

**ID 09**

GEOTERMIJA V RUDARSKI PRAKSI

doc.dr. Boris SALOBIR

UL, NTF, Oddelek za geotehnologijo in rudarstvo, Aškerčeva 12, LJUBLJANA
in PROTOS INŽENIRSKI BIRO d.o.o. Cesta III/26, VELENJE
protos@siol.net

POVZETEK

V zadnjem času se vse bolj nagibamo k uporabi alternativnih virov energije, h katerim spadajo tudi geotermični energetske viri. Te energije je na Zemlji v izobilju, se pa izjemno malo izkorišča. Večinoma izkoriščamo le geotermalne vodne vire iz globokih vrtin, same zemeljske toplote pa zelo malo. V zadnjih letih se je razvila uporaba odjemnikov Zemljine toplote, ki delujejo na principu konvekcije toplote, ki jo sprošča Zemlja v globini, to pa prestrežemo s tako imenovano geosondo. Tu ne pride do stika medija (vode) z Zemljino notranjostjo, saj je ves sistem neprodušno zaprt in vodi toploto do toplotne črpalke, od tam pa naprej v toplotni krog ogrevanja ali hlajenja stavbe, saj je sistem reverzibilen.

Za izgradnjo sistema je potrebna vrtina, ki jo zgradimo z rudarskim delom na podlagi litološke in geotermične prognoze in obvladovanje vstavljanja odjemnika v vrtino ter njegova povezava z ogrevalnim sistemom stavbe. Ker je vrtina in njena uporaba le del celotnega sistema se rudarji posvečamo tudi izračunu toplotne izdatnosti vrtine, ocenjevanju geotermičnega gradienta, medsebojnim vpivom posameznih vrtin in nadaljnjim izračunom razvoda in ogrevanja ali hlajenja stavb. Tako smo že uresničili projekte, ki z eno ali več vrtinami ogravajo pomembne objekte, do takih, ki za ogrevanje in hlajenje potrebujejo dvajset in več vrtin - odjemnikov. Vsekakor je izkoriščanje tega segmenta geotermične energije pomembna niša v rudarski dejavnosti, ki jo moramo naprej razvijati in je ne smemo zanemariti ali izpustiti iz rok. V času intenzivnega iskanja obnovljivih energetskih virov, ki bi vsaj delno zamenjali klasične vire, je le razvoj vsake od najdenih možnosti prava pot za nadaljevanje dela in naše rudarske stroke

Ključne besede: rudarstvo, geotermija, geosonda, ogrevanje;

UVOD

Suho izkoriščanje geotermične energije v zadnjih dveh letih pospešeno narašča, saj je ta energija dostopna praktično povsod, imamo jo na domačem dvorišču, ima dejansko neomejeno izdatnost in z njo dosežemo veliko energetske neodvisnosti.

To energijo izkoristimo s pomočjo vrtine, v katero vstavimo sistem dovodnih in povratnih cevi, povezanih z združevalno sondo, v katerih se pretaka voda ali katero drugo sredstvo, ki

dovolj učinkovito sprejema nase Zemljino toploto in jo na površju prav tako učinkovito odda v toplotno črpalko.

GEOTERMALNA ENERGIJA KOT VIR TOPLOTE

Geotermalna energija je toplota zemljine notranjosti. Na površje pride čez mlajše magmatske intruzije in s kodukcijo čez globoke tektonske diskordance ter dovodne vulkanske kanale. Značilni izviri geotermalne energije nastajajo tudi pri razpadu radioaktivnih elementov v Zemljini skorji in drugimi kemičnimi procesi, ki se v njej dogajajo. Bistveni pokazatelj perspektivnosti nekega območja je geotermična anomalija, ki z hidrološkega in hidrokemičnega stališča daje jasno sliko možnosti in načina izkoriščanja energetskega potenciala. Glede na njeno pojavnost in možnost praktičnega koriščenja, delimo geotermalno energijo na:

- **hidrogeotermalno energijo in**
- **petrogeotermalno energijo.**

Prva je geotermalna energija tekočih in plinastih fluidov, druga je geotermalna energija mase kamnin. Geotermalna energija se sestoji iz treh komponent:

- **energetskega toka skozi Zemljino skorjo v obliki prenosa snovi, (magma, voda, para, plin),**
- **toka toplote zaradi prevodnosti in**
- **energije, ki je uskladiščena v kamninah in fluidih Zemljine skorje.**

Viri z nižjimi temperaturami so zastopani pogosteje kot tisti z višjimi temperaturami. Konvencionalno izrabo geotermalne energije ponavadi delimo na:

- **visokotemperaturne vire s temperaturo vode nad 150°C, ki jih izrabljamo za proizvodnjo elektrike in**
- **nizkotemperaturne vire s temperaturo vode pod 150°C, ki jih v glavnem izrabljamo neposredno za ogrevanje.**

Kamnina	Koncentracija g t ⁻¹			Povprečna skupna ustvarjena toplota	
	Uran	Kalij	Torij	$\frac{\mu\text{cal}}{\text{g leto}}$	$\frac{\text{mJ}}{\text{kg leto}}$
Sedimenti	3,00	20 000	5,0	3,73	15,62
Graniti	4,75	37 900	18,5	8,18	34,25
Intruzivi	2,00	18 000		3,40	14,24
Bazalti	0,60	8 400	2,7	1,21	5,07
Eklogiti	0,048...0,250	360...2 600	0,18...0,45	0,08...0,34	0,33...1,42
Peridotiti	0,015	63	0,05	0,02	0,08
Duniti	0,008	8	0,023	0,01	0,04
Hondroditi	0,012	845	0,04	0,04	0,17

Slika 1.: Tabela koncentracije radioaktivnih elementov v nekaterih kamninah in odgovarjajoča nastala toplota.

POREKLO TOPLOTE

Temperaturne razlike znotraj Zemlje povzročajo toplotne tokove, ki v glavnem tečejo iz notranjosti proti površini Zemlje. Del te toplote najbrž izvira iz tako imenovane **originalne ali primarne toplote**, ki je bila vskladiščena že v času nastanka Zemlje. Največji del toplote nastane z razpadanjem radioaktivnih elementov, ki se nahajajo v kamninah litosfere (kamninskega plašča Zemlje). Na sliki 1 so prikazane količine toplote, ki nastajajo v različnih vrstah kamnin ter koncentracije radioaktivnih elementov v njih.

Nastajanje toplote z radioaktivnim razpadanjem je večje v kisljih kamninah, ki se nahajajo v manjših globinah, od tistega v bazičnih in ultrabazičnih kamninah, ki se nahajajo v večjih globinah. Povprečni toplotni tok iz Zemljine notranjosti proti površini znaša približno $67 \cdot 10^6 \text{ kWm}^{-2}$.

Toplota nastaja tudi zaradi nekaterih kemijskih reakcij znotraj Zemlje. Del toplote predstavlja tudi trenje, ki se pojavlja pri premikih Zemljine skorje, zaradi tako imenovane plime in oseke, pa tudi trenje v robnih območjih plavajočih tektonskih plošč, ki sestavljajo Zemljino skorjo.

Toplota se iz Zemljine notranjosti prenaša na površino na tri načine :

- s **prevajanjem (kondukcijo)**,
- s **prenašanjem (konvekcijo) in**
- s **toplotnim sevanjem.**

Najpomembnejši način prenosa toplotne energije znotraj zemlje je kondukcija. Za homogene izotropne medije se lahko toplotni tok izrazi z obrazcem:

$$q_t = -k \text{ grad } \Theta,$$

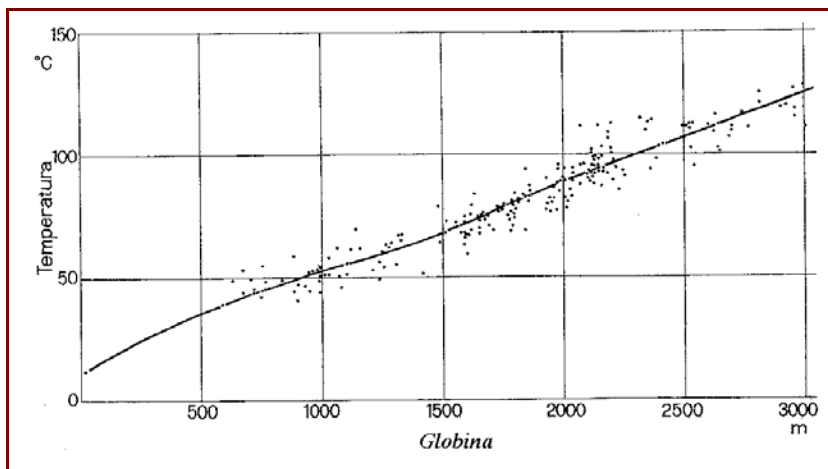
pri čemer je k specifična toplotna prevodnost, $\text{grad } \Theta$ pa je gradient temperature. Ob predpostavki, da je toplotni tok iz Zemljine notranjosti proti površini pozitiven in vertikalni lahko obrazec zapišemo tudi v obliki:

$$q_t = k * \partial \Theta / \partial z.$$

Toplotna prevodnost k se lahko meri s primernimi merilnimi instrumenti na vzorcih kamnine ali se določi na podlagi določenih toplotnih pojavov v vrtinah. Vrednosti k lahko dobimo tudi iz ustrezne tabele, kjer je shematsko prikazana toplotna prevodnost k [$\text{Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$] za različne materiale. Največjo toplotno prevodnost imajo kvarcit, dolomit, peščenjaki, konglomerat, graniti in bazalti.

Temperatura se večja v smeri proti središču Zemlje s povprečno geotermično stopnjo 1 K na vsakih 33 m globine. Geotermična stopnja kaže globino za katero se je treba spustiti v notranjost Zemlje da bi se temperatura povečala za 1 merno enoto (1 Kelvin). Pogosto se dviganje temperature izrazi tudi z geotermičnim gradientom, ki označuje temperature glede na enoto globine. Geotermična stopnja se spreminja od 1,5 do 180 m/K. Geotermična stopnja na

našem območju niha od jugozahodne Panonske nižine, Alp in Dinarskega pogorja na jugu. Povprečna geotermična stopnja na območju JZ Panonske nižine znaša 25 m/K, za območje Dinaridov pa je geotermična stopnja znatno večja in dosega do 160 m/K, na območju Alp pa je povprečno 90 m/K. Diagram odnosa temperature in globine je prikazan na naslednji sliki:



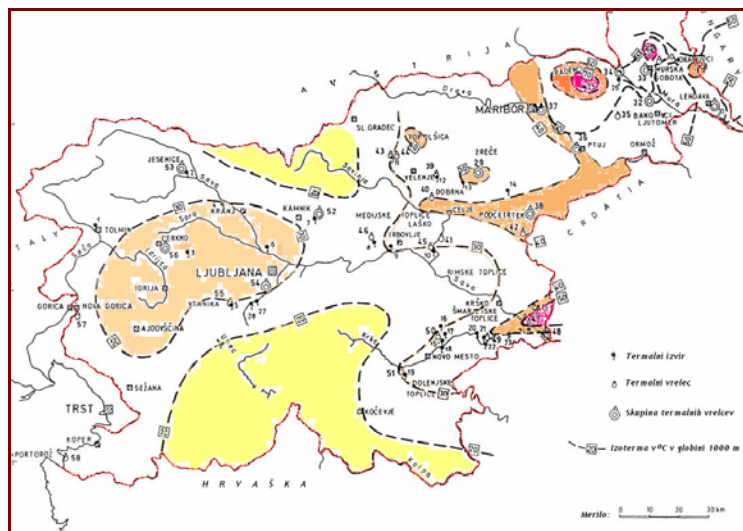
Slika 2.: Diagram odnosa temperature in globine.

Temperatura se proti notranjosti Zemlje večja s spremenljivimi gradienti. V središču Zemlje naj bi znašala 3300 K. Plitve površinske temperature so izpostavljene klimatskim vplivom za posamezno območje in so približno enake srednjim letnim temperaturam zraka. Dnevne temperaturne variacije v tleh, ki so v glavnem pod vplivom Sončevih žarkov se lahko spreminjajo do globine 1 m, letne variacije pa do globine 20 m z upoštevanjem mikro toplotnih karakteristik tal in velikosti temperaturnih gibanj. Celinsko območje Slovenije ima srednjo letno temperaturo tal 11 – 12 °C, v obalnem območju Jadrana in otokov pa je srednja letna temperatura tal med 13 – 16 °C.

GEOTERMIČNA OBMOČJA SLOVENIJE

Geotermično najbolj perspektivne regije v Sloveniji so: Panonski bazen, Rogaško-celjsko-šoštanjnska regija, Planinsko-laško-zagorska regija, Krško-brežiška regija in Ljubljanska kotlina. Vsa ta območja so med seboj geotermično precej različna, tudi lokalno in še večinoma neraziskana. To različnost pogojujejo kamnine, v katere nameravamo zvrtni geotermično vrtino.

V Sloveniji so po doslej znanih podatkih v izkoriščanju nizkoentalpijski viri geotermalne energije. Perspektivni nosilci geotermalne energije so geološko mlajše strukture. Tem prištevamo tektonske udorine, ki so zapolnjene s terciarnimi in delno kvartarnimi sedimenti. Nastale so z ugrezanjem ob prelomih v mlajšem geološkem obdobju. Terciarni plasti so toplotno slabo prevodne, zaradi tega je geotermični gradient povišan.



Slika 3.: Karta geotermičnih območij Slovenije.

Temperatura kamnin z globino hitreje narašča, kot na ostalih območjih. Podlago terciarja v udorinah skoraj povsod sestavljajo dobro toplotno prevodne razpokane kamnine (dolomiti, apnenec, metamorfne kamnine), ki povečini vsebujejo toplo vodo. Robovih udorin ponavadi izhajajo na površje, kje se napajajo s padavinsko vodo, ki skozi močno razpokane cone preteka v velike globine, kjer se segreva in tako konvekcijsko kroži navzgor do stika s terciarnimi plastmi. Kamnine so zaradi konvekcijsko krožeče vode mnogo bolj segrete, kot bi bile pri normalnem geotermičnem gradientu.

POIMENOVANJE SISTEMA

Zakon o graditvi objektov napravo za odjem toplote iz zemljine notranjosti imenuje **geosonda**, zato kakršnakoli druga zaščita imena ni relevantna. Kljub temu se v izogib sporom uporabljajo imena kot so *geokolektor*, *geoodvzemnik*, *geoodjemnik* in podobno. Za nadaljnjo rabo je najbolje privzeti z zakonom opredeljeno ime, da bi se izognili različnim poimenovanjem za isto stvar.

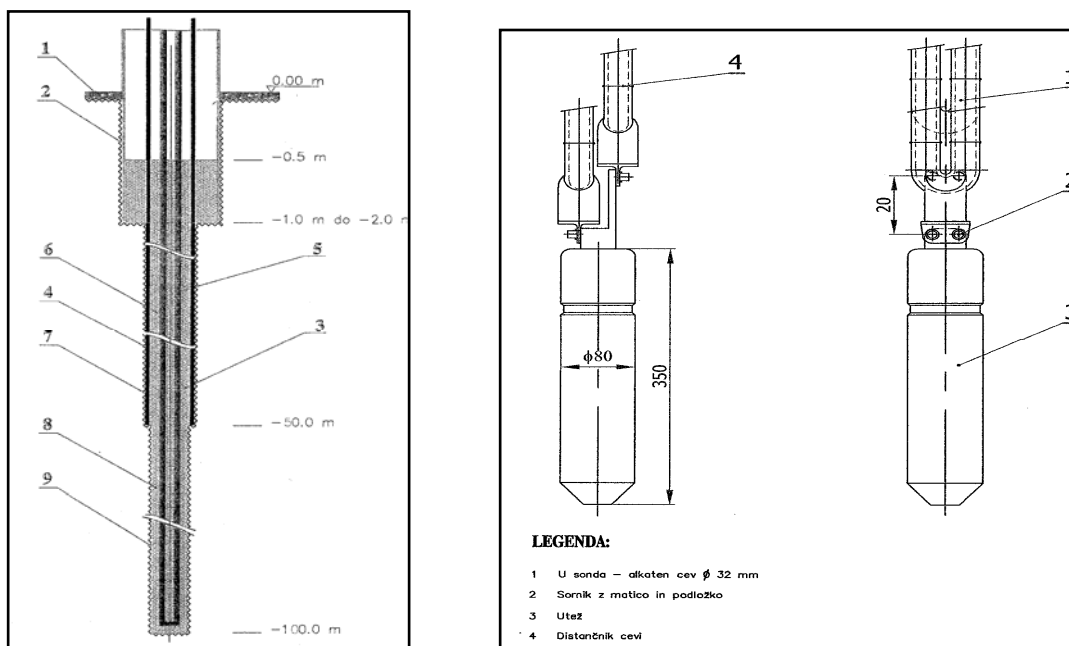
Obnovljiv ali neobnovljiv vir

Glede na fizikalni zakon o ohranitvi energije je geotermična energija neobnovljiv vir, kar pa nastopa v tako velikem obsegu, ga smatramo za neizčrpnega. Neizčrpno delovanje je nekakšno vzdrževanje ravnotežnega stanja. Pri daljšem izkoriščanju iz sistema ni mogoče dobiti več energije kot jo v sistem prihaja. Neizčrpan način izkoriščanja je zato mogoč le iz obnovljivega vira energije. Obnovljivi viri energije so zato vedno vezani za neke nenehno trajajoče energetske procese v naravi. Vendar moramo takšne pogoje ustvariti, da izkoriščanje energije ne vpliva na naravni proces kroženja energije v naravi. Obnovljivost lahko poenostavljeno opišemo tudi tako, da lahko energijo, odvzeto iz rezervoarja, vedno

nadomestimo z dodatno količino energije. Poleg tega zahtevamo, da se energija nadomesti v približno enakem časovnem obdobju, kot je bila odvzeta.

NAČRTOVANJE SISTEMA OGREVANJA Z ZEMLJINO ENERGIJO

Sistem geosonde načrtujemo že v projektu gradnje objekta. Za samo izvedbo pa se prav zaradi vrtnja vrtine, ki je globlja od 30 metrov, uporabi rudarska zakonodaja in izdelava rudarski projekt za izvajanje del. V projektu načrtujemo vrtnje same vrtine, pripravo vrtine na vgradnjo geosonde in samo vgradnjo geosonde ter prikop na objekt in njeno povezavo s toplotno črpalko. Od toplotne črpalke naprej sistema ogrevanja in razpeljave po stavbi ponavadi rudarji ne načrtujemo in to prepustimo strojnikom, je pa medsebojno sodelovanje zelo pomembno saj je potrebno skupaj rešiti celo vrsto vprašanj kot so število vrtin, njihova globina, raster postavitve, lokacija na območju stavbe, dolžina cevovodov, potrebna moč ogrevanja stavbe in zahteve za hlajenje stavbe.



Slika 4.: Levo konstrukcija vrtine, desno konstrukcija sonde.

Konstrukcija in izvedba vrtine

Vrtina je rudarsko delo globine od 50 do 150 metrov, večinoma okrog 100 metrov glede na geotermično stopnjo območja. Za vrtino izdelamo uvodno kolono in jo po potrebi zacevimo, glede na razmere v vrtini. Izdelava vrtine poteka z mobilnim vrtnim strojem, največkrat z Mustangom Atlas Copco, udarnim kladivom in opremljenim z DTH glavo. Vsa izvrtanina in izplaka se zbira v kesonu ob vrtnem stroju. Večinoma ni težav z vrtnjem vrtine, če je le hribina kolikor toliko trdna, V primeru rušljive hribine pa se uporabijo posebni postopki vrtnja in cevitev vrtine po vsej dolžini ali vsaj delno. Ko je vrtina izdelana, kar traja v povprečju en dan, se vstavi sistem štirih cevi z geosondo na koncu in utežjo, ki potegne cevi

do dna vrtine. Po vstavljanju cevi se izvede tlačni preizkus, nato pa se vrtina zalije s cementnim mlekom. Tako je segment posega v Zemljino površje zaključen. Konstrukcija vrtine in sonde sta prikazani na sliki 4.

Število in globina vrtin

V povprečju je treba izdelati za ogrevanje ali hlajenje eno vrtino za predvidenih 150 m² ogrevanja, če gre za izolirano novogradnjo s talnim sistemom ogrevanja. Za adaptacijo starejše gradnje, kjer geotermični sistem prevzame ogrevanje v celoti, potrebujemo dvakrat več vrtin, vse pa je odvisno od toplotne izdatnosti vrtine na dani lokaciji.

Toplotno moč vrtine določimo po obrazcu:

$$\frac{L_1 \times q_1 + L_2 \times q_2 + \dots + L_n \times q_n}{\sum (L_1 \dots L_n) \times \lambda} = Q_{vrt} [kW],$$

kjer pomenijo:

$L_1 \dots L_n$:dolžina posameznih odsekov vrtine v določeni kamnini (m),

$q_1 \dots q_n$:toplotna izdatnost posameznih odsekov vrtine (W/m),

λ :izkoristek vrtine (cca. 80 %),

Q_{vrt} :toplotna moč vrtine (kW).

Število potrebnih vrtin določimo z obrazcem:

$$N_{vrtin} = \frac{P_{min}}{Q_{vrt} \times \varrho} \quad \text{in} \quad N_{moz} = \frac{S_{prost}}{S_{vrt}}$$

kjer pomenijo:

N_{vrtin} :število potrebnih vrtin,

P_{min} :minimalna potrebna moč ogravanja stavbe (kW),

Q_{vrt} :toplotna moč vrtine (kW),

ϱ :izkoristek sistema (cca. 75 %),

N_{max} :največje možno število vrtin na danem prostoru,

S_{prost} :površina prostora, ki je na voljo,

S_{vrt} :površina, ki jo zavzema ena vrtina (cca 50 m²).

Ogrevanje stanovanjskih naselij ali večjih kompleksov

V svetu, posebej v Švici je že izvedenih nekaj primerov ogrevanja celotnega stanovanjskega naselja z eno globoko vrtino, ki sega do globine 1400 m in napaja centralno toplotno postajo, od tod pa ogreva in hladi stanovanja celotnega kompleksa. Tak načrt je predviden tudi za pilotno naselje v Ljubečni pri Celju.

TREND VEČANJA INTERESA UPORABE GEOTERMALNE ENERGIJE

Enostavnost izvedbe in uporabe povečujeta zanimanje uporabnikov za vgradnjo sistema ogrevanja z geotemično energijo tako za zasebne lastnike enodružinskih hiš kot za večje poslovne objekte. Večinoma se za ogrevanje enodružinske hiše izdelata dve vrtini globine 80 do 120 metrov, za večje uporabnike 4 do 6 vrtin, za poslovne zgradbe pa tudi preko 20 vrtin. Tako je bilo npr. za novo poslovno zgradbo Primorja v Ajdovščini projektiranih 20 vrtin pod lokacijo podzemne garaže, za hotel Jama v Postojni pa kar 25 vrtin na lokaciji hotelskega parkirišča. To pomeni, da lahko vrtine za izkoriščanje geotermične energije spretno skrijemo pod objekt, parkirišče ali na dvorišče in jih izvedemo tako, da na zunaj sploh niso vidne in ne motijo okolice. Take rešitve so izvedli tudi v Nemčiji za ogrevanje in hlajenje ene večjih bank. Zaradi pospeševanja uporabe obnovljivih virov je možno od agencije za učinkovito rabo energije dobiti precejšnje povračilo sredstev za vgradnjo geosonde.

ZAKLJUČEK

Uvajanje suhega geotermičnega ogrevanja in hlajenja objektov si šele dobro utira pot pri uporabi neizčrpnih virov. V nekaj letih je v Sloveniji nastalo preko 150 geotermičnih vrtin srednje globine, to je od 50 do 150 metrov. Glede na to, da je vsaka takšna vrtina rudarsko delo, je smiselno izkoristiti možnost in izdelavo geotermičnih vrtin ter z njimi povezanih ogrevalnih in hladilnih sistemov razvijati naprej.

VIRI IN LITERATURA

1. <http://www.google.si/search?q=geotermija>
2. Kemperle, C.: *RUDARSKI PROJEKTI ZA IZKORIŠČANJE GEOTERMIJE*, CK-Inženiring, Velenje, 2004, 2005, 2006, 2007;
3. Salobir, B.: *IZRABA GEOTERMALNE ENERGIJE ZA OGREVANJE*, skripta za izobraževanje delavcev Primorja d.d. Ajdovščina, Protos inženirski biro d.o.o. Velenje, Velenje, januar, 2006;
4. Skupina avtorjev: *GEOTERMIJA*, Tehnička enciklopedija Zagreb, sveska 4. Zagreb, 1989.