnologije in ne samo za proizvodnjo toplotne energije, temveč tudi za proizvodnjo električne energije.

Bojan Grobovšek, univ.dipl.inž.str.