



GEOTERMALNA ENERGIJA

Kazalo

UVOD	3
1 TOPLOTNA ENERGIJA ZEMLJE	4
1.1 ZGRADBA ZEMLJE	5
1.2 GEOTERMALNA ENERGIJA	8
1.2.1 Geotermalno izkoriščanje	11
1.2.2 Hlajenje vročih kamnin	12
2.2.3 Geotlačno izkoriščanje	13
2.2.4 Geotermalne črpalke (geosonde)	14
2 IZKORIŠČANJE GEOTERMALNE ENERGIJE ZA PROIZVODNJO ELEKTRIČNE ENERGIJE	16
2.1 Možnosti gradnje geotermalnih elektrarn pri nas	16
3 BALNEOLOGIJA	18
3.1 MINERALNE VODE	18
3.2 TERMALNE VODE	19
ZAKLJUČEK	19

UVOD

Geotermalna energija (obstaja tudi izraz geotermična) je še eden od premalo izkoriščanih energetskega virov. Izkoriščamo jo neposredno z zajemom toplih vodnih ali parnih vrelecev oziroma s hlajenjem vročih kamenin. Izkoriščanje geotermalne energije je na območju Slovenije zaradi različne geološke sestave tal različno. Geotermalno najbogatejša so Panonska nižina, Krško-Brežiško polje, Rogaško-Celjsko območje, Ljubljanska kotlina, slovenska Istra in območje zahodne Slovenije.



Slika: Temperatura v stopinjah Celzija v globini 1500 m v Sloveniji
Vir: Geološki zavod Slovenije, 2005

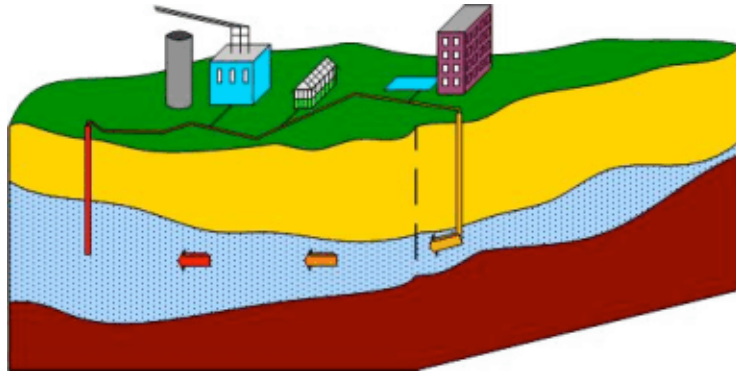
Geotermalno energijo lahko izkoriščamo z vreleci vroče vode, pare, dvofaznimi vreleci (voda – para), hlajenjem vročih kamenin in geotlačnim izkoriščanjem (proizvodnja električne energije, ogrevanje).

Geotermalno energijo kot nizkotemperaturni vir lahko izkoriščamo v treh temperaturnih intervalih: za pridobivanje električne energije v zgornjem temperaturnem intervalu (nad 150 °C), za ogrevanje industrijskih in stanovanjskih hiš v srednjem temperaturnem intervalu (pod 150 °C) ter za ogrevanje rastlinjakov in ribogojnic v nizkotemperaturnem intervalu. Izkoriščanje vodonosnikov je smotno, če vodonosnik ne leži globlje kot 2 000 do 3 000 m in če je vrelc izdaten.

Količine termalnih voda v vodonosnikih so omejene. Gospodarno izkoriščanje zahteva, da energijsko osiromašeno vodo vračamo v vodonosnik. Postopek se imenuje reinjektiranje. S tem vzdržujemo hidrodinamično ravnotežje, tlak v vodonosniku ne pada, okolice pa ne onesnažujemo z oddano geotermalno vodo.

1 TOPLOTNA ENERGIJA ZEMLJE

Pod površino Zemlje so velikanske zaloge toplotne energije. Izvor besede geotermalna: *geo* – zemlja, *therme* – toplota. Geotermalna energija je toplotna energija, ki nastaja v notranjosti Zemlje s počasnim razpadanjem radioaktivnih elementov, s kemijskimi reakcijami ali pa pri gibanju tektonskih mas. Njena količina je tolikšna, da je skoraj neizčrpna in jo imamo zaradi tega za obnovljivi vir energije.

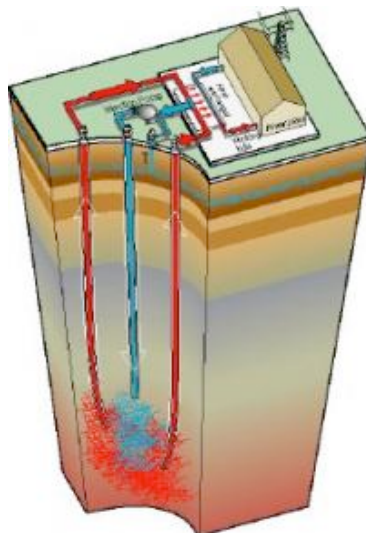


Slika: Grafični prikaz proizvodnje, izkoriščanja in iztiskanja vode v rezervoar

Vir: <http://ina.mk/default.aspx?id=687>

Islandci geotermalne energije ne uporabljajo le za pokrivanje potreb po električni in toplotni energiji, uporabljajo jo tudi za pridelavo zelenjave v sadovnjakih, gojenje cvetja in gob, na Islandiji pa je tudi največja evropska plantaža banan.

Visok odstotek uporabe obnovljivih virov na Islandiji pa ni le posledica ugodne lege države na tektonsko aktivnem območju, je tudi rezultat ugodne in uspešne državne politike v obliki finančnih podpor, vlaganja v razvoj in raziskave ter ekološke ozaveščenosti Islandcev.¹



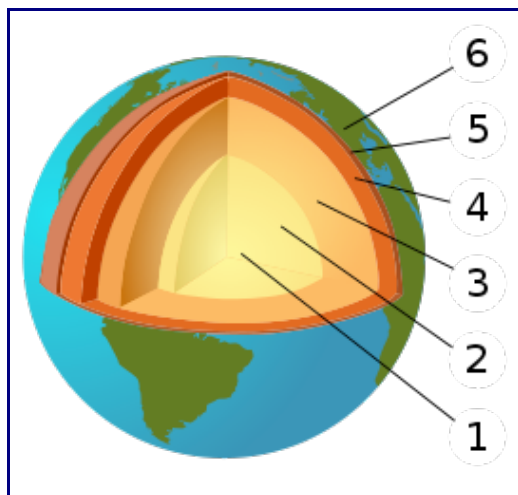
Slika: Geotermalna energija

Vir: <http://www.astronomija.co.rs/nauka/fizika/2697-budunost-slabdevanja-energijom.html>

¹ <http://mislizeleno.net/2011/05/slovenija-in-islandija-bosta-sodelovali-na-podrocju-geotermalne-energije/>

1.1 ZGRADBA ZEMLJE

V zgodnjih fazah razvoja Zemlje so v notranjost (v jedro) potonile težje snovi, medtem ko je bilo lažje najti na površju. Med prve so sodili tudi mnogi radioaktivni materiali, ki so zaradi svojega razpadanja tudi danes vir notranje toplote Zemlje. Na ta način so nastale plasti Zemlje pred več kot 4 milijardami let, ko je planet tako kot Luna doživel močno meteoritsko bombardiranje, kar se na njenem površju zaradi neobstoječe atmosfere vidi še danes.



6. površje
5. skorja
4. plašč (zgornji del)
3. plašč
2. zunanje jedro
1. notranje jedro

Slika: Plasti Zemlje

Notranji sloji Zemlje dosegajo temperature med 4.000 in 7.000 stopinj po Kelvinu. Za to potrebna toplota je nastala ob stvaritvi Zemlje, permanentno pa jo ustvarja sevanje radioaktivnih elementov, kot so uran, torij in kalij. Pomembnejši vir toplote pa je vsekakor sončna energija, saj toplotni viri iz notranjosti Zemlje ustvarijo le dvajsettisočinko energije v primerjavi s Sončevimi žarki.

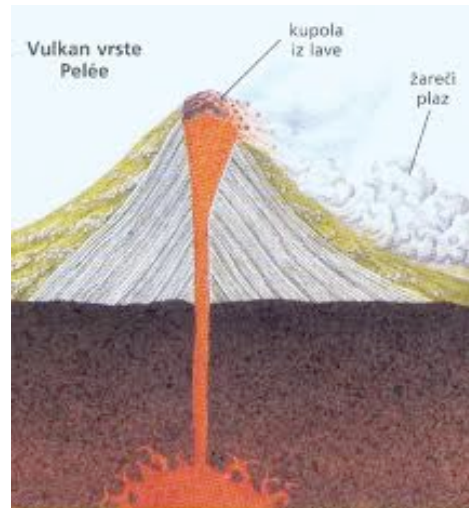
Novonastale kamnine si neprestano utirajo pot na zemeljsko površje skozi ognjenike in podoceanske razpoke na razmikajočih se (divergentnih) prelomnicah tektonskih plošč. Mnoge izmed njih so stare manj od 100 milijonov let, nekatera najstarejša najdena mineralna zrna pa so nastala pred 4,4 milijarde let, kar kaže na to, da že najmanj toliko časa obstaja trdna skorja.

Kot preostali planeti Osončja je tudi Zemlja v svoji notranjosti razdeljena na plasti, ki jih je moč ločiti po kemijski in fizikalni sestavi, agregatnem stanju in temperaturi ter mnogih drugih lastnostih. Zunanjo plast predstavlja trdna skorja iz silikatov, proti jedru pa ji sledijo viskozni plašč, mnogo manj viskozno zunanje jedro ter trdno notranje jedro. Magnetno polje Zemlje je posledica konvekcije elektroprevodnega materiala v tekočem zunanjem jedru.

Od površja Zemlje proti njenemu jedru si tako sledijo: litosfera (0–60 km, ponekod tudi do 200 km), skorja (0–35 km, ponekod tudi do 70 km), zgornji predeli plašča (35–60 km), plašč (35–2890 km), astenosfera (100–700 km), zunanje jedro (2890–5100 km) notranje jedro (5100–637 km).

Geotermalni viri so na območju visokega in normalnega geotermalnega gradienta. Trije glavni elementi so: vir toplote, rezervoar in tekočina. Viri so v dveh oblikah: magmatski in meteorni. Tipični sistemi so hidrotermalni, geotlačni, vroče suhe skale in magma.

O fiziki geotermalnih virov pričajo vulkani, fumarole, brbotajoče blato, vrelci vroče vode ...



Slika: Vulkan

Vir: <http://www2.arnes.si/~opoljanelj/projekti/vulkani/delovanje.php>



Slika: Fumarola

Vir: http://volcanoes.cdf_main.php



Slika: Brbotajoče blato
Vir: http://vsebine.svarog.org/?page_id=170

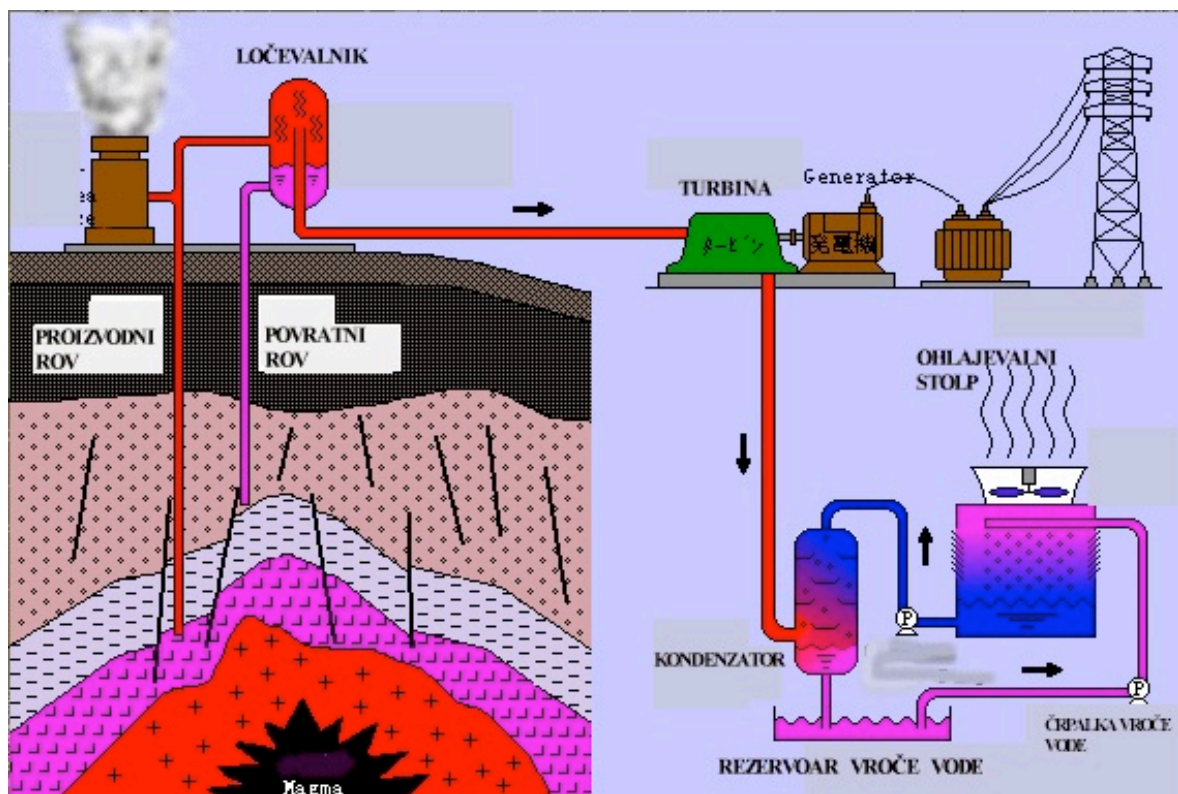


Slika: Grand Prismatic Spring v Yellowstonu je največji vroči vrelec v ZDA
Vir: <http://www.rtv slo.si/tureaventure/>



Slika: Bazeni Šmarješke Toplice
Vir: <http://www.terme-krka.si/si/smarjeske>

1.2 GEOTERMALNA ENERGIJA



Slika: Shema izkoriščanja geotermalne energije

Vir: <http://www.juznevesti.com>

Geotermalna energija nastaja s počasnim razpadanjem radioaktivnih elementov v notranjosti Zemlje in je akumulirana oziroma uskladiščena v njeni notranjosti. Ta toplota nastaja zaradi gravitacijske energije v času njenega nastanka in zaradi radiogene toplote, ki je posledica razpada naravnih radioaktivnih izotopov z dolgo razpolovno dobo, ki pa še vedno traja.

Geotermalna energija je toplota notranjosti Zemlje. Globalno geotermalne izvore predstavlja akumulirana toplotna energija v notranjosti Zemlje oziroma v masi kamnin in v tekočih fluidih njene skorje. V notranjosti Zemlje nastajajo ogromne količine toplote, ki nenehno potujejo iz globlin na zemeljsko površje.

Večina toplotne energije se prenaša s konvekcijo toplote. Geotermalna energija se sestoji iz treh komponent:

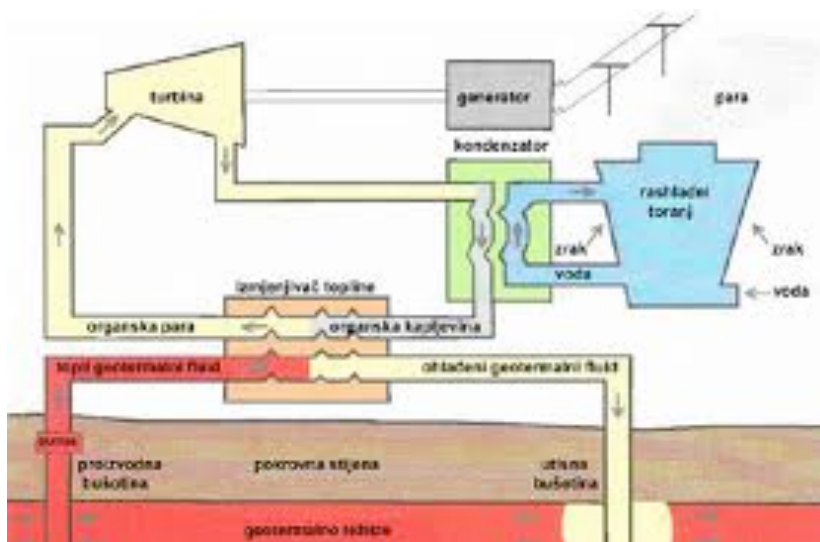
- energetskega toka skozi zemeljsko skorjo v obliki prenosa snovi (magma, voda, para, plin);
- toka toplote zaradi prevodnosti in
- energije, ki je uskladiščena v kamninah in fluidih zemeljske skorje.

Ta naravna energija je ekonomsko pomembna le, če je koncentrirana na omejenemu področju, kot so rudna nahajališča in naftna ležišča, torej v vulkanskih in geotermalnih zemeljskih območjih. Toplota zemeljske skorje vodi iz zemeljskega jedra. Na površje pride čez mlajše magmatske intruzije in s kondukcijo čez globoke tektonske diskordance ter dovodne vulkanske kanale. Značilni izviri geotermalne energije nastajajo tudi pri razpadu radioaktivnih elementov v zemeljski skorji in drugimi kemičnimi procesi, ki se v njej dogajajo. Temperatura Zemlje se poveča za 1 °C

(geotermična stopinja) na vsakih 33 metrov njene globine, če pa se poviša za več, govorimo o pozitivni anomaliji ali povišani geotermični stopnji ali geotermičnemu gradientu. Bistveni pokazatelj perspektivnosti nekega območja je geotermična anomalija, ki s hidrološkega in hidrokemičnega stališča daje jasno sliko možnosti in načina izkoriščanja energetskega potenciala.

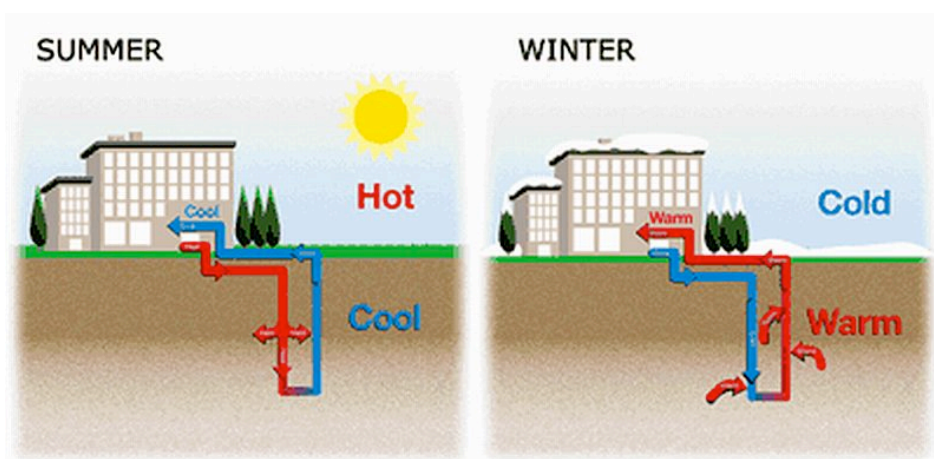
Konvencionalno izrabo geotermalne energije navadno delimo na:

- 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.



Slika: Princip delovanja geotermalne elektrarne

Vir: <http://holbert.faculty.asu.edu/eee463/hydrothermal.html>



Slika: Sistem ohlajanja in ogrevanja z geotermalno energijo

Vir: <http://mojdom.dnevnik.si/sl/Energija/3109/Energijsko+var>

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. Takšni pogoji so značilni za obnovljive vire energije, kjer poteka nadomeščanje in izkoriščanje energije približno enako hitro.

Od tega pravila odstopa metoda vroče kamnine Hot-Dry-Rock. Podlaga te zamisli je ustvariti umeten geotermalni sistem, v katerega skozi eno vrtino v neprepustno kamnino vbrizgamo vodo, iz druge vrtine pa izkoriščamo uskladiščeno toploto. Ta metoda je še vedno v obdobju preizkušanja, saj je bila v dosedanjih sistemih proizvodnja mogoča le nekaj mesecev. Za zdaj še ne vemo, če bo v bližnji prihodnosti ta način proizvodnje že ekonomsko sprejemljiv, vsekakor pa mora biti prenos energije v sistemu suhe vroče kamnine v obliki konvekcije in usmerjen proti toplotnim izmenjevalnikom. Zaradi velike časovne konstante, ki označuje proces konvekcije, je suha vroča kamnina končni vir energije, medtem ko so naravni geotermalni sistemi obnovljivi viri energije. V Sloveniji se najbolj pogosto uporabljajo nizkotemperaturni viri geotermalne energije. Največ raziskav je bilo narejenih v severovzhodnem delu Slovenije.

Vsa našeta območja uporabljajo izvore za balneološke in rekreativne namene. Le v Topolšici in Čatežu izkoriščajo toplo vodo s pomočjo toplotne črpalke za ogrevanje prostorov in toplih gred. Ker je potencial geotermalne energije pri nas ugoden, se to področje raziskuje, izkušnje pa si izmenjujemo z Islandci. Cena na tak način ogrevanih prostorov je odvisna od velikosti objekta in geološke sestave tal. Princip ogrevanja stanovanjske hiše z geotermalno energijo je prikazan na sliki spodaj.



Slika: Geotermalno ogrevanje hiše

Vir: <http://www2.arnes.si/~rmurko2/GEOTERMALNA.HTM>

Uporaba termalne vode v prave energetske namene je precej draga, ker se visokotemperaturna voda nahaja v globokih predterciarnih dolomitih in apnencih (globine preko 4 000 m) s temperaturo vode več kot 170 °C ter ocenjeno izdatnostjo okrog 20 l/s. Najnovejše raziskave bodo zagotovo odgovorile na vprašanje o ekonomski rentabilnosti takšne investicije. Dosedanje izkušnje kažejo, da je termalna voda slabo izkoriščena, ker se ne uporablja v industriji in za ogrevanje stanovanjskih blokov (večjih uporabnikov). Dodatno zajemanje nizkotemperaturne vode se ocenjuje na 200–300 l/s vode s temperaturo 40–70 °C. (Vir: <http://www.ljudmila.org/sef/geotermalna.htm>)

V nekaterih delih sveta, na primer na Islandiji, so količine geotermalne energije, ki doseže površino, občutno večje kot drugod in se jo da neposredno uporabljati za ogrevanje hiš. V drugih državah ogrevajo stanovanja z vročo vodo iz vrtin, ki segajo od 2 000 do 3 000 m globoko.

Največje rezerve geotermalne energije so vsekakor globlje, okrog 6 000 m pod površjem. Ker so kamnine v tej globini suhe, je težje in dražje izčrpati toploto, ker se mora vodo najprej shraniti.



Slika: Topli vrelci na Islandiji

Vir: <http://sl-wikipedia.org>

Povprečna vrednost toplote notranjosti Zemlje je ocenjena med 60 in 70 W/m². Povprečna toplota, ki se s prevajanjem pojavlja dnevno na površini, je 1,4 W/m². Temperatura termalne vode pogojuje možnost uporabe geotermalne energije.

Geotermalno energijo lahko izkoriščamo na tri načine: geotermalno, s hlajenjem vročih kamnin in geotlačno.

1.2.1 Geotermalno izkoriščanje

Geotermalno izkoriščanje² pomeni, da izkoriščamo vrelce vroče vode, vrelce pare in dvofazne vrelce voda – para.

Geotermalno energijo lahko zajemamo neposredno (zajem toplih in parnih vrelcev) ali posredno (hlajenje vročih kamnin).

V Sloveniji je 79 vrtin z volumskim pretokom približno 1.500 l/s in toplotno močjo 140 MWt. Približno 80 % te energije iz nizkotemperaturnih prenosnikov se izkorišča.

Izkoriščanje vodonosnikov glede na temperaturo geotermalne vode:

- v temperaturnem območju pod 25 °C: izraba plitkih virov je mogoča z uporabo **toplotnih črpalk**. V Sloveniji jih je približno 500 in z njimi pridobimo približno 14 GWh toplote, kar je ekvivalentno 5 100 tonam lignita;

² <http://www.focus.si/ove/index.php?l1=vrste&l2=geotermalna>.

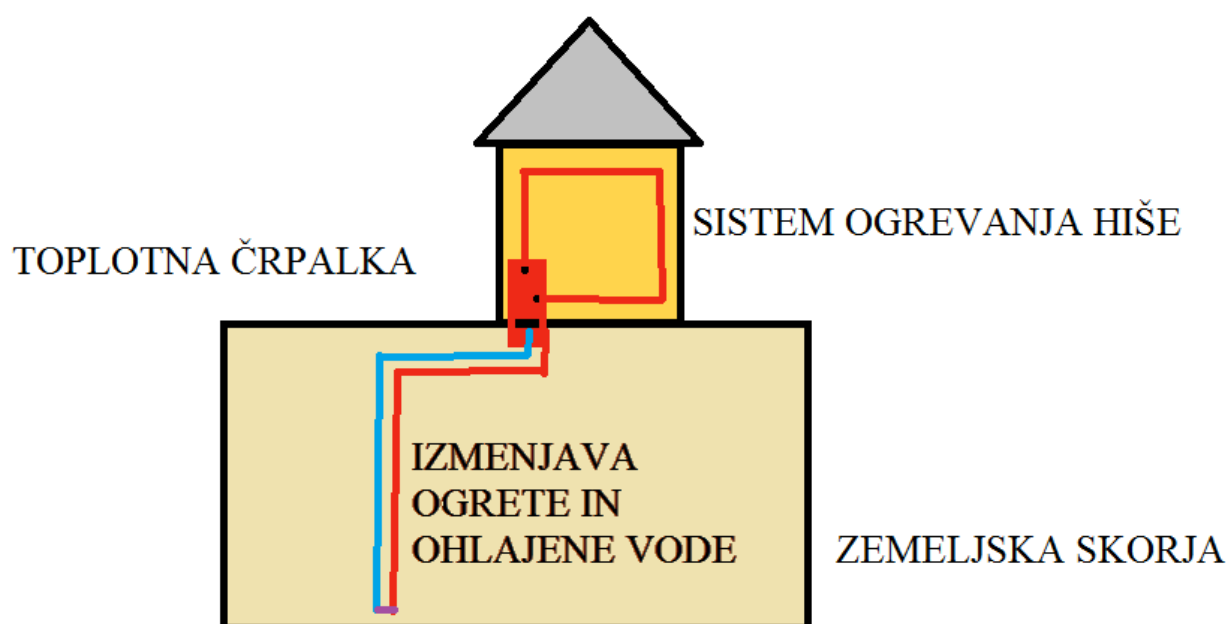
- v temperaturnem območju 25 do 90 °C: največji vodonosnik je Termal I. Izkoriščanje je ocenjeno na 400 GWh toplote, kar je ekvivalentno 174.000 tonam lignita. Nizkotemperaturni prenosniki so primerni za **direktno izkoriščanje**, niso pa primerni za daljše transportiranje. Gospodarno izkoriščanje zahteva, 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;
- v temperaturnem območju nad 90 °C: visokotemperaturni prenosniki Termal II so ekonomsko zanimivejši, saj pri dovolj velikem pretoku lahko pridobivamo **električno energijo**.

1.2.2 Hlajenje vročih kamnin

Za odzemanje manjše količine toplote kamninam, kjer ni vodonosnikov, lahko uporabimo geosonde. Geotermalne meritve kažejo, da se temperatura na prvih 10–20 m pod zemeljsko površino med letom zaradi atmosferskih vplivov spreminja, v večjih globinah pa je stalna in se povišuje za približno 3 stopinje na vsakih 100 m globine.

Geosonda predstavlja sistem štirih cevi, od katerih sta po dve povezani v zanko. V sistemu je še peta cev, ki služi za to, da vrtino zapolnimo s posebno cementno maso, ki ima dobro toplotno prevodnost.

V ceveh kroži hladivo (zaprt krožni sistem), ki zemlji odvzame toploto in jo prenese do toplotne črpalke. Toplotna črpalka vodo v ogrevalnem sistemu dogreva do želene temperature (na primer do 55 °C) oziroma jo poleti ohladi. Najboljši izkoristek ima sistem v kombinaciji z nizkotemperaturnim ogrevanjem (talnim ali stenskim). Za obratovanje toplotne črpalke potrebujemo električno energijo. Grelno število toplotne črpalke znaša 3 do 4 (z 1 kW porabljene električne energije pridobimo 3 do 4 kW toplotne energije).



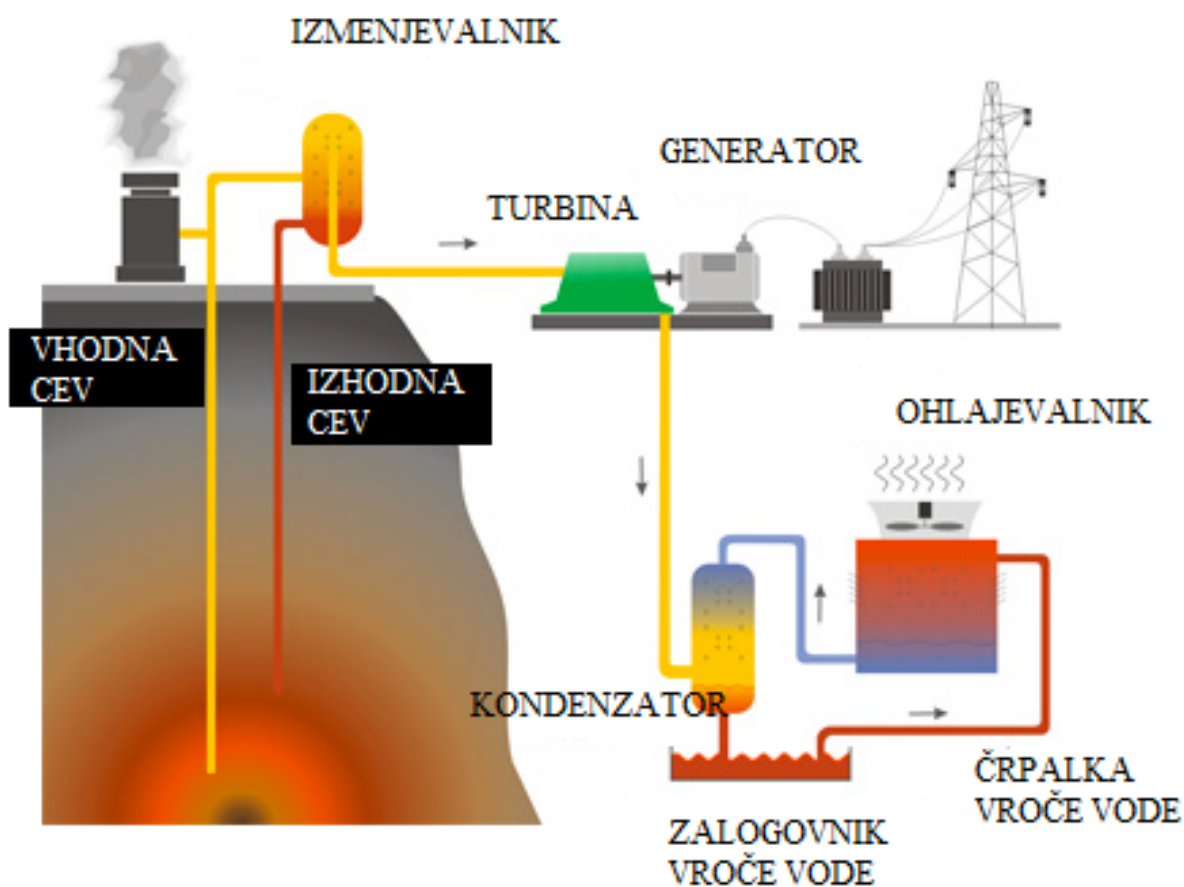
Slika: Shematski prikaz ogrevanja z energijo Zemlje

Vir: Avtor

2.2.3 Geotlačno izkoriščanje

Geotlačno izkoriščanje služi za proizvodnjo električne energije, ogrevanje in balneologijo. Izkoriščamo toploto vode, hidravlično energijo vode in tudi metan.

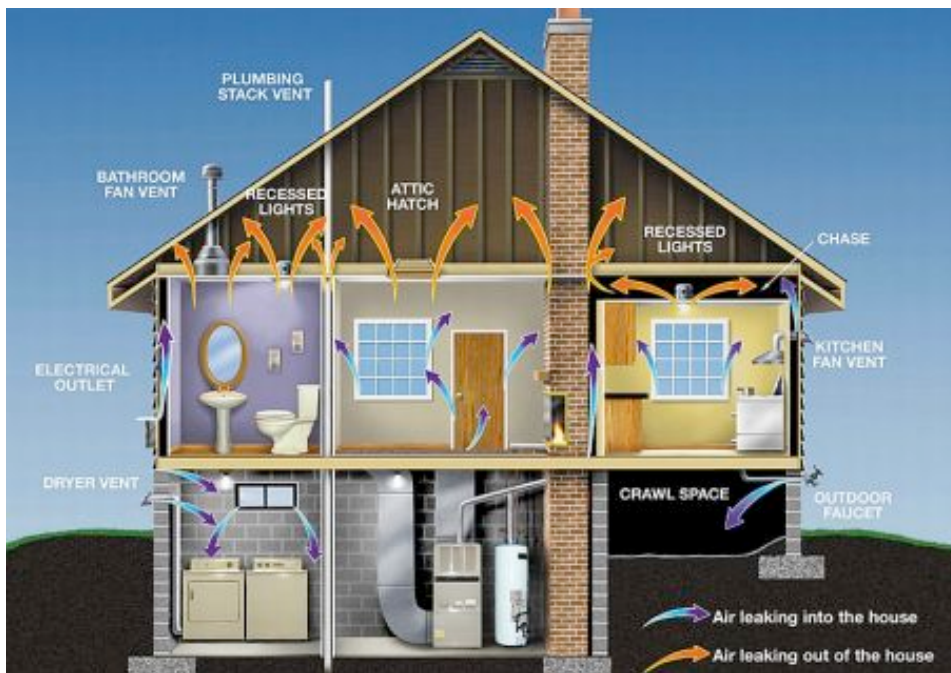
Izkoriščanje geotermalne energije kot nizkotemperaturnega vira je mogoče v treh temperaturnih intervalih. Tako se za pridobivanje električne energije lahko izkorišča geotermalna energija v zgornjem temperaturnem intervalu (nad 150 °C), za ogrevanje industrijskih in stanovanjskih hiš v srednjem temperaturnem intervalu (pod 150 °C) ter za ogrevanje rastlinjakov in ribogojnic v nizkotemperaturnem intervalu.



Slika: Pridobivanje električne energije z izkoriščanjem geotermalne energije

Vir: <http://www.energygroove.net/geothermalenergy.php>

Izkoriščanje vodonosnikov je smotno, če vodonosnik ne leži globlje kot 2 000 do 3 000 m in če je vrelec izdaten. Gospodarno izkoriščanje zahteva, da energijsko osiromašeno vodo vračamo v vodonosnik (reinjektiranje). S tem vzdržujemo hidrodinamično ravnotežje, tlak v vodonosniku ne pada, okolice pa ne onesnažujemo z oddano geotermalno vodo.



Slika: Poleg ostalih ukrepov za varčnejšo energijo doma je primerno premisliti tudi o vgradnji sistema z geotermalnim sistemom ohlajanja in ogrevanja.

Vir:

<http://mojdom.dnevnik.si/sl/Energija/3109/Energijsko+var%C4%8Dnej%C5%A1e+naprave+vam+zmanj%C5%A1ajo+stro%C5%A1ke>

2.2.4 Geotermalne črpalke (geosonde)

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

Po izkušnjah znaša toplotni odvzem:

- suha peščena tla 20 W/m,
- vlažna peščena tla 40 W/m,
- tla s podtalnico 80–100 W/m.

Geosonda predstavlja sistem štirih cevi, od katerih sta po dve povezani v zanko. V sistemu je še peta cev, ki služi za to, da vrtino zapolnimo s posebno cementno maso, ki ima dobro toplotno prevodnost.

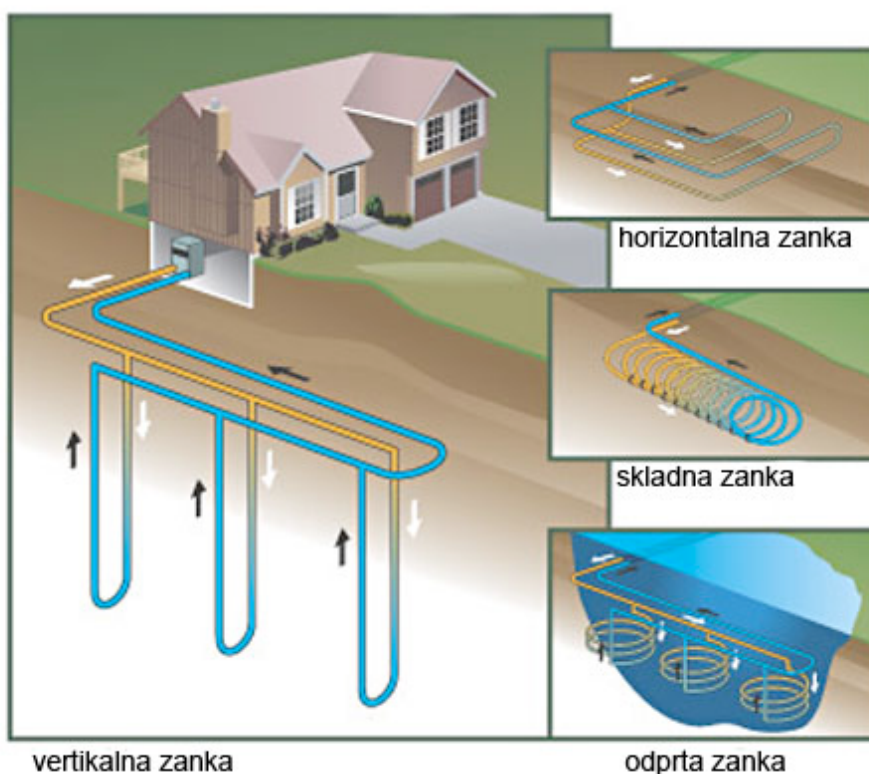
Letni strošek za ogrevanje z geosondo je v primerjamo s stroški, ki bi jih imeli s kurilno napravo na olje, za približno 60 % manjši. Stroški za postavitev sistema ogrevanja z geosondami pa se zaradi višje cene vrtine v primerjavi z ostalimi sistemi (NT kotel, kondenzacijski kotel) poplačajo v obdobju 10 do 13 let. Emisije CO₂ iz kurilne naprave toplotne moči 12 kW (za ogrevanje približno 140 m² površin) znašajo pri uporabi LKO približno 7.500 kg CO₂ letno, pri uporabi ZP približno 5.800 CO₂ letno in pri toplotni črpalci z geosondo približno 2.600 CO₂ letno. Največ geosond (preko 2000) je vgrajenih v Švici in v Avstriji.

Geotermalno ogrevanje uporablja zemeljsko toploto kot vir energije, saj je nekaj metrov pod njenim površjem konstantna temperatura – pozimi je na tej globini bolj topla od ozračja, poleti pa hladnejša.

Deli, potrebni za geotermalno črpalko, so: kompresor, kondenzator, ekspanzijski ventil, uparjalnik in dva toplotna izmenjevalca. Preko cevi, ki jih položimo pod zemljo, se toplota zemlje prenaša v prostor. Ko je ta enkrat v prostoru, se zbere v zbiralniku, preko katerega se porazdeli s pomočjo sistema za porazdelitev zraka po hiši. Vse te cevi, ki so napeljane pod zemljo, niso izdelane na enak način, zato vsi sistemi ne nudijo enakega izkoristka energije oz. toplote. Nekatere cevi povzročajo pri vzdrževanju težave, sporen pa je tudi njihov vpliv na okolje.

Pri namestitvi se uporablja več načinov polaganja cevi (horizontalne zanke, vertikalne zanke in za jezera in ribnike odprte zanke). Najbolj pogosta sta vertikalni in horizontalni način polaganja cevi.

- Vertikalne zanke se navadno uporabljajo tam, kjer je prostora malo (v mestih). Za namestitev moramo izvrtati globoke luknje, v katere namestimo geotermalne cevi. Pri tem moramo biti pozorni, da ne kontaminiramo podtalnice.
- Horizontalna razporeditev cevi, če jih postavimo pravilno, je okolju prijaznejša.
- Sistem cevi za ribnike ali jezera je treba potopiti na dno jezera ali ribnika, kar pa lahko potencialno onesnaži vodni ekosistem ter okolico.



2 IZKORIŠČANJE GEOTERMALNE ENERGIJE ZA PROIZVODNJO ELEKTRIČNE ENERGIJE

Geotermalna energija, ki je uskladiščena v geotermalnih vodonosnikih, predstavlja za Slovenijo velik energetski potencial. Raziskave so pokazale, da je mogoče na osnovi izrabe termalnega vira v energetskih objektih izvesti proizvodnjo električne energije. Do sedaj v Sloveniji še ne obratuje nobena geotermalna elektrarna.

Možnost uporabe geotermalne energije pogojuje temperatura geotermalnega vira. Ločimo nizkotemperaturne in visokotemperaturne geotermalne vire, njuno mejno področje je približno 150 °C.

Geotermični gradient je v posameznih področjih Slovenije različen. Za izkoriščanje so najprimernejša SV Slovenija, Celjska kotlina, Brežiško-Krška in Ljubljanska kotlina.

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

- odprti proces (dry steam),
- zaprti eno- ali dvostopenjski proces (flash steam),
- binarni proces (binary cycle),
- Stirlingov proces (HDR).

Vrsta termodinamičnega procesa pri snovanju geotermalnih elektrarn je odvisna od temperature geotermalnega vira, izdatnosti (kg/s) in kemijske sestave.

Za izkoriščanje geotermalnih virov z nizko temperaturo uporabljamo binarne termodinamične procese. Pri teh procesih kot delovni medij uporabljamo organske snovi ali zmes amonijaka in vode. Prednost teh procesov je, da se lahko uporablja termalna voda s temperaturo do 90 °C iz plitvejših zemeljskih slojev, zato niso potrebna draga geološka in vrtalna dela. Delovni medij, ki se uporablja v turbinskem procesu, je pri Kalinovem procesu zmes amonijaka in vode, ki izpareva pri prehodu skozi toplotni prenosnik, v katerem se na drugi strani nahaja termalna voda. Podoben proces, kot je Kalinov, je tudi ORC (Organic Rankine Cycle), kjer se kot delovni medij lahko uporablja R 114 (diklortetrafluorometan $C_2Cl_2F_4$), perfluoropentan (C_5F_{12}) in izobutan (C_4H_{10}).

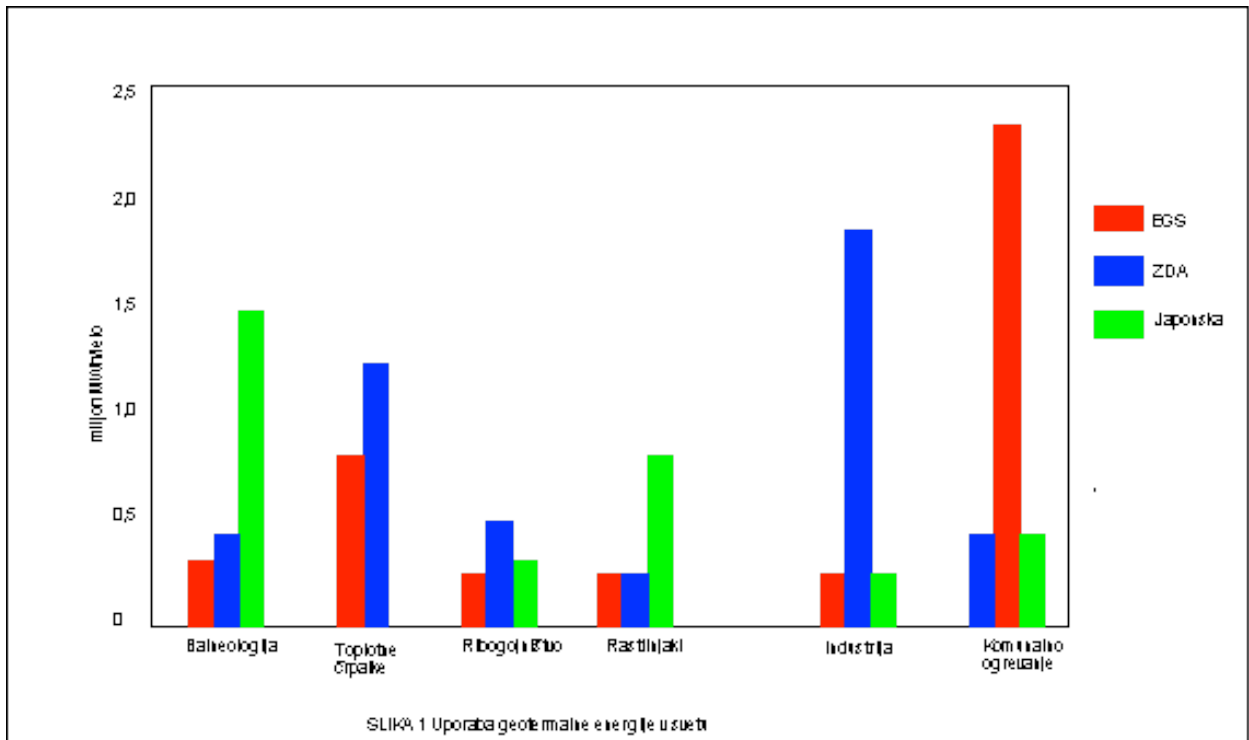
Pri izkoriščanju geotermalne energije za proizvodnjo električne energije izkoristki parnega sistema niso veliki zaradi nizke temperature medija in nizkih tlakov. Da bi izkoristili čim več energije, uporabljamo binarne termodinamične procese (Kalinov proces ali ORC).³

2.1 Možnosti gradnje geotermalnih elektrarn pri nas

Primeren za proizvodnjo električne energije je vodonosnik Termal II, ki leži na različnih globinah. Na območju depresije Ptuj–Ljutomer–Dolga vas dosega največje globine, in sicer je globoka do 5.000 m. Vodonosnik na lokaciji okoli Ljutomera ima po ocenah temperaturo termalne slane vode med 90 in 175 °C, izdatnost vira znaša 57 kg/s. Že leta 1994 je bila izdelana raziskava izkoriščanju geotermalne energije za proizvodnjo električne energije v Ljutomeru. Predvidena elektrarna, kjer bi se uporabil binarni termodinamični proces ali kombinirani parno-binarni proces (na primer Rankinov proces z organsko snovjo R 114), naj bi imela moč med 2 in 2,3 MWe. Ta sistem je zelo uporaben pri visoki slanosti geotermalnega vira in nizki temperaturi vira (mejno področje je 80 do

³ <http://gcs.gi-zrmk.si/Svetovanje/Clanki/Grobovsek/PT250.htm>

90 °C). Zaradi manjšega specifičnega volumna organskega medija je velikost turbine manjša in s tem tudi cena. Organske snovi so stabilne in ne delujejo korozivno. Za reinjektiranje je predvidena vrtina Ljutomer I. Reinjekcijska temperatura naj bi znašala 25 °C. Prvi projekti so že narejeni, izgradnja pa naj bi se začela čez nekaj let.



Slika: Uporaba geotermalne energije v svetu

Vir: <http://gcs.gi-zrmk.si/Svetovanje/Clanki/Grobovsek/PT129.htm>.

3 BALNEOLOGIJA

Pojem izvira iz izraza *balneum* in *logos* (razprava oz. raziskovanje kopeli) in je torej veda o zdravilnih vodah ali o zdravilnem blatu. Obsega skupek metod zdravljenja in rehabilitacije s pomočjo naravnih zdravilnih vrelcev oz. termalnih in mineralnih ter akrototermalnih vod na izviru ali vrtini, poleg tega pa se za zdravljenje uporablja tudi obloge iz zdravilnih blat oziroma peloidov. Po širši definiciji balneologije uporabljamo vrelce tudi za pitje, kot inhalacije, kot dietno terapijo, sprehajalne in glasbene terapije ter vzporedne metode tradicionalne medicine. Z metodami balneologije lahko nadaljujemo bolnišnično zdravljenje ali pa zdravimo bolezenska stanja, ki sicer niso nadaljevane bolnišničnega zdravljenja. Tako je balneoterapija učinkovita pri bolezenskih stanjih gibalnega sistema, boleznih živčnega sistema, prebavnega sistema, pri endokrinoloških boleznih, boleznih kardiovaskularnega sistema, ginekoloških in rakovih boleznih ter pri boleznih pljuč.

3.1 MINERALNE VODE

Mineralne vode so tiste naravne vode, ki vsebujejo najmanj 1000 mg raztopljenih trdnih snovi in/ali 250 mg naravno raztopljenega CO₂ v litru vode. Pravilnik o naravni mineralni in izvirski vodi (Ur. l. RS, št. 26/2000) poleg tega določa še, da ima naravna mineralna voda svoj izvor v podzemnem vodnem viru, je čista, ima lahko določene učinke, ki so ugodni za zdravje in izhajajo iz vsebnosti mineralov, elementov v sledih ali pa drugih sestavin. Mineralne vode so razvrščene glede na pripadajoče vrednosti vseh sestavin, ki presegajo 20 ekvivalentnih deležev v odstotkih, najprej za katione in nato za anione. Tako so npr. mineralne vode lahko glede na katione natrijeve, kalcijeve ali magnezijeve in glede na anione kloridne, hidrogenkarbonatne, sulfatne. Če mineralne vode vsebujejo vsaj 1000 mg prostega raztopljenega CO₂ na liter, jih dodatno imenujemo tudi kislice – kisle vode. Vode, ki vsebujejo za zdravje pomembne elemente v določenih količinah, imajo v opisu imena to posebej navedeno. Za naravne zdravilne vode so dopustna nihanja v sestavi do 20 %.

Padavinske vode prehajajo skozi pore v zemeljski skorji in skozi razpoke v kameninah, vanje prehajajo minerali. Kateri in koliko jih preide, je odvisno od topnosti in sestave kamenin, dolžine vodnih poti, velikosti stičnih površin, od časa stika ter od količine prisotnega ogljikovega dioksida. Mineralne vode so navadno mešanica različnih tipov vod (monotopne in politopne), ki se v podzemlju združujejo in zadržujejo skozi različna obdobja. Nekatere mineralne vode so zelo stare in izvirajo že iz časa začetka trajanja geoloških dob (fosilne vode, slanice – ostanki nekdanjih morij), druge so stare nekaj tisočletij (stare podtalnice meteorskega izvora) ali samo nekaj desetletij oz. let – podtalnice današnjega časa.

V Sloveniji izkoriščamo za stekleničenje dva mineralna vrelca: Donat Mg v Zdravilišču Rogaška Slatina in Zdravilni vrelc (Radenska) v Zdravilišču Radenci. Mineralna voda Donat Mg je magnezijevo-natrijeva hidrogenkarbonatna sulfatna kislica. S 50 mg magnezija na liter je najbogatejša mineralna voda z magnezijem na svetu. Današnja zajetja mineralne vode Donat Mg so v globinah med 280 do skoraj 600 metrov. Povprečna starost mineralne vode (ocenjena z metodo 14 C) je približno 8.000 let. V Zdravilišču Rogaška jo uporabljajo za zdravljenje pri pitnih kurah in inhalacijah. Zdravilno učinkuje na prebavila, sistemsko pa preko delovanja absorbiranih elektrolitov in preko izločanja elektrolitov skozi ledvica. Zdravilni vrelc (Radenska) je natrijeva hidrogenkarbonatna kislica in vsebuje 9,8 g/L raztopljenih snovi. Uporablja se v obliki pitnih kur in sicer kot antacid, verjetno ima ugodne učinke na inhibicijo kristalizacije seča.

Poleg že omenjenih dveh vrelcev je v Sloveniji še vrsta manjših mineralnih vrelcev, ki zaradi majhnosti ali pa zaradi manj prijetnega okusa niso gospodarsko izkoriščeni.

3.2 TERMALNE VODE

Vodonosnik je karbonatna kamenina (dolomit, manj apnenec), nakopičena z zalogami toplote. Voda, ki jo zadržuje nad seboj in ki je na svoji podzemni poti spremenila snovno sestavo, je zato termalna. Ker je geometrični gradient v posameznih delih Slovenije različen, je tudi temperatura termalne vode, zajete v enakih globinah, različna. Termalne vode so tiste vode, katerih temperatura ni nižja od 20 stopinj Celzija. Niso namenjene pitju, ampak kopanju. Glede na temperaturo jih delimo v hipotermalne (20–34 stopinj Celzija), homeo- ali izotermalne (34–38 stopinj Celzija) ter hipertermalne (več kot 38 stopinj Celzija). Pri zdraviliški zdravstveni dejavnosti se izkorišča njihovo mehanično in termično delovanje. Zaradi hidrostatičnega pritiska, ki deluje na potopljeni del telesa, se izboljša cirkulacija v visceralnih organih, izpraznijo se periferne vene in limfni vodi. Termično delovanje preko toplote ugodno vpliva na celotno telo (zvišanje temperature v posameznih tkivih, vazodilatacija, izboljšanje cirkulacije, protibolečinsko delovanje, zmanjšanje mišične tenzije, sedacija bolnika, zvišana aktivnost lokalnega metabolizma, večanje transudacije, stimulacija imunskega sistema, občutek sproščenosti). Vendar je v določenih primerih uporaba termalnih voda odsvetovana (bolnikom s povišanim krvnim pritiskom, s kardiovaskularnimi težavami, z aterosklerozo in z epilepsijo).

V Sloveniji je veliko termalnih vod. Vsa zdravilišča jih uporabljajo pri rehabilitaciji gibalnega sistema, živčnega sistema ter stanj po poškodbah in operacijah gibalnega aparata. Termalne vode se uporabljajo tudi v športno-rekreativne namene.

ZAKLJUČEK

Vse bolj očitno je, da netrajnostni model povečevanja kratkoročnih dobičkov škoduje ljudem in okolju. Model razvoja, ki zanika okoljske omejitve in pravičnost na račun socialnosti in okolja, nima prihodnosti. Antropogeno povzročeno okoljsko in podnebno krizo je treba preseči ali vsaj omiliti s človeku prijaznim razvojnim modelom, ki ne bo ogrožal ekosistemov in generiral vedno znova porajajočih se kriz.

Danes že obstajajo tehnologije, potrebne za vpeljavo gospodarstva, temelječega na obnovljivih virih. Odločitev, ali jih bomo spoštljivo izkoriščali v dobro vsega človeštva, sedanjih in prihodnjih generacij, je v rokah tistih, ki imajo moč. Delček lahko prispeva tudi vsak sam. Od vsega tega je odvisno, ali bomo prebivalci Zemlje (ki nam daje vse in nam lahko tudi vse vzame) imeli zagotovljeno blaginjo in dostojno življenje.