

POLITEHNIKA NOVA GORICA

POSLOVNO-TEHNIŠKA ŠOLA

DIPLOMSKA NALOGA

**ANALIZA GEOSONDE ZA IZKORIŠČANJE GEOTERMALNE  
ENERGIJE V STANOVANJSKEM OBJEKTU**

Barbara Bajt

Mentor: prof. dr. Božidar Šarler

Nova Gorica, 2006

## **ZAHVALA**

Zahvaljujem se vsem, ki so mi pri diplomski nalogi pomagali in me podpirali. Posebej se zahvaljujem mentorju prof. dr. Božidarju Šarlerju in podjetju Geosonda d.o.o. iz Kranja, posebno gospe Meti Očkerl.

## **IZVLEČEK**

Predstavili smo lastnosti in uporabo geotermalne energije ter vpliv izkoriščanja tega obnovljivega vira energije na okolje. Opredelili smo načine izkoriščanja geotermalne energije. Naredili smo pregled izkoriščanja geotermalne energije v svetu in Sloveniji ter analizirali geotermalno perspektivna območja v Sloveniji. Zanimalo nas je, na kakšne načine geotermalno energijo v Sloveniji že izkoriščajo. Osredotočili smo se na izkoriščanje geotermalne energije s sistemom geosonda za ogrevanje in hlajenje zgradb. Ta sistem deluje tako, da zemlji odvzemamo toploto s pomočjo toplotne črpalke in jo pripeljemo do ogrevalnega oziroma hladilnega sistema v objektu. Analizirali smo tehnološke značilnosti in praktične izvedbe takšnega sistema v stanovanjski hiši. Preučili smo ekonomičnost tega sistema ogrevanja in ga primerjali z drugimi sistemi ogrevanja (kurilno olje, zemeljski plin, utekočinjeni naftni plin - propan). Geotermalna energija je obnovljiv vir energije, zato je pomembno, da jo čim bolj izkoriščamo in s tem zmanjšamo emisije toplogrednih plinov v okolje. S pomočjo analiz smo ugotovili, da bi s tem sistemom ogrevanja močno pripomogli k zmanjšanju emisij, prihranili pa bi tudi zajetno vsoto denarja v primerjavi z drugimi relativno dragimi fosilnimi gorivi. Ne smemo pa pozabiti na višje stroške investicije v ta sistem, kar je lahko tudi ovira, ko se odločamo za vgradnjo tovrstnega sistema.

## **KLJUČNE BESEDE**

Geosonda, geotermalna energija, obnovljivi viri energije, vrtina, toplotna črpalka.

## **ABSTRACT**

The properties and the use of geo-thermal energy as well as the impact the exploitation of this renewable energy source on the environment have been presented. The ways of the geo-thermal energy exploitation have been defined. The exploitation of geo-thermal energy in Slovenia and worldwide has been examined. Geo-thermally prospective regions of Slovenia and the ways geo-thermal energy is already exploited in Slovenia have been analysed. We have focused on the exploitation of geo-thermal energy by means of geo-probe system for the purpose of heating and cooling of buildings. This system functions in such a way that the heat is taken out of the ground by means of a heat pump and led to a heating or cooling system in a facility. Furthermore, the system's technological characteristics and how it is installed in practice in a residential facility have been analysed. This system of heating has also been examined from the economical point of view and compared to other heating systems (fuel oil, fuel gas, liquefied petroleum gas-propane). The geo-thermal energy represents a renewable energy source. Respectively, it is important to exploit it as much as possible thus reducing the emissions of greenhouse gases into the environment. Having applied relevant analyses, we have come to the conclusion that by using this heating system we could make a meaningful contribution to a reduction of emissions. Moreover, a substantial amount of money can be saved as compared with other, relatively more expensive fossil fuels. We have to take into account also higher investment costs related to this system which might discourage people from related investments.

## **KEY WORDS**

Geosonda, geothermal energy, renewable energy sources, well, heat pump.

## KAZALO

1.	UVOD.....	1
2.	GEOTERMALNA ENERGIJA.....	2
2.1.	Lastnosti geotermalne energije.....	2
2.2.	Uporaba geotermalne energije.....	4
2.3.	Vplivi izkoriščanja geotermalne energije na okolje.....	5
3.	NAČINI IZKORIŠČANJA GEOTERMALNE ENERGIJE .....	7
3.1.	Geotermalno izkoriščanje.....	8
3.2.	Geotlačno izkoriščanje .....	9
3.3.	Hlajenje vročih kamenin .....	13
4.	GEOTERMALNA ENERGIJA V SVETU .....	14
5.	GEOTERMALNA ENERGIJA V SLOVENIJI .....	18
5.1.1.	Geotermalno perspektivne regije v Sloveniji.....	18
5.1.2.	Izkoriščanje geotermalne energije v Sloveniji .....	23
6.	IZKORIŠČANJE GEOTERMALNE ENERGIJE Z GEOSONDO .....	27
6.1.	Postopek izkoriščanja.....	29
6.2.	V Sloveniji ogrevani objekti s sistemom geosonda .....	29
7.	OGREVANJE IN HLAJENJE STANOVANJSKE HIŠE Z GEOSONDO .	31
7.1.	Elementi sistema geosonda .....	32
7.2.	Postopek izvedbe.....	36

7.2.1.	Izdelava tehničnega projekta.....	37
7.2.2.	Pridobitev rudarskega dovoljenja za izvedbo globokih vrtin in vgradnjo geosond.....	37
7.2.3.	Izvedba rudarskih del.....	38
7.2.4.	Dobava in montaža toplotne opreme .....	38
7.2.5.	Državna podpora ogrevanja in hlajenja s sistemom geosonda .....	39
7.3.	Učinki izrabe geotermalne energije z geosondo.....	39
7.4.	Primerjava stroškov investicije in ogrevanja glede na vir ogrevanja.....	40
7.4.1.	Ocena investicije.....	42
7.4.2.	Primerjava stroškov ogrevanja.....	44
7.4.3.	Vplivi na okolje .....	47
7.5.	Prednosti in slabosti ogrevanja in hlajenja s sistemom geosonda.....	48
8.	ZAKLJUČEK .....	51
9.	LITERATURA .....	52
	Priloga 1: Slovarček uporabljenih besed.....	54
	Priloga 2: Fotografije sistema geosonda v stanovanjski hiši v okolici Postojne.....	55

## SEZNAM SLIK

Slika 1: Shema elektrarne z direktno uporabo geotermalne pare (Golja, 2004).....	10
Slika 2: Shema elektrarne z uparjanjem geotermalne vode (Golja, 2004).....	11
Slika 3: Shema elektrarne z uparjanjem sekundarne kapljevine (Golja, 2004).....	12
Slika 4: Razdelitev uporabe geotermalne energije v svetu (Gobovšek, 2005).....	14
Slika 5: Uporaba geotermalne energije v nekaterih državah (Gobovšek, 2005).....	15
Slika 6: Tematska geološka karta Slovenije (Slovenski E-forum, 2005).....	19
Slika 7: Geološka karta Slovenije (Slovenski E-forum, 2005).....	22
Slika 8: Vrtanje vrtine (Geosonda d.o.o., 2005).....	24
Slika 9: Karta vrtin v Sloveniji (Geološki zavod Slovenije, 2005).....	25
Slika 10: Izkoriščanje geotermalne energije iz sistema TERMAL I (Gobovšek, 2005) .....	26
Slika 11: Skica napeljave sistema geosonda v stanovanjski objekt (Geosonda d.o.o., 2005).....	28
Slika 12: Sistem geosonda (Geosonda d.o.o., 2005).....	32
Slika 13: Vertikalna sonda (Geosonda d.o.o., 2005).....	33
Slika 14: Podzemna toplotna črpalka dublet vrtin (Geosonda d.o.o., 2005).....	34
Slika 15: Horizontalni podzemni toplotni izmenjevalec (Geosonda d.o.o., 2005)....	35
Slika 16: Spiralni tip izmenjevalca (Geosonda d.o.o., 2005).....	35
Slika 17: Primerjava stroškov ogrevanja decembra 2005 (Geosonda d.o.o., 2005) ..	42

Slika 18: Primerjava letnih stroškov ogrevanja po vrstah primarne energije za stanovanjsko hišo 175 m <sup>2</sup> (Geosonda d.o.o., 2005).....	48
Slika 19: Raba geotermalne energije zmanjšuje emisije toplogrednih plinov (Geosonda d.o.o., 2005).....	49
Slika 20: Toplotna črpalka v stanovanjski hiši.....	Priloga 2
Slika 21: Zaslona na toplotni črpalki.....	Priloga 2
Slika 22: Zbiralnik vode, povezan s toplotno črpalko.....	Priloga 2



## SEZNAM TABEL

Tabela 1: Koriščenje geotermalne energije za proizvodnjo električne energije v državah sveta leta 1995 (Gobovšek, 2005) .....	17
Tabela 2: Ocena investicije v posamezne vire ogrevanja .....	43
Tabela 3: Primerjava letnih stroškov ogrevanja z različnimi energenti .....	44
Tabela 4: Primerjava skupnih stroškov .....	45
Tabela 5: Izračun povrnitve stroškov investicije v sistem geosonda v primerjavi z drugimi sistemi ogrevanja (kurilno olje, zemeljski plin, propan) .....	46
Tabela 6: Emisije toplogrednih plinov .....	47

## 1. UVOD

Geotermalno energijo prištevamo poleg energije sonca, vetra in vode k obnovljivim virom energije. Ti viri energije so zaradi relativno majhnega vpliva na okolje vedno bolj zanimivi. V delu smo lastnosti geotermalne energije ter načine izkoriščanja geotermalne energije podrobneje preučili. Nismo spregledali tudi morebitnih vplivov izkoriščanja geotermalne energije na okolje, saj skrb za okolje postaja vedno pomembnejša. V svetu in v Sloveniji geotermalno energijo že izkoriščamo za različne namene, njena uporaba pa bi se lahko še povečala. Eden od načinov, ki je vedno bolj številčno v uporabi, je izkoriščanje geotermalne energije za ogrevanje in hlajenje zgradb s sistemom geosonda. V delu smo ta način podrobneje preučili s tehnološkega, ekološkega in ekonomskega vidika. Pravtako smo preučili potrebno dokumentacijo in državne podpore za vzpostavitev takšnega sistema v praksi. Sistem geosonda deluje tako, da zemlji odvezemo toploto s pomočjo toplotne črpalke in jo pripeljemo do ogrevalnega oziroma hladilnega sistema v zgradbi. S pomočjo večje uporabe takega sistema, ki za delovanje potrebuje le minimalno električne energije, bi lahko veliko pripomogli k zmanjšanju emisij toplogrednih plinov. Pri ekonomskem vidiku smo sistem primerjali z drugimi najpogostejšimi sistemi ogrevanja na fosilna goriva (kurilno olje, zemeljski plin, utekočinjeni naftni plin - propan). Izdelana ekonomska analiza je pokazala, da se investicija v ta sistem povrne med štirimi do petnajstimi leti.

## **2. GEOTERMALNA ENERGIJA**

Geotermalna energija je toplotna energija, akumulirana v notranjosti Zemlje oziroma v masi kamnin in v fluidih zemeljske skorje. V Zemljini notranjosti nastajajo ogromne količine toplote, ki nenehno potujejo iz globin na njeno površje. Geotermične meritve kažejo, da se temperatura prvih 10 – 15 m pod zemeljsko površino med letom zaradi atmosferskih vplivov spreminja, dalje v globino pa je stalna in se praviloma povišuje za približno 3 °C na vsakih 100 m globine. Večina toplotne energije se prenaša s konvekcijo toplote.

Osnovni pogoji za izkoriščanje geotermalne energije na določenem območju so: visoki geotermalni gradient območja, dobre proizvodne lastnosti in razprostranjenost ležišč nosilca toplote (termomineralne vode, kamnine), primerne fizikalno-kemične lastnosti nosilca toplote (termomineralne vode, kamnine), mala razdalja med virom in porabnikom geotermalne energije.

### **2.1. Lastnosti geotermalne energije**

Geotermalna energija se prenaša na naslednje načine:

- s konvekcijo energijskega toka skozi zemeljsko skorjo v obliki prenosa snovi (magma, voda, para, plin),
- s prevajanjem toplote, ki je uskladiščena v kamninah in fluidih zemeljske skorje.

Ta naravna energija je ekonomsko pomembna pod pogojem, da je čim bolj koncentrirana na omejenem področju, kot so npr. rudna nahajališča in naftna ležišča, torej v vulkanskih in geotermalnih področjih Zemlje. Toplota v zemeljsko skorjo prihaja iz samega zemeljskega jedra. Na površje pride čez mlajše magmatske intruzije in s prevajanjem čez globoke tektonske diskordance ter dovodne vulkanske kanale. Značilni izviri geotermalne energije nastajajo tudi pri razpadu radioaktivnih elementov v zemeljski skorji in med drugimi kemičnimi procesi, ki se v njej dogajajo.

Temperatura Zemlje se poveča za približno 1 °C na približno vsakih 33 metrov njene globine, to imenujemo »geotermična stopinja«. Če je povišanje večje, govorimo o pozitivni anomaliji ali povišani geotermični stopinji ali geotermičnemu gradientu. Bistven pokazatelj perspektivnosti nekega območja je geotermična anomalija, ki s hidrološkega in hidrokemičnega stališča daje jasno sliko možnosti in načina izkoriščanja energetskega potenciala. Glede na njeno pojavnost in možnost praktičnega izkoriščanja delimo geotermalno energijo na hidrogeotermalno energijo in petrogeotermalno energijo. Hidrogeotermalna energija je geotermalna energija tekočin in plinov, petrogeotermalna energija pa je geotermalna energija mase kamnin. (Kralj, 1999)

Uporabnost geotermalne energije najboljše opisujeta dve naravni lastnosti: stalnost in zanesljivost toplotnega toka, kar velja za hidrogeotermalno energijo, in toplotna energija, ki je shranjena v kamnini za petrogeotermalno energijo.

Če prištevamo toplotni tok iz zemeljske notranjosti proti površju sestavni del geotermalne energije, potem ga lahko uvrstimo med obnovljive vire. Zaradi toplotnega toka je toplota shranjena tudi v kamninah zemeljske litosfere. Če to toploto odvedemo, bo toplotni tok manjkajočo toploto nadomestil. Če je prevajanje edini proces prenosa toplotne energije, bo nadomeščanje izgubljene toplote dolgotrajno. V vulkanskih in geotermalnih področjih, kjer je glavni način prenosa toplotne energije prenos mase, bo nadomeščanje izgubljene toplote enako hitro kot odvzemanje. Če je izraba na nekem mestu manjša od naravnega pritoka energije, proizvodnja ne bo vplivala na naravne pogoje geotermalnega sistema. Takšna proizvodnja energije bo trajno obnovljiva.

Obnovljivost lahko poenostavljeno opišemo tudi tako, da energijo, odvzeto iz rezervoarja, vedno nadomestimo z novo količino energije. Poleg tega zahtevamo, da se energija nadomesti v približno enakem časovnem obdobju, kot je bila odvzeta. (Kralj, 1999)

## 2.2. Uporaba geotermalne energije

Geotermalna energija je v svetu pa tudi pri nas že dobro znana in se že dolgo uporablja v različnih gospodarskih panogah in za različne namene. Geotermalna energija je uporabna na različnih področjih in nudi izjemne možnosti razvoja.

V preteklosti so ljudje izkoriščali predvsem termalno vodo, ki je prosto prihajala na površje v obliki termalnih vrelcev. Najstarejši in v Sloveniji še vedno najpogostejši način izkoriščanja geotermalne energije je v balneološke namene za sproščanje in zdravljenje v topli vodi. V Severni Ameriki, na Novi Zelandiji in tudi drugje po svetu so arheologi odkrili, da so ljudje že pred rimskimi časi uporabljali geotermalno vodo tudi za kuhanje. V rimskih časih so to vodo uporabljali za zdravljenje očesnih, kožnih in drugih bolezni, v Pompejih tudi za ogrevanje bivalnih prostorov.

Geotermalno energijo uporabljamo v komercialne namene že okrog 70 let, v zadnjih treh desetletjih pa se je njena izraba močno povečala. V tem času je svetovna proizvodnja električne energije naraščala za okrog 9 % na leto, proizvodnja geotermalne energije za neposredno izrabo pa okrog 6 % letno. To je verjetno najhitrejša rast nekega energijskega vira v preteklih tridesetih letih. (Kralj, 1999)

Danes se geotermalna energija še vedno najpogosteje uporablja v balneološke in zdravstvene namene ter za ogrevanje. Poleg tega se geotermalna energija lahko uporablja tudi za proizvodnjo električne energije.

V geotermalni elektrarni toplota ali para iz geotermalnih rezervoarjev zagotavlja energijo za pogon parnih turbin in preko njih električnih generatorjev. Za ohranjanje potrebnega tlaka in zadostnih količin vode v geotermalnih rezervoarjih je potrebno ohlajeno geotermalno vodo po uporabi vračati po re-injektirnih vrtinah v sam vir.

Na območjih, na katerih geotermalna voda ni dovolj vroča, da bi se lahko uporabljala za proizvodnjo električne energije, se geotermalni vir uporablja za ogrevanje pri višjih temperaturah neposredno, pri nižjih pa posredno s pomočjo toplotnih črpalk.

### 2.3. Vplivi izkoriščanja geotermalne energije na okolje

Geotermalna energija zaseda tretje mesto glede na pogostost izkoriščanja obnovljivih virov v svetu, saj je na lestvici takoj za vodno energijo in biomaso in v veliki meri ne onesnažuje okolja. Pri izkoriščanju te energije se ne uporabljajo fosilna goriva, kot so premog, zemeljski plin in nafta. Prav tako dosegajo emisije CO<sub>2</sub> le eno šestino vrednosti, ki se sprošča v drugih elektrarnah. V ZDA na ta način preprečijo emisijo 22 milijonov ton CO<sub>2</sub>, 200 tisoč ton SO<sub>2</sub> in drugih okolju škodljivih plinov, ki nastajajo v termoelektarnah. Tudi emisije drugih plinov so nižje, pri čemer je energijski prihranek kar 80 %, če ga primerjamo z izkoristkom fosilnih goriv.

Geotermalna energija je skoraj neprestano na voljo, saj je razpoložljivost geotermalnih toplotnih elektrarn kar 95 %. Razpoložljivost jedrskih elektrarn in klasičnih termoelektarn je 60 - 70 %. Izkoriščanje geotermalne energije je vezano na lastne naravne vire. (Petek, 2005)

Geotermalne toplotne elektrarne ne zavzemajo velikih površin. Srednje velike geotermalne toplotne elektrarne zavzamejo okoli 400 m<sup>2</sup> (proizvajajo približno 3 MW energije). Energije ni potrebno skladiščiti in se obnavlja samodejno s procesi v naravi. Prav tako ni težav s transportom in sežigom goriv.

Čeprav ima izkoriščanje geotermalne energije splošen pozitiven učinek, ima tudi določene škodljive vplive na okolje. Eden takih je usedanje tal, ki nastane pri praznjenju vodonosnikov. Posedanje tal lahko preprečimo z reinjektiranjem. Drugi škodljiv vpliv je onesnaževanje površinskih voda, v katere spuščamo zavrženo geotermalno vodo. Z izlivom izkoriščene termalne vode v reke in jezera se poveča vsebnost škodljivih snovi, kot so karbonati, silikati, sulfati, kloridi, Hg, Pb, Zn, trdnih snovi, kot sta pesek in mulj, ter slanost. V ceveh sistema nastajajo usedline, ker termalne vode vsebujejo raztopljene pline (O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>) in trdne snovi (apnenec, kremen, kalcijev sulfat, kalcijev fosfat), emulgirana olja, parafine, pesek, mulj. Nekatere raztopljene snovi (H<sub>2</sub>S, O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>) povzročajo tudi korozijo cevi.

Pri proizvodnji elektrike, kjer izkoriščamo paro iz geotermalnih nahajališč, lahko pride do onesnaževanja zraka, ker para vsebuje pline (CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S, NH<sub>3</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>).

Pline pred uporabo pare izločimo v izločevalnikih. Največji problem predstavlja H<sub>2</sub>S, ki oksidira v žveplov dioksid, ta pa v žvepleno kislino, ki povzroča kisel dež. Emisije škodljivih snovi pa so manjše od tistih, ki nastanejo pri sežigu fosilnih goriv. Razen onesnaževanja zraka para iz geotermalnih nahajališč povzroča tudi hrup. Pri prostem izpustu pare znaša zvočna jakost tudi do 120 decibelov, zato je potrebno vgraditi dušilnike, ki zmanjšajo hrup na 75 - 90 decibelov. (Grobovšek, 2005)

### 3. NAČINI IZKORIŠČANJA GEOTERMALNE ENERGIJE

Geotermalno energijo lahko izkoriščamo na sledeče načine:

- geotermalno izkoriščanje (vrelci vroče vode, vrelci pare, dvofazni vrelci voda – para),
- geotlačno izkoriščanje (izkoriščanje pod visokimi tlaki),
- hlajenje vročih kamenin (proizvodnja električne energije, ogrevanje, balneologija).

Voda nosi s seboj toploto (geotermalno energijo) iz zemeljskih globin na površje, kjer jo izrabljamo. V geotermalnih območjih so sistemi, v katerih se toplotna energija nenehno prenaša na zemeljsko površje s kroženjem vode, kar lahko opazujemo v izvirih vroče vode. Najbolj ugodna uporaba geotermalne energije je torej tam, kjer zavrtamo v takšne naravne sisteme in vodo, ki v njem kroži, zajamemo z vrtino. To je konvencionalni način izrabe. Konvencionalno rabo geotermalne energije ponavadi uporabljamo pri naslednjih virih:

- visokotemperaturni viri s temperaturo vode nad 150 °C, ki jih izrabljamo za proizvodnjo elektrike;
- srednetemperaturni viri s temperaturo vode od 90 - 150 °C, ki jih uporabljamo za ogrevanje stanovanjskih in industrijskih objektov;
- nizkotemperaturni viri s temperaturo vode pod 90 °C, ki jih v glavnem izrabljamo neposredno za ogrevanje.

Koriščenje geotermalne energije iz nizkotemperaturnega vira je možno v treh temperaturnih intervalih. Tako je za pridobivanje električne energije koriščenje geotermalne energije možno v zgornjem temperaturnem intervalu, za ogrevanje industrijskih in stanovanjskih hiš v srednjem temperaturnem intervalu, za ogrevanje rastlinjakov in ribogojnic v nizkotemperaturnem intervalu.



Vodonosnike lahko glede na temperaturo geotermalne vode izkoriščamo na spodaj navedene načine

- Temperaturno območje pod 25 °C: izraba nizkotemperaturnih virov, ki so bližje površju Zemlje je možna z uporabo toplotnih črpalk.
- Temperaturno območje 25 - 90 °C: srednjetemperaturni prenosniki so primerni za direktno izkoriščanje, niso pa primerni za daljše transportiranje. Gospodarno izkoriščanje zahteva, da energijsko osiromašeno vodo vračamo v vodonosnik. S tem vzdržujemo hidrodinamično ravnotežje, tlak v vodonosniku ne pada, okolice pa ne onesnažujemo z oddano geotermalno vodo.
- Temperaturno območje nad 90 °C: zgornjetemperaturni vodonosniki so ekonomsko zanimivejši, saj pri dovolj velikem pretoku lahko pridobivamo električno energijo.

Vsi trenutno uporabljeni načini izkoriščanja geotermalne energije temeljijo na odvzemu energije iz naravnih geotermalnih sistemov, ki jim energijo dovaja voda iz okolice in jo hkrati prenaša tudi znotraj sistema samega. Voda dovaja energijo tudi na površje, kjer jo izrabljamo. S proizvodnjo začno padati tlaki v geotermalnem sistemu, kar povzroča dotok dodatne vode in energije v sistem, ki ga izkoriščamo. (Geotermalna energija, 2005)

Od tega pravila odstopa le metoda »vroče suhe kamnine«, vpeljana z angleškim imenom »Hot-Dry-Rock«. Podlaga te zamisli je ustvariti umeten geotermalni sistem, v katerega skozi eno vrtino v umetno razbito kamnino injektiramo vodo, iz druge vrtine pa izkoriščamo uskladiščeno toploto.

### **3.1. Geotermalno izkoriščanje**

Geotermalno izkoriščanje je izkoriščanje vrelecev vroče vode, vrelecev pare in takoimenovanih dvofaznih vrelecev voda – para.

Pri temperaturah geotermalne vode, ki so višje od okoli 30 °C, se za ogrevanje lahko uporablja geotermalna voda neposredno iz Zemlje. To geotermalno vodo uporabljajo

v zdravstvene in terapevtske namene kot termalne kopeli v termalnih zdraviliščih, v kmetijstvu kot primarni vir toplote za ogrevanje rastlinjakov, v proizvodnji vrtnin in cvetja, v marikulturi kot primarni vir ogrevanja pri vzreji rib, rakov in podobno, v prehrabeni industriji za pripravo prehrabnih proizvodov, pasterizacijo mleka (nad 45 °C) in podobno.

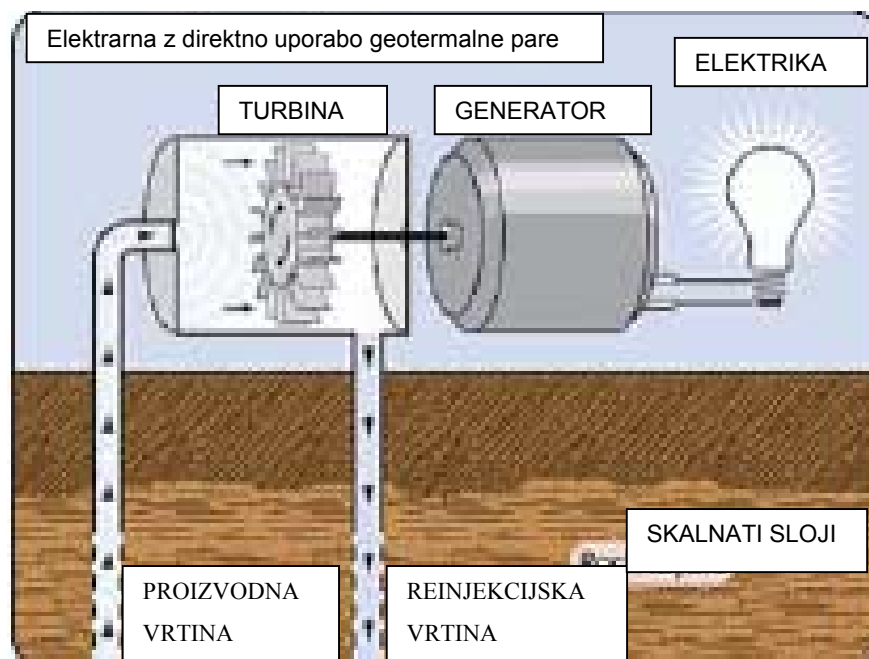
### **3.2. Geotlačno izkoriščanje**

Pri geotlačnem izkoriščanju gre za izkoriščanje visokotemperaturnih virov geotermalne energije za proizvodnjo električne energije v geotermalnih elektrarnah.

Na splošno se za proizvodnjo električne energije uporabljajo trije tipi geotermalnih elektrarn, ki se med seboj ločijo po temperaturi in tlaku geotermalne vode, ki je na razpolago. Ločimo torej:

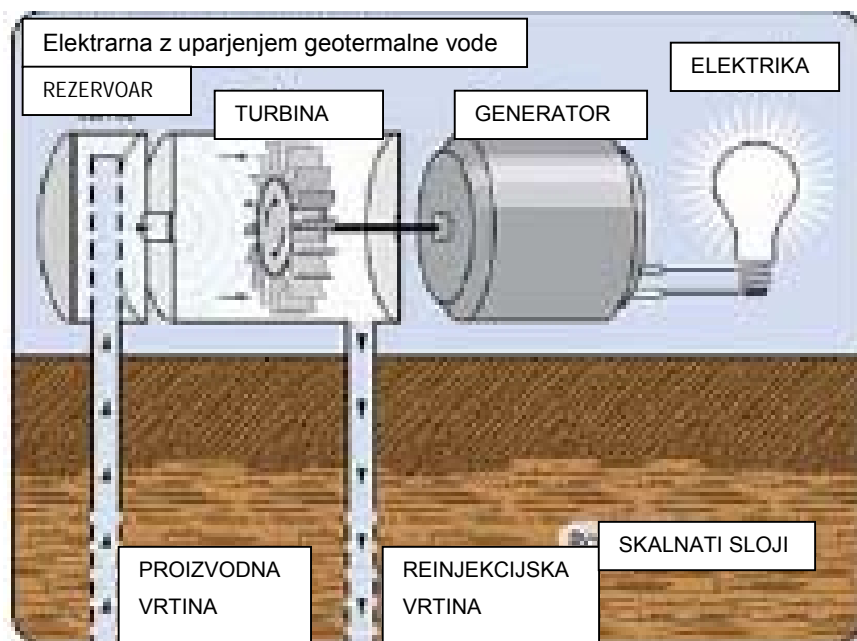
- elektrarne z direktno uporabo geotermalne pare,
- elektrarne z uparjanjem geotermalne vode,
- elektrarne z uparjanjem sekundarne kapljevine.

Direktna uporaba geotermalne pare (slika 1) je možna za pogon parnih turbin, če je v geotermalnih rezervoarjih toplota na voljo v obliki suhe pare pri visokih tlakih.



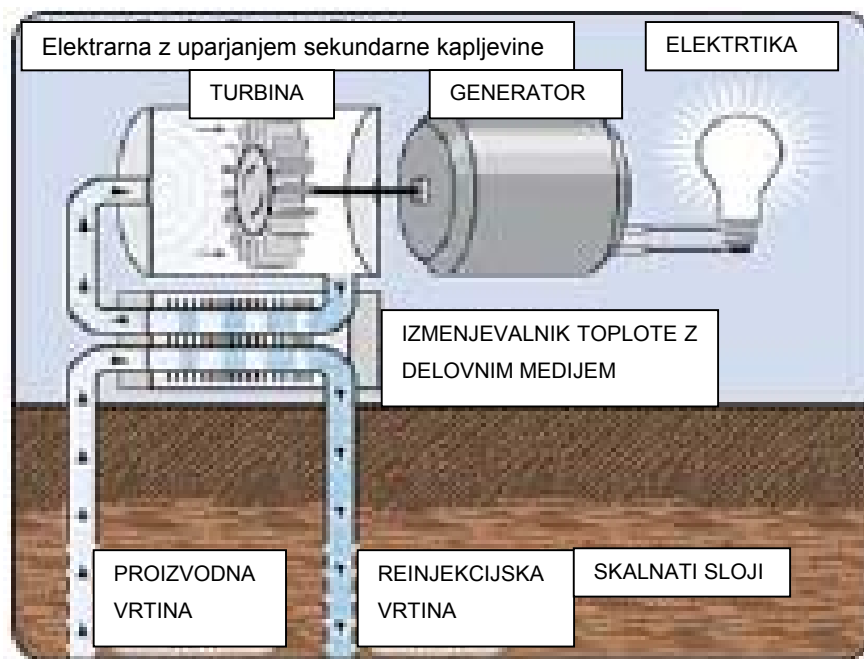
Slika 1: Shema elektrarne z direktno uporabo geotermalne pare (Golja, 2004)

Elektrarne z uparjanjem geotermalne vode (slika 2) uporabljamo za izkoriščanje geotermalnih rezervoarjev, kjer je energija skladiščena v vodi pod visokim tlakom pri temperaturah 150 - 350 °C. Vroča voda se nato preko cevovodov iz geotermalnih rezervoarjev vodi do uparjalnikov, kjer se zaradi nižjega tlaka upari. Para nato služi za pogon parnih turbin.



Slika 2: Shema elektrarne z uparjanjem geotermalne vode (Golja, 2004)

Elektrarne z uparjanjem sekundarne kapljevine (slika 3) izkoriščajo geotermalne vire, pri katerih je toplota na razpolago v obliki vroče vode pri temperaturah med 120 - 200 °C. V teh primerih bi se z generacijo pare neposredno iz geotermalne vode sprostilo premalo energije za pogon parnih turbin, še vedno pa je na voljo dovolj energije za generacijo električne energije v tako imenovanem binarnem sistemu. V binarnem ciklu gre vroča voda iz geotermalnega vira po primarnem krogu skozi prenosnike toplote, kjer voda odda toploto sekundarni tekočini, ki se upari. Kjer je geotermalna toplota na razpolago pri nizkih temperaturah, kroži po sekundarnem krogu tekočina, ki se uparja pri nižjih temperaturah (npr. alkohol). Para, proizvedena v sekundarnem krogu, se nato uporablja za pogon parnih turbin. Po ekspanziji na parni turbini in kondenzaciji se sekundarna tekočina ponovno uporabi v sekundarnem ciklu, geotermalna voda pa se ohlajena reinjektira v geotermalni vir.



Slika 3: Shema elektrarne z uparjanjem sekundarne kapljevine (Golja, 2004)

Za razliko od klasičnih termoelektarn, kjer proizvodnja električne energije temelji predvsem na sežigu fosilnih goriv (premoga, kurilnega olja ali plina), imajo geotermalne elektrarne mnogo prednosti:

- so čiste – toplota se ne generira z izgorevanjem goriv, ki ima za posledico emisije škodljivih snovi v ozračje, zato je zrak v okolici geotermalnih elektrarn čist;
- so okolju prijazne – zasedejo malo prostora, saj za proizvodnjo električne energije ne potrebujejo velikih zajetij vode, skladišč goriva in deponij za odpadke;
- so zanesljive – ponavadi so grajene za 24-urno neprekinjeno obratovanje (pasovna proizvodnja), saj so postavljene neposredno pri samem viru energije, ki ni občutljiv na vremenske nepravilnosti, naravne nesreče in politične razmere, ki lahko predstavljajo motnje v dobavi primarne energije;
- so prilagodljive – elektrarne so lahko zgrajene modularno, kar jim omogoča boljše prilagajanje potrebam po električni energiji;

- predstavljajo domač vir energije – geotermalni vir je vedno ob elektrarni, zato poleg okoljskih tudi ekonomske koristi izkoriščanja geotermalne energije vedno ostanejo v regiji.

### **3.3. Hlajenje vročih kamenin**

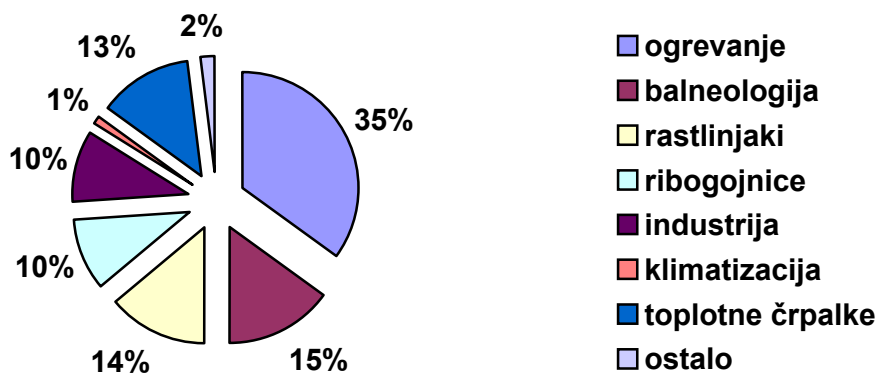
Postopek hlajenja vročih kamenin poteka tako, da skozi vrtino injektiramo vodo v razbito kamnino, iz vzporedne vrtine pa pri tem izkoriščamo uskladiščeno toploto. Energija tople vode se prenese na daljnovod ali pa se usmeri v termoelektrarno. Ta metoda je še vedno v preizkušanju. Poseben primer hlajenja vročih kamenin je sistem geosonda.

Sistem geosonda je namenjen široki izrabi geotermalne energije za ogrevanje in hlajenje stanovanjskih in poslovnih prostorov ter za ogrevanje sanitarne vode. Kljub temu da geotermalni viri niso tako pogosti ali pa so na voljo pri nižjih temperaturah, je mogoče geotermalno energijo izkoriščati za ogrevanje bivalnih in drugih prostorov na vsaki lokaciji, in sicer ob pomoči toplotne črpalke, ki omogoči dvig temperature na višji nivo.

#### 4. GEOTERMALNA ENERGIJA V SVETU

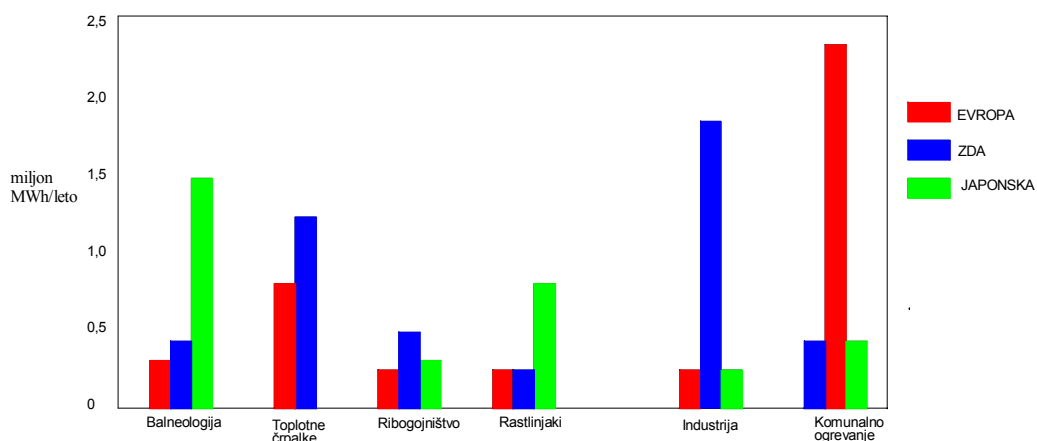
Geotermalna energija je v svetu relativno dobro poznana in izkoriščana. Trenutno geotermalno energijo izrabljajo v šestinštiridesetih državah sveta. Proizvodnja električne energije znaša 44 TWh/leto, neposredna izraba toplote pa 35 TWh/leto. V Evropi je neposredna izraba sorazmerno dobro razvita, obstajajo pa tudi ugodni pogoji za znatno povečanje. Proizvodnja električne energije je enakovredno porazdeljena na industrializirane države in države v razvoju, vendar je v državah v razvoju mnogo pomembnejša.

Raziskave o porabi geotermalne energije v svetu glede na namen uporabe so pokazale, da se največ energije uporabi za ogrevanje, od tega polovico energije za temperaturne režime pod 100 °C. Razdelitev uporabe geotermalne energije je razvidna iz slike 4.



Slika 4: Razdelitev uporabe geotermalne energije v svetu (Gobovšek, 2005)

Uporaba geotermalne energije v nekaterih državah je razvidna iz slike 5.



Slika 5: Uporaba geotermalne energije v nekaterih državah (Gobovšek, 2005)

Velike možnosti izkoriščanja geotermalnega položaja imajo tista področja, kjer vulkani še ne mirujejo. Tak primer je Japonska, ki zavzema 0,25 % površine Zemlje in v svetovnem merilu poseduje 10 % aktivnih vulkanov. Geotermalnih postrojenj, ki proizvajajo elektriko, je v svetu približno za 18 000 MW<sub>e</sub>.

V Evropi in drugod po svetu se geotermalna energija izkorišča za pridobivanje električne energije, za komunalno ogrevanje stanovanj in industrijskih objektov, v kmetijstvu za ogrevanje rastlinjakov, v turizmu in še nekaterih drugih dejavnostih.

V nekaterih evropskih regijah prispevajo geotermalne elektrarne že znaten del okolju prijazne in obnovljive energije. Z uporabo obstoječe tehnologije izkoriščajo geotermalne rezervoarje s paro in termalno vodo. V mislih imamo predvsem Italijo, Azore in druge vulkanske otoke v Evropi, vključno z Islandijo. Na Islandiji bo geotermalna energija eden od dveh obnovljivih energijskih virov, s katerima bo v celoti pokrita energijska preskrba države. V jugovzhodni Evropi, Turčiji in na območju Kavkaza obstajajo danes še neizkoriščene velikanske zaloge geotermalne energije, ki bi lahko v bodoče bistveno pripomogle pri energijski preskrbi iz obnovljivih virov.

Najboljši pogoji za izkoriščanje geotermalne energije v Evropi so na Islandiji, v Italiji in Grčiji. Največja elektrarna na geotermalno energijo v Evropi je bila zgrajena v Italiji že leta 1913 in ima električno moč 390 MW<sub>e</sub>. Italija je pionirska država glede



izkoriščanja geotermalne energije in danes premore že približno 700 MW<sub>e</sub> zmogljivosti. Sledita ji Islandija s približno 110 MW<sub>e</sub> zmogljivosti in Grčija z 12 MW<sub>e</sub> zmogljivosti.

V Aziji imajo velike geotermalne potenciale predvsem v Turčiji, Afganistanu, na severu Indije, v Sibiriji in na Japonskem, vendar so ti viri le delno izkoriščeni.

Na področju Avstralije, Nove Zelandije in pacifiškega otočja se izkorišča geotermalna energija za pridobivanje električne energije moči približno 2500 MW<sub>e</sub> (samo Filipini približno 2200 MW<sub>e</sub>). Velik potencial geotermalne energije je še neizkoriščen na Havajskem otočju, vendar tam že gradijo naprave.

Zelo znana področja izkoriščanja geotermalne energije so še v Severni Ameriki, nekatera področja v Kanadi in Mehiki. Tako je v Kaliforniji največja elektrarna za izkoriščanje geotermalne energije na svetu in ima električno moč 907 MW<sub>e</sub>. V zahodnem delu ZDA, ki so dobro geološko raziskane, znaša velikost geotermalnega polja »Rocky Mountains« 3,5 x 10<sup>6</sup> km<sup>2</sup>, globine vrtanja znašajo 3300 m, temperatura vode pa do 115 °C.

V Srednji in Južni Ameriki geotermalna polja ležijo vzdolž pacifiške obale v državah Salvador, Čile, Nikaragva in drugih. Izkoriščanje geotermalne energije za proizvodnjo električne energije se je v zadnjem času razmahnilo predvsem v Salvadorju in Nikaragvi. V Salvadorju je zgrajena toplarna moči 50 MW<sub>t</sub>.

Afrika je še dokaj neraziskano področje glede izkoriščanja geotermalne energije. Znana polja so v Etiopiji, ki merijo 500 km<sup>2</sup>. Polja z geotermalno vodo so odkrili tudi v Keniji in Tanzaniji. V geotermalna raziskovanja danes največ vlagata Kenija, ki trenutno že koristi približno 100 MW<sub>t</sub>, in Gvatemala. (Geonetwork, 2005)

Tabela 1: Koriščenje geotermalne energije za proizvodnjo električne energije v državah sveta leta 1995 (Gobovšek, 2005)

DRŽAVA	MWe
ZDA	3200
Filipini	2164
Mehika	950
Italija	700
Indonezija	380
Nova	342
Japonska	270
Salvador	180
Kostarika	110
Islandija	110
Kenija	105
Nikaragva	100
Rusija	70
Kitajska	50
Turčija	40
Guatemala	15
Grčija	12
Sveta Lucija	10
Francija	4
Tajska	3.3
Portugalska	3
Romunija	1.5
Argentina	0.7
Zambija	0.2
SKUPAJ	8821

Pretirana tehnološka izraba fosilnih goriv preti našemu planetu z ekološkimi katastrofami, zato zavzemanje za obnovljive vire in s tem za izrabo geotermalne energije pomeni, poleg varčevanja klasičnih goriv manjšo odvisnost od infrastrukturnih sistemov. Koriščenje geotermalne energije zmanjša energetska odvisnost države od uvoženih ekološko oporečnih in dragih virov.

Nove zamisli in tehnologije bodo omogočile zanesljivo preskrbo čiste pitne vode. Globoke in vroče vodonosnike lahko uporabljamo hkrati kot vir energije in pitne vode. Primera takšne uporabe sta Erding v Nemčiji in Mszczonow na Poljskem, pred kratkim pa so pričeli s podobnim projektom tudi na otoku Milos v Grčiji. (Škerjanec, 2002)

## **5. GEOTERMALNA ENERGIJA V SLOVENIJI**

Tudi v Sloveniji je geotermalna energija dobro poznana in izkoriščana. Naredili smo pregled njene uporabe in zbrali podatke o novih možnostih izkoriščanja.

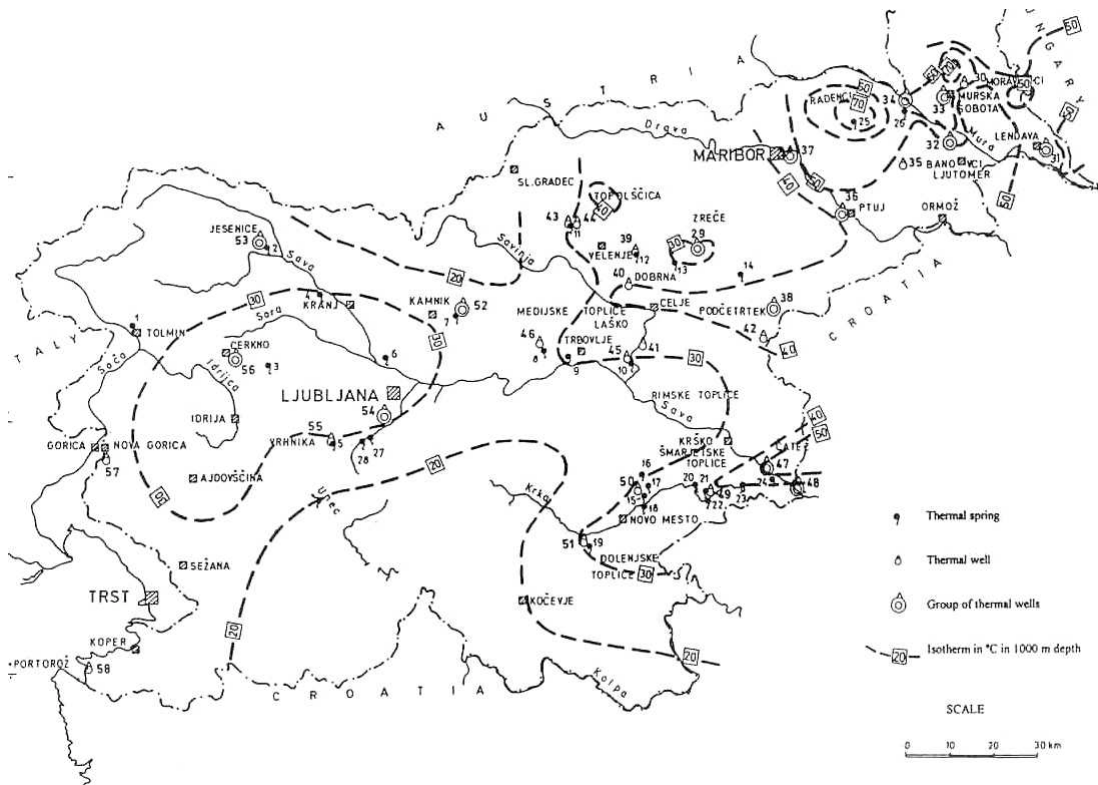
Geotermalno perspektivnega je 16 % ozemlja Slovenije. V Sloveniji so po doslej znanih podatkih v izkoriščanju nizkotemperaturni viri geotermalne energije. Perspektivni nosilci geotermalne energije so geološko mlajše strukture. Tem prištevamo tektonske udorine, ki so zapolnjene s terciarnimi in delno kvartarnimi sedimenti. Nastale so z ugrezanjem ob prelomih v mlajšem geološkem obdobju. Terciarni plasti so toplotno slabo prevodne, zaradi tega je geotermični gradient povišan. 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. Robovi udorin ponavadi izhajajo na površje, kjer se napajajo s padavinsko vodo, ki skozi močno razpokane cone pretoka 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. Del konvekcijsko krožeče termalne vode se po principu delovanja termičnega vzgona pretaka skozi močno razpokane cone na robovih udorin na površino, kjer napaja naravne termalne izvire. (Petek, 2005)

Geotermalno energijo v Sloveniji uporabljamo v sistemih daljinskega ogrevanja in za lokalno ogrevanje. Električne energije iz geotermalne energije še ne proizvajamo, strokovnjaki pa predvidevajo, da bo tudi to mogoče leta 2010. Trenutno je v Sloveniji 79 vrtin z volumskim pretokom približno 1500 l/s in toplotno močjo 140 MW<sub>t</sub>.

### **5.1.1. Geotermalno perspektivne regije v Sloveniji**

Geološka in tektonska zgradba Slovenije je zapletena, kajti njeno ozemlje sestavlja pet različnih geoloških strukturnih enot (slika 6, slika 7). Panonski bazen, vzhodne Alpe, južne Alpe, mejni pas med vzhodnimi in južnimi Alpami in zunanji Dinaridi. Ker leži Slovenija na stičnem območju Alp, Dinaridov in Panonskega bazena, sta

gubanje in narivanje, ki sta spremljala kolizijo afriške in evropske plošče, ustvarili tudi globoke prelomne oziroma tektonske cone, ki so omogočile globinsko kroženje vode.



Slika 6: Tematska geološka karta Slovenije (Slovenski E-forum, 2005)

V Sloveniji je za dotok tople vode proti površju pomembna predvsem debelina zemeljske skorje, ki je največja v zahodnem delu Slovenije, kjer znaša okoli 50 kilometrov. Proti vzhodu se tanjša, tako da v skrajnem vzhodnem delu znaša le še okoli 30 kilometrov.

Voda, primerna za odvzem toplote, se nahaja v Sloveniji tako v razpoklinskih vodonosnikih (predvsem karbonatih - dolomitih in apnencih, delno tudi peščenjakih) kakor tudi v medzrnskih vodonosnikih (peski, prodi). Razpoklinske vodonosnike predstavljajo starejše plasti, najpogosteje mezozojske starosti. V terciarnih kadunjah, kjer še ni prišlo do popolne konsolidacije sedimentov in še ni izločeno medzrnsko vezivo, pa se še vedno, tudi globlje od 1000 m, nahajajo peski in prodi.

Kot smo že omenili, se v Sloveniji največ uporabljajo nizkotemperaturni viri geotermalne energije. Največ raziskav je bilo narejenih v severovzhodnem delu Slovenije. Sicer pa so geotermalno perspektivne regije v Sloveniji :

- Panonski bazen s površino 1300 km<sup>2</sup>,
- rogaško-celjsko-šoštanjaska regija s površino 450 km<sup>2</sup>,
- planinsko-laško-zagorska regija s površino 380 km<sup>2</sup>,
- krško-brežiška regija s površino 550 km<sup>2</sup>,
- Ljubljanska kotlina s površino 600 km<sup>2</sup>.

V Panonskem bazenu so terciarne plasti debele od 400 do preko 5000 m. Podlago sestavljajo povečini metamorfne kamnine, delno tudi dolomiti in apnenci. Termalna voda je bila odkrita pri raziskavah virov nafte. Po večini je ta voda visokomineralizirana, kajti raziskave vira nafte so bile usmerjene na globlje terciarne plasti. V novejšem času je bilo izvrtanih nekaj vrtin, ki so bile plitvejše za raziskave tople vode. Raziskave so bile uspešne, saj je zajete več kot 100 l/s nizkomineralizirane vode s temperaturo 40 - 70 °C.

Izkoriščanje toplih voda je v Pomurju omejeno na nekaj središč, kjer se je razvil zdraviliški in rekreativni turizem, medtem ko se na ostalem prostoru Pomurja šele načrtuje izkoriščanje termalnih voda. Podatki številnih naftnih vrtin in geofizikalnih raziskav namreč kažejo, da se vodonosniki termalne vode razprostirajo skoraj po celotnem Pomurju v sklopu terciarnih sedimentov in so sorazmerno debele plasti poroznega peščenjaka kot nosilca termalne vode.

V rogaško-celjsko-šoštanjaski regiji debelina terciarnih plasti ni povsem zanesljivo poznana, verjetno pa niha med 500 in 1500 m. Podlago sestavljajo povečini mezozojski apnenci, dolomiti in skrilavci. Na tem območju je znanih nekaj pojavov termalne vode (Topolšica, Frankolovo, Zbelovo, Zreče in Dobrna). Razen Zbelovega so vsi pojavi raziskani, izdelana so tudi globoka zajetja z vrtinami. Skupna izdatnost vseh zajetij je čez 250 l/s vode s temperaturo 18,5 – 48 °C. Voda se uporablja za

balneološke in rekreativne namene. Le v Toplošici izkoriščajo toplo vodo s pomočjo toplotne črpalke za ogrevanje prostorov. V osrednjem delu regije, kjer je terciarna toplotna zaporna past debela do 1500 m, je v dolomitno-apneniški podlagi pričakovati termalno vodo z višjo temperaturo kot na obrobju. Za potrditev teh predpostavk so potrebne raziskave, ki se po stroških enačijo z raziskavami virov nafte.

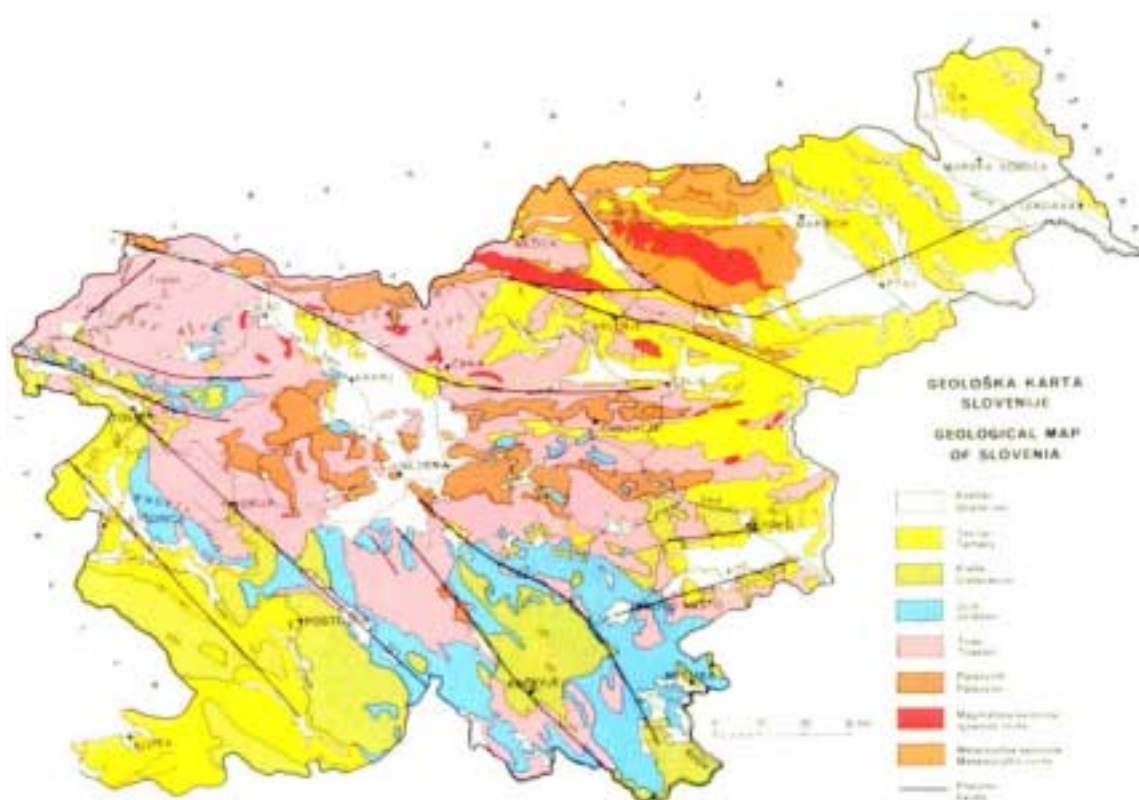
V planinsko-laško-zagorski regiji so terciarne plasti debele med 500 in 1500 m in v podlagi so po večini dolomiti. Tu je znanih nekaj območij s pojavi termalnih voda (Medijske toplice, Trbovlje, Rimske Toplice, Laško, Podčetrtek). Vsi pojavi termalnih voda na tem območju so raziskani in izdelana so globoka zajetja z vrtinami. Skupna izdatnost vseh zajetij v tej regiji je čez 150 l/s vode s temperaturo 21 - 43 °C. Voda se zaenkrat uporablja le za balneološke in rekreativne namene. Globlji del terciarnih plasti in podlage še niso raziskane.

V krško-brežiški regiji so terciarne plasti debele med 250 in 1000 m. Razen terciarnih plasti so na tem območju tudi dobro razviti gornjekredski skrilavci, ki predstavljajo toplotno zaporo za termalno vodo v globlje ležečih triadnih dolomitih. Na tem območju je znanih nekaj pojavov termalnih voda (Šmarješke Toplice, Klevevž, Kostanjevica, Bušeča vas in Čateške toplice). Le območji Šmarjeških in Čateških toplic sta podrobno raziskani in je termalna voda zajeta z globokimi vrtinami. Skupna izdatnost vseh zajetij v tej regiji je čez 240 l/s vode s temperaturo 15 - 64 °C. Voda se uporablja za balneološke in rekreativne namene in za ogrevanje hotelov in toplih gred.

V Ljubljanski kotlini sta prisotni dve geološko različno zgrajeni strukturi. Na Kranjsko-Sorškem polju in v Radovljiški kotlini predstavljajo krovno toplotno zaporo plasti terciarne gline in laporji, ki pa je sorazmerno tanka, debela kvečjemu 500 m. Zato tudi vode v dolomitno-apnenčevi podlagi ne dosežajo višjih temperatur. Pojavi termalne vode na obrobju (Bled, Pirniče, Zgornja Besnica) kažejo na temperature 20 - 30 °C. Skupna izdatnost vseh zajetij v tej regiji je okrog 150 l/s vode s temperaturo 18 - 23 °C.

Na Ljubljanskem polju in barju so geološke razmere čisto drugačne, čeprav globinske sestave še ne poznamo. Krovno toplotno zaporo na tem območju predstavljajo po večini karbonski glinasti skrilavci debeline med 1500 in 2000 m. V dolomitno-apnenasti podlagi je pričakovati vodo s temperaturo 40 - 70 °C. Na površini ni nikjer znanih pojavov toplih voda, nekatera krajevna imena pa kažejo na izvire tople vode. Na južnem in zahodnem obrobju barja pa so pojavi toplih voda z nizko temperaturo 15 - 22 °C pri Podpeči in Vrhniki. Tod so do 200 m debeli kvartarni glinasti sedimenti, pod njimi pa v podlagi karbonatne triasne kamnine. V njih so pri Curnovcu južno od Ljubljane z vrtino ugotovljene večje izdatnosti termalne vode s temperaturo 23 °C. (Slovenski E-forum, 2005)

Za Slovenijo je značilno naraščanje temperatur od jugozahodnega proti severovzhodnemu delu, najvišje so izmerjene v Panonskem bazenu in na vzhodnem delu krško-brežiške regije.



Slika 7: Geološka karta Slovenije (Slovenski E-forum, 2005)

### 5.1.2. Izkoriščanje geotermalne energije v Sloveniji

Vsa geotermično perspektivna območja v Sloveniji, ki smo jih obdelali v prejšnji točki, uporabljajo geotermalne izvore za balneološke in rekreativne namene. Izjema so sta Topolšica in Čatež, kjer s toplo vodo in s pomočjo toplotne črpalke ogrevajo prostore stavb ter tople grede. Ker je potencial geotermalne energije pri nas kar ugoden, je na tem področju v teku nekaj raziskav, izkušnje pa si Slovenci izmenjujejo z Islandci. (Kralj, 1999)

Izkoriščanje geotermalne vode ima na ozemlju Slovenije zelo dolgo tradicijo, saj so jo izkoriščali že stari Rimljani, kar je dokazano v arheoloških najdiščih, zelo verjetno pa tudi naseljena ljudstva pred njimi. Prvo zajetje termalne vode z globoko vrtino je bilo v Sloveniji izvedeno leta 1973.

Slovenija že razpolaga z 28 naravnimi izviri in 48 lokacijami, kjer je termalna voda zajeta z vrtinami s skupno instalirano toplotno močjo  $129 \text{ MW}_t$ . Od tega izkoriščamo  $103 \text{ MW}_t$  ali 80,5 %. Na ta način zagotovimo okoli  $400 \text{ GWh}_t$  toplote na leto. Danes ocenjujejo, da ima Slovenija na razpolago  $50\,000 \text{ PJ}$  teoretičnih, od tega  $12\,000 \text{ PJ}$  izkoristljivih zalog toplote, ki se nahajajo samo v geotermalnih vodonosnikih. (Gobovšek, 2005)

Izkoriščanje geotermalne energije s toplotno črpalko je v Sloveniji s pridom začelo leta 1997 uporabljati tudi podjetje Geosonda, d.o.o. iz Kranja, in sicer za ogrevanje in hlajenje stanovanjskih in poslovnih prostorov ter ogrevanje sanitarne vode. Pri tem uporabljajo tehnologije, ki so se v tujini izkazale za uspešne.

Izkoriščanje geotermalne energije s tem pa tudi termalne in termomineralne vode je potrebno gledati v okviru makroekonomskega koncepta razvoja Republike Slovenije. Termalna voda ne zagotavlja le ekološko čiste energetske preskrbe, temveč predstavlja veliko več v konceptu zdraviliško-rekreacijskega domačega in tujega turizma, s tem pa tudi velikega dela malega gospodarstva in kmetijstva.

Geotermalna energija, uskladiščena samo v geotermalnih vodonosnikih, bo v daljši prihodnosti za Slovenijo morala imeti pomembno vlogo. Ob njeni ekološki sprejemljivosti predstavlja tudi enega največjih potencialov energije, ki jih ima

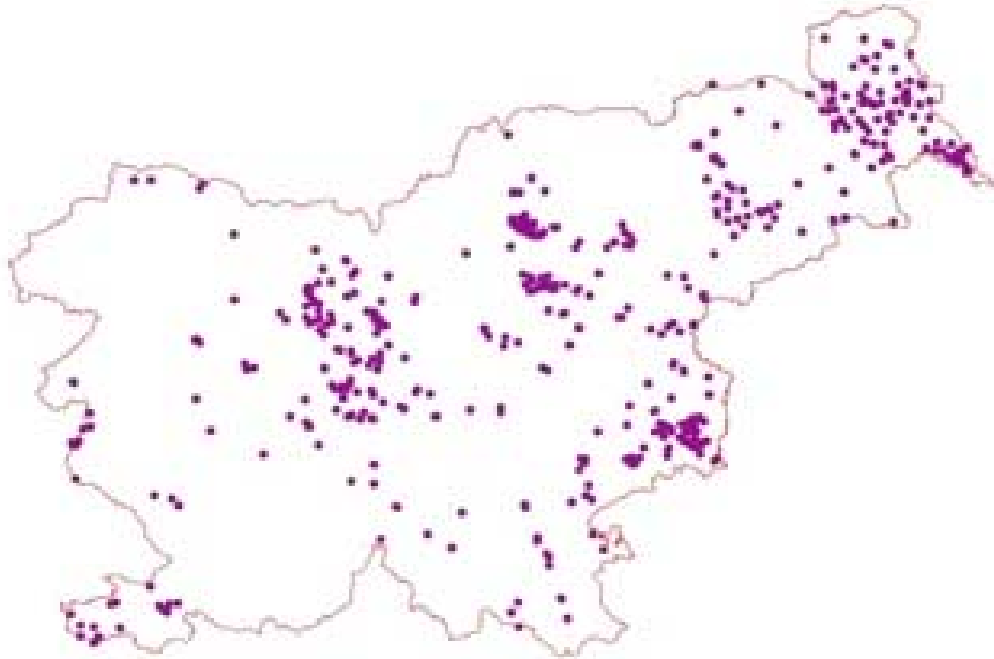


energetsko deficitarna Slovenija. Cena za proizvodnjo toplote iz geotermalnih virov je v cenovnem razredu kot drugi energenti, zaradi česar je prav tako pričakovati pospešeno rast izkoriščanja tega vira. To potrjujejo tudi mnogi novi projekti, ki se pripravljajo. Novi projekti se pripravljajo tako v tradicionalnem območju vzhodne in severovzhodne Slovenije kakor tudi na Primorskem, kjer je bilo v zadnjih letih izdelanih že nekaj uspešnih globokih geotermalnih vrtin (slika 8). Na Primorskem se te vrtine nahajajo na Krasu, v obalnem Primorju in v Goriških Brdih. Prav tako so novi projekti usmerjeni v nove tehnologije in celo proizvodnjo električne energije. Še veliko več je projektov za povečanje že obstoječih zmogljivosti.

Pričakujemo, da se bodo razpoložljive zmogljivosti v naslednjih desetih letih podvojile. Za boljšo rentabilnost geotermalnih projektov pa moramo v prihodnje pozornost usmeriti na multikaskadno izrabo, večjo izkoriščenost celotnega temperaturnega območja (kaskadno izkoriščanje), večnamensko izrabo, celoletno izkoriščanje vrtin, uporabo akumulacijskih rezervoarjev, vračanje energetsko izkoriščene, intaktne termalne vode v prvotni vodonosnik (ekološka neoporečnost energijskega vira).



Slika 8: Vrtanje vrtine (Geosonda d.o.o., 2005)

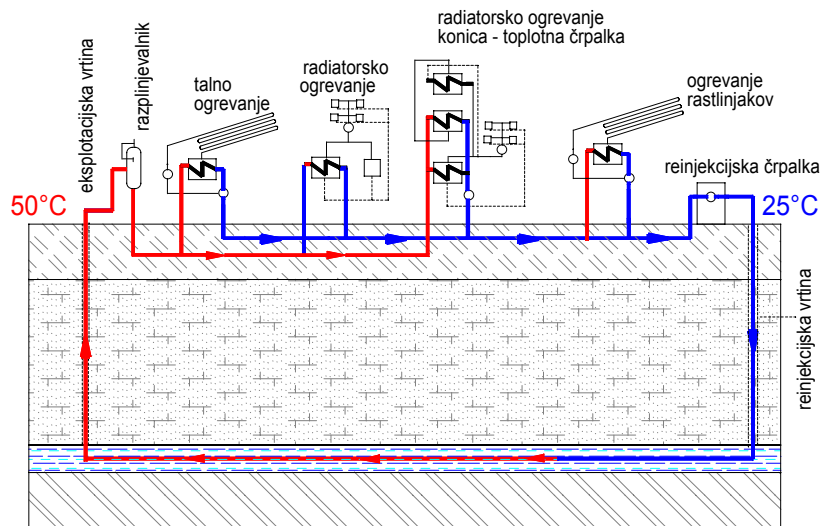


Slika 9: Karta vrtin v Sloveniji (Geološki zavod Slovenije, 2005)

Trenutno je v Sloveniji 79 vrtin (slika 9) z volumskim pretokom približno 1500 l/s in toplotno močjo 140 MW<sub>t</sub>. Izkoriščamo približno 80 % te energije iz nizkotemperaturnih prenosnikov. Količine termalnih voda v vodonosniku so omejene. Izlivanje vodonosnikov po toplotni izrabi pa povzroča toplotno onesnaževanje okolja. Iz tega razloga pri gospodarnem ravnanju s termalnimi vodami vračamo energijsko izrabljeno termalno vodo nazaj v vodonosnik. Postopek se imenuje reinjektiranje. Izkoriščanje vodonosnikov je smotno, če vodonosnik ni globlje kot 2000 do 3000 m, če je izdatnost vrelna večja od 150 t/h in vsebuje manj kot 60 g/kg mineralov. (Novak, Medved, 2000)

Najbolj raziskana vodonosnika v Sloveniji sta Termal I in Termal II. Vodonosnik Termal I (slika 10) se nahaja v Prekmurju na globinah do 1200 m. Njegova debelina znaša do 50 m, razprostira pa se na površini 1372 km<sup>2</sup>. Temperatura vode znaša do 50 °C. Njegova predvidena toplotna moč je 5,8 x 10<sup>8</sup> GJ, kar je ekvivalentno 13,6 milijonom ton nafte. Ocena toplotne moči v Sloveniji znaša več milijard GJ. Po

pokrajinah je največ geotermalnih izvorov v severovzhodni Sloveniji (65 %), sledi krško-brežiška kotlina (25 %) in Ljubljanska kotlina (5 %).



Slika 10: Izkoriščanje geotermalne energije iz sistema TERMAL I (Gobovšek, 2005)

Vodonosnik Termal II poteka v Radgonski depresiji v globini do 3000 m, v Ljutomerski depresiji pa v globini do 4000 m. Debelina vodonosnika znaša od 10 do 100 m. Raziskave so pokazale, da znašajo temperature termalnih voda 85 - 185 °C. Projekti za izkoriščanje vodonosnika so pripravljene, izkoriščanje naj bi se začelo v obdobju od 3 do 5 let. Ocenjeni potencial južnega polja, zavzema površino približno 2000 km<sup>2</sup> in je primeren za neposredno pridobivanje elektrike s parnim procesom, ki je približno 900 milijonov GJ. Po napovedih strokovnjakov, bi lahko ekonomsko in okoljevarstveno izkoristili le od 10 do 15 % razpoložljivega potenciala.

## 6. IZKORIŠČANJE GEOTERMALNE ENERGIJE Z GEOSONDO

Podrobneje bomo obdelali sistem geosonda (slika 11), njegovo delovanje in uporabo. Ta sistem uporabljamo tudi v Sloveniji za ogrevanje objektov, zato bomo naredili tudi pregled objektov, ki so v Sloveniji že ogrevani s tem sistemom.

Za odzemanje manjše količine toplote kamninam, kjer ni vodonosnikov, lahko uporabljamo geosonde. Geotermalne meritve kažejo, da se temperatura na prvih 10 – 20 m pod zemeljsko površino med letom zaradi atmosferskih vplivov spreminjanja, v večjih globinah pa je stalna in se povišuje za približno 3 stopinje na vsakih 100 m globine. Za izrabo teh trajnih toplotnih zemeljskih virov vgrajujemo v vrtino globoko od 60 pa do 140 m vertikalne sonde v obliki U cevi. V izvrtino približno 100 milimetrov se običajno potisneta dve »U« cevi iz plastike. Prazen prostor med njima se zapolni s snovjo, ki ima dobro toplotno prevodnost.

Po izkušnjah znaša toplotni odvzem takšne geosonde: na suhih peščenih tleh 20 W/m, na vlažnih peščenih tleh 40 W/m, na tleh s podtalnico 80 - 100 W/m.



Slika 11: Skica napeljave sistema geosonda v stanovanjski objekt (Geosonda d.o.o., 2005)

## **6.1. Postopek izkoriščanja**

Geotermalna energija, ki jo izkoriščamo s pomočjo sistema geosonda, je okolju prijazen in energetsko učinkovit sistem za ogrevanje in hlajenje prostorov ter sanitarne vode. Za delovanje potrebuje le minimalno količino električne energije za pogon toplotne črpalke, ki črpa energijo iz notranjosti Zemlje, zato so stroški ogrevanja v primerjavi z ostalimi načini precej nižji.

Za delovanje sistema se v zemljo izvrtajo vrtine, ki so ponavadi globoke okoli 100 m. V te vrtine pa se vstavi geosonde.

Toplotna črpalka vodo, ki kroži v sistemu cevi z izkoriščanjem geotermalne energije, dogreje do željene temperature (npr. do 55 °C). Ob nizkih stroških, saj je potrebna le električna energija za pogon toplotne črpalke, je prednost takšnega sistema tudi to, da lahko toplotna črpalka vodo hladi in tako sistem uporabimo za hlajenje prostorov.

Najboljši izkoristek ima sistem v kombinaciji z nizkotemperaturnimi sistemi ogrevanja, kot so na primer talno in stensko ogrevanje ter stropno ogrevanje in hlajenje.

## **6.2. V Sloveniji ogrevani objekti s sistemom geosonda**

V Sloveniji je že kar nekaj objektov ogrevanih s sistemom geosonda. Podjetje Geosonda d.o.o. mi je posredovalo podatke o njih. V letu 2004 so bili v celoti dokončani in vključeni v obratovanje naslednji objekti:

- individualna stanovanjska hiša v Kunšperku pri Bistrici ob Sotli (izvedeni sta dve vrtini po 80 metrov in vgrajena je toplotna črpalka z močjo 15 kW, objekt je ogrevan s klasičnim radiatorskim sistemom);
- stanovanjska hiša v Vrbnjah pri Radovljici (izvedeni sta dve vrtini po 70 metrov, vgrajena je toplotna črpalka z močjo 10 kW, v objektu je izvedeno talno ogrevanje);

- osnovna šola v Hruševju v občini Postojna (izvedenih je pet vrtin po 120 metrov in vgrajena je toplotna črpalka z močjo 35 kW, obstoječi radiatorski sistem je kompletno renoviran);
- nova stanovanjska hiša v Slovenskih Konjicah (izvedeni sta dve vrtini po 80 metrov in vgrajena je toplotna črpalka z močjo 15 kW, v objektu je izvedeno talno ogrevanje, ki bo v poletnem času prevzelo funkcijo hlajenja);
- adaptirana stanovanjska hiša v Kranju z že izvedenim talnim ogrevanjem (izvedeni sta dve vrtini po 120 metrov in vgrajena je toplotna črpalka z močjo 20 kW, poleg hlajenja s sistemom geosonda je izvedeno tudi odtaljevanje dvorišča);
- starejša stanovanjska hiša v Vranskem (izvedene so tri vrtine po 60 metrov in vgrajena je toplotna črpalka z močjo 15 kW);
- poslovna stavba v Kranju (izvedenih je pet vrtin po 70 metrov in vgrajena je toplotna črpalka z močjo 35 kW);
- stanovanjska hiša v Leskovcu pri Slovenski Bistrici (izvedeni sta dve vrtini po 70 metrov in vgrajena je toplotna črpalka z močjo 10 kW, ogrevanje je z radiatorskim sistemom, objekt pa je nova, v celoti lesena gradnja);
- vzrejna svinjska farma v okolici Murske Sobote (izvedeno je osem vrtin po 70 metrov in vgrajena je toplotna črpalka z močjo 35 kW).

V letu 2005 so bili narejeni še trije poslovni objekti, in sicer: Vinski motel v okolici Krškega, apartmajski objekt na Bledu in poslovna stavba v Mariboru. Narejenih je bilo tudi nekaj stanovanjskih objektov na Krasu, v Vipavski dolini, okolici Postojne in Ljubljane, na Štajerskem in Dolenjskem, o njih pa žal ne moremo od lastnikov dobiti podrobnejših podatkov.

## **7. OGREVANJE IN HLAJENJE STANOVANJSKE HIŠE Z GEOSONDO**

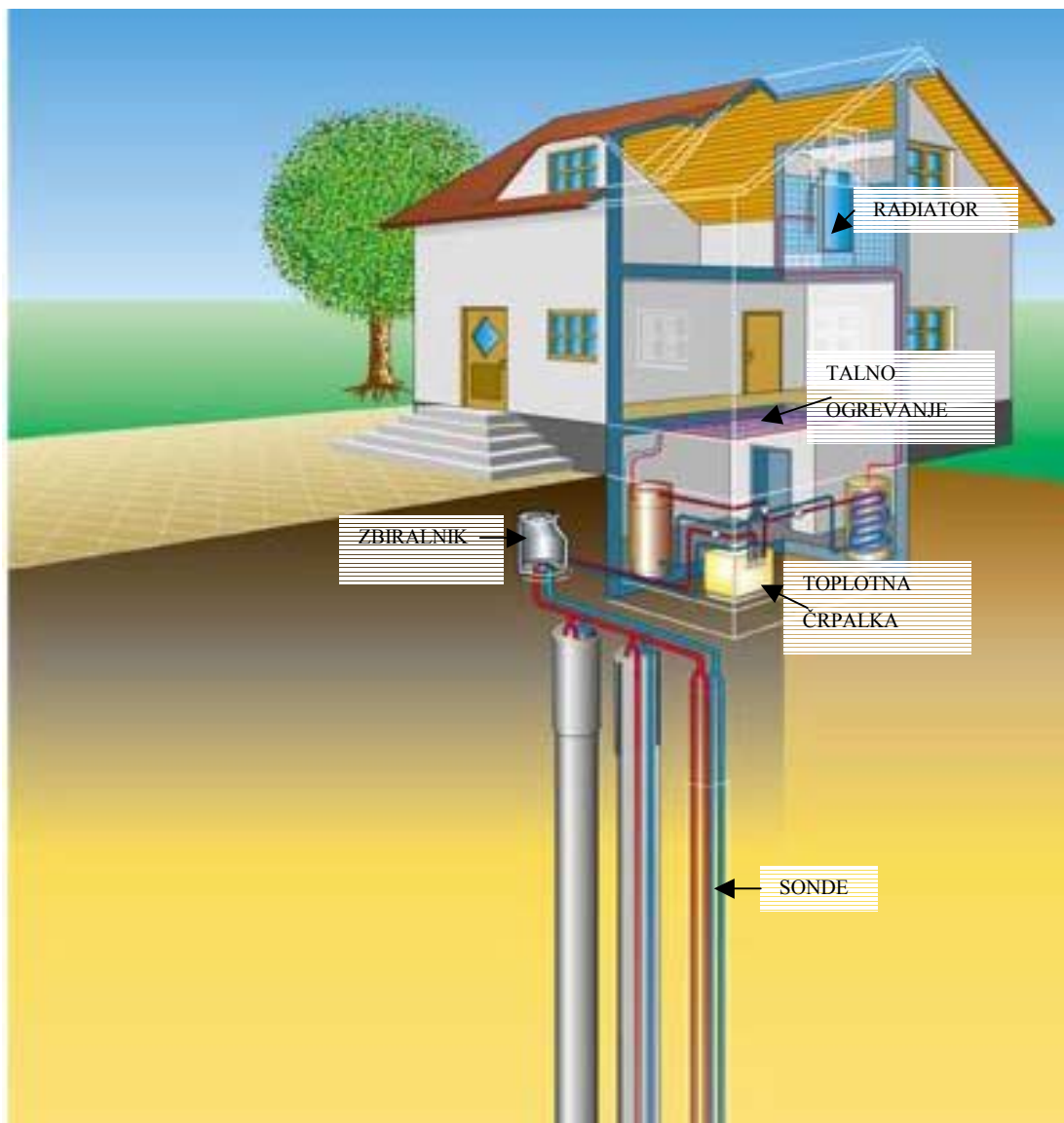
Sistem z geosondo je namenjen široki izrabi geotermalne energije za ogrevanje in hlajenje stanovanjskih in poslovnih prostorov ter za ogrevanje sanitarne vode. Je uporaben kot dodatni vir energije v obstoječih sistemih individualnega centralnega ogrevanja in pri novogradnjah.

Sistem izrabe geotermalne energije s sistemom geosonda tvorita vrtina z vstavljenjo geosondo in toplotna črpalka (slika 12). Globino in število vrtin določi željena količina pridobljene toplotne energije, ki jo opredeli kupec. V primeru zahteve po večji količini energije jih je potrebno vgraditi več. Običajna globina je med 80 in 160 metri.

Izvedba ogrevanja, priprave sanitarne vode in hlajenja s toplotno črpalko je v razvitih državah že nekaj običajnega. Sprva se je v kombinaciji s toplotno črpalko večinoma ogrevalo z uporabo podtalnice in drugih vodnih površin, ter z izrabo toplote iz okolice. Temu so sledili horizontalni zemeljski kolektorji, sedaj se največ teh sistemov izvaja s sistemom geosonda.

Ogrevanje s toplotnimi črpalkami ima že več desetletno tradicijo in torej ni nekaj novega, rizičnega. V zadnjih letih je v strmem porastu zaradi ekoloških razlogov in zato, ker je ta način ogrevanja zaradi vse kvalitetnejših toplotnih črpalk z vedno boljšim izkoristkom postal tudi cenovno konkurenčen vedno dražjim fosilnim gorivom, katerih zaloge so omejene.



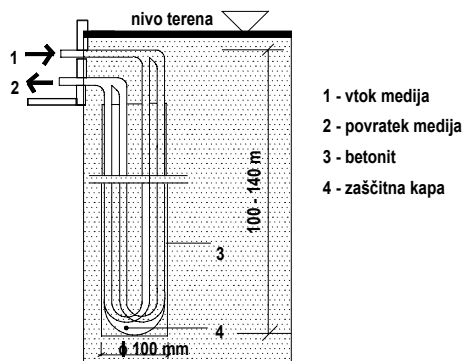


Slika 12: Sistem geosonda (Geosonda d.o.o., 2005)

### 7.1. Elementi sistema geosonda

Geosonda je v vrtino vstavljen zaprt krožni sistem, ki ga predstavljajo štiri polietilenske cevi premera 2,6 cm (ene cole). Po dve cevi sta na dnu povezani, po ceveh kroži voda, ki Zemlji odvzema toploto in jo prinese do toplotne črpalke. Peta cev je v vrtino vstavljena zato, da se po njej celotni prazen prostor med posameznimi cevmi zapolni s posebno snovjo, ki ima dobro toplotno prevodnost. Cilj zapolnitve

medprostora je fiksiranje sistema in omogočanje čim večjega prenosa toplote z okolice (slika 13).



Slika 13: Vertikalna sonda (Geosonda d.o.o., 2005)

Toplotne črpalke so naprave, ki izkoriščajo toploto iz okolice ter jo pretvarjajo v uporabno toploto za ogrevanje prostorov in segrevanje sanitarne vode. Toplota, ki jo iz okolice črpajo toplotne črpalke, je v različnih snoveh akumulirana sončna energija, zato predstavlja obnovljivi vir energije. Toplotne črpalke izkoriščajo toploto zraka, podtalne in površinske vode, toploto, akumulirano v Zemlji in kamnitih masivih, lahko pa izkoriščajo tudi odpadno toploto, ki se sprošča pri različnih tehnoloških procesih.

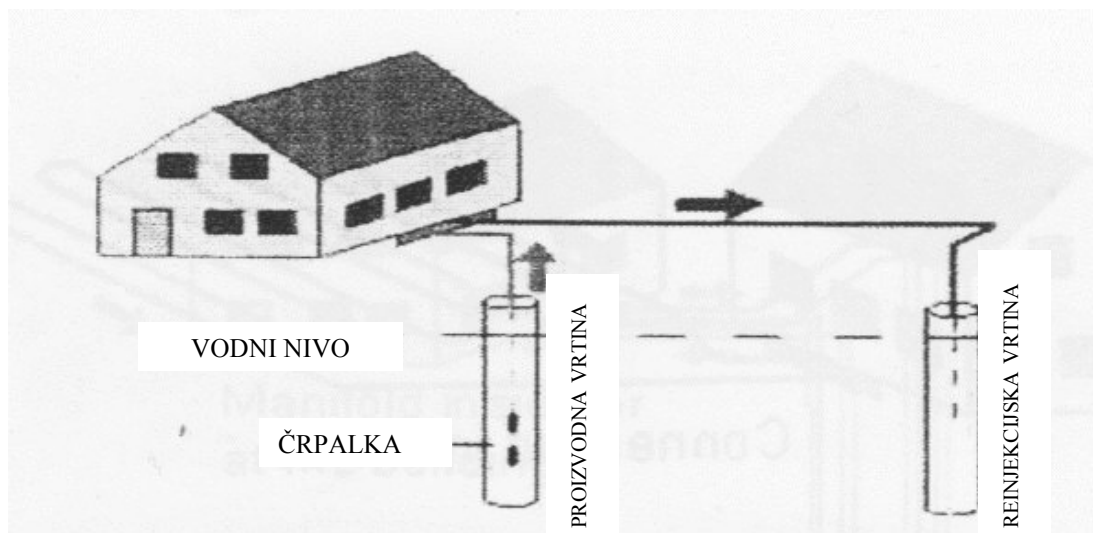
Toplotne črpalke snovi iz okolice odvezemajo toploto na nižjem temperaturnem nivoju ter jo oddajajo v ogrevalni sistem na višjem temperaturnem nivoju. Da je to mogoče, je potrebno v takšen krožni proces dovesti dodatno pogonsko energijo. Toplotna črpalka potrebuje za prenos toplote delovni medij, ki s spremembo svojega agregatnega stanja prenaša toploto iz okolice v poljuben ogrevalni sistem. Kot delovno sredstvo se v toplotnih črpalkah uporabljajo hladiva. To so snovi, ki se uparijo pri temperaturah na primer 0 - 35 °C. Zaradi škodljivega vpliva hladiv fluor-klor-ogljikovodikov na ozonsko plast in tako imenovan učinek tople grede je njihova uporaba od začetka leta 1995 prepovedana. Toplotne črpalke, ki so izdelane po tem roku, uporabljajo kot hladivo R22, R134a in mešanico R404a in R410a. Našteta hladiva nimajo škodljivih vplivov na okolje. Glede na izvedbo ločimo kompaktno toplotne črpalke in toplotne črpalke v ločeni izvedbi. Pri ločeni izvedbi so posamezni

deli toplotne črpalke lahko nameščeni na različnih lokacijah. Največkrat je uparjalnik nameščen bližje viru toplote, medtem ko sta kondenzator in hladilnik toplote nameščena v kotlovnici. (Termotehnika d.o.o., 2005)

Za izkoriščanje geotermalne energije v povezavi s toplotno črpalko poznamo odprte in zaprte sisteme za izrabo geotermalne energije.

V odprtem sistemu izrabe geotermalne energije je neposredni prenosnik energije v toplotno črpalko podtalnica. Najpomembnejši element odprtega sistema je vrtina (ali več vrtin), ki služi za odjem ali odlaganje toplote v sam vodonosnik. V večini primerov gre za dve vrtini, takoimenovan dublet vrtin (slika 14). Ena vrtina je namenjena odjemanju toplote vode, druga je pa odlaganju ohlajene vode v isti vodonosnik.

Ta sistem zahteva občasna obsežna vzdrževalna dela na vrtinah. Njegova uporaba je omejena na lokacije, kjer so na voljo ustrezni vodonosniki. Izvedba odprtega sistema zahteva zadostno prepustnost v vodonosniku, ki dopušča odjem zelenih količin vode pri najmanjšem vodnem padcu ter ustrezno kemično sestavo vode zaradi problemov, ki se pojavljajo kot posledica oblaganja in korozije cevi v sistemu.

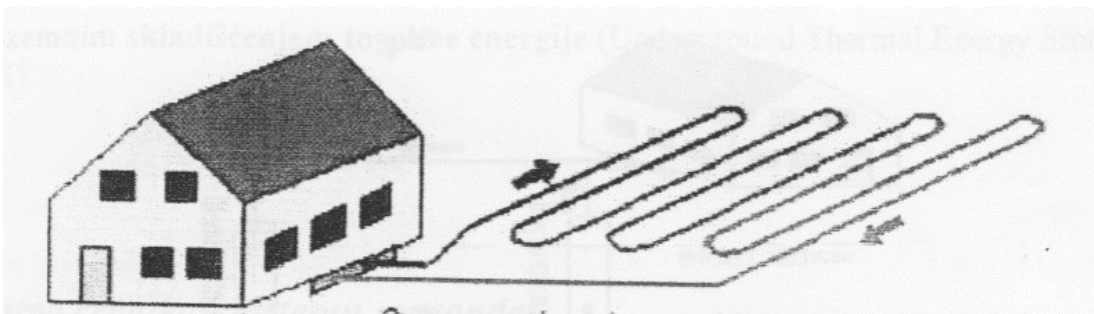


Slika 14: Podzemna toplotna črpalka dublet vrtin (Geosonda d.o.o., 2005)

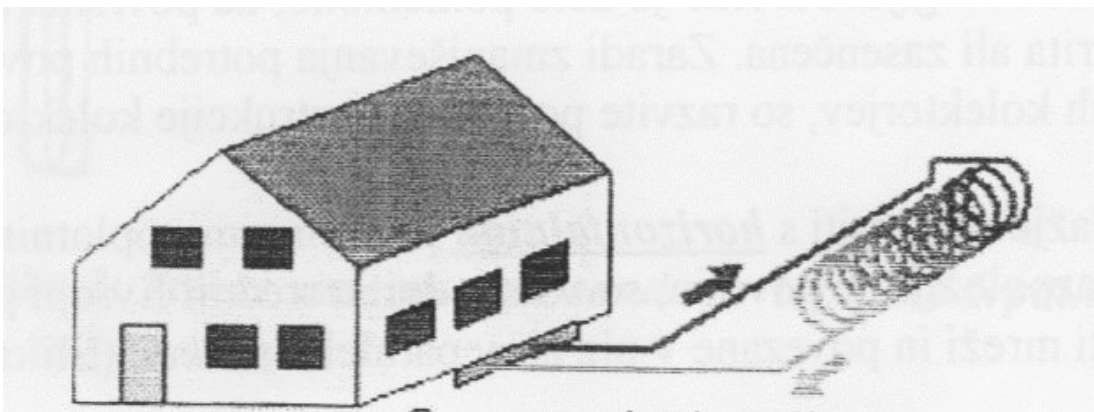
Pri zaprtem sistemu vstavimo zemeljski kolektor pod zemljo (v vertikalni ali horizontalni legi). Medij s kroženjem prenaša toploto iz kolektorja v vrtini do

toplotne črpalke ali obratno. Glavni vir energije pri uporabi horizontalnih kolektorjev je ogrevanje tal s sončno energijo. Pri tem je zelo pomembno, da površina tal nad kolektorjem ni prekrita ali zasenčena. Zaradi zmanjševanja potrebnih površin za izgradnjo podzemnih kolektorjev so razvite posebne konstrukcije kolektorjev.

Zaprti sistem je najlažje namestiti s horizontalnimi podzemnimi toplotnimi kolektorji. Zaradi omejenosti razpoložljivih površin so v zahodni in srednji Evropi posamezne cevi vgrajene v gosti mreži in povezave v niz ali paralelni sistem (slika 15). Spiralna oblika toplotnih kolektorjev je zlasti razširjena v ZDA (slika 16).



Slika 15: Horizontalni podzemni toplotni izmenjevalec (Geosonda d.o.o., 2005)



Slika 16: Spiralni tip izmenjevalca (Geosonda d.o.o., 2005)

Na temperaturo Zemlje v globini pod 10 - 20 m ne vplivajo klimatske spremembe, zato ostaja nespremenjena.

Standardna geosonda je v vrtino vgrajena plastična (polietilenska ali polipropilenska) cev. Ostanek prostora v vrtini se zapolni z izolacijskim materialom. Obstaja več konstrukcij geosonde. Ena od konstrukcij je »U« cev, ki je sestavljena iz para ravnih cevi, ki so spojene na dnu vrtine. Najpogosteje se v vrtino vgradi dva, tri ali več takšnih nizov. Prednosti »U« cevi sta nizka cena in trajnost, zato je v Evropi njena raba zelo razširjena. Druga konstrukcija je koaksialna cev različnih konstrukcij, od enostavnih do tehnično zahtevnih.

## **7.2. Postopek izvedbe**

V tem poglavju bomo predstavili, kako se za sistem geosonda sploh odločimo, kaj moramo vedeti in seveda kje začnemo in kako poteka izvedba projekta.

Pred odločitvijo za sistem geosonda si je potrebno priskrbeti dovolj gradiva, da sistem sploh spoznamo in ga seveda lahko primerjamo tudi z drugimi sistemi. Glede gradiva priporočamo obisk spletne strani slovenskega podjetja Geosonda [7] in strani podjetja Termotehnika [9] morda tudi kakšno tujo spletno stran podjetja Geosonda [10], kjer je veliko informacij, ki so koristne, da sistem поблиže spoznamo, na voljo pa so tudi telefonske številke ter elektronski naslovi za morebitna dodatna vprašanja.

Po sprejemu odločitve o vgradnji sistema geosonda v novogradnjo ali ob renoviranju obstoječega objekta se potem nadaljujejo naslednje potrebne delovne faze celotnega projekta:

- izdelava tehničnega projekta,
- pridobitev rudarskega dovoljenja za izvedbo globokih vrtin in vgradnjo geosond,
- izvedba rudarskih del,
- dobava in montaža toplotne opreme.

### **7.2.1. Izdelava tehničnega projekta**

Prva delovna faza projekta je vsekakor izdelava tehničnega projekta. Izvajalec mora na terenu preveriti dejansko stanje stavbe in lokacije vrtine. Upoštevati mora tudi želje in potrebe kupca. Na podlagi pridobljenih informacij se izdelata tehnični načrt, ki je potem tudi podlaga za nadaljnje delo in pridobitev rudarskega dovoljenja.

### **7.2.2. Pridobitev rudarskega dovoljenja za izvedbo globokih vrtin in vgradnjo geosond**

S kupcem se sklene pogodbo o izdelavi projektne dokumentacije in pridobitvi rudarskega dovoljenja.

Potrebni so naslednji dokumenti:

- zemljiškoknjižni izpisek parcele, na kateri se bo sistem vgradil,
- mapna kopija zemljišča (geodetski načrt parcel),
- pooblastilo za vodenje upravnega postopka za pridobitev rudarskega dovoljenja.

V času projektiranja se izvede izdelava geološke prognoze za lokacijo, preveri strokovnjakom že izdelani strojni projekt ali pa se ga po potrebi izdelata. Cilj tega pregleda je ugotoviti dejansko energetske potrebo objekta. Na podlagi geološkega pregleda lokacije in izvedenega izračuna energetske prevodnosti – vrednosti lokacije, se izračuna energetska trajna vrednost ene vgrajene geosonde z globino 100 m.

Glede na energetske potrebe objekta in energetske izdatnosti ene vrtine se določi število in globina potrebnih geosond.

Na podlagi določenega števila potrebnih geosond se izdelata rudarski projekt in na podlagi tega projekta se vložijo zahtevek za izdajo rudarskega dovoljenja na Ministrstvu za okolje, prostor in energijo ([www.sigov/mop](http://www.sigov/mop)).

Pridobitev potrebnega rudarskega dovoljenja traja povprečno petinštirideset do šestdeset dni. Cena za navedeno delo je približno 300.000,00 SIT, vanjo pa so vštete tudi upravne takse Republike Slovenije.

### **7.2.3. Izvedba rudarskih del**

Ko od Ministrstva za okolje, prostor in energijo izvajalec pridobi potrebno rudarsko dovoljenje, lahko prične z rudarskimi deli.

Med rudarska dela štejejo izvedbo načrtovanih vrtin in vgradnjo geosond skupaj z dobavo geosond. Te so lahko slovenskega (Totra plastika d.o.o.: [www.totraplastika.si](http://www.totraplastika.si)) ali švicarskega (Haka gerodur: [www.hakagerodur.ch](http://www.hakagerodur.ch)) porekla.

Geosonde se po vgradnji injekcijsko zabetonirajo s posebno cementno emulzijo. V sklop rudarskih del pa sodi še povezava geosond do vhodnega jaška v objekt skupaj s potrebnimi gradbenimi deli.

### **7.2.4. Dobava in montaža toplotne opreme**

Ko so geosonde nameščene, se izvajalec loti naslednje faze, in sicer dobave in montaže toplotne opreme. K toplotni opremi štejemo toplotno črpalko z ustreznim zalogovnikom (bojlerjem) za toplo sanitarno vodo. Seveda v to fazo spada tudi izvedba montažnih del.

Toplotno črpalko, torej proizvajalca in prodajalca, izbere kupec sam, seveda na podlagi izdelane projektne dokumentacije.

V nadaljevanje izgradnje posamezne investicije seveda sodi tudi vgradnja grelnih teles: radiatorji, ploskovno (stensko ali talno) ogrevanje.

Za najbolj smotno izrabo energije Zemlje seveda izvajalec predlaga ploskovni sistem; to je talno, stensko ali stropno ogrevanje. Takšen sistem imenujemo nizkotemperaturni sistem. Ta način ogrevanja lahko uporabimo tudi za hlajenje objekta v poletnem času.

### **7.2.5. Državna podpora ogrevanja in hlajenja s sistemom geosonda**

Pomena vgradnje sistema geosonda za ogrevanje in hlajenje v objektu se zaveda tudi država, zato nudi za vgradnjo takega sistema subvencijo in ugoden kredit. Na željo investitorja izvajalec pripravi vso potrebno dokumentacijo za navedeni finančni inženiring.

Država ob predložitvi ustrezne dokumentacije o izvedbi in vgradnji takega sistema dodeli finančno nepovratno pomoč v višini do 500.000,00 SIT. Zagotovi pa tudi ugoden ekološki kredit z maksimalno višino do 4 milijone tolarjev za dobo šest let s fiksno obrestno mero 4 %. (Eko sklad, 2005)

### **7.3. Učinki izrabe geotermalne energije z geosondo**

Usmeritev na izrabo trajnih in obnovljivih virov energije narekuje poleg že omenjene povečane odgovornosti za varovanje okolja tudi manjše stroške za njeno pridobivanje, oboje skupaj pa prispeva k izboljšanju kakovosti življenja.

Z vidika učinkov na individualni ravni, sistem geosonda:

- za investitorje pomeni 70 – 85 % cenejšo energijo v primerjavi s klasičnimi energetske viri;
- zmanjšuje stopnjo emisij v ozračju na skoraj zanemarljivo raven in prispeva k čistejšemu ozračju soseske;
- povzroči minimalne stroške vzdrževanja sistema;
- zagotavlja visoko varnost obratovanja sistema;
- zahteva minimalen prostor.

Na državni ravni pomeni uvajanje projekta geosonda:

- povečanje energetske samostojnosti države;



- prihranek državnih sredstev zaradi zmanjšanja uvoza primarne energije;
- zmanjševanje emisij toplogrednih plinov in zmanjševanje nevarnosti drugih ekoloških katastrof zaradi zmanjševanja rabe fosilnih goriv;
- uvajanje nove industrijske tehnologije in s tem odpiranje novih delovnih mest;
- uvajanje rabe obnovljivih virov energije;
- realokacijo sredstev v učinkovitejše in okolju prijaznejše vire izrabe energije.

S povečanjem obsega rabe geotermalne energije ohranjamo torej domače rezerve konvencionalnih energentov in zmanjšujemo uvoz tekočih in drugih klasičnih energentov. V nadaljevanju to pomeni, da zagotovi širša izraba geotermalne energije prihranek v državnem proračunu in prispeva k čistejšemu ozračju, kar posledično izboljša kvaliteto življenja.

#### **7.4. Primerjava stroškov investicije in ogrevanja glede na vir ogrevanja**

Primerjavo smo naredili med sistemom geosonda in najpogosteje uporabljenima viroma energije, to je zemeljskim plinom in kurilnim oljem. Pri zbiranju podatkov so nam bili v pomoč podjetje Geosonda, d.o.o., družina iz okolice Postojne, ki ima sistem geosonda vgrajen v svoji stanovanjski hiši in podatki svetovnega spleta.

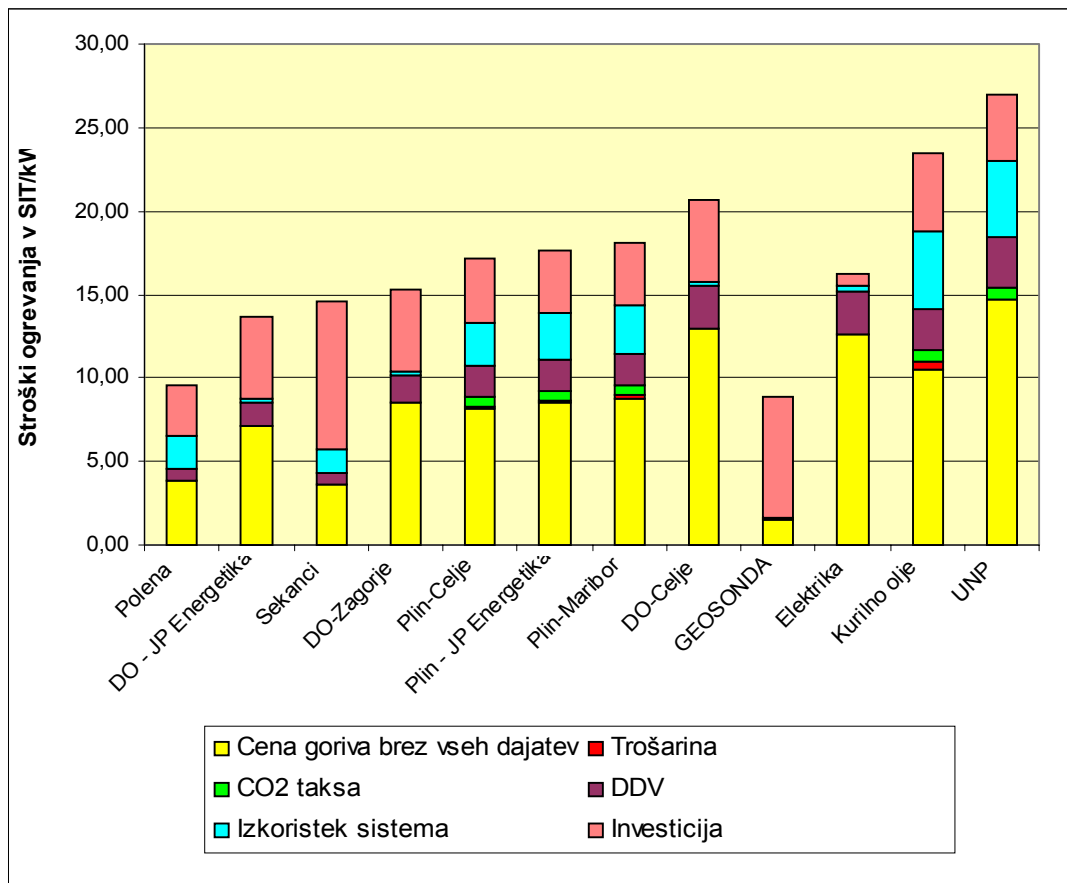
Za osnovo smo vzeli enodružinsko hišo z ogrevalno površino 200 m<sup>2</sup>. Predpostavimo specifično toplotno porabo 50 W/m<sup>2</sup>, dodamo še gretje sanitarne vode na 55 °C za štiri osebe, za kar potrebujemo 0,2 kW po osebi, pomeni to vgradnjo toplotne črpalke z izkoristkom 10 kW toplotne moči. Priklopna električna moč takšne črpalke je 2,6 kW.

Pri povprečnem izkoristku vrtine 60 W/m globine bomo potrebovali vrtino globine 125 m.

Energija, ki jo potrebujemo za ogrevanje takšnega objekta ne glede na vir ogrevanja, je 20.000 kWh/leto. Upoštevali smo približno 1800 ur obratovanja kurilne naprave.

Da zadostimo toplotni potrebi za ogrevanje objekta, porabimo naslednje količine energentov:

- KURILNO OLJE: predvidevamo letni izkoristek kotla 80 % in kurilno vrednost energenta 9,8 kWh/l kurilnega olja. Tako bi na leto porabili 2.550 litrov kurilnega olja.
- ZEMELJSKI PLIN: letni izkoristek kurilne naprave je 90 %, kurilna vrednost zemeljskega plina je 9,3 kWh/m<sup>3</sup> plina. Na leto porabimo 2.387 m<sup>3</sup> zemeljskega plina.
- UTEKOČINJENI NAFTNI PLIN – PROPAN: če upoštevamo letni izkoristek kotla 90 %, kurilno vrednost propana pa 6,57 kWh/l plina, dobimo porabo 3.379 litrov propana letno.
- TOPLOTNA ČRPALKA: Pri toplotni črpalki smo upoštevali priklopno moč in 1800 ur obratovanja toplotne črpalke. Pri priklopni moči 2,6 kW bomo porabili 4.680 kWh električne energije.



Slika 17: Primerjava stroškov ogrevanja decembra 2005 (Geosonda d.o.o., 2005)

Na sliki 17 je prikazana primerjava stroškov različnih načinov ogrevanja decembra 2005, vključno s stroški investicije, davkom na dodano vrednost, trošarinami, izkoristkom sistema ter ekološkimi taksami. Iz slike vidimo, da je sistem geosonda najcenejši, saj strošek predstavlja ta le relativno visoka investicija ter električna energija, ki jo porabi toplotna črpalka.

#### 7.4.1. Ocena investicije

Ocenili smo investicijo v posamezne vire ogrevanja (kurilno olje, zemeljski plin, utekočinjeni naftni plin – propan).

Tabela 2: Ocena investicije v posamezne vire ogrevanja

<b>VRSTA STORITVE</b>	<b>ZNESEK (SIT)</b>
<b>Kurilno olje</b>	
Kotel Buderus G 115 17 BE z 200l bojlerjem in kotlovno regulacijo	998.780,00
Cisterna za kurilno olje GET 2000 l, jeklena	68.500,00
Vgradnja in zaščita cisterne (ocena)	300.000,00
Gradnja dimnika	400.000,00
	<b>1.767.280,00</b>
<b>Zemeljski plin</b>	
Kotel Buderus UNIT 122-19-110, bojler 110l, regulacija	668.700,00
Gradnja dimnika	200.000,00
	<b>868.700,00</b>
<b>Utekočinjen naftni plin - propan</b>	
Kotel Buderus UNIT 122-19-110, bojler 110l, regulacija	668.700,00
Plinohram 2000 l	350.000,00
Vgradnja in zaščita cisterne (ocena)	200.000,00
Gradnja dimnika	200.000,00
	<b>1.418.700,00</b>
<b>SISTEM GEOSONDA</b>	
Dokumentacija za izvedbo vrtine	300.000,00
Izvedba vrtin z vgradnjo geosond	1.915.000,00
Toplotna črpalka Termotecnika TČOG 10 SV z 200 l bojlerjem	969.400,00
Povezava od vrtin do toplotne črpalke	400.000,00
Finančna nepovratna pomoč s strani države	-500.000,00
	<b>3.084.400,00</b>

Pri izračunu stroškov investicije nismo upoštevali montaže kurilnih naprav in izvedbe ogrevalnega sistema, saj so ti stroški pri vseh sistemih podobni in so odvisni predvsem od želja investitorja.

#### 7.4.2. Primerjava stroškov ogrevanja

Za primerjavo stroškov ogrevanja smo uporabili naslednje cene energentov:

- kurilno olje: 145 SIT/l,
- zemeljski plin: 106,22 SIT/m<sup>3</sup>,
- propan: 113,87 SIT/l,
- električna energija: 21 SIT/ kWh.

Pri zemeljskem plinu nismo upoštevali mesečnega stroška za priklopnino, saj smo privzeli, da je plinska napeljava že v hiši, prav tako nismo upoštevali prispevka za moč varovalk pri električni energiji, saj jih zaradi toplotne črpalke običajno ni potrebno povečati.

Tabela 3: Primerjava letnih stroškov ogrevanja z različnimi energenti

Vrsta energenta	Količina	Znesek (SIT)
kurilno olje	2.550 l	369.750,00
zemeljski plin	2.387 m <sup>3</sup>	253.547,00
propan	3.379 l	384.767,00
elektrika za toplotno črpalco	4.680 kWh	98.280,00

Iz tabele 3 je razvidno, da je najcenejše ogrevanje s toplotno črpalco. V primerjavi nismo upoštevali vzdrževanja sistema.

Za primerjavo skupnih stroškov ogrevanja moramo dodati k letnim stroškom ogrevanja še investicijo v sistem ogrevanja.

Primerjali smo skupne stroške za čas življenjske dobe kurilne naprave. Privzeli smo, da je povprečna življenjska doba kurilne naprave 20 let. Pri sistemu geosonda je razlika v tem, da k sistemu spadajo tudi vrtine, ki imajo veliko daljšo dobo trajanja in sicer celo od 50 do 100 let. V tem primeru nam, ko dotraja toplotna črpalka, ni potrebno zamenjati celotnega sistema, ampak samo toplotno črpalko.

Tabela 4: Primerjava skupnih stroškov

Vrsta energenta	Strošek investicije (SIT)	Skupni strošek ogrevanja (SIT)	Skupni strošek za 20 let (SIT)
kurilno olje	1.767.280,00	7.395.000,00	9.162.280,00
zemeljski plin	868.700,00	5.070.940,00	5.939.640,00
propan	1.418.700,00	7.695.340,00	9.114.040,00
elektrika za toplotno črpalko	3.084.400,00	1.965.600,00	5.050.000,00

Iz tabele 4 vidimo, da je dolgoročno najnižji strošek ogrevanja toplotna črpalka s sistemom geosonda. Daljše obdobje upoštevamo, večja je razlika.

Tabela 5: Izračun povrnitve stroškov investicije v sistem geosonda v primerjavi z drugimi sistemi ogrevanja (kurilno olje, zemeljski plin, propan)

	<b>Stroški investicije (SIT)</b>	<b>Letni stroški (SIT)</b>	<b>Povrnitev investicije (leta)</b>
Kurilno olje	1.767.280,00	369.750,00	
Sistem geosonda	3.084.400,00	98.280,00	
<b>Razlika</b>	<b>1.317.120,00</b>	<b>271.470,00</b>	<b>4,85</b>
Zemeljski plin	868.700,00	253.547,00	
Sistem geosonda	3.084.400,00	98.280,00	
<b>Razlika</b>	<b>2.215.700,00</b>	<b>155.267,00</b>	<b>14,27</b>
Propan	1.418.700,00	384.767,00	
Sistem geosonda	3.084.400,00	98.280,00	
<b>Razlika</b>	<b>1.665.700,00</b>	<b>286.487,00</b>	<b>5,81</b>

Iz tabele 5 vidimo, da se stroški investicije v sistem geosonda povrnejo v različnih obdobjih glede na drug sistem ogrevanja. Opazili smo, da se stroški investicije najhitreje povrnejo v primerjavi z ogrevanjem na kurilno olje, in sicer v štirih letih in desetih mesecih. Eno leto daljša doba vračanja investicije je v primerjavi z ogrevanjem s propanom. Najdaljša doba pa se pokaže pri ogrevanju z zemeljskim plinom, ker so tu relativno nizki stroški začetne investicije in zaenkrat še relativno nizke cene zemeljskega plina. Doba vračanja je tu štirinajst let in tri mesece.

Primer stanovanjske hiše v okolici Postojne ustreza podatkom iz naših izračunov, zato smo se prepričali, da se ta sistem tudi v praksi obnese. Štiričlanska družina je z njim zadovoljna. Sistem ima eno vrtino, ki je globoka 125 m in je žal ne vidimo, ker je vse prekrito z zemljo. Vgrajeno imajo toplotno črpalko z 10 kW toplotne moči, to pomeni priklopno električno moč 2,6 kW. Ogrevajo približno 200 m<sup>2</sup> površine s klasičnim radiatorskim sistemom. Ogrevajo tudi sanitarno vodo. Ob našem obisku

stanovanjske hiše v mrzlem zimskem dnevu je bilo v hiši že kar preveč toplo (24 °C). Gostitelji so povedali, da s sistemom nimajo nobenih težav in ni nobenega vzdrževanja, čeprav so bili pred vgradnjo skeptični in so pustili prejšnji sistem ogrevanja (na kurilno olje) še vedno kot rezervno možnost ogrevanja. Fotografije sistema so v prilogi 2.

### 7.4.3. Vplivi na okolje

Pri presoji vplivov na okolje moramo izpostaviti zmanjšanje emisij toplogrednih plinov, predvsem ogljikovega dioksida (CO<sub>2</sub>).

Za izračun smo upoštevali naslednje parametre:

- emisije za kurilno olje: 2,6 kg CO<sub>2</sub>/l,
- zemeljski plin: 1,9 kg CO<sub>2</sub>/m<sup>3</sup>,
- propan: 1,5 CO<sub>2</sub>/l,
- emisije za elektriko: 0,5 kg CO<sub>2</sub>/kWh.

Tabela 6: Emisije toplogrednih plinov

Vrsta energenta	Količina	Emisije CO <sub>2</sub> v kg
kurilno olje	2.550 l	6.630
zemeljski plin	2.387 m <sup>3</sup>	4.535
propan	3.379 l	5.068
elektrika za toplotno črpalko	4.680 kWh	2.340

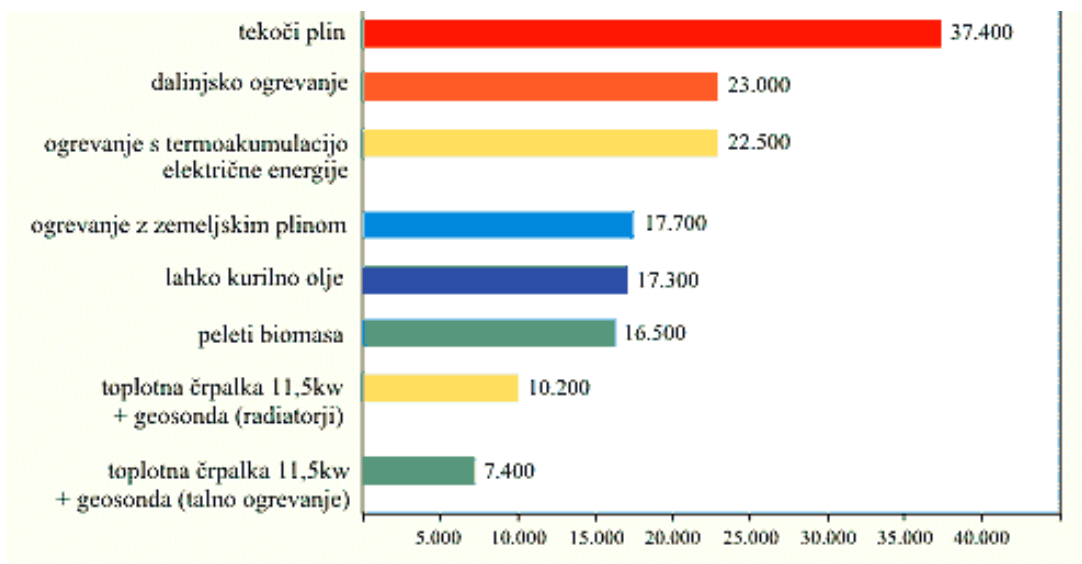
Iz tabele 6 je razvidno, da so emisije pri toplotni črpalki s sistemom geosonda daleč najmanjše.



## 7.5. Prednosti in slabosti ogrevanja in hlajenja s sistemom geosonda

Ogrevanje in hlajenje s sistemom geosonda ima veliko prednosti pred drugimi načini ogrevanja in hlajenja.

Na prvem mestu velja omeniti minimalne stroške ogrevanja (slika 18). Edini strošek predstavlja električna energija, ki jo potrebujemo za obratovanje toplotne črpalke. Pri tem računamo, da 1 kW električne energije da 3 - 5 kW toplotne energije. Tako lahko prihranimo tudi do 80 % stroškov ogrevanja z drugimi viri energije.

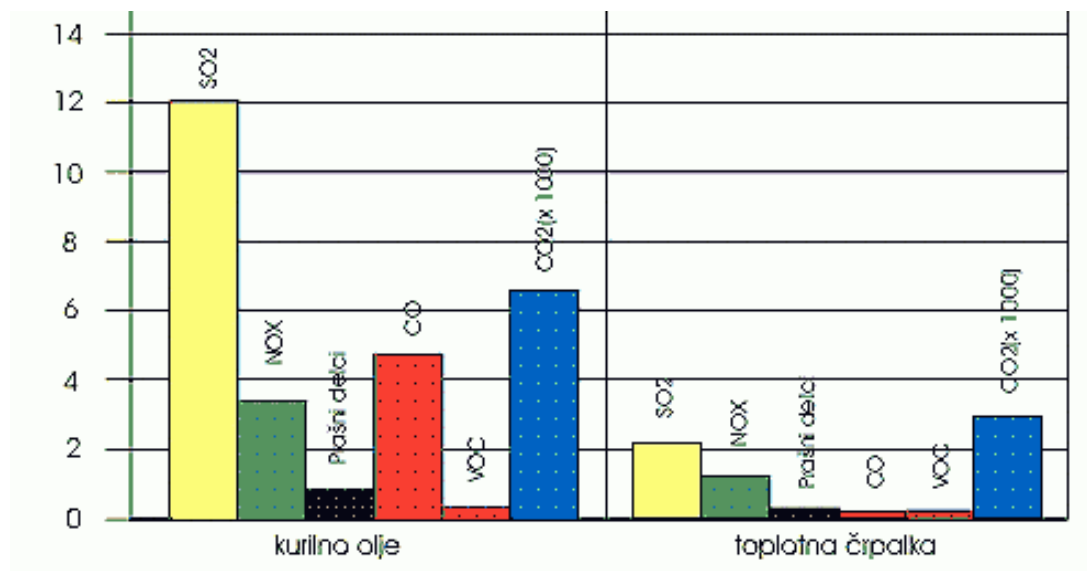


Slika 18: Primerjava letnih stroškov ogrevanja po vrstah primarne energije za stanovanjsko hišo 175 m<sup>2</sup> (Geosonda d.o.o., 2005)

Kot drugo prednost omenjamo minimalne stroške vzdrževanja sistema. Edini strošek vzdrževanja je letni pregled toplotne črpalke, saj je njena garancija sedem let, za sistem geosonda pa kar petdeset let, življenjska doba pa je seveda veliko daljša.

Kot prednost omenjamo tudi visoko varnost obratovanja takega sistema, saj tak sistem ne more eksplodirati, zgoreti, in podobno. Prednost je tudi ta, da sistem omogoča maksimalno udobje pri uporabi, kajti sistem funkcionira samodejno, skoraj brez človeškega nadzora.

Poleti lahko sistem uporabimo za hlajenje prostorov, saj lahko v sistemu kroži namesto tople hladna voda. V tem primeru ne potrebujemo dodatno še klimatske naprave in tako nimamo dodatnih stroškov.



Slika 19: Raba geotermalne energije zmanjšuje emisije toplogrednih plinov (Geosonda d.o.o., 2005)

Kot prednost omenjamo tudi minimalno porabo prostora v hiši. Sistem porabi le toliko prostora, kot ga rabi toplotna črpalka. Ena od prednosti je tudi ta, da imamo toplo vodo vse leto. Pomembno je, da hiša oziroma objekt ne potrebuje dimnika in je to dodaten prihranek. Sistem med drugim tudi zmanjšuje emisije toplogrednih plinov v ozračje (slika 19). Seveda pa s sistemom lahko učinkovito in ekonomično ogrevamo tudi bazen.

Ugotovili smo torej, da ima ogrevanje in hlajenje s sistemom geosonda kar nekaj prednosti, ne moremo pa tudi mimo slabosti, saj noben sistem ni popoln.

Kot največjo slabost omenjamo relativno visoke stroške vgradnje sistema. Največji zadržek pri izrabi geotermalne energije je višja začetna investicija kot pri klasičnem načinu ogrevanja, saj so za ogrevanje in hlajenje s tem sistemom potrebne vrtine, pomenijo dodatni strošek. Sistem naj bi bil vračljiv v 5 - 15 letih.

Druga slabost oziroma problem, ki nastane predvsem pri obnovi starejših objektov, je ta, da je pri izrabi geotermalne energije priporočljiv nizkotemperaturni sistem ogrevanja, kot je na primer talno oziroma stensko gretje, konvektorji z izpihavanjem ali vsaj nizkotemperaturni radiatorji. Če pa se zavedamo, da nam že nizkotemperaturni sistem prihrani energijo in z geotermalnim virom ne dobimo samo vira ogrevanja, ampak tudi varčen vir hlajenja, je odločitev lažja.

## 8. ZAKLJUČEK

Energija je osnova za gospodarski razvoj in visoko kakovost življenja. V Sloveniji nimamo bogatih zalog fosilnih goriv, zato je pomembno, da čim bolj uporabljamo obnovljive vire energije. Geotermalna energija je eden od teh obnovljivih virov energije, ki ga je potrebno bolje izkoristiti, saj so zaloge geotermalne energije premalo raziskane in premalo izkoriščene. V svetu je izkoriščanje geotermalne energije bolj uveljavljeno, čeprav bi se povsod po svetu izkoriščanje lahko še povečalo.

Eden od načinov izkoriščanja geotermalnega vira je sistem geosonda za ogrevanje in hlajenje objektov. Ta bi že veliko pripomogel k zmanjšanju emisij toplogrednih plinov ter zmanjšanju potrebe po fosilnih gorivih. Sistem je zanimiv zato, ker ga je možno uporabiti v vsakem objektu, tako poslovnem kot stanovanjskem.

Omenimo tudi ekonomičnost takega sistema ogrevanja, saj praktično z minimalnimi stroški pozimi ogrevamo in poleti hladimo objekte, hkrati pa je ena prednost tudi ta, da sistem ne potrebuje skoraj nobenega vzdrževanja. Prihranek je tudi gradnja dimnika, saj ga za ta sistem ogrevanja ne potrebujemo.

Edini zadržek pri izrabi geotermalne energije na ta način je višja začetna investicija, kot pri klasičnem ogrevanju. Kljub temu pa ne gre prezreti dejstva, da je geotermalni vir okolju prijazen, saj ne povzroča škodljivih stranskih učinkov, obenem pa omenimo še to, da se investicija v ta sistem povrne, ker je za delovanje tega sistema potrebna le elektrika, ki poganja toplotno črpalko s tem, da nam 1kW električne energije da 3 - 5 kW toplotne energije. V koliko letih se investicija povrne, je odvisno, s katerim drugim ogrevalnim sistemom ga primerjamo (kurilno olje, zemeljski plin, utekočinjeni naftni plin-propan).

V skrbi za boljši jutri bomo morali delovati torej tudi v tej smeri. Geotermalna energija je danes tehnološko že dovolj dobro razvita, da bi lahko bistveno prispevala k preskrbi človeštva z energijo in boljši ekološki bilanci.

## 9. LITERATURA

- [1] **Bizjak, F., Petrin, T.:** Uspešno vodenje podjetja, 1. natis, Gpspodarski vestnik, Ljubljana, 1996;
- [2] **Eko sklad,** pridobljeno 14.12.2005 s svetovnega spleta: [www.ekosklad.si](http://www.ekosklad.si);
- [3] **Geonetwork,** pridobljeno 14.12.2005 s svetovnega spleta: <http://geonetwork.org>
- [4] **Geotermalna energija,** pridobljeno 29.9.2005 s svetovnega spleta: [www.timex.si](http://www.timex.si);
- [5] **Gobovšek, G.:** Možnosti koriščenja geotermalne energije, pridobljeno 17.10.2005 s svetovnega spleta: <http://gcs.gi-zrmk.si>;
- [6] **Golja, G.,** (2004). Izkoriščanje geotermalne energije. Eko novice, 7 (24) str. 2;
- [7] **Interno** in internetno gradivo podjetja Geosonda, d.o.o.; [www.geosonda.com](http://www.geosonda.com);
- [8] **Internetno** gradivo Geološkega zavoda Slovenije: [www.geo-zs.si](http://www.geo-zs.si);
- [9] **Internetno** gradivo podjetja Termotecnika d.o.o.: [www.termotecnika.com](http://www.termotecnika.com);
- [10] **Internetno** gradivo podjetja Geosonda d.o.o.: [www.geosonda.hr](http://www.geosonda.hr);
- [11] **Kralj, P.:** Geotermalna energija, Ministrstvo za znanost in tehnologijo, Ljubljana, 1999;
- [12] **Novak, P., Medved, S.:** Energija in okolje: izbira virov in tehnologij za manjše obremenjevanje okolja, Svet za varstvo okolja Republike Slovenije, Ljubljana, 2000;
- [13] **Očkerl, M.:** Geosonda d.o.o., Kranj, 2005;
- [14] **Petek, A.:** Uporaba geotermalne energije po svetu in v Sloveniji, seminar, pridobljeno 17.10.2005 s svetovnega spleta;

- [15] **Slovenski E-forum**: Geotermalna energija, pridobljeno 17.10.2005 s svetovnega spleta: [www.ljudmila.org](http://www.ljudmila.org);
- [16] **Škerjanec, J. S.**: Izraba geotermalne energije s sistemom geosonda v Sloveniji, Inštitut za obnovljive vire energije, Kranj, 2002;
- [17] **Ministrstvo RS za okolje, prostor in energijo**, pridobljeno 24.12.2005 s svetovnega spleta, [www.sigov/mop](http://www.sigov/mop).

## **Priloga 1: Slovarček uporabljenih besed**

**INTRUZIJA:** vdor magme v sosednje kamnine, povzroči fizikalne in kemične spremembe v kamnini, v katero je prodrla

**DISKORDANCA:** nevporednost skladov zaradi tektonskih procesov

**UDORINA:** vdolbina, jama, nastala zaradi vdrtja tal, zemlje

**KONSOLIDACIJA:** utrditev, okrepitev

**KOLIZIJA:** nasprotje, navzkrižje

**KADUNJA:** plitvejša vdolbina, kotanja v zemljišču

**TERCIAR:** starejša doba novega zemeljskega veka ( pred 66 milijoni let)

**KVARTAR:** zadnja doba v geološki zgodovini Zemlje (pred 2 milijonoma let)

**MEZOZOIK:** zemeljski srednji vek (pred 245 milijoni let)

**TRIAS:** najstarejša doba srednjega veka (pred 245 milijoni let)

**SEDIMENTI:** odkladnine, usedline

**METAMORFNE KAMNINE:** prvotne kamnine, ki so se spremenile pod vplivom magme

**KARBONATI:** soli ogljikove kisline  $H_2CO_3$ , ki nastane pri raztapljanju ogljikovega dioksida v vodi

**SILIKATI:** soli silicijevih kislin ( $H_2SiO_3$ ,  $H_4SiO_4$ , itd.), ki so v prostem stanju zelo nestabilne, v obliki soli (silikatov) pa so v naravi zelo razširjene (kremen, kremenčev pesek)

**SULFATI:** soli žveplove kisline  $H_2SO_4$ , ki je važna anorganska kislina

**SULFIDI:** soli žveplovodikove kisline, spojine žvepla z drugim elementom

**Priloga 2: Fotografije sistema geosonda v stanovanjski hiši v okolici Postojne**



Slika 20: Toplotna črpalka v stanovanjski hiši (fotografirano 30.1.2006)





Slika 21: Zaslona na toplotni črpalki (fotografirano 30.1.2006)



Slika 22: Zbiralnik vode, povezan s toplotno črpalko (fotografirano 30.1.2006)