

Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу



Назив студијског програма: Машинско инжењерство

Ниво студија: Основне академске студије

Модул: Енергетика и процесна техника

Предмет: Пренос топлоте и масе

Број индекса: 166/2016

Тијана Љ. Лазић

Коришћење нискотемпературне геотермалне енергије у оквиру система топлотних пумпи

Завршни рад

Комисија за преглед и одбрану:

1. Проф. др Небојша Лукић - ментор
2. _____
3. _____

Датум
одбране: _____

Оцена: _____

САДРЖАЈ

1 Увод.....	5
2 Геотермална енергија.....	5
2.1 Појам геотермалне енергије.....	5
2.2 Историјски развој примене геотермалне енергије	6
2.3 Појам и врсте геотермалних извора	8
2.3.1 Високотемпературни геотермални извори:	9
2.3.2 Нискотемпературни геотермални извори:	10
2.3 Потенцијали и коришћење геотермалне енергије у Србији.....	12
2.4.1 Геотермални потенцијал на подручју централне и јужне Србије	13
2.4.2 Геотермални потенцијал Војводине.....	14
3 Примена геотермалне енергије.....	15
3.1 Директно коришћење геотермалне енергије	15
4 Геотермалне топлотне пумпе	18
4.1 Принцип рада топлотне пумпе	18
4.2 Режим рада топлотних пумпи	25
4.3 Типови топлотних пумпи	27
4.4 Топлотна пумпа типа земља-вода	28
4.4.1 Геотермална сонда.....	29
4.4.2. Земни колектор	32
4.4.3 Компактни колектор.....	33
4.5 Топлотне пумпе типа вода-вода	34
4.6 Инсталација за коришћење топлоте.....	35
4.6.1 Подно грејање	35
4.6.2 Зидно грејање.....	36
4.6.3 Плафонски систем за грејање	37
5 Економски значај примене геотермалних топлотних пумпи	38
6 Предности коришћења геотермалне енергије.....	39
7 Прорачун- количина топлоте у апсорберу и кондензатору	40
8 Закључак	42
9 Литература	43

Резиме

Геотермална енергија као један од обновљивих извора енергије позната је вековима. Ако данас узмемо у обзир проблеме извора енергије на бази фосилних горива и недостатака њихових залиха, брже промене цена и штета по околину су једни од главних предности геотермалне енергије.

У овом раду је описано коришћење геотермалне енергије применом геотермалне топлотне пумпе. Посебна пажња је посвећена нискотемпературној геотермалној енергији, као и геотермалним топлотним пумпама, њиховој ефикасности, инсталацији, као и документацији која је потребна за њихову примену.

Први део рада се односи на изворе геотермалних вода, њиховој примени, потенцијалима и широком спектру примене геотермалних вода. У другом делу рада пажња је посвећена геотермалним топлотним пумпама, принципу рада, инсталацији. На крају, рад се фокусира на предности корићења геотермалне енергије.

Abstract

Geothermal energy as one of the renewable energy sources has been known for centuries. If we consider today the problems of fossil-fuel-based energy sources and their shortages, faster changes in prices and environmental damage are one of the main advantages of geothermal energy.

This paper describes the use of geothermal energy using a geothermal heat pump. Particular attention was paid to low-temperature geothermal energy, as well as geothermal heat pumps, their efficiency, installation, and the documentation required for their application.

The first part of the paper deals with geothermal water sources, their application, potentials and a wide range of geothermal water applications. In the second part of the paper, attention was paid to geothermal heat pumps, principle of operation, installation. Finally, the paper focuses on the benefits of using geothermal energy.

1 Увод

Постоје обновљиви и необновљиви енергенти. У употреби су угаљ, енергенти настали прерадом угља, нафта, етанол, биомаса, градски и индустријски отпад, енергија сунца, енергија ветра, атомска енергија, геотермална енергија и хидроенергија. Нагли развој науке и технологије довео је до повећања потрошње, а самим тим и до повећања производње енергије. Главни извор енергије и даље су фосилна горива. Према подацима нафтних компанија, укупна светска потрошња нафте износи скоро 4 милијарде тона годишње, док су укупне резерве око 120-160 милијарди тона. С обзиром да је прерада нафте дистигла врхунац између 2005. и 2008.године, а узимајући у обзир ограниченост залиха, садашње коришћење фосилних и нуклеарних горива не може да обезбеди дуготрајни и одрживи развој. Залихе фосилних горива брзо нестају, па ће већина земаља бити приморана да у року од једне или две деценије користи обновљиве изворе енергије за подмиривање својих енергетских потреба. Обновљиви извори енергије, у које спада геотермална енергија, довољни су да задовоље свеукупне енергетске захтеве светске популације.

Примена геотермалне енергије је разнолика, и може се применити не само за производњу електричне енергије и за потребе загревања, већ и у пољопривреди, индустрији и туризму. Најпре се користи за загревање објеката, и за овај вид загревања користи се геотермална топлотна пумпа. Геотермална енергија као обновљив извор енергије има значајно већи удео у очувању животне средине у односу на друге изворе.

2 Геотермална енергија

2.1 Појам геотермалне енергије

Геотермална енергија је енергија која потиче из Земљине коре. Назив потиче од грчких речи **geo** – што значи **земља** и **therma** – што значи **топлота**. Представља обновљив, чист извор енергије који се односи на коришћење топлоте земљине унутрашњости. Топлота у унутрашњости Земље резултат је формирања планета пре више од четири милијарде година.

Спољашња кора Земље (слика 2.1) дубока је од 5 до 50 километара и састављена је од стена, воде и магме а геотермална топлота акумулирана је управо у њима. Испод коре се налази омотач који се протеже до дубине од 2.900 километара. Омотач је састављен од материјала богатих гвожђем и магнезијумом. Полупречник Земље је око 6.378 километара.



Слика 2.1 Пресек Земље



Слика 2.2 Температура унутар Земље

Спуштањем кроз спољашњи слој Земље (слика 2.2) температура расте отприлике 17-30°C по километру дубине. Степен повећања температуре са дужином Земље се назива геотермални градијент. У самом језгру Земље температуре би по неким проценама могле бити између 4.000°C и 7.000°C.

Целокупна енергија која се доводи на површину у виду топлоте износи у просеку 5,4 kJ/m² дневно. Рачуна се да је потребно око 100 милиона година да топлота која се налази у Земљиној кори до дубине 100km стигне на површину.

2.2 Историјски развој примене геотермалне енергије

Познато је да су људи од давнина, као нпр. Римљани, Кинези и Индијанци, користили геотермалне изворе на више начина: у здравствене сврхе, за кување и грејање простора.

У званичним документима зачеци коришћења топлоте Земље за производњу електричне енергије везују се за почетак XX века- за 1904. годину и за мало италијанско место Landarelo. Те године је започето експериментисање са употребом геотермалне енергије за производњу електричне енергије. У овом италијанском месту је 1911. године је почела изградња прве електране која је завршена 1913.године (слика 2.3). Принцип рада електране је био једноставан: хладна вода се упумпавала на вруће гранитне стене које су се налазиле близу површине. Кроз пукотине је излазила водена пара под високим притиском и температуром изнад 200°C. Затим се та пара користила за покретање турбине и генератора електричне струје. Сва постројења су уништена током Другог светског рата, међутим поново су изграђена и користе се и данас.



Слика 2.3 Прво геотермално постројење 1904. Италија

У табели 2.1 је приказан списак 10 земаља које највише експлоатишу геотермалне ресурсе на годишњем нивоу. На светском нивоу тих 10 земаља уеструје са око 96% у производњи електричне енергије из геотермалне енергије, и са 71% у директном коришћењу геотермалних извора.

Геотермална енергије се највише користи за потребе грејања (за око 85% домаћинстава), 20% се користи за производњу електричне енергије, док се остатак користи за загревање базена, пољопривредних површина итд.

Производња електричне енергије (2005 год.)		Директно коришћење (2005 год.)	
Земља	У електричним GWh	Земља	У топлотним GWh
Сјед.амер.држ.	17.911,00	Кина	12.604,40
Филипини	9.253,00	Шведска	10.000,80
Мексико	6.282,00	Сјед.амер.држ.	8.678,20
Индонезија	6.085,00	Турска	6.900,50
Италија	5.340,00	Исланд	6.806,10
Јапан	3.467,00	Јапан	2.861,60
Нови Зеланд	2.227,00	Мађарска	2.205,70
Исланд	1.483,00	Италија	2.098,50
Коста Рика	1.145,00	Нови Зеланд	1.968,50
Кенија	1.088,00	Бразил	1.839,70
Укупно 10 земаља	54.843,00	Укупно 10 земаља	54.124,50
Све остале	1.952,00	Све остале	10.978,70
Укупно на светском нивоу	56.786,00	Укупно на светском нивоу	75.42,90

Табела 2.1 Приказ 10 земаља које највише користе геотермалну енергију

2.3 Појам и врсте геотермалних извора

Под геотермалним изворима подразумевају се места на којима геотермалне воде из дубине земље избијају на површину. Подручја која имају највећи број геотермалних извора јесу она која су у исто време геолошки активна, тј. имају активне вулкане, или у којима често долази до потреса. То су, пре свега, подручја око Тихог океана тзв. пацифички ватрени круг (западни делови САД и Канаде, Јапан и источни Сибир), средњоатлански гребен (Исланд), планински ланци као што су Алпи и Хималаји, источна Африка, средња Азија и нека острва у Тихом океану.

Геотермални извори могу се поделити најчешће према:

- Степену истражености и „доказаности“ извора
- Врсти геотермалних лежишта
- Температури вреле воде или паре

Према степену истражености лежишта, тј. према познавању хемијског састава и физичких својстава воде или паре, геотермални извори се деле на:

1. Утврђене
 - Билансне (који су исплативи за искоришћење до сада познатим техничким средствима)
 - Небилансне (који још увек нису исплативи или се не могу експлоатисати постојећим техничким средствима)
2. Потенцијалне

Подела геотермалних извора према врсти геотермалних лежишта извршена је с обзиром на начин уласка воде, или паре у лежишта и изласка из њега на оне:

- Са природним улазом и излазом (врело и извор воде)
- Са природним улазом и вештачким излазом воде, кроз бушотину
- Са вештачким улазом и излазом (експлоатација је веома захтевна)

Према температури геотермалног флуида геотермални извори могу бити:

- Нискотемпературни (са горњом границом темп. у интервалу од 90-150°C)
- Средњетемпературни (чије се температуре крећу од 90-225°C)
- Високотемпературни (са доњом границом темп. у интервалу од 150-225°C)

2.3.1 Високотемпературни геотермални извори:

Високотемпературни флуиди се користе претежно за производњу електричне енергије. Електране које раде на принципу искоришћења геотермалне енергије смештају се изнад самог извора енергије.

С обзиром на термодинамичка и хидролошка својства геотермални извори се деле на:

- Извори топле или вруће воде
- Изворе водене паре
- Изворе вреле воде у великим дубинама
- Вруће и суве стене

Извори топле и вруће (слика 2.4) воде су најчешћи начин доласка загрејане воде из дубине на површину. Потичу од вруће воде или паре која је заробљена у дубини од 100 до 4.500m. Геотермални флуид је највећим делом у течној фази, а тек малим делом у облику паре. Када је температура преко 170°C вода се по изласку на површину претвара у пару која се може искористити за погон парне турбине. Извори вруће воде, за сада, представљају једине геотермалне изворе који се комерцијално искоришћавају.



Слика 2.4 Извор вруће воде (гејзер) на Исланду

- **Извори суве водене паре** су веома ретки и малобројни, али се сматрају најједноставнијим и најисплативијим за коришћење јер се водена пара може директно користити за погон парних турбина.
- **Лежишта воде и гасова под притиском** налазе се на великим дубинама (од 3.000 до 6.000m). Вода је умерене температуре и садржи метан.
- **Вруће и суве стене** (слика 2.4) односно **магма**, налазе се у непропусним слојевима на великим дубинама и имају високу температуру, између 700°C и 1.200°C. Ови

извори се не користе јер би за њихово искоришћење била потребна сложена и скупа технологија, што још увек није исплативо ни технолошки разрађено.



Слика 2.5 Енергија из врућих стене

2.3.2 Нискотемпературни геотермални извори:

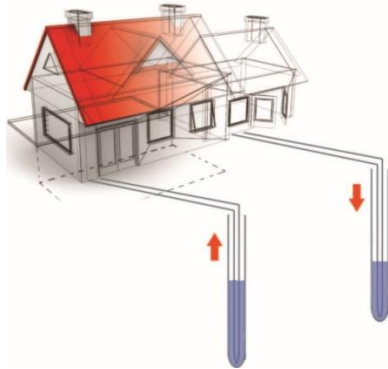
У прошлости је израз геотермална енергија коришћен за описивање извора високе температуре извађене из дубоких, подземних резервоара. Од тада се дефиниција проширује и на геотермалне ресурсе ниских температура. Ресурси са ниском температуром представљају мали али растући сектор хидротермалног развоја геотермалних ресурса испод 150°C . Канцеларија геотермалне енергије сарађује са индустријом, академским снагама и националним лабораторијама на развоју и примени нових технологија ниских температура која ће помоћи геотермалној заједници да усвоји ресурсе ниских температура.

Геотермална енергија ниских температура дефинише се као топлота добијена од геотермалне течности у земљи при температури до 150°C . Велики део извора вруће воде или паре има ниске температуре па се таква вода не користи за производњу електричне енергије већ за грејање и сличне намене. Осим тога, транспорт вруће воде или паре је скуп и везан је повећаним губицима па се геотермални извори морају користити локално (грејање просторија и стакленика, неки технолошки процеси у индустрији, рибарство итд.)

Највећи број природних извора који се налази у Србији јесу извори са ниским температурама. Експлоатација нискотемпературних геотермалних ресурса подразумева употребу топлотних измењивача који служе за размену топлоте између два положаја. Они долазе у директан додир са топлим водама у отвореним системима, односно са радним флуидом у затвореним системима.

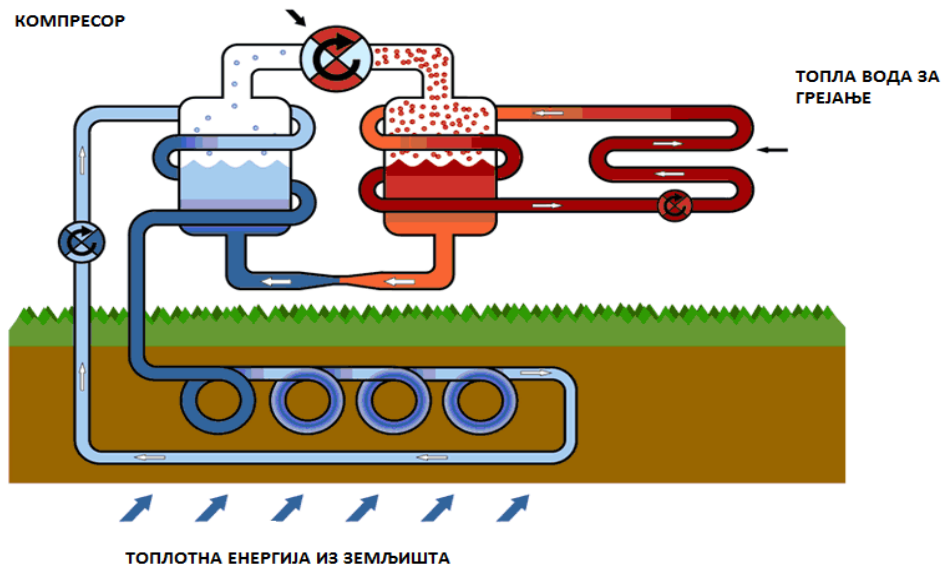
Топлотна енергија потребна за грејање се узима из земљишта и из воде.

Када се говори о **води** као топлотном извору (слика 2.6), мисли се на енергију површинских (река, потока, језера, мора), подземних или отпадних вода. Основни значај воде као топлотног извора јесте константна температура током целе године. Вода се из једне бушотине (усисне) црпи, а кроз другу (повратну) враћа у подземне слојеве.



Слика 2.6. Вода као топлотни извор

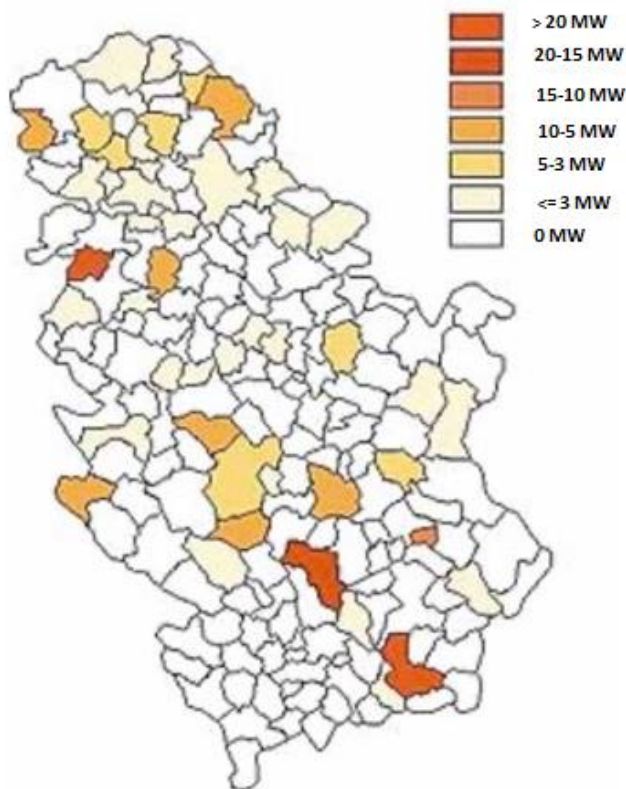
Топлотне пумпе могу да користе енергију **земље** (слика 2.7) на два начина. Може се користити акумулирана топлоту која се налази у близини површине, чија је температура константна током целе године. Други начин коришћења јесте уз помоћ геотермалне сонде. Температура током целе године износи 10°C што је довољно за добијање топлотне енергије.



Слика 2.7 Топлотна енергија узета из земље

2.3 Потенцијали и коришћење геотермалне енергије у Србији

Према подацима, у Србији постоји неколико стотина бушотина са геотермалном водом (слика 2.8), чија је температура релативно ниска, углавном испод 60°C.



УКУПНА СНАГА ГЕОТЕРМАЛНИХ ИЗВОРА

Слика 2.8. Укупна снага геотермалних извора Србије

Геотермална истраживања су практично започета 1975. године. Интензивнија истраживања су настављена у периоду осамдесетих година, тако да се данас располаже са обимним подацима о геотермалном потенцијалу. Процењена снага свих постојећих бушотина у Србији је око 160 MW, од чега се тренутно користи око 100 MW. Употребом топлотних пумпи се из земље може преузети онолико потребне енергије колико нам је потребно.

Геотермална енергија територије Србије се може поделити на две области у којима се порекло и врста енергије разликују.

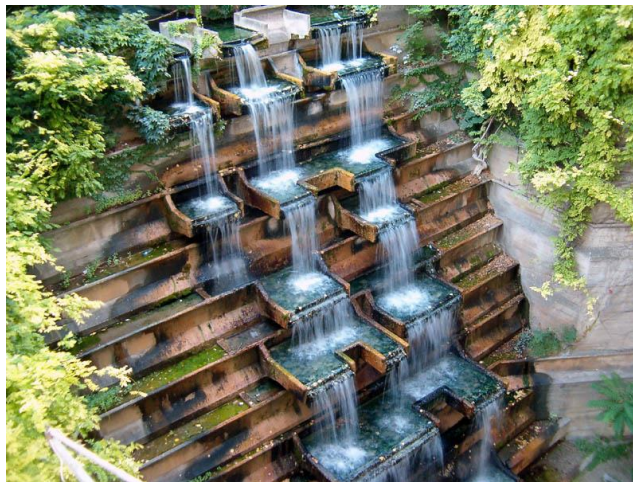
Прва област је подручје јужног дела Панонског басена које обухвата Војводину, Мачву и Подунавље. Температура геотермалних вода у Војводини је од 25 до 80°C.

Друга област обухвата подрује централне Србије, јужно од Панонског басена.

2.4.1 Геотермални потенцијал на подручју централне и јужне Србије

Подручје централне и јужне Србије представља још увек недовољно истражено подручје, али са веома великим перспективама за откривање геотемалне енергије високих температура. Ово подрује је карактеритично по великом броју природних извора (слика 2.9) разлнитих температура, који су познати још од давнина и помињу их римски и византијски извори.

Укупне искористиве геотермалне резерве са овог подручја се процењују на око 132 MW.



Слика 2.9 Минеларни извор-Нишка Бања

2.4.2 Геотермални потенцијал Војводине

Највећи број природних извора се налази у делу Србије јужно од Саве и Дунава, док је Војводина практично без њих, али она обилује великим бројем вештачких извора-бушотина. Истраживање геотермалне енергије у Војводини организовао је и реализовао „Нафтагас“. Дубине првих бунара су достизале и до 400m.

Систематска истраживања у Војводини су започета 1969, када је избушена прва бушотина у Суботици, а до данас је избушено 70, најчешће дубине око 800-1.200m. Поред тога, испитане су и 42 негативне нафтно-гасне бушотине ради утврђивања могућности њиховог коришћења. Од тих 112 хидро-термалних, нафтних и гасних бушотина данас се свега 24 користе, од чега се 11 бушотина користи као извор топле воде за загревање.

Међутим, стварне могућности геотермалне енергије су знатно веће, јер се користи само око 9% тренутно. На основу досадашњих истраживања дошло се до закључка да је већи део Војводине веома перспективан за добијање геотермалних вода до температурног нивоа од око 90°C. Тренутно се у Војводини геотермална енергија експлоатише највише у неенергетском сектору, иако би циљ у експлоатацији овог вида енергије требало да буде, управо у коришћењу у енергетици.



Слика 2.10 Геотермална енергија Војводине

3 Примена геотермалне енергије

Геотермална енергија се може користити на два основна начина:

- **Директно**-као топлотна енергија
- **Индиректно**-за производњу електричне енергије

Начини примене највише зависе од температуре извора. Производња електричне енергије је најважнији облик коришћења геотермалних извора високих температура ($>150^{\circ}\text{C}$). Средње и ниско температурни извори ($<150^{\circ}\text{C}$) се најчешће користе директно или се примењују топлотне пумпе (Табела 3.1).

Начин примене	Температура
Топлотне пумпе	$4^{\circ}\text{C} - 38^{\circ}\text{C}$
Директна употреба	$38^{\circ}\text{C} - 150^{\circ}\text{C}$
Производња електричне енергије	$>150^{\circ}\text{C}$

Табела 3.1 Коришћење геотермалне енергије у функцији температуре радног флуида

Међутим, у Србији преовлађују извори са ниским температурама радног флуида, при чему се они најчешће користе директно, или се примењује топлотна пумпа.

3.1 Директно коришћење геотермалне енергије

Геотермална енергија, односно њена топлота, данас се широм света користи директно, без претварања у неки други облик енергије. Директна употреба топлоте замењује енергенте који загађују ваздух и околину, и најчешће налази примену у грејању простора.

Енергија геотермалног извора се, или директно, или преко размењивача топлоте доводи до потрошача, док се за потребе догревања користи топлотна пумпа.

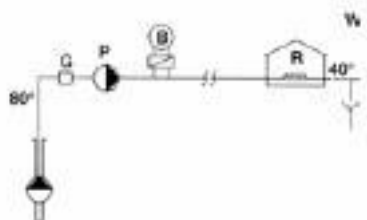
Директно коришћење геотермалне енергије може се применити у разне сврхе, међутим, од свих примена данас су најчешће следеће:

Коришћење геотермалне енергије за грејање простора: Геотермални топлотни системи и топлане сматрају се веома прикладним решењем за загревање насеља, стамбених и пословних зграда, хотела, болница, и разних других објеката.

Постоје два основна система:

Директно коришћење геотермалне енергије за грејање(слика 3.1), за индустријске процесе, или за било коју другу сврху, увек се састоји из три компоненте:

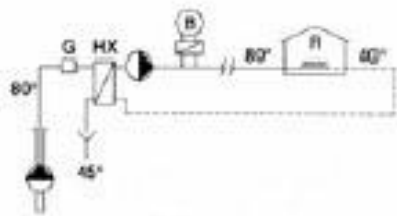
- Производна бушотина (за довод вруће воде на површину)
- Механички систем (обухвата пумпе, размењиваче топлоте и контролне елементе)
- Утисна бушотина (за прихват охлађеног флуида)



Слика 3.1 Директни систем

Директни ситеми су једноставни и економски погодни, јер се геотермална топлота директно уводи у грејни систем. Термалне воде ниже температуре успешно се примењују за наводњавање или за загревање обрадивих површина.

Индиректно коришћење геотермалне енергије (слика 3.2). У току рада индиректног система врућа вода у размењивачу топлоте предаје своју топлотну енергију другом циркулационом кругу, у којем се налази други радни флуид или градска вода. Геотермална вода се, након што је предала топлоту, одводи преко размењивача топлоте и помоћу утисне пумпе враћа назад у утисну бушотину.



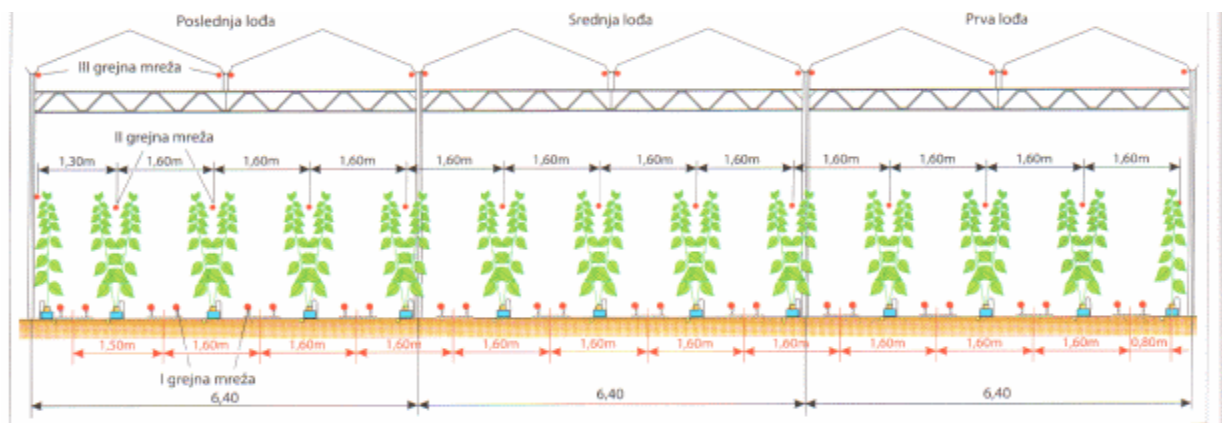
Слика 3.2. Индиректни систем

Примена у пољопривреди:

Геотермална енергија се користи у пољопривреди ради повећања приноса. При томе се првенствено мисли на загревање стакленика при производњи воћа и поврћа. При загревању стакленика (слика 3.3) , не мисли се само о загревању ваздуха, већ и грејање тла на коме расту биљке. Главни задатак оваквог начина грејања је да се оствари оптимална температура тла. Овакав систем може само делимично да покрије потребе грејања, и може да се користи само у подручјима са блажом климом.

Системи за грејање стакленика су:

1. Систем са грејање земљишта и ваздуха – код оваквих система за грејање цеви се постављају на тло. На овај начин долази до загревања и ваздуха и земљишта. Овакав систем је одличан за покривање свих топлотних потреба у подручјима са блажом климом.
2. Систем за грејање ваздуха – код оваквих систем за грејање користе се металне цеви или размењивач топлоте који се поставља изнад површине земље. Предност оваквог система је што омогућава брзу и прецизну регулацију грејања. Недостатак овог система је што је коефицијент преласка топлоте код нискотемпературних флуида веома низак.
3. Системи са вентилаторским провођењем топлоте – користе се у стакленицима у којима се с коришћењем вентилатора може повећати коефицијент преласка топлоте код система нискотемпературних флуида. Овај начин грејања је веома једноставан, јефтин и погодан за аутоматску регулацију.



Слика 3.3 Систем грејања у стакленицима

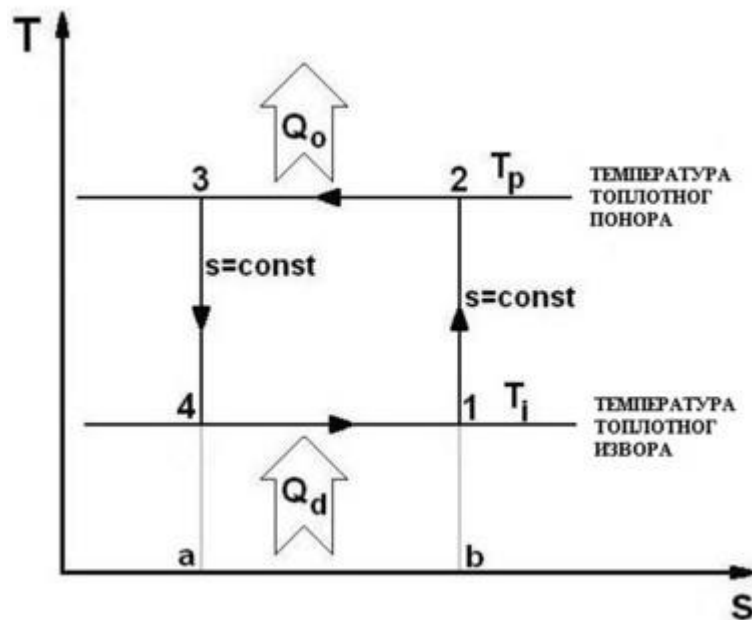
4 Геотермалне топлотне пумпе

Топлотна пумпа је уређај помоћу којег се топлотна енергија из једне средине преноси у другу. Топлотна пумпа је једно од најефикаснијих техниких решења за уштеду електричне енергије при добијању топлоте као финалног вида енергије. Осим добијања топлоте у грејној сезони, топлотне пумпе се у летњим месецима користе за хлађење просторија.

4.1 Принцип рада топлотне пумпе

Топлотне пумпе користе топлоту енергију из земље, подземних вода и ваздуха за загревање стамбених или пословних објеката. Процеси који се одвијају у топлотној пумпи су најважнији у читавом постројењу. Принцип рада топлотне пумпе је једноставан, може се упоредити са кућним расхладним апаратима (нпр. фрижидер и клима).

Да би се у неком топлотном апарату обавио пренос топлоте, радни флуид који се налази у топлотном апарату пролази кроз такозвани кружни процес. Кружни процес је такав процес у коме радни флуид кружи, и који се након неколико промена стања враћа у почетно. У зависности од промене радног флуида на дијаграмима разликују се левокретни и деснокретни процеси. За топлотне пумпе карактеристичан је левокретни кружни процес.



Слика 4.1 Карнотов левокретни циклус са идеалним гасом (T-S дијаграм)

За разлику од деснокретних циклуса где је доведена количина топлоте радном флуиду, по апсолутној вредности увек већа од одведене, код левокретних циклуса смер

промена стања је обрнут па је тако одведена количина топлоте радном флуиду (површина правоугаоника $a32b$, Q_o) по апсолутној вредности увек већа од доведене (површина правоугаоника $a41b$, Q_d). Како збир ове две количине топлоте даје увек негативну вредност ($|Q_o| > Q_d$), долази до закључка да је користан рад у циклусу негативан и да се мора доводити радном флуиду, како би циклус уопште функционисао. Са слике 4.1 може се приметити да се топлота одводи радном флуиду на вишој, а доводи на нижој температури околине.

Та чињеница левокретним циклусима налази примену у расхладним и грејним (топлотне пумпе) постројењима. Деснокретни циклуси се пореде према коефицијенту ефикасности, а левокретни према фактору хлађења или грејања, зависно за шта су намењени. Фактор ефикасност се одређује као однос онога што смо добили са оним што смо уложили.

$$\varepsilon = \frac{Q_1}{E_{el}} \quad (1)$$

Где су: ε – фактор ефикасности топлотне пумпе

Q_1 – добијена топлота за грејање или за хлађење

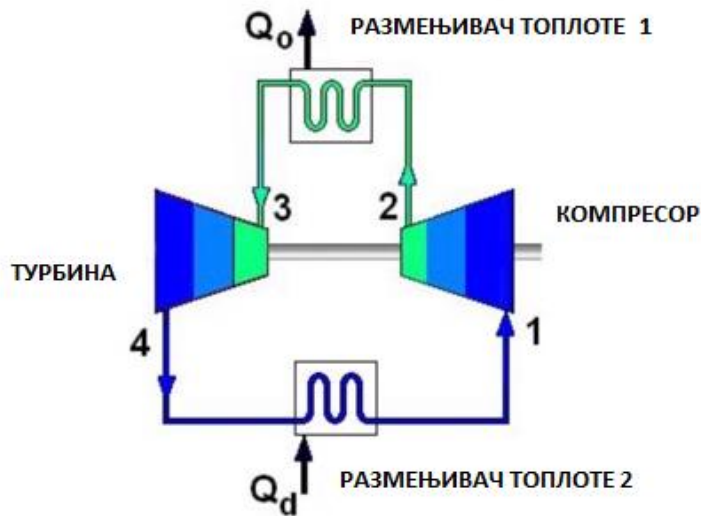
E_{el} – утрошена електрина енергија

Код расхладних циклуса улажемо рад (L_k), а добијамо количину топлоте коју смо одвели из расхладне коморе или собе. Ова количина топлоте за радни флуид представља доведену количину топлоте (Q_d), па је фактор хлађења левокретног циклуса, ε_h (-) једнак:

$$\varepsilon_h = \frac{Q_d}{|L_k|} = \frac{Q_d}{|Q_o| - Q_d} \quad (2)$$

Уколико је грејање тражени ефекат левокретног циклуса, односно уколико левокретни циклус користимо у топлотној пумпи, улажемо рад, а добијамо количину топлоте која се доводи грејаној просторији, а одводи радном флуиду. Према томе, фактор грејања левокретног циклуса ε_g (-) једнак је:

$$\varepsilon_g = \frac{|Q_o|}{|L_k|} = \frac{|Q_o|}{|Q_o| - Q_d} \quad (3)$$



Слика 4.2 Шема постројења левокретног циклуса са идеалним гасом

Посматрајући слике 4.1 и 4.2 које описују Карнотов левокретни циклус са идеалним гасом можемо уочити да се радни флуид (идеалан гас) прво изентропски (повратна промена стања) компримује у компресору од стања 1 до стања 2 (улагање рада). После тога се изотермски, на температури топлотног понора, околине (повратна промена стања) одводи топлота радном флуиду од стања 2 до стања 3. Следи изентропска експанзија у експанзионом вентилу од стања 3 до стања 4, где се обара притисак и температура радног флуида. Циклус се затвара изотермским довођењем топлоте на температури топлотног извора, околине од стања 4 до стања 1. Дакле, доводимо топлоту радном флуиду из хлађеног простора, на нижем температурном нивоу и предајемо је околини на вишем температурном нивоу. Како је Карнотов циклус састављен од повратних промена стања (нема губитка радне способности) имаће увек највећи фактор грејања или хлађења у поређењу са свим осталим левокретним циклусима, при истим температурама топлотног понора и извора. Како су процеси размене топлоте у Карнотовом циклусу изотермски, једноставно је израчунати размењене специфичне количине топлоте (q_d и q_o) са дијаграма на слици

$$q_d = T_i(s_1 - s_4), \quad (4)$$

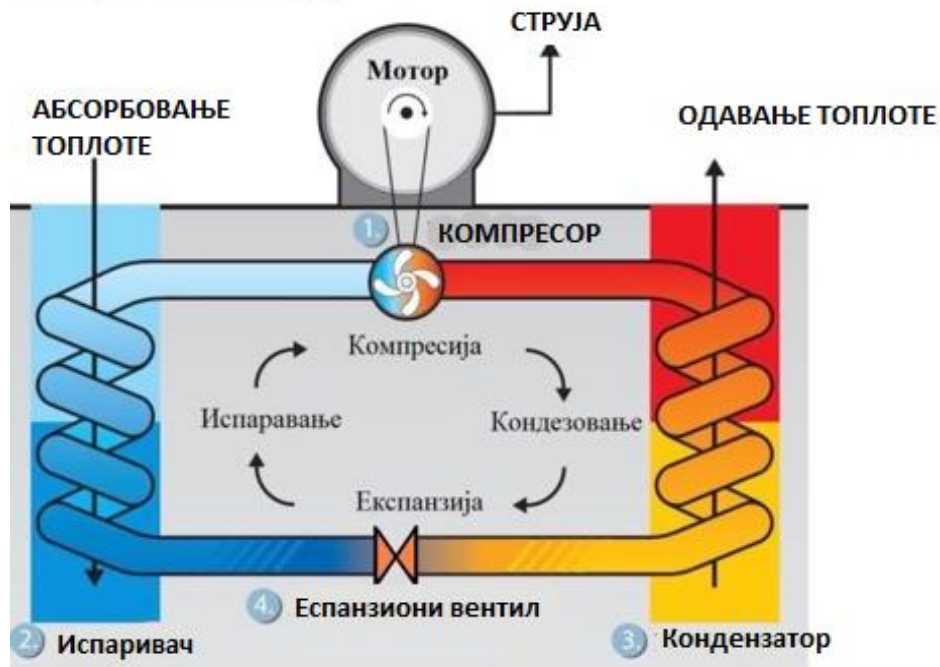
$$q_o = T_p(s_2 - s_3). \quad (5)$$

Из једначина (2), (4) и (5) се лако може израчунати фактор хлађења Carnot-овог левокретног циклуса као :

$$\varepsilon_h = \frac{Q_d}{|Q_o| - Q_d} = \frac{T_i(s_1 - s_4)}{(T_p - T_i)(s_2 - s_3)} = \frac{T_i}{T_p - T_i} \quad (6)$$

Из једначина (3), (4) и (5) се лако може израчунати фактор грејања Carnot-овог левокретног циклуса као:

$$\varepsilon_g = \frac{|Q_o|}{|Q_o| - Q_d} = \frac{T_p(s_2 - s_3)}{(T_p - T_i)(s_2 - s_3)} = \frac{T_p}{T_p - T_i} \quad (7)$$

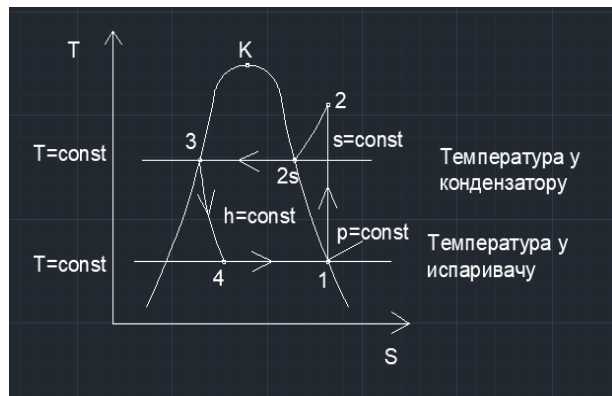


Слика 4.3 Шема функционисања топлотне пумпе

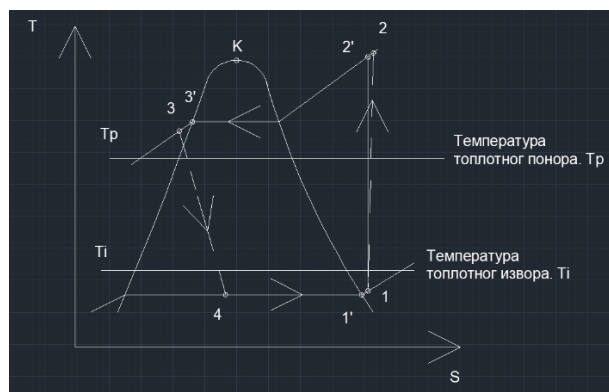
Компресорски парни циклус данас представља доминантан циклус за потребе грејања и хлађења. На слици 4.3 приказана је шема постројења. Компресор (стање 1) усисава сувозасићену пару радне материје и изентропски кампримује на притисак и температуру стања 2. Добијена пара има вишу температуру од околине и она као таква долази у размењивач топлоте-кондензатор где достиже сувозасићено стање. Затим почиње процес кондензације при константном притиску и температури. Температура у кондензатору је непроменљива све док има некондензоване паре. На крају кондензатора се добија чиста кључала течност радног флуида на притиску који влада у кондензатору (стање 3). Кључала течност се екпандира у пригушном вентилу до стања 4. Уместо турбине у гасним циклусима, у компресорском парном циклусу постоји пригушни вентил.

По адијабатском пригушивању, у пригушном вентилу до стања 4, добија се влажна пара радне материје, ниског притиска и температуре. Температура у тачки 4 је нижа од температуре околине, и при томе испарава на константном притиску и температури до стања 1, када радна материја поново одлази на компресију.

Компресорски парни циклус је веома поуздан, јер је једини покретни део у постројењу компресор.



Слика 4.4 Идеални компресорски парни циклус



Слика 4.5 Реални компресорски парни циклус

На слици 4.4 је приказан идеалан компресорски парни циклус. Реални циклус се мање или више разликује и приказан је на слици 4.5.

Реални компресорски парни циклус се од идеалног разликује по неидеалној, адијабатској компресији 1 – 2. Реални компресор троши више рада, а компримовани радни флуид по изласку има вишу температуру.

Везу између идеалног (изентропског, 1 – 2') и неидеалног (адијабатског, 1 – 2) техничког рада даје степен добротe компресора, η_K :

$$\eta_K = \frac{L_{t-izo}}{L_{t-ad}} = \frac{h_1 - h_{2'}}{h_1 - h_2} \quad (8)$$

Фактор хлађења компресорског парног циклуса би био једнак:

$$\epsilon_h = \frac{Q_d}{|L_k|} = \frac{h_1 - h_4}{h_2 - h_1} \quad (9)$$

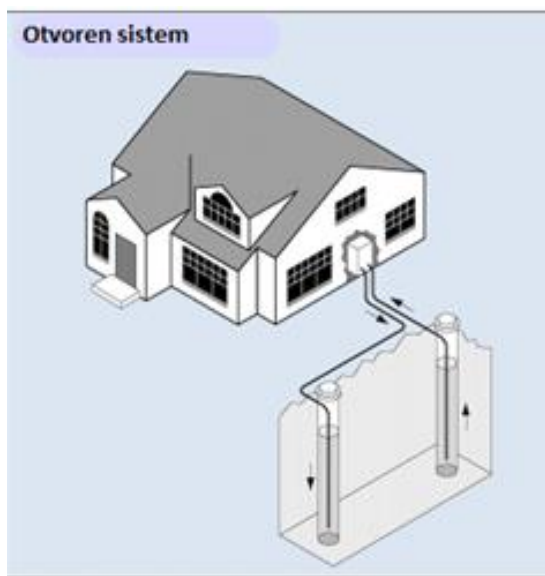
У реалним условима уколико се радни флуид у кондензатору потпуно кондензује пре изласка из њега, у задњим цевима тог размењивача топлоте се кључала течност радног флуида потхлађује (3' – 3), чиме се повећава Q_d и фактор хлађења циклуса.

Уколико је температура топлотног извора довољно висока у задњим цевима испаривача долази до прегревања сувозасићене паре радног флуида (1' – 1), што такође повећава фактор хлађења. Уколико су услови размене топлоте у кондензатору неповољни (температура топлотног понора – околине сувише висока) у кондензатору се неће кондензовати сав радни флуид и тачка 3 ће бити померена десно по избору у област влажне паре.

Пригушивањем овакве паре тачка 4 се такође помера удесно и тиме се смањује доведена количина топлоте у испаривачу, чиме се смањује фактор хлађења циклуса.

Постоје више различитих техничких система који користе топлотне пумпе за добијање топлоте. Те разлике се односе, углавном, на извор нискотемпературне топлоте, њихов температурни ниво и на врсту корисника (домаћинства, индустрија, трговина), итд. За рад топлотне пумпе на располагању су извори топлоте из земље, подземних вода и околни ваздух. Постоје два основна система постављања топлотних пумпи. то су тзв. „отворени“ и „затворени“ системи.

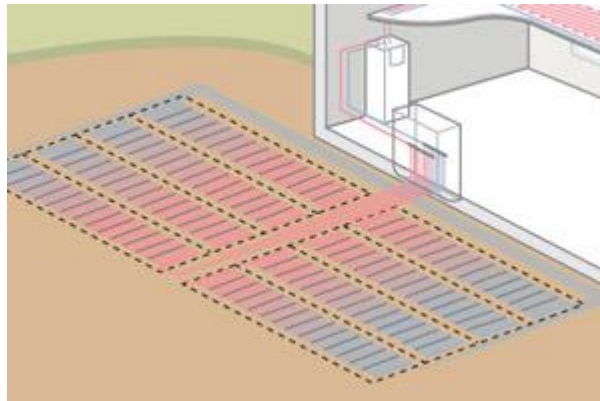
Отворени систем (слика 4.6) се користи да се опише пумпа која користи подземну воду бунара као извор топлотне енергије. Подземна вода се доводи до топлотне пумпе вода-вода, у којој се врши размена топлоте а потом се сама бунарска вода одводи напоље. Подземне воде карактерише константна температура током целе године, што их чини одличним извором енергије.



Слика 4.6 Отворен систем базиран на два бунара

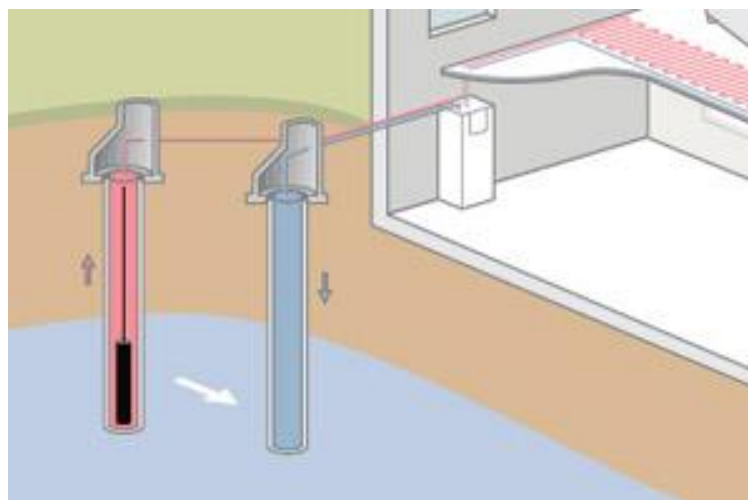
Затворени систем се користи да се опише геотермална топлотна пумпа која користи цев која је укопана у земљи и која има функцију размењивача. Затворени систем се састоји од извора енергије, геотермалне сонде и пумпе земља-вода. За разлику од отвореног система који користи бунарску воду, кроз затворени систем циркулише флуид под притиском. Сами системи се разликују према положају постављања цеви. Постоје два начина постављања и то: **хоризонтално и вертикално постављање.**

Хоризонтално постављање цеви: Хоризонтални колектори (слика 4.7) се састоје од система цеви који се укопавају на дубини од 1,5 метара (око 20см испод границе смрзавања тла). Овај тип колектора је погодан за куће које су израђене на великим парцелама. Апсорпција зависи од састава тла, што је тло влажније то је апсорпција већа. Цеви би требало бити исте дужине како би се постигли равномерни протоци, при чему једна секција цеви не би требало да буде дужа од 100 метара. На повшини земље изнад постављених колектора није дозвољена градња.



Слика 4.7 Затворен систем-хоризонтално постављени колектори

Вертикално постављање цеви (слика 4.8) се користи тамо где је ограничен простор, на местима где је немогуће копање канала. За ову опцију је потребно укопавање дубинских сонди. Рупе се копају на дубину око 450 метара, при чему се постављају на размаку од 45 до 60m. Цеви које се најчешће користе израђене су од полиетилена заједно са наставцима за спајање. За цеви се даје гаранција од 50 година. Системи са вертикалним постављањем цеви зависе од средње температуре земљишта и од геотермалног градијента.



Слика 4.8 Затворен систем-вертикално постављени колектори

Бушотина је специфична подземна просторија кружног попречног пресека. Према дужини, истражене бушотине се сврставају у три категорије: кратке(плитке) до 500 метара, средње дужине (дубине) до 1.000 метара и дуге преко 1.000 метара. Пречник зависи од методе и од планиране дубине.

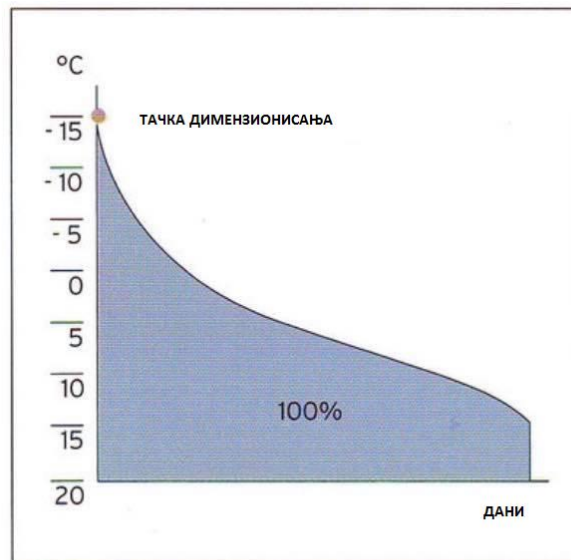
4.2 Режим рада топлотних пумпи

Зависно од топлотне потребе зграде као и од одабраног извора топлоте, топлотна пумпа има више режима рада:

Моновалентни режим рада

Код овог режима рада се топлотна потреба зграде у потпуности покрива кроз топлотну пумпу. За овај режим рада је потребно да током целе године постоји приближно константан ниво температуре. Ово се предлаже за просторе у којима се троши мало струје.

Трошкови улагања могу бити већи, али је потрошња мања него код осталих система.

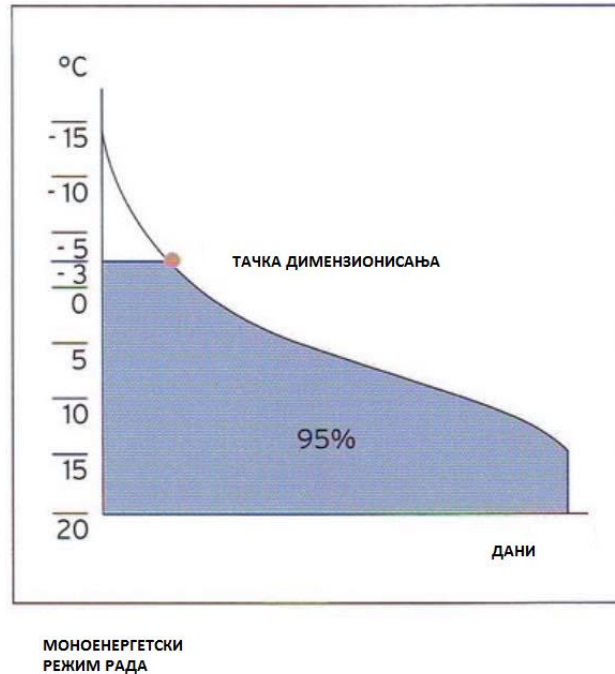


МОНОВАЛЕНТНИ РЕЖИМ РАДА

Слика 4.9 Моновалентни режим рада

Моноенергетски режим рада

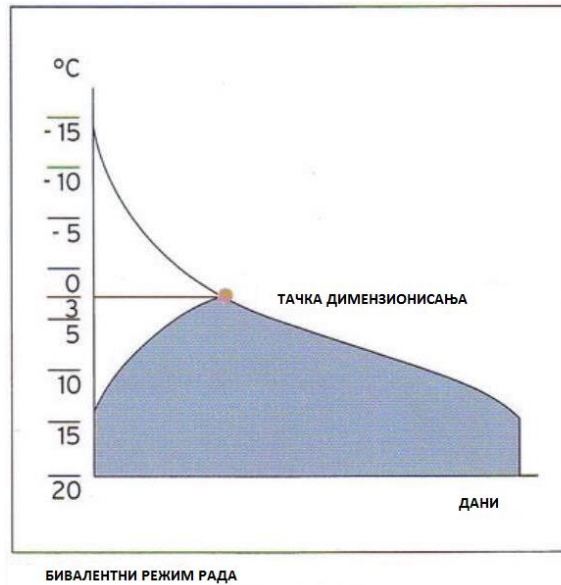
Код моноенергетског режима рада се осим топлотне пумпе користи најчешће електрични грејач, који би помогао да покрије топлотне потребе. Додатно електрично грејање је инсталирано у пролазном воду инсталације, при чему га регулатор укључује у случају потребе. Ово се посебно користи код топлотних пумпи вода-ваздух, с обзиром да се њихова снага смањује са падом температуре. Моноенергетске инсталације се пре свега користе у породичним кућама.



Слика 4.10 Моноенергетски режим рада

Бивалентни режим рада

Код бивалентног режима се осим топлотне пумпе користи и додатни генератор топлоте (котао на нафту или гас) који има улогу покривања топлотних губитака. Овај режим рада честу примену налази код топлотних инсталација са високим температурама. Топлотна пумпа може покрити 50-70% потребне количине топлоте.



Слика 4.11 Бивалентни режим рад

4.3 Типови топлотних пумпи

За рад топлотне пумпе на располагању су извори топлоте и земље, воде и околног ваздуха. У зависности од врсте извора топлоте из природе која се користи за предају „хладне“ енергије топлотне пумпе се деле на:

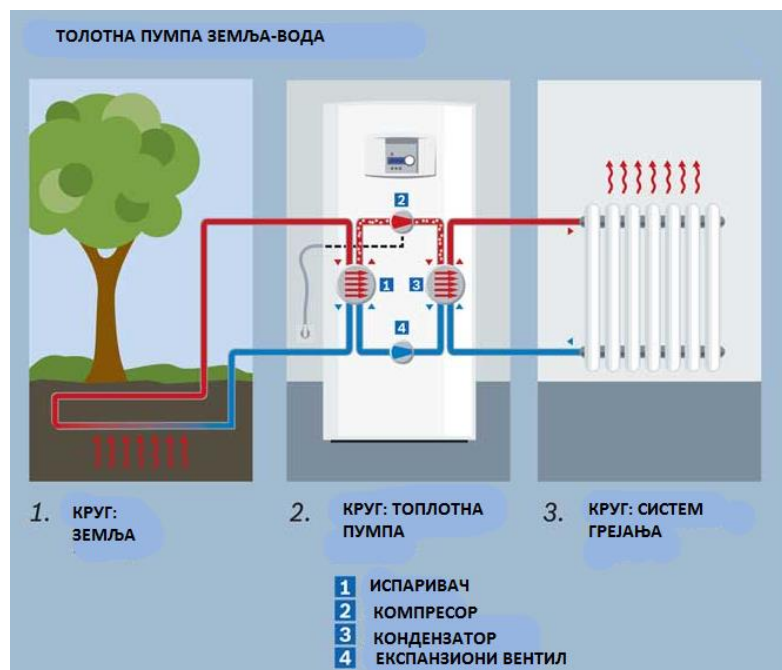
- Вода-вода
- Земља-вода
- Ваздух-вода

Извор топлоте	Начин преноса топлоте	Топлотна пумпа	Предност	Недостаци
Земља	Земни колектор	Земља-вода	Затворен систем Флуид је безопасан по животну околину	Мали топлотни добици
	Геотермална сонда	Земља-вода	Потребно је мање простора	Високи трошкови
Вода	Компактни колектор	Земља-вода	Затворен систем Једноставно инсталирање	Мали топлотни капацитет
	Бунар	Вода-вода	Највећи коефицијент искоришћења	Опасност од загађења бунара Отворени систем
Ваздух	Апсорбер	Вода-вода	Директно испаравање	Велике температуре
	Спољашњи ваздух	Ваздух-вода	Лети има већу ефикасност Повољна цена	Извор топлоте са највешим температурним осцилацијама

Табела 4.1 Типови топлотних пумпи

4.4 Топлотна пумпа типа земља-вода

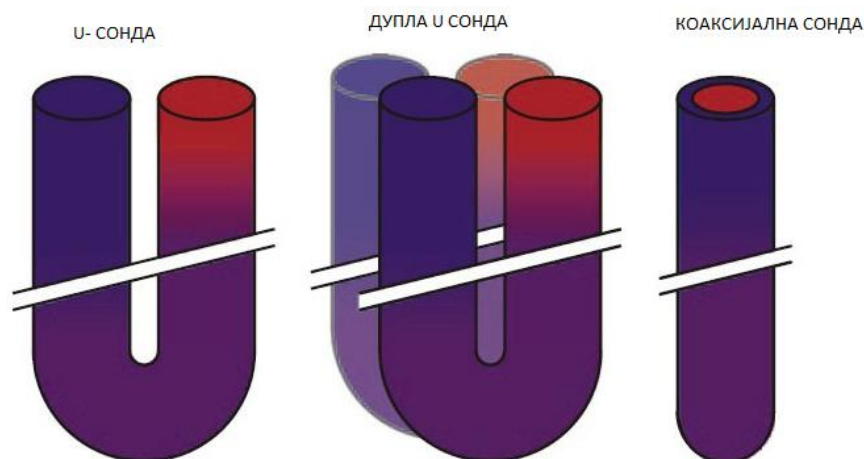
Овај вид топлотних пумпи користи топлоту земље као извор топлоте. За рад топлотне пумпе је неопходно постављање површинских колектора или бушење дубинских сонди у зависности од простора којим располаже објект у који се уграђује овакав систем. Да би се постигле боље перформансе копају се бушотине и до 200m са циљем да се искористи константна температура земље која на тој дубини износи око 10°C. Ова топлота се узима из земље и преноси се до система за грејање путем водоравно постављених колектора или вертикално укопаних дубинских сонди. Количина акумулиране топлоте у највећој мери зависи од термодинамских својстава земљишта.



Слика 4.12 Топлотна пумпа типа земља-вода

4.4.1 Геотермална сонда

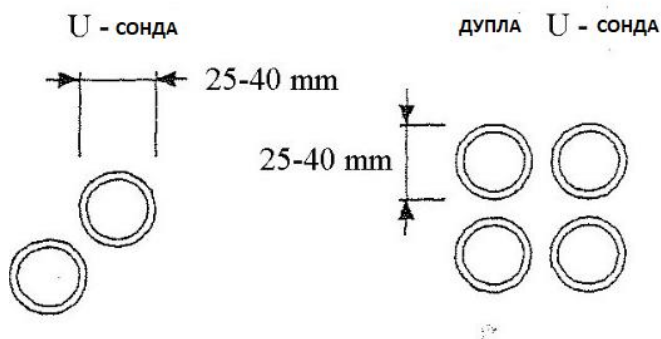
За добијање топлоте из земље, геотермалне сонде су се показале као поуздано решење. Геотермалне сонде представљају цеви испуњене флуидом, које служе за пренос енергије и које заједно са топлотном пумпом чине затворен систем. Основна предност геотермалне сонде јесте та што могу бити инсталиране на сваком делу терена. Производе се од разлиитог материјала, димензија, облика и комерцијално су доступне. Геотермалне сонде се највише разликују по начину постављања на тло, и разликују се: вертикалне геосонде, геотермалне колекторе, и енергетске стубове. У пракси су највећу примену нашле вертикалне сонде које се разликују према облику цеви. На слици 4.13 приказане су вертикалне сонде и то: геосонда U профила, геосонде двоструког U профила, и коаксијалне сонде.



Слика 4.13 Примери вертикалних сонди

Принцип рада геосонди је: флуид који није загрејан се упушта у сонду и на свом путу акумулира топлоту из околног земишта, након тога загрејани флуид заокрене своју путању у дну U сонде и враћа се ка топлотној пумпи која користи издвојену топлоту да подигне топлоту флуиду у секундарном циклусу и користи је за грејање.

У пракси се најчешће користе тзв. „**концепт U цеви**“ и „**концепт саосне (коаксијалне) цеви**“. Типична дубина бушења за сонде налази се између 40 и 100m. Сонде се постављају на минималној удаљености 6-7m како би се смањила интеракција и осигурао стални проток и регенерација топлоте у земљи. За постављање постројења са сондом потребно је добити одобрење од надлежне власти за водопривреду. За бушење на дубинама већим од 100m потребно је одобрење од виших власти. Сонде за бушење се састоје од сонтажне стопе са навојем на крају, вертикалних сонтажних цеви (пречника 25x2,3mm за дубине до 60m и 32x3mm за дубине до 150m). Уобичајно, то су двоструке U-сонде са завареним стопом (слика 4.14).



Слика 4.14 приказ попречног пресека U-сонди

Цеви сонде су обично направљене од полиетилена (PE-100), материјала који је отпоран на корозију. Због својства материјала, цеви PE-100 морају бити заштићене од камења при чему морају бити у песку, отпорни на температуре до 40°C. Полиетилен-PE је делимично кристални термопласт. Постоје разне врсте овог материјала као што су полиетилен ниске густине (PE-LD), средње густине (PE-MD), и високе густине (PE-HD). Карактеристична особина полиетилена је велика постојаност на хемикалије. Топлотна проводљивост полиетилена ниске густине је 0,33W/mK, док је проводљивост полиетилена високе густине 0,42 -0,51W/mK. Топлотна проводљивост полиетиленских сонди се креће од 0,2-0,4 W/mK, при чему се узима средња вредност од 0,33W/mK. У овом раду ће се узети пример RENAУ-сонде RAUTHERM S, полиетилен (PE-Xa), чија је испитана топлотна проводљивост 0,35 W/mK.

Најмањи дозвољени радијус савијања сонди зависи од температуре (табела 4.2). У сондама, као медијум за пренос топлоте, обично се користе смеша етилен-гликола и воде са садржајем етилен-гликола између 20% и 33%.

	20x1,9	25x3,2	32x3
20°C	40cm	50cm	100cm
10°C	68cm	85cm	160cm
0°C	96cm	125cm	160cm

Табела 4.2 радијус савијања

Димензионисање се врши према потребном расхладном капацитету за топлотну пумпу. Често се за сонде са двоструким U-цевима рачуна са средњим капацитетом топлоте од 55W по једном метру дужине. У VDI 4640 се наводи могући капацитет зависно од својства земљишта.

- Земљиште са током великих подземних вода 100W/m
- Чврсти камен са весоким провођењем топлоте 80W/m
- Чврст камен са обичним земљиштем 55W/m
- Лоше земљиште, суви седимент 30W/m



Слика 4.15 Геотермална сонда

4.4.2. Земни колектор

Земни колектор (слика 4.16) се састоји од система цеви које су постављене на дубини од 1.20 до 1.50m. На тој дубини током целе године влада константна температура од 5 до 15°C. Погодни су за коће са великим двориштем а ефикасност зависи од весте земљишта: што је земљиште влажније ефикасност је већа.



Слика 4.16 Земни колектор

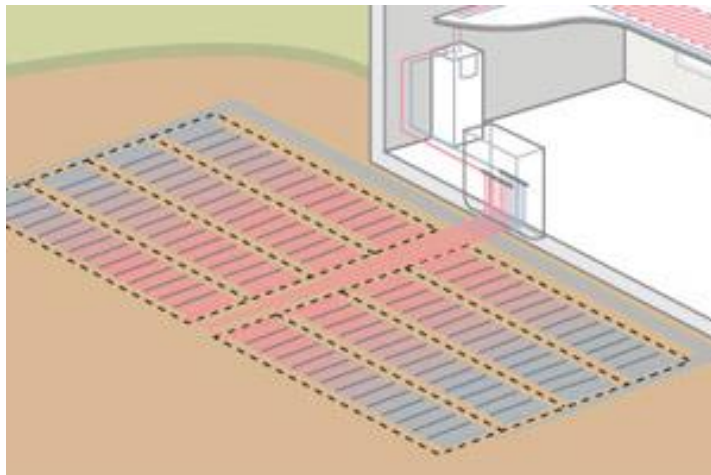
При правилном димензионисању колектора, врло су мали утицаји на околину. Правилно димензионисање је веома важно јер од њега зависи рад топлотне пумпе. Трошкови уградње земног колектора су знатно нижи од уградње геотермалне сонде.

Постављање земног колектора

- Уколико је у питању каменито тло потребно је колектор поставити у песак да не би дошло до оштећења
- Одабрати кругове једнаке величине, при неједнакој дужини потребно је користити регулацијске вентиле
- Сађење биљака се може спроводити нормално-уколико се не ради о дрвећу са дубоким корењем
- Потребно је заштитити саставне елементе од корозије и инсталирати их ван зидова зграде

4.4.3 Компактни колектор

Компактни колектор (слика 4.17) је решење које штеди простор у односу на земни колектор. Користи се за објекте и дворита средње површине. Компактни колектор има исту ефикасност као земни колектор. Састоји се од више колекторских поља које се у тло уграђују водоравно.



Слика 4.17 Компактни колектор

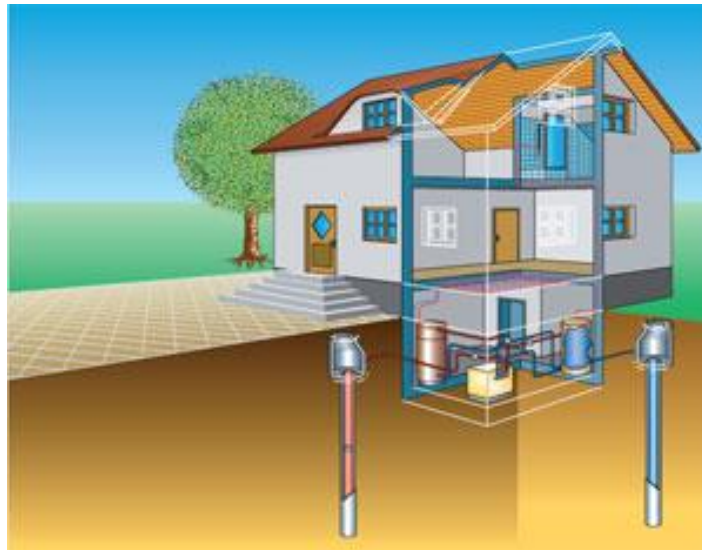
Предност компактнoг колектора у односу на земни је:

- Мање потребног инсталациoног простора
- Могућност мањег ископавања
- Трошкови уградње су доста нижи у односу на геотермалну сонду и земни колектор

4.5 Топлотне пумпе типа вода-вода

Топлотне пумпе вода-вода (слика 4.18) користе топлоту подземне воде као извор топлоте. Пумпе вода-вода су топлотне пумпе велике ефикасности с обзиром да се топлота црпи из воде а вода увек има вишу температуру од земље и ваздуха. Водени ресурси који могу бити искоришћени као извор енергије јесу: реке, језера, мора, подземне воде итд. За овај тип инсталације је потребно избушити две бушотине, једна за уписавање подземне воде, а друга за враћање воде назад у земљу. У случају грејања води која се уписава узима се топлота и након хлађења враћа се у земљу. У случају хлађења процес је обрнут.

Ове топлотне пумпе могу да имају уграђене резервоаре са измењивачима за загревање воде и могу се користити за грејање и хлађење просторија. За извођење ових инсталација неопходне се дозволе локалних власти како се не би уништио екосистем.



Слика 4.18 Топлотна пумпа типа вода-вода

Приликом пројектовања оваквих система потребно је обратити пажњу на следеће:

- Осигурати додатну количину подземних вода
- Максимална количина воде коју је могуће исцрпети и квалитет воде од великог су значаја
- Усисни бунар мора бити постављен у смеру тока подземне воде
- Мора се обезбедити добар квалитет воде

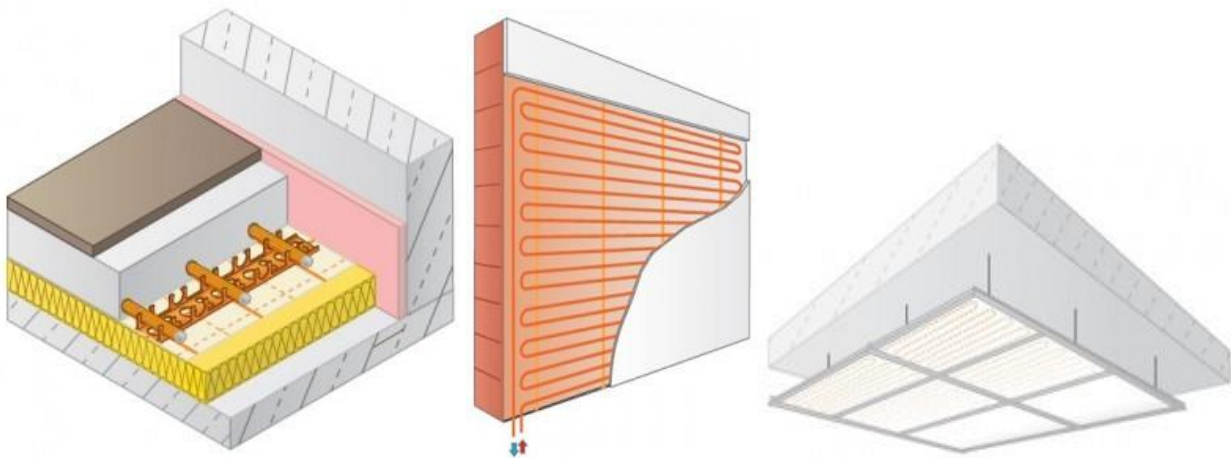
Квалитет подземних вода

Подземне воде су најиздашнији извор акумулиране топлоте, међутим при експлоатацији грејних система са геотемалном водом долази до проблема стварања наслага од тешко растворљивих соли, задржаних зидова елемената, корозије итд. Да би ови процеси могли да се регулишу потребно је познавати састав подземних вода. Предност коришћења подземних вода:

- Врло су ефикасне
- Добро складитеље топлоте, константна температура од 7-12°C и у току хладних дана.

4.6 Инсталација за коришћење топлоте

Топлота која је добијена из геотермалних извора се из топлотне пумпе предаје даље системима за грејање. У ове системе спадају подно, зидно, плафонско грејање и хлађење (слика 5.19).



Слика 4.19 Подно, зидно и плафонско грејање

4.6.1 Подно грејање

Подно грејање је нискотемпературни систем грејања и топлота се преноси преко великих површина са релативно ниским температурама. За разлику од других извора енергије, подно грејање није централно ни концентрисано, већ заузима читаву површину просторије. Пластичне цеви кроз које протиче вода се постављају испод читаве површине пода при чему се просторија равномерно загрева. Температура флуида износи максимално 40-60°C, а у прелазном периоду 25-40°C. Основни услов који би требало испитивати преициком извођења подног грејања је ограничење максималне температуре пода зарад комфора људи на неких 27-29°C.

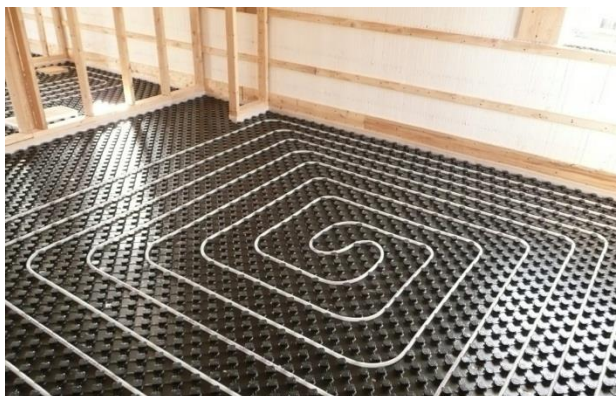
Подно грејање је идеално за употребу код тврдых подова, као што су бетонска плоча, керамичке плочице или камен. Иако постоји више начина израде, подно грејање се може поделити у две групе:

Суво постављање: Цеви се постављају на готове плоче од тврде пене у којима се налазе канали. Изнад цеви је бетонка кошуљица или мермерне плоче.

Мокро постављање: Цеви се постављају директно у бетонску кођуљицу на мокру подлогу. Испод цеви се налази термичка и хидро-изолација.

Цеви које се користе углавном су од пластике, пречника 12-20mm, и могу се поставити у облику змије, спирале и комбиновано.

Хлађење простора помоћу подног грејања није идеално, због саме природе да хладан ваздух остаје у доњој зони.



Слика 4.20 Инсталација подног грејања

4.6.2 Зидно грејање

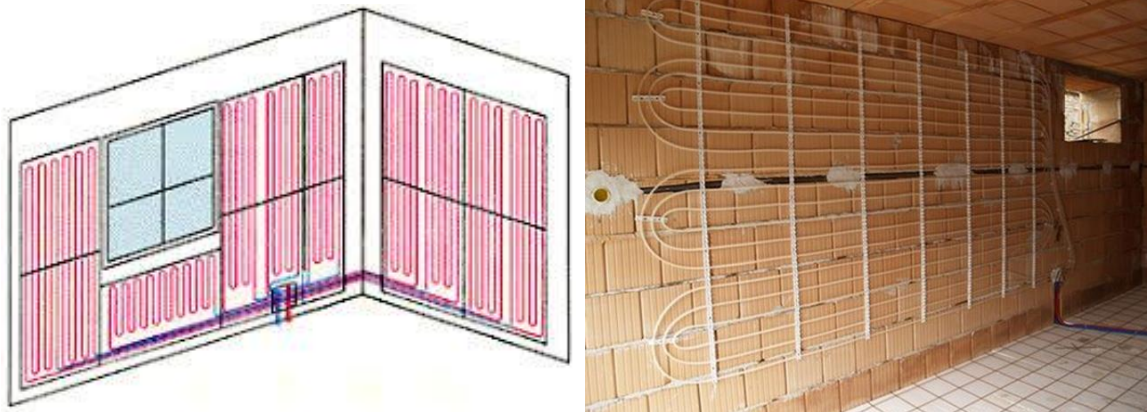
Код зидног грејања (слика 4.21), зидни панели се постављају пре малтерисања у спољне зидове, посебно у парапетима прозора. Испод грејних цеви поставља се изолациона плоча дебљине 6-8cm. Током лета у цевном систему циркулише хладна вода и на тај начин се природно хлади просторија. Ови системи се могу комбиновати са подним грејањем а такође могу грејати објекат и самостално.

Предности зидног грејања:

Уједначенија температура у односу на простор радијаторског грејања

- Невидљива инсталација, не омета изглед просторије
- Водови су унутрашњи, смањена опасност од замрзавања

- Због ниже температуре не долази до подизања прашине



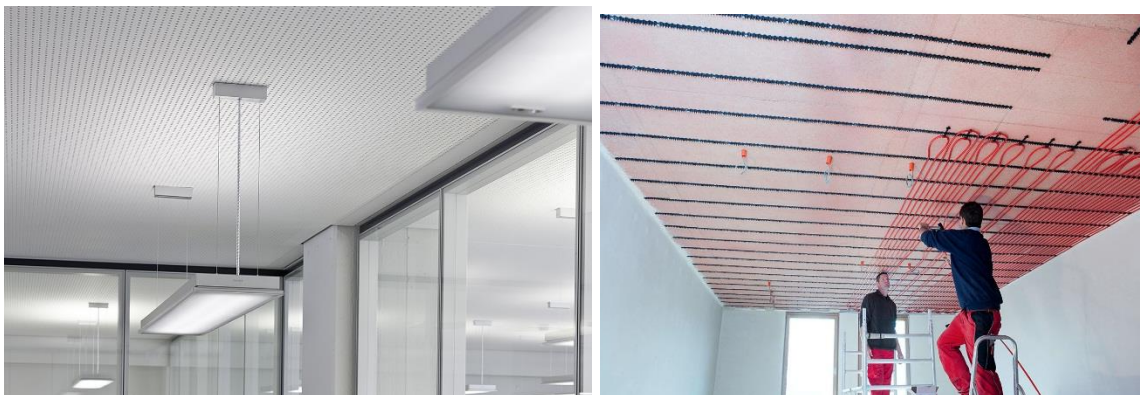
Слика 4.21 Инсталација зидних панела

4.6.3 Плафонски систем за грејање

Панели за плафонско хлађење се постављају на плафон и служе само за хлађење (слика 4.22). Могу се комбиновати са зидним и подним грејањем. Оваквим начином хлађења постиже се максимално пријатан амбијент са природним хлађењем.

Предности плафонског хлађења:

- Најефикаснији систем на тржишту
- Заузима мало места
- Омогућава здраво хлађење
- Тихо и благо хлађење



Слика 4.22 Плафонски панелни систем

5 Економски значај примене геотермалних топлотних пумпи

У Србији је већина геотермалних лежишта са ниском температуром геотермалне воде. Овакав тип омогућава искоришћавање само топлотне енергије. Транспорт топлотне енергије на веће удаљености је скуп, при чему ју је економски оправдано користити само у непосредној близини. Геотермална постројења за производњу електричне енергије захтевају веће инвестиције у односу на она која искоришћавају само топлотну енергију.

Предност оваквог система грејања и хлађења је: – Преко 70 % енергије потребне за грејање простора добија се из подземне воде бесплатно у току целог века експлоатације топлотне пумпе.

Коефицијент грејања је, у ствари, однос између утрошене електричне и добијене обновљиве енергије. На пример, коефицијент 4 значи следеће: За један утрошени киловат час (кЊх) електричне, добијамо 3 кЊх геотермалне енергије. Практично, трошкови грејања смањују се 4 пута.

Цена производње геотермалне енергије зависи од две компоненте:

- Почетних капиталних инвестиционих улагања
- Оперативних трошкова одржавања

Почетни капитални инвестициони трошкови се односе на трошкове везане за развој пројекта (дозволе, истраживања, развој пројекта итд.). Трошкови геотермалног пројекта зависе од локације, температуре у лежишту, састава воде, дубине и других фактора који имају утицај на развој пројекта.

Оперативни трошкови и одржавања се односе на трошкове неопходне за непрекидни рад електрана, и зависни су од локације и карактеристика лежишта. Истраживање ресурса је лоцирање лежишта са потенцијалом за производњу електричне или топлотне енергије. Бушотина је најскупљи део истраживања међутим то је једини начин за утврђивање температуре и капацитета ресурса. Трошкови бушења највише зависе од карактеристике лежишта, а дубина лежишта је један од најважнијих параметара при прорачуну трошкова. Овај фактор директно утиче на време бушења, као и на пречник и број потребних цеви.

6 Предности коришћења геотермалне енергије

Опште предности:

1. Добијање геотермалне енергије је добро за животну средину.
Геотермална енергија користи топлоту из земље, без сагоревања фосилних горива, а геотермална поља немају емисију.
2. Геотермална енергија је поуздани извор обновљиве енергије.
Геотермална енергија има многе предности у поређењу са другим обновљивим изворима као што су соларна енергија, ветар или биомаса. То је константан извор енергије, што значи да не зависи ни од ветра ни од сунца и доступних током целе године.
3. Висока ефикасност геотермалних система.
У току радног века топлотне пумпе добија се преко 70% бесплатне енергије за грејање простора. Системи геотермалне топлотне пумпе користе 25 до 50% мање струје од конвенционалних система за грејање или хлађење.
4. Готово да нема одржавња геотермалних система.
Због чињенице да геотермални системи имају само неколико покретних делова који су смештени унутар зграде, животни век геотермалних топлотних пумпи је релативно висок. Цеви за топлотну пумпу чак имају гаранције од 25 до 50 година, док пумпа може трајати најмање 20 година.
5. Топлотна пумпа за грејање или хлађење се укључује на почетку грејне сезоне, а искључује на крају. Тима се постиже најбољи енергетски ефекат и простор је загрејан по жељеној температури током целог периода.
6. Подно и зидно грејање са топлотном пумпом омогућава рационалније коришћење простора за разлику од других система који подразумевају нпр. уградњу радијатора. Угодна температура од 22-27°C не изазива никакве здравствене проблеме и повећава угодност.
7. Овакви геотермални системи могу снабдевати топлотном енергијом разне врсте потрошача. То могу бити приватни или пословни објекти повезани у јединству мрежу.

7 Прорачун- количина топлоте у апсорберу и кондензатору

Земља-вода

$$Kc = \frac{1}{\frac{1}{d_1 \pi h_1} + \frac{1}{2\pi K} \ln \frac{d_2}{d_1}} \quad (8) \quad (\text{Коефицијент прелаза топлоте по метру дужне цеви})$$

$$Kc = 14.03 \frac{W}{mK}$$

$$Qd = Lc K (tzem - tw) \quad (9) \quad (\text{Количина топлоте доведена испаривачу})$$

$$Qo = A hgr (tpod - tdob) \quad (10) \quad (\text{Количина топлоте одведена од кондензатора})$$

$$|Qo| - Qd = |Lk| \quad (11)$$

Где су:

$$h_1 = 800 \frac{W}{m^2K} \quad (\text{Прелаз топлоте са воде на полиетиленске цеви})$$

$$Kpe = 0.5 \frac{W}{mK} \quad (\text{Топлотна проводљивост полиетиленске цеви})$$

$$hgr = 10 \frac{W}{m^2K} \quad (\text{Прелаз топлоте са пода на ваздух})$$

$$d_1 = 30mm \quad (\text{Унутрашњи пречник полиетиленске цеви})$$

$$d_2 = 36mm \quad (\text{Спољашњи пречник полиетиленске цеви})$$

$$tpod = 25^\circ C \quad (\text{Температура пода грејног простора})$$

$$tsob = 20^\circ C \quad (\text{Температура собе})$$

$$tzem = 14^\circ C \quad (\text{Температура земље})$$

$$tw = 12^\circ C \quad (\text{Температура воде})$$

$$Lc = 120m, 100m, 80m, 60m \quad (\text{Дубине полиетиленских цеви})$$

Lc (m)	tzem (°C)	tw (°C)	Qd (W)	Qo (W)	Lk (W)
120	14	12	3367.2	4000	632.8
100	14	12	2806	4000	1194
80	14	12	2244.8	4000	1755.2
60	14	12	1683.6	4000	2316.4

Табела 7.1

Вода-вода

$$Kw = \frac{1}{\frac{1}{d_1 \pi h_1} + \frac{1}{d_2 \pi h_2} + \frac{1}{2 \pi K c} \ln \frac{d_2}{d_1}} \quad (12) \text{ (Коефицијент прелаза топлоте)}$$

$$Qd = Ac Kw (tw - tisp) \quad (13) \text{ (Количина топлоте доведена испаривачу)}$$

$$Qo = A hgr (tpod - tsob) \quad (14) \text{ (Количина топлоте одведена од кондензатора)}$$

$$|Qo| - Qd = |Lk| \quad (15)$$

Где су:

$$Ac = 2m^2 \quad (\text{Површина грејног тела})$$

$$A = 80m^2 \quad (\text{Површина грејног простора})$$

$$h_1 = 800 \frac{W}{m^2 K} \quad (\text{Прелаз топлоте са стране воде})$$

$$h_2 = 1000 \frac{W}{m^2 K} \quad (\text{Прелаз топлоте са стране радног флуида})$$

$$hgr = 10 \frac{W}{m^2 K} \quad (\text{Прелаз топлоте са пода на ваздух})$$

$$d_1 = 30mm \quad (\text{Унутрашњи пречник цеви размењивача испаривача})$$

$$d_2 = 36mm \quad (\text{Спољашњи пречник цеви размењивача испаривача})$$

$$tpod = 25^\circ C \quad (\text{Температура пода грејног простора})$$

$$tsob = 20^\circ C \quad (\text{Температура собе})$$

$$tisp = 5^\circ C \quad (\text{Температура испаривача})$$

$$tw = 12^\circ C \quad (\text{Температура воде})$$

$$Kw = 45.35 \frac{W}{mK}$$

Ac (m ²)	tisp (°C)	tvod (°C)	Qd (W)	Qo (W)	Lk (W)
2	5	12	634.9	4000	3365.1
4	5	12	1269.8	4000	2730.2
6	5	12	1904.7	4000	2095.3
8	5	12	2539.6	4000	1460.4

Табела 7.2

8 Закључак

Примена геотермалне енергије данас представља један од значајних сегмената енергетске и енергетско-еколошке стратегије развијених земаља. У многим државама се чине значајни напори на заустављању производње енергије из фосилних горива због све већег садржаја штетних гасова у атмосфери и због све мањих резерви нафте.

Наша земља по геотермалном потенцијалу спада у богатије земље, међутим геотермална енергија се користи само са 86MW. Најбоља примена геотермалне енергије је тзв. директно коришћење, односно, у зависности од температуре флуида на извору, ово коришћење може да се примени за грејање разних стамбених и индустријских објеката, као и читавих насеља, развоја аграра и туризма. За грејање и хлађење објеката данас се користе системи са геотермалном топлотном пумпом. Као извор топлоте овоквих система користе се нискотемпературне воде, температуре испод 20°C.

Поред свих предности, не треба се заборавити еколошки значај ове врсте грејања тзв. „грејање без димњака“ јер се на тај начин смањује емисија гасова који доводе до глобалног загревања Земље, чиме се чува животна средина.

9 Литература

- [1] В. Шуштершич, М. Бабић, „Геотермална енергије“, Машински факултете у Крагујевцу 2009.
- [2] <https://www.energy.gov/eere/geothermal/low-temperature-coproduced-resources>
- [3] <https://www.energetskiportal.rs/obnovljivi-izvori-energije/geotermalna-energija/>
- [4] С. Видовић, „Историјат производње и пласмана геотермалне енергије у Војводини“ презентација, Нови Сад
- [5] З. Шимић, Д. Шљивац, „Обновљиви извори енергије“, Загреб 2008, <http://oie.mingorp.hr/UserDocsImages/OIE%20Tekst.pdf>
- [6] <https://klimauredjaji.com/toplotne-pumpe>
- [7] „Energy net .d.o.o” интерна документација, <https://www.energynet.rs/>