

# Geotermalni resursi v Sloveniji

## 1 UVOD

Energije v obliki toplote Zemlja ne dobiva samo od Sonca, ampak jo v veliki meri tudi sama oddaja. Velika količina toplote, ki je uskladiščena v njeni notranjosti, je nastala predvsem iz:

- **gravitacijske energije**, katere del se je v času kontrakcije delcev v zemeljsko oblo pred 4,5 milijarde let spremenil v začetno toplotno energijo, in
- **radiogene toplote**, ki je posledica razpada naravnih radioaktivnih izotopov z dolgo razpolovno dobo, predvsem  $U^{238}$ ,  $Th^{232}$  in  $K^{40}$ . Do sedaj je na ta način proizvedene približno tretjina toplote, dve tretjini pa je bo z radioaktivnim razpadom še nastalo.

Današnje celotno količino Zemljine toplote (kolikor jo je že oddala, kolikor jo še ima in kolikor jo bo še pridobila), ocenjujemo na okoli  $18 \cdot 10^{30}$  joulov. To je potencial, ki je za človeštvo danes praktično neizmeren (Kralj, 1992).

Za primer naj navedem tole: Če ohladimo  $1 \text{ km}^3$  kamenine za  $80^\circ\text{C}$ , pridobimo  $1,6 \cdot 10^{17}$  joulov toplotne energije, kar je enako 45 milijardam kWh toplote ali 28 milijonom sodčkov nafte. Če bi to toploto pretvorili v električno energijo pri današnjih (18 %) izkoristkih geotermalnih elektrarn, bi ta toplota v  $50 \text{ MW}_e$  geotermalni elektrarni zadostovala za neprekinjeno delovanje 46 let.

Toplota iz Zemljine globine počasi prodira proti površju. Če so v zemeljskih plasteh globoke razpoke – prelomi še zapol-

njeni z vodo, je voda ob teh prelomih, kjer izvira, ogreta. Takšne izvire imenujemo termalne izvire, vodo, ki je transportno sredstvo za prenos toplote, pa termalna. Kjer takšnih izvirov ni ali pa želimo izkoriščati večje količine Zemljine toplote, moramo termalne vodonosnike v globini zajeti s pomočjo vrtin. Tako lahko povsod, kjer je v večjih globinah vodonosnik, pridobivamo termalno vodo. Če ga v zaželeni globini ni, lahko s posebnimi postopki v primerni globini kamnino razrušimo in tako umetno ustvarimo razpoke. Skozi vrtine za injektiranje vtiskamo hladno vodo, ki se na poti skozi umetno ustvarjene razpoke ogreje in prevzame energijo v obliki toplote od kamine. Ogreto vodo nato črpamo skozi eksploatacijske vrtine na površje in uporabljamo za svoje potrebe. Ta način pridobivanja Zemljine toplote je šele v fazi prvih preizkušanj in ga s tujko imenujemo HDR – Hot-Dry-Rock (suha vroča kamnina). Za manjše potrebe po energiji lahko tudi v suho vrtino vstavimo krožni cevni sistem s tekočino, ki v globini kamnini odzame toploto. Na površini to toploto ogreti tekočini odzhamemo, danes izključno z uporabo toplotnih črpalk, ohlajeno pa ponovno potisnemo v globino. Energijo, ki jo na ta način pridobimo, imenujemo geotermalna energija.

Izkoriščanje velikih količin toplotne energije pogojujejo velike količine črpane termalne vode, zato pogosto postane pereč problem. Geotermalni vodonosniki imajo velik obseg in so praviloma zaradi globine, v kateri so, slabše prepustni. Zato se voda v njih pretaka počasi in tudi počasi (prepočasi) obnavlja. Edina dolgoročna rešitev je, da energetsko izrabljeno termalno vodo vračamo nazaj v prvotni vodonosnik in na ta način vzpostavimo hidravlično ravnotežje. Obenem pa tudi ne onesnažujemo okolja. Tako je geotermalna energija ekološko popolnoma neoporečna.

## 2 KLASIFIKACIJA GEOTERMALNIH VIROV

Praktično klasifikacijo geotermalnih virov lahko naredimo na osnovi temperaturnega območja, ki pogojuje možnost uporabe geotermalne energije.

Temperaturno območje fluidov pod 25°C omogoča le uporabo toplotnih črpalk (npr. voda – voda). Instalirana moč takšnih naprav je običajno v območju do 100 kW<sub>t</sub>. Večje sisteme, ki dosegajo nekaj 100 kW<sub>t</sub> (die Erdwärmesonden), gradijo predvsem v Švici. Takšne ogrevalne naprave so primerne za eno ali nekaj stanovanjskih objektov.

S fluidi temperature 25-90°C danes še ne moremo proizvajati električne energije po ekonomsko sprejemljivi ceni, so pa primerni za direktno izrabo toplote tako za ogrevanje bivalnih

prostorov, pripravo tople sanitarne vode, v kmetijstvu (steklenjaki, plastenjaki, živalske farme, ribniki...), balneologiji in rekreaciji ter industriji (sušenje, pasterizacija...) kakor tudi za hlajenje (hladilnice, klime...).

Fluidi v temperaturnem območju med 90 in 150°C se lahko uporabljajo za neposreden odvzem toplote kakor tudi za proizvodnjo električne energije v binarnih geotermalnih elektrarnah, ki uporabljajo za pogon turbin tekočine z nižjim vreliščem, kot jo ima voda (ORC – Organic Rankin Cycle).

Fluidi s temperaturo preko 150°C, predvsem pa preko 200°C, pa so že primerni za proizvodnjo električne energije s parnimi turbinami z enojno ali večkratno separacijo geotermalne pare (slika 1).

### 3 POTENCIALI V SLOVENIJI

#### 3.1 Splošno

Slovenija leži na stičnem območju Alp, Dinaridov in Panonskega bazena. Gubanje in narivanje, ki je spremljalo kolezijo Afriške in Evropske plošče, je ustvarilo tudi globoke prelomne (tektonske) cone. Le-te so omogočile globinsko cirkulacijo padavinskih vod. Te vode so se v globini ogrele in kasneje nekatere tudi v izvirih prišle na dan kot termalne.

Za pretok toplote je pomembna tudi debelina skorje. Tu je največja v zahodnem delu Slovenije, kjer znaša okoli 50 km. Proti vzhodu se nato tanjša, tako da v skrajnem vzhodnem delu znaša le še okoli 30 km. Zato so načeloma vzhodni deli Slovenije ekonomsko ugodnejši za pridobivanje Zemljine toplote. To drži le v zelo majhni meri za termalne in termomineralne vode, ki se uporabljajo v balneologiji. "Toplice" brez termalne vode ne morejo obstajati; sama investicija pridobitve termalne vode (geotermalne vrtine) tvori le nekaj odstotkov vrednosti celotnega objekta (zdravilišča).

Vode, primerne za odvzem toplote, so v Sloveniji tako v razpoklinskih (predvsem karbonatih – dolomiti in apnenci, delno pa tudi peščenjakih) kakor tudi medzrnskih (peski, prodi) vodonosnikih. Razpoklinski vodonosniki starejše plasti, običajno mezozojske starosti. V terciarnih kadunjah, kjer še ni prišlo do popolne konsolidacije plasti in kjer še ni izločeno medzrnsko vezivo, pa so še zmeraj, tudi v globinah preko 1000 m, peski. Prodne plasti, ki so nastale z nanosi rek, so v glavnem na površini, voda v njih pa je ogreta na temperaturo, ki je blizu povprečni letni temperaturi površine tistega kraja. Obstajajo izjeme, kjer debeline prodnih plasti lahko presegajo 1000 m. Temperatura termalne vode v njih znaša okoli 40°C.

### 3.2 Termalne vode

Med termalne vode v Sloveniji prištevamo po dogovoru vse vode, katerih temperature presegajo povprečno letno temperaturo za več kot 5°C na kraju izvira.

Termalne vode so na ozemlju Slovenije izkoriščali že stari Rimljani, kar je dokazano v arheoloških najdiščih, zelo verjetno pa tudi naseljene populacije pred njimi. Termalna voda je bila običajno zajeta s plitvimi vodnjaki, pogosto kar v kletnih prostorih stavb. Šele leta 1957 je bilo v Termah Čatež izdelano prvo globoko zajetje termalne vode (Nosan, 1973). Kot resnejši možni energetski vir je toplota Zemlje postala zanimiva šele po prvem naftnem šoku leta 1973. Do takrat se je z izjemo Term Čatež (ogrevanje rastlinjakov) termalna voda uporabljala izključno v toplicah za balneološke in rekreacijske namene.

Danes ocenjujemo, da ima Slovenija na razpolago 14.000 TWh<sub>t</sub> teoretičnih, od tega 3.300 TWh<sub>t</sub> izkoristljivih zalog toplote, ki je zajeta samo v geotermalnih vodonosnikih. Prednost izkoriščanja geotermalne energije je ob ekološki upravičenosti tudi njena razpoložljivost, ki ni odvisna od zunanjih vplivov (kot na primer hidroenergija od stanja pretoka reke oz. padavin).

Slovenija že razpolaga z 28 naravnimi izviri in 48 lokacijami, kjer je termalna voda zajeta z vrtinami, s skupno instalirano termično močjo 129 MW<sub>t</sub>. Od tega se izkorišča 103 MW<sub>t</sub>, ali 80,5 % (Ravnik et al.). Ocenjujemo, da lahko z izkoriščanjem geotermalne energije na obstoječih objektih v Sloveniji pridobimo okoli 400 GWh<sub>t</sub> toplote letno. Vsi ti geotermalni viri so primerni le za direktno izrabo toplote. Za izkoriščanje visokotemperaturnih geotermalnih sistemov, s tem pa tudi možnost proizvodnje električne energije, je že v pripravi "Geotermalni pilotni projekt Ljutomer".

Razen območja severovzhodne Slovenije in Rogaške Slatine, kjer so te vode tudi mineralizirane (termomineralne), termalne vode ne vsebujejo velikih količin raztopljenih snovi. Najpogostejši vodonosniki so karbonatne kamenine (predvsem dolomit, manj apnenec). Ker je geotermični gradient v posameznih delih Slovenije različen, je zaradi tega tudi temperatura termalne vode, zajete v enakih globinah, različna. Za primer naj navedem karto razdelitve temperature v globini 1000 m, ki je prikazana na sliki 2. Iz karte je razvidno, da so najperspektivnejša območja severovzhodne Slovenije, vzhodna Slovenija ter Celjska, Brežiško-Krška in Ljubljanska kotlina.

Izkoriščanje geotermalne energije, s tem pa tudi termalnih in termomineralnih vod je potrebno gledati v okviru makroekonomskega koncepta razvoja Republike Slovenije. Termalne vode ne zagotavljajo le energetske preskrbe, temveč

pomenijo še veliko več v konceptu zdraviliško-rekreacijskega domačega in tujega turizma, s tem pa tudi velikega dela malega gospodarstva in kmetijstva.

### 3.2.1 TEMPERATURNO OBMOČJE POD 25°C

S pojmom "plitva geotermija" imenujemo tisto izrabo Zemljine toplote, ki odvzema toploto v majhnih globinah, iz pripovršinskih vodonosnikov ali preko toplotnih sond. V Sloveniji se danes uporabljajo izključno toplotne črpalke voda-voda, ki rabijo pripovršinske vodonosnike. Uporabljajo se predvsem za ogrevanje enodružinskih hiš. Ocenjujemo, da je takšnih uporabnikov preko 500 in da se na ta način letno zagotovi okoli 14 Gwh<sub>t</sub> toplote, kar je ekvivalent 5.100 ton velenjskega lignita.

### 3.2.2 Temperaturno območje 25–90°C

V to toplotno območje spadajo vsi današnji uporabniki termalnih vod z izjemo "plitve geotermije", prav tako so v njem zajeti vsi danes poznani termalni vodonosniki z izjemo termalnega vodonosnika Termal II v severovzhodni in vzhodni Sloveniji.

To so predvsem slovenska naravna zdravilišča, ki termalno vodo izkoriščajo večstransko. Običajno jo rabijo za balneologijo, v odprtih in zaprtih bazenih, kot vir energije pa za ogrevanje prostorov ter pripravo tople sanitarne vode. V Moravskih Toplicah s termalno vodo dodatno ogrevajo še manjši rastlinjak, ki delno pokriva potrebe zdravilišča. Nekaterim zdraviliščem, kot na primer v Čatežu, direktna izraba ne zadostuje v koničnih potrebah pri ogrevanju. Zato imajo za pokrivanje konic montirane dodatno še toplotne črpalke in druge energetske vire.

Termalne vode pa se ne uporabljajo le v zdraviliščih, ampak jo izkoriščajo tudi samo za energetske izrabe. V Murski Soboti jo izkoriščajo za ogrevanje stanovanjskih in hotelskih površin, pripravo tople sanitarne vode in ogrevanje bazenske vode v letnem kopališču, v Agrariji Čatež za ogrevanje rastlinjakov, na Vrhniki pa v industriji.

Ocenjujemo, da se letno (1995) v Sloveniji proizvede 400 Gwh<sub>t</sub> toplote pri vseh uporabnikih, kar je energetski ekvivalent 147.000 ton velenjskega lignita.

### 3.2.3 Temperaturno območje nad 90°C

Termalnih vod tega temperaturnega območja danes v Sloveniji ne izkoriščamo. Z vrtnami pa je že dokazano, da obstajajo možnosti njegovega izkoriščanja (Termal II).

## 4 VIZIJA RAZVOJA IZKORIŠČANJA GEOTERMALNE ENERGIJE

Geotermalna energija, uskladiščena samo v geotermalnih vodonosnikih, bo v daljši prihodnosti za Slovenijo morala imeti pomembno vlogo. Ob svoji ekološki sprejemljivosti pomeni tudi enega največjih energetskega potencialov, ki jih energetska deficitarna Slovenija ima. Pri tem je potrebno upoštevati, da imajo termalni vodonosniki lokalni značaj, predvsem pri direktni izrabi, ki iz ekonomskih razlogov ne prenese daljših transportov. To pa ne velja za proizvodnjo električne energije. Cena za proizvodnjo toplote iz geotermalnih virov je v cenovnem razredu s preostalimi energenti, zaradi česar je prav tako pričakovati pospešeno rast izkoriščanja tega energetskega resursa. To potrjujejo tudi mnogi novi projekti, ki se pripravljajo, kot so "Geotermalni pilotni projekt Ljutomer" s soproizvodnjo električne energije, za katerega je že izdelana tudi mednarodna feasibility študija, "Zdraviliško-rekreacijski kompleks Bukovnica", "Toplifikacijski sistem Murska Sobota" (Kozarski, Kmetec, 1992), projekti v Lendavi, Mariboru, Portorožu, Novi Gorici, Cerknem, Ormožu. Novi projekti se pripravljajo tako v že tradicionalnem območju vzhodne in severovzhodne Slovenije kakor tudi na Primorskem, kjer je bilo izdelanih že nekaj uspešnih globokih geotermalnih raziskovalno-kaptažnih vrtin. Prav tako so novi projekti usmerjeni v nove tehnologije in celo proizvodnje električne energije. Še veliko več je projektov za povečanje že obstoječih kapacitet.

Pričakujemo, da se bodo razpoložljive kapacitete v naslednjih desetih letih podvojile.

Za boljšo rentabilnost geotermalnih projektov je potrebno v prihodnje pozornost usmeriti na:

- večjo izkoriščenost celotnega temperaturnega območja (kaskadno izkoriščanje),
- celoletno izkoriščanje vrtin,
- uporabo akumulacijskih rezervoarjev,
- vračanje energetskega izkoriščene, intaktne, termalne vode v prvotni vodonosnik. S tem bo dosežena ekološka neoporečnost energetskega vira.

Za konec naj omenim le nekaj novih tehnologij za izkoriščanje geotermalne energije, ki so v svetu šele v razvojni fazi:

- izkoriščanje globokih vodonosnikov s temperaturo preko 400°C,
- HDR (Hot-Dry-Rock) tehnologija,
- ekstrakcija toplote iz magme.

Uporaba omenjenega bo zelo verjetno mogoča šele v drugi polovici prihodnjega stoletja.

*PETER KRALJ*, dipl. ing. geologije, je zaposlen na Geološkem inštitutu v Ljubljani.

LITERATURA:

- KOZARSKI, A., KMETEC, J. (1992): **Finančno-ekonomska ocena utemeljenosti investicije v geotermalno ogrevanje Murske Sobote**, Arhiv IBE, Ljubljana.
- KRALJ, P. (1992): **Geotermalna energija**, Onesnaževanje in varstvo okolja – geologija in tehnika za okolje, 3. posvetovanje, 54-57, Ljubljana.
- NOSAN, A. (1973): **Termalni in mineralni vreli v Sloveniji**, Geologija 16, 5-81, Ljubljana.
- RAVNIK, D., RAJVER, D., ŽLEBNIK, L., KRALJ, P. (1992): **Geološke strukture: viri termalnih in mineralnih vod v Sloveniji**, Mineralne in termalne vode v gospodarstvu in znanosti Slovenije, III. posvet, 9-32, Ljubljana.