

**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: 79/2009

Марко М. Николић

Грејање топлотном пумпом

Завршни рад

Комисија за преглед и одбрану:

1. Проф. др Небојша Лукић – ментор

2. _____

Датум одбране: _____

3. _____

Оцена: _____

У оквиру овог завршног рада кандидат треба да проучи препоручену, као и ширу литературу која се односи на грејање топлотним пумпама, кренувши од опште сврхе грејања, преко геотермалне енергије до врсте и принципа рада топлотних пумпи. На бази усвојеног знања кандидат треба да обради основне типове топлотних пумпи, принцип рада система са топлотним пумпама као и сами принцип рада топлотне пумпе и саму примену топлотних пумпи.

Препоручена литература:

- [1] Б.Тодоровић: *Пројектовање постројења за централно грејање*, Машински факултет у Београду, 2005.
- [2] Вања Шуштершич, Милун Бабић: *Геотермална енергија, енергија природних и вештачких извора топле воде*, Машински факултет у Крагујевцу, 2009.

Крагујевац, Октобар 2014.год.

Ментор:

Проф. др Небојша Лукић,
редовни професор

РЕЗИМЕ

Завршни рад је посвећен упознавању топлотних пумпи, које служе за добијање топлоте у грејној сезони, а могу да служе и као расхладне машине у летњим месецима када је потребно вршити расхлађивање простора. Говори се о општем делу грејања, геотермалној енергији и геотермалним изворима, као и о начинима примене геотермалне енергије и о топлотним пумпама. У делу везаном за топлотне пумпе обрађени су типови топлотних пумпи, принцип рада система са топлотним пумпама, као и сам принцип рада топлотних пумпи и њихова примена у Е.У.

Кључне речи: Грејање, Геотермална енергија, Топлотна пумпа.

ABSTRACT

The final study is dedicated to elaborating heat pumps, which are used for obtaining heat during the heating season, and can serve as the chillers in the summer months when it is necessary to carry out cooling of the area. Discussion is about the general part of the heating system, geothermal energy and geothermal sources, as well as about the ways of using geothermal energy and the heat pumps. In the part related to the heat pumps are processed types of heat pumps, the principle of the system with heat pumps, and the operational principle of heat pumps are being elaborated as well as their application in E.U.

Keywords: Heating, Geothermal energy, The heat pump.

САДРЖАЈ:

РЕЗИМЕ.....	4
ABSTRACT.....	4
САДРЖАЈ:.....	5
УВОД.....	6
1 ОПШТИ ДЕО - ГРЕЈАЊЕ	7
1.1 Сврха грејања	7
1.2 Захтеви који се постављају грејању	8
1.3 Подела грејних постројења	8
2 ГЕОТЕРМАЛНА ЕНЕРГИЈА	9
3 ГЕОТЕРМАЛНИ ИЗВОРИ	11
4 НАЧИН ПРИМЕНЕ ГЕОТЕРМАЛНЕ ЕНЕРГИЈЕ	12
5 ТОПЛОТНЕ ПУМПЕ.....	13
5.1 Системи постављања топлотних пумпи	14
5.2 Принцип рада система са топлотним пумпама	15
5.3 Принцип рада топлотне пумпе	17
5.4 Типови топлотних пумпи	20
5.4.1 Топлотна пумпа типа ЗЕМЉА – ВОДА	21
5.4.2 Топлотна пумпа типа ВАЗДУХ – ВОДА	23
5.4.3 Топлотна пумпа типа ВОДА – ВОДА	24
5.5 Извори топлоте за топлотне пумпе	25
5.6 Уштеда енергије и новца употребом топлотних пумпи	26
5.7 Фактор грејања топлотне пумпе	27
6 МОГУЋНОСТ ПРИМЕНЕ ТОПЛОТНЕ ПУМПЕ ЗА ЗАГРЕВАЊЕ СТАМБЕНИХ ОБЈЕКТА	28
7 ПРИМЕНА ТОПЛОТНИХ ПУМПИ У ЕУ	32
ЗАКЉУЧАК.....	34
ЛИТЕРАТУРА.....	35

УВОД

Велики број анализа које су до сада вршене код нас и у свету указују на чињеницу да се једна трећина укупне потрошње примарне енергије односи на нискотемпературне режиме за загревање простора, где радне температуре не прелазе 90°C. Због сталног повећања цене енергената неопходно је наћи решења за коришћење уређаја који својом потрошњом и ефикасношћу задовољавају модерне трендове, снижавања експлоатационих трошкова и заштите човекове околине.

Једно од решења, које се може користити на овим просторима уз делимично коришћење обновљивих извора енергије је топлотна пумпа.

Топлотна пумпа је уређај који од околине одузима топлоту и одаје исту на вишим температурама у систему за грејање. Уз помоћ топлотне пумпе могуће је, да се уложеним радом у кружном процесу, одузме топлота од околине да би се иста, затим, на вишем температурном нивоу, користила за грејање при чему је количина топлоте многоструко већа од топлотног еквивалента утрошеног рада тј. електричне енергије [2].

Економичност топлотне пумпе се огледа пре свега у што већем фактору грејања који подразумева однос добијене енергије према уложеној.

1 ОПШТИ ДЕО - ГРЕЈАЊЕ

Грејање је процес у коме физички систем прима топлотну енергију. По Другом закону Термодинамике топлотна енергија се увек преноси са топлијег на хладније тело, никад обрнуто. И то је могуће остварити на три начина:

- кондукција - провођење топлоте или кондукција је у суштини процес размене топлотне енергије између елементарних материјалних честица;
- конвекција - у суштини конвекција подразумева размену топлоте кретањем флуидних делића али и уз истовремено провођење топлоте (кондукцију) између њих. Утицај кретања флуидних делића је од знатно већег значаја на конвекцију од увек присутних ефеката провођења топлоте кроз флуид;
- радијација (зрачење) - пренос топлоте зрачењем се за разлику од кондукције и конвекције одвија и кроз нематеријалну средину (вакум), а на тај начин нам долази сва енергија са Сунца [1].

За потребе грејања у пракси се користи низ различитих термотехничких уређаја и система.

1.1 Сврха грејања

У овом веку енергија је веома скупа, као и енергенти. Из тог разлога се озбиљније приступа планирању потрошње енергије. Уштеда енергије добија све већи значај, па се и начини грејања помно проучавају.

Сврха грејања је да загреје просторију у којој се зими борави. Тачније речено, задатак грејања се састоји у томе да се губитак топлоте људског тела регулише загревањем околине тако да настане топлотна равнотежа између човечијег тела и његове околине и да се човек топлотно-физиолошки угодно осећа.

Фактори који утичу на угодност, осим одеће, нарочито су температуре ваздуха, средња температура зида, влажност ваздуха, кретање ваздуха и чистоћа ваздуха. Грејање има утицај на само два од ових пет фактора, наиме на температуре ваздуха и средњу температуру зидова (укључујући и грејна тела), тако да ова два фактора дефинишу заједнички појам осетне температуре. Остали фактори могу се регулисати само помоћу клима-уређаја који могу да се назову најсавршенијим техничким средством за постизање угодне климе у просторијама [1].

1.2 Захтеви који се постављају грејању

1. Осетна температура у загрејаној просторији (средња температура ваздуха и средње температуре зида) треба да буде, по могућности, вертикално и хоризонтално равномерна и то око 20 °C до 22 °C, са одступањем од око ± 1 °C. При томе се успоставља трајна равнотежа између телесне топлоте, настале услед сагоревања хране и активности мишића, и одавања топлоте околини.

2. Грејање треба да буде подешавајуће, тј. да осетна температура може да се измени у извесним границама и то према жељи појединаца. Регулисање при томе треба да буде по могућности са што мање напора, тј. да буде брзо, нарочито би требало да се просторија што пре загреје.

3. Квалитет ваздуха у просторији не би требало да се погорша услед грејања, нарочито не треба да дође до појаве прашине, штетних гасова и испаравања, а такође не треба да се појаве шумови који изазивају сметње, као ни промаја. Грејна тела треба лако да се чисте.

4. Грејање би требало да буде јефтино у испоруци и уграђивању опреме као и погону. Још не постоји грејање које би могло да задовољи све наведене захтеве. Сва данашња грејања почев од прастаре каминске ватре до савременог зрачећег грејања, имају своје предности и недостатке. Која ће се врста грејања одабрати у појединим случајевима, зависи од многих фактора које треба узети у обзир, на пример: врсте грађевинског објекта, века коришћења, броја особа и њихове одеће, врсте горива као и трошкова постројења и погона итд. [1].

1.3 Подела грејних постројења

- Према положају произвођача топлоте:

- Појединачно,
- Централно,
- Даљинско грејање.

- Према врсти горива:

- Грејање на угаљ,
- Гас,
- Уље,
- Електрично,
- Соларно,
- Грејање топлотним пумпама.

- Према носиоцу топлоте:

- Топловодно,
- Вреловодно,
- Парно,
- Ваздушно грејање.

- Према начину одавања топлоте:

- Конвективно,
- Зрачеће,
- Комбиновано грејање.

2 ГЕОТЕРМАЛНА ЕНЕРГИЈА

Геотермална енергија у Земљи води порекло још од настанка наше планете пре 4,6 милијарди година што је утврђено временом полураспада урана (U^{238}) и торијума (Th^{232}). Време полураспада U^{238} је $4,51 \cdot 10^9$ година, Th^{232} а је $1,39 \cdot 10^{10}$ година.

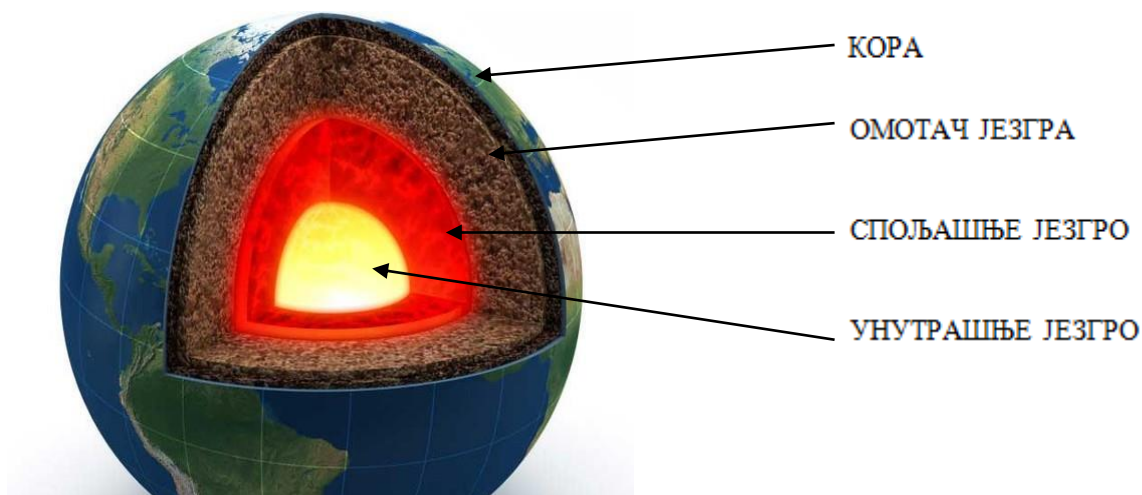
Земља је настала од облака свемирске прашине (протопланетарна хипотеза) (Слика 1). Данашњим технологијама је утврђено да ти облаци постоје у свемиру. Ова хипотеза даље објашњава да је приликом сударања ситних честица облака долазило до сабијања и груписања материје што је за последицу имало повећање температуре тако да је Земља првобитно имала облик усијане лопте. Временом се хладила, трпела знатне промене и дошла до стадијума у коме се данас налази (формирала атмосферу, воду у течном стању итд.) [2].



Слика 1. Космичка прашина [2]

Грађа Земље је изузетно сложена. По хемијском саставу, највећим делом је изграђена од гвожђа (32,1 %), кисеоника (30,1 %), силицијума (15,1 %), магнезијума (13,9 %), сумпора (2,9 %), никла (1,8 %), калцијума (1,5 %), алуминијума (1,4 %), док преосталих 1,2 % чине остали елементи у траговима.

Ови хемијски елементи учествују у изградњи три основна слоја од којих је Земља састављена. То су: кора, омотач језгра и језгро (спољашње, унутрашње) (Слика 2).



Слика 2. Грађа Земље [2]

Због стања у коме се језгро налази (изразито високе температуре које се крећу у границама од 4000 °C до 7000 °C) долази до термо - нуклеарних реакција и на тај начин се топлота непрестано обнавља (генерише) и ослобађа. Ослобођена топлота простире се према површини Земље кондукцијом (провођењем), конвекцијом (прелазом) и зрачењем (радијацијом).

Преношење топлоте „на горе“ доводи и до померања тектонских плоча што у неким случајевима може довести до тога да магма пронађе пут до површине. Тада се јављају вулкани (Слика 3), а магма која при том излази из вулкана се назива лава. Међутим, много чешћи случај је да магма не долази до површине, већ се крећући ка површини охлади и пре него што стигне до површине. На тај начин учествује у изградњи новог слоја земље [2].



Слика 3. Вулкан Попокатепетл у Мексику [2]

Са друге стране топлота која се ослобађа у језгру не може да стигне до површине у стопроцентном износу. На површину стигне само један мали део те енергије, што значи да ни температуре нису исте на различитим дубинама. Ако идемо од језгра ка површини температура по 1 km опадне у просеку од 17 – 30 °C, што значи да, ако идемо од површине Земље ка њеној унутрашњости, та температура расте у просеку од 17 – 30 °C/km дубине.

Када се говори о геотермалној енергији мисли се на искоришћење топлоте коју поседује Земља (*geo* – *земља*; *thermal* – *топлота*). Али под геотермалном енергијом не мисли се на топлоту која долази до површине путем кондукције, конвекције и зрачења, већ се мисли на топлотну енергију коју стене Земљине коре акумулирају, а која им долази од језгра.

3 ГЕОТЕРМАЛНИ ИЗВОРИ

Све геотермалне изворе можемо поделити на неколико начина:

1. Према степену истражености и доказаности:

- утврђене,
 - ⇒ билансне (које су исплативе за искоришћење до сада познатим техничким средствима),
 - ⇒ ванбилансне (које још увек нису исплативе или се не могу експлоатисати постојећим техничким средствима),
- потенцијалне.

2. Према врсти геотермалних лежишта:

- са природним улазом и природним излазом,
- са природним улазом и вештачким излазом,
- са вештачким улазом и вештачким излазом.

3. Према термодинамичким и хидролошким својствима:

- хидро – геотермалне изворе вруће воде,
- хидро – геотермалне изворе суве водене паре,
- хидро – геотермалне изворе вреле воде на великим дубинама,
- петро – термичке изворе;
- суве и вреле стене на великим дубинама.

4. Према температури воде или паре у изворима (лежиштима)

- нискотемпературни (90 – 150 °C),
- средњетемпературни (90 - 225 °C),
- високотемпературни извори (250 – 225 °C).

4 НАЧИН ПРИМЕНЕ ГЕОТЕРМАЛНЕ ЕНЕРГИЈЕ

Производња електричне енергије је најважнији начин искоришћавања високо температурних геотермалних извора ($>150^{\circ}\text{C}$), док се ниско и средње температурни геотермални извори најчешће користе директно или се примењују топлотне пумпе (Табела 1).

Табела 1. Приказ коришћења геотермалне енергије у функцији температуре [2]

ПРИМЕНА	ТЕМПЕРАТУРА ($^{\circ}\text{C}$)
Топлотне пумпе	4 - 38
Директна примена	38 - 150
Производња електричне енергије	>150

Кад је у питању директна употреба геотермалне енергије најчешћи облици примене су:

- грејање и хлађење простора,
- примена топлотних пумпи (подижу топлоту ниско температурним геотермалним водама),
- употреба у стакленичкој производњи воћа и поврћа,
- грејање базена и примена у балнеологији,
- индустријска употреба и процеси сушења,
- аквакултура (грејање базена за узгој рибе).

5 ТОПЛОТНЕ ПУМПЕ

Топлотна пумпа (Слика 4) представља врло ефикасно решење за уштеду електричне енергије при добијању топлоте као финалног вида енергије. Осим добијања топлоте у грејној сезони, топлотне пумпе служе и као расхладне машине у летњим месецима када је потребно вршити расхлађивање простора. Постоји више различитих техничких система који користе топлотне пумпе за добијање топлоте. Разлике се односе, углавном, на извор ниско температурне топлоте, његов температурни ниво, на врсту корисника (индустрија, домаћинства, трговина итд.). Примена топлотних пумпи се у Европској унији веома подстиче. Тренутно се у овој асоцијацији европских држава користи 356.000 топлотних пумпи које имају инсталирани капацитет од 2,8 GW [2].



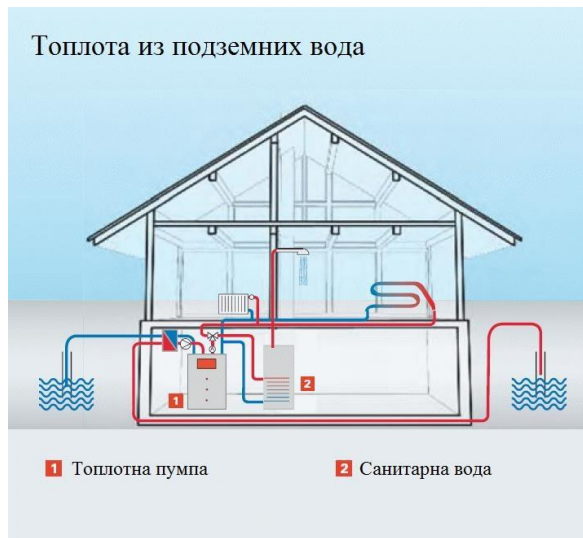
Слика 4. Приказ топлотне пумпе [4]

Топлотне пумпе постижу изузетно високу ефикасност у трансферу топлотне енергије. Ова ефикасност се огледа у томе што се, када се примене савремена техничка решења, са једним ангажованим kW електричне енергије добија на излазу 4 - 5 kW при грејању (хлађењу).

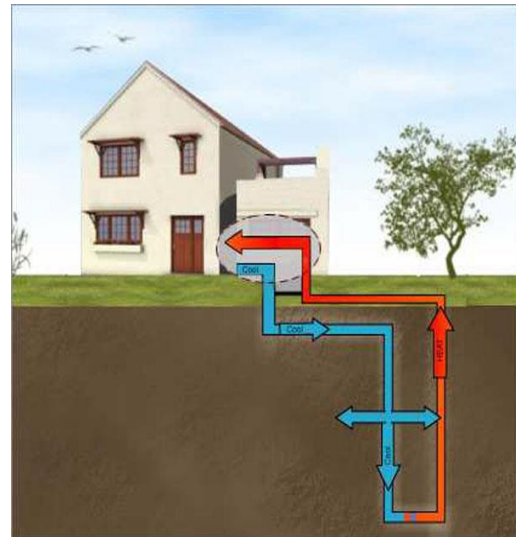
5.1 Системи постављања топлотних пумпи

Постоје два основна система постављања топлотних пумпи:

- ОТВОРЕНИ СИСТЕМ (Слика 5),
- ЗАТВОРЕНИ СИСТЕМ (Слика 6).



Слика 5. Отворен систем [4]



Слика 6. Затворен систем [4]

Топлотне пумпе отвореног типа су пумпе код којих се топлота потребна за „дизање“ температуре радног флуида узима из неког извора, али се тај „искоришћени“ флуид не враћа на место где је узет него се разводним (цевним) системом избацује на неко друго место. Пример такве топлотне пумпе је пумпа која користи бунарску воду. Бунар у коме се налази вода се пумпа до топлотне пумпе где се у размењивачу топлоте (испаривачу) размењује топлота са расхладним флуидом и када се та топлота размени, бунарска вода се шаље системом не назад у бунар, него на друго место (нпр. река).

Топлотне пумпе затвореног типа су пумпе код којих се топлота потреба за „дизање“ температуре радног флуида узима из неког извора (нпр земља), али се флуид који струји кроз цевни систем који је постављен у земљи - искоришћени флуид враћа на место где је узет. Пример такве топлотне пумпе је пумпа земља – вода. У земљу се спушта специјална цев кроз коју струји флуид (то је обично комбинација вода или етилен – гликол; антифриз) али тако да он ту цев не напушта. Када узме топлоту из земље флуид иде до испаривача где предаје топлоту радном флуиду, на тај начин се флуид хлади и враћа у земљу. Код затвореног система, дакле, флуид кроз специјалну цев са спољне стране система (у земљи) циркулише у круг [4].

5.2 Принцип рада система са топлотним пумпама

На слици је приказан принцип рада постројења са топлотном пумпом (Слика 7).



Слика 7. Кретање топлотне енергије од извора до потрошача [6]

Цело постројење се састоји из три сегмента и функционише на следећи начин:

Први сегмент чине елементи (цеви са пумпом - плава боја) који су смештени напољу (цеви које се налазе у земљи и које узимају топлоту). Други сегмент чине елементи (цеви са пумпом - црвена боја) које топлоту транспортују ка потрошачима тј. корисницима топлоте (то су цеви смештене у објекту у комбинацији најчешће са подним, зидним, плафонским грејањем, FEN – COIL итд.). Трећи сегмент чини сама топлотна пума са својим елементима.

Оно што је битно напоменути је да се код топлотних пумпи ради о затвореном систему грејања – флуид не напушта цевни систем. Такође је веома битно напоменути да кроз сваки од ових сегмената протиче засебан флуид – нема мешања (струје одвојено). Кроз први сегмент креће се један флуид (то су течности које могу да поднесу ниске температуре, а да не дође до мржњења – нпр. вода - антифриз), кроз други сегмент креће се други флуид - вода, кроз трећи сегмент (топлотну пумпу) креће се радни флуид [6].

Са порастом дубине, температура расте, тј. на одређеним дубинама она достиже константне вредности током целе године. Било да се ради о хоризонталној или вертикалној шеми принцип је исти. Кроз спољашњи цевни систем (први сегмент) струји први флуид – антифриз, а кроз унутрашњи цевни систем (други сегмент) други флуид - вода. Вода се користи јер има велику специфичну топлоту. Цеви су израђене тако да површина контакта цеви и земље буде што је могуће већа (што је контактна површина већа, већа је и површина за размену топлоте – више се топлоте размени).

Ово се може описати једноставним математичким релацијама:

$$Q = \dot{m} \cdot c_{mv} \cdot \Delta T = \dot{m} \cdot c_m \cdot (T_u - T_i) \quad (1)$$

где је:

$\dot{m}$ - масени проток воде [kg/s],

c_{mv} - специфична топлота воде ($c_{mv} = 4,19 \text{ kJ/kgK}$),

ΔT - средња температурна разлика,

T_u - улазна температура флуида (воде) [K],

T_i - излазна температура (земље) [K],

Q - количина топлоте коју вода носи (топлотни проток) [W].

Други образац који се користи је:

$$Q = K \cdot A \cdot \Delta T \quad (2)$$

где је:

K – коефицијент пролаза топлоте (кондукција + конвекција) [$\text{W/m}^2\text{K}$],

A – површина контакта [m^2],

Како је температура земље већа у односу на температуру флуида у цевима, на основу Другог закона Термодинамике долази до размене топлоте између земље и флуида. Количина топлоте која се том приликом размени биће једнака изразу (2) где K (коефицијент пролаза) укључује кондукцију кроз земљу, кондукцију кроз цев и конвекцију са цеви на флуид (овде се занемарује конвекција услед зазора за убацивање цеви у земљу). Закључак, флуид се загрева и као такав иде до топлотне пумпе. Када стигне до топлотне пумпе, како сада тај флуид има вишу температуру од радног флуида топлотне пумпе, поново, на основу Другог закона Термодинамике, доћи ће до размене између антифриза и радног флуида тако да ће се сада примарни флуид охладити и као такав, поново послати у земљу на поновно загревање. Цео систем са спољашње стране (назвали смо га први сегмент) функционише захваљујући циркулационој пумпи која обезбеђује да се врши кретање воде без прекида ради непрестаног понављања Другог закона Термодинамике.

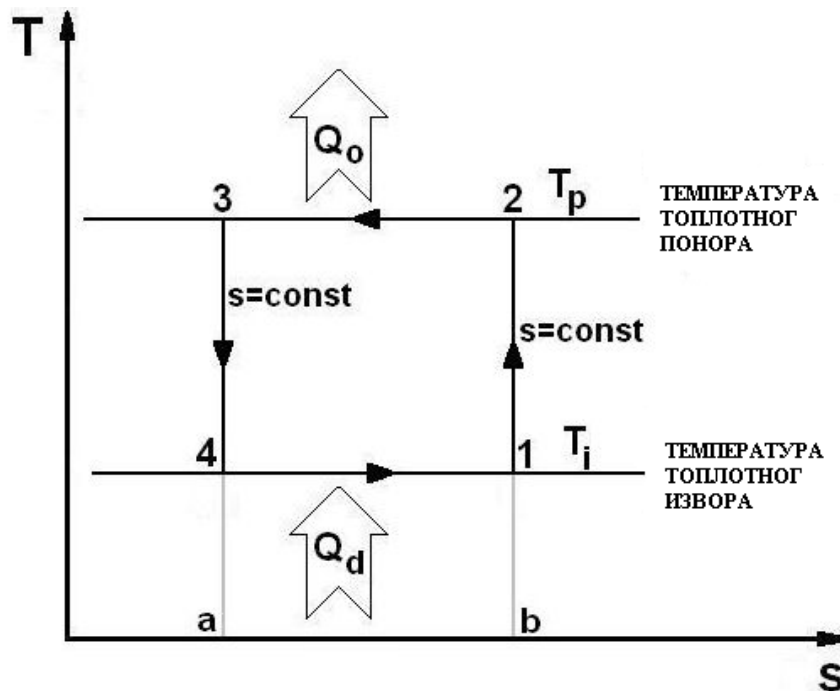
Када примарни флуид дође до топлотне пумпе, он предаје своју топлоту топлотној пумпи (Други закон Термодинамике) и шаље се назад у земљу. У топлотној пумпи радни флуид обавља своју улогу и потом загрева воду која кружи у другом сегменту (ка потрошачима). Захваљујући процесу у топлотној пумпи који обавља радни флуид, вода која кружи кроз објекат има довољну температуру да загреје просторије и објекат (обезбеди комфор људима који бораве у тим просторијама) [5].

Вода која кружи у другом сегменту помоћу друге циркулационе пумпе узима топлоту од радног флуида и транспортује ту топлоту до потрошача. Овај циклус се завршава сегментима (елементима) попут подних цеви, зидних, FEN – COIL итд. Елементи имају за задатак да размене (предају) топлоту просторији кондукцијом, конвекцијом, зрачењем, и да је на тај начин доведу до жељене температуре. Када елементи за грејање просторија предају топлоту просторији, вода се враћа поново ка топлотној пумпи како би узела нову количину топлоте коју ће потом поново предати просторији [6].

5.3 Принцип рада топлотне пумпе

У предходном поглављу је било речи о читавом систему како функционише. Тачније, било је речи о томе шта се дешава пре и после топлотне пумпе, али није било речи у вези са самом топлотном пумпом и процесима који се у њој одвијају, а који омогућавају функционисање читавог система. Дакле, оно што се одвија у топлотној пумпи је најважије у читавом постројењу (захваљујући њој, и процесима у њој, могуће је загрејати и охладити просторију).

Да би се у неком топлотном апарату из топлотне енергије добио рад или се уз помоћ рада обавио пренос топлоте од једног предмета или простора другом, неопходно је да радни флуид који се налази у топлотном апарату пролази кроз такозвани кружни процес. Кружним процесом се сматра онај код кога се радни флуид након неколико узастопних промена стања враћа у почетно. У зависности од начина приказивања промене радног флуида на дијаграмима разликујемо деснокретне и левокретне процесе. За топлотне пумпе референтан је левокретни кружни циклус. Такође битно је нагласити да се разликују левокретни кружни циклус коме је основи задатак остварити грејање (топлотна пумпа) и онај коме је примарни задатак остварити хлађење (расхладни уређај). Ако су промене стања радног флуида равнотежне и истовремено и повратне, тј. без механичких губитака, тада се постиже највећи могући топлотни фактор грејања за посматрани циклус. Такав циклус је могуће само теоријски замислити и назива се идеални Карнотов циклус и он нам служи као референтан за оцену ефикасности свих осталих циклуса. Идеални левокретни Карнотов циклус приказан је на слици 8. [3].



Слика 8. Карнотов левокретни циклус са идеалним гасом (T - s дијаграм) [3]

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 8. 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. Ефикасност се увек одређује као однос онога што смо добили са оним што смо уложили. Код расхладних циклуса 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:

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

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:

$$\varepsilon_h = \frac{|Q_o|}{|L_k|} = \frac{|Q_o|}{|Q_o| - Q_d} \quad (4)$$

Посматрајући слику 8. која описује Карнотов левокретни циклус са идеалним гасом можемо уочити да се радни флуид (идеалан гас) се 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 nižем 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 [3].

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 8.

$$q_d = T_i(s_1 - s_4) \quad (5)$$

$$|q_o| = T_p(s_2 - s_3) \quad (6)$$

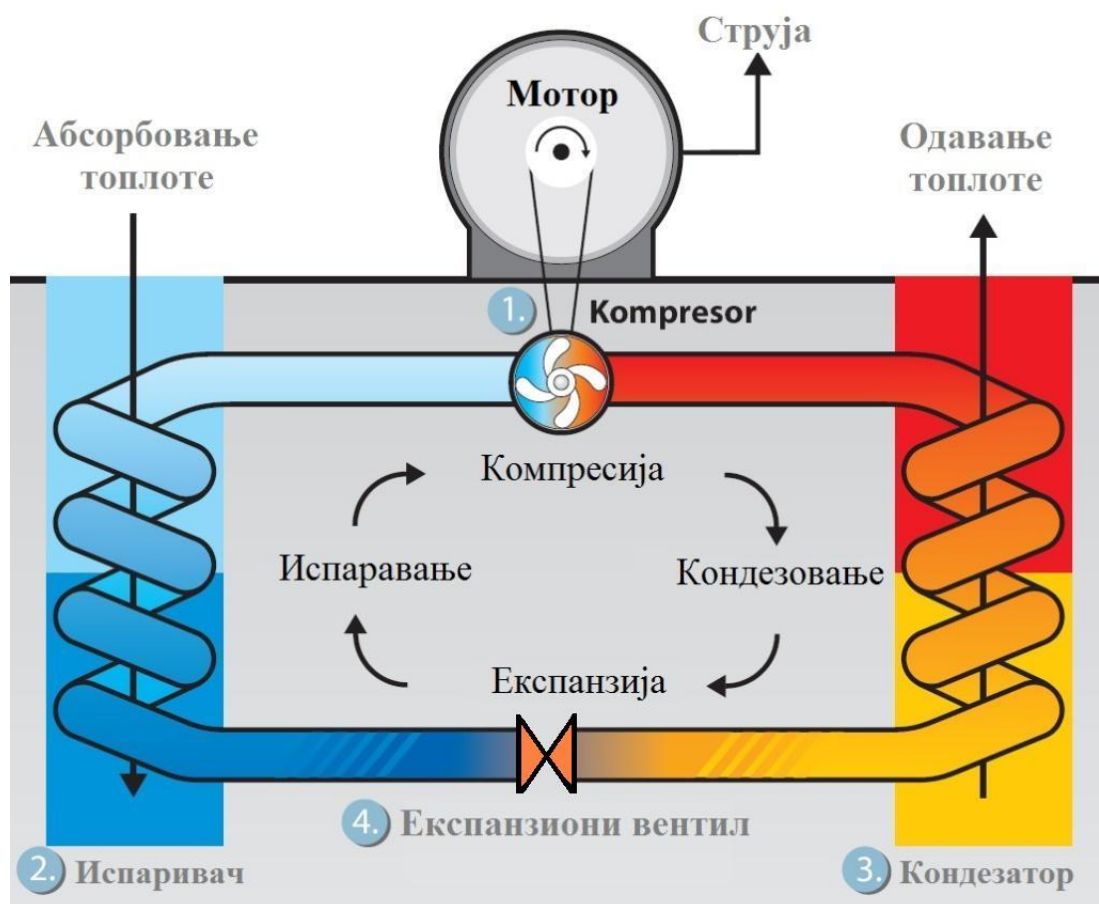
Из једначина (3), (5) и (6) се лако може израчунати фактор хлађења Карнотовог левокретног циклуса као:

$$\varepsilon_h = \frac{Q_d}{|Q_o| - Q_d} = \frac{T_i(s_1 - s_4)}{(T_p - T_i)(s_2 - s_3)} = \frac{T_p}{T_p - T_i} \quad (7)$$

Из једначина (4), (5) и (6) се лако може израчунати фактор грејања Карнотовог левокретног циклуса као:

$$\varepsilon_g = \frac{|Q_o|}{|Q_o| - Q_d} = \frac{T_p(s_2 - s_3)}{(T_p - T_i)(s_2 - s_3)} = \frac{T_p}{T_p - T_i} \quad (8)$$

За разлику од коефицијента ефикасности деснокретних циклуса, фактори грејања и хлађења, у зависности од услова, могу узимати вредности и које су занчајно веће од 1 [3].



Слика 9. Шема функционисања топлотне пумпе [7]

5.4 Типови топлотних пумпи

Према флуидима који стоје на располагању и који могу да се користе за грејање и хлађење просторија (постизање температурног комфора) постоје следећи типови топлотних пумпи:

- ЗЕМЉА – ВОДА (ГЕОТЕРМАЛНЕ ТОПЛОТНЕ ПУМПЕ),
- ВАЗДУХ – ВОДА,
- ВОДА – ВОДА.

5.4.1 Топлотна пумпа типа ЗЕМЉА – ВОДА

Код оваквог коришћења топлотне пумпе, земља се користи као извор топлоте. У земљу се спуштају цеви кроз које струји флуид, дакле, врши се размена између земље са спољашње стране и флуида са унутрашње стране цеви. Цеви су осмишљене тако да флуид не напушта простор који цеви дефинишу, што значи да топлотна пумпа ЗЕМЉА – ВОДА припада затвореном систему о коме је било речи у претходном поглављу. Када се говори о овом типу топлотне пумпе, врло је важан и начин постављања цеви у земљу.

У зависности од потребних температура у просторијама које грејемо, новчаних средстава којима располажемо, квалитету земљишта на коме је објекат изграђен, површине земљишта којим располажемо, као и од површине објекта који треба загрејати затворени цевни систем може бити:

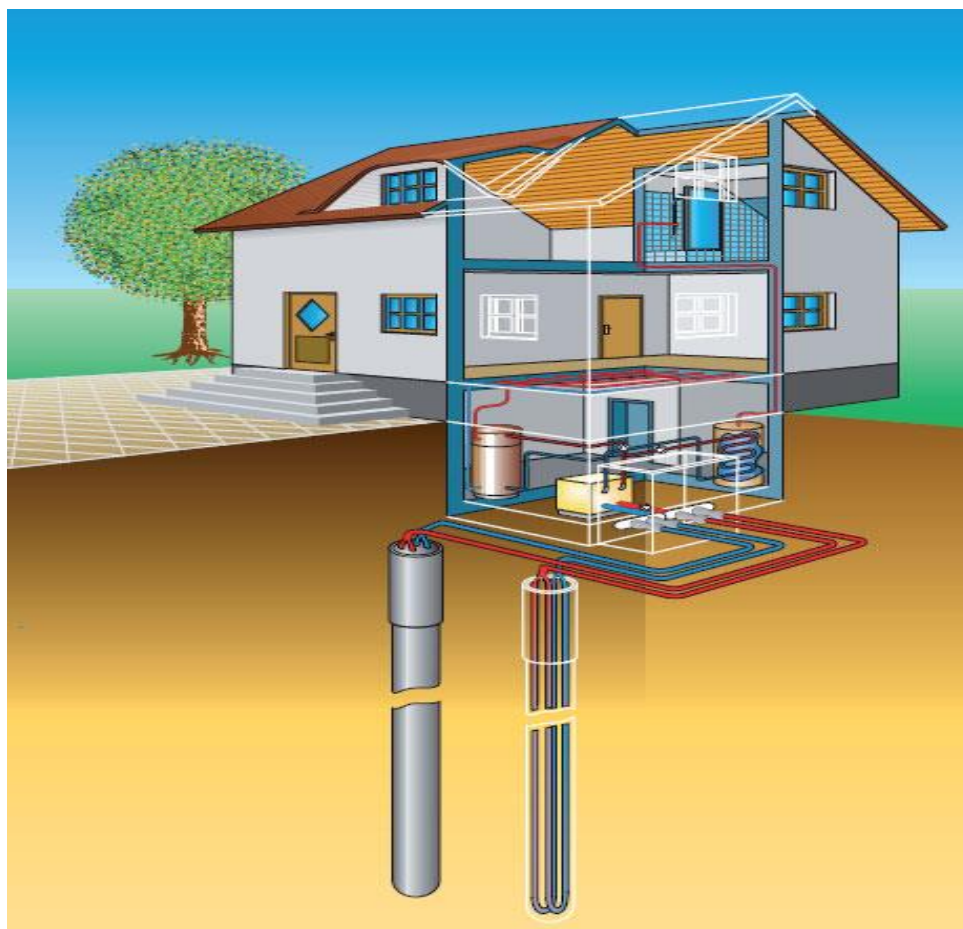
1. ХОРИЗОНТАЛНИ,
2. ВЕРТИКАЛНИ цевни систем.

Код хоризонталног типа постављања цеви пумпе ЗЕМЉА – ВОДА (Слика 10), флуид струји кроз затворен систем цеви, али тако што су цеви постављене по хоризонтали (у равни земље). За овај тип пумпе је карактеристично следеће: дубине на којима се цеви постављају су мале (не више од 2 m), трошкови бушења (копања) знатно су мањи, врло су добро решење за мање куће са великим двориштима, мања је ефикасност, на површини изнад није дозвољена градња итд [7].



Слика 10. Хоризонтална цевна мрежа [7]

Код вертикалног тиа постављања цеви пумпе ЗЕМЉА – ВОДА (Слика 11), флуид струји кроз цеви које су постављене вертикално (нормално на тангентну раван дате површине). Овакав систем карактеришу посебно дизајниране цеви које могу бити „U“ типа и „саосног (коаксијалног, концентричног) типа“. Основне карактеристике оваквог начина постављања цеви су следеће: површину коју заузимају су мање (пошто се иде у дубину), доступност вишим температурама извора је већа, тло је погодно за зграде и веће објекте, цена знатно већа (трошкови пројекта, испитивања земљишта, технике бушења, ...).

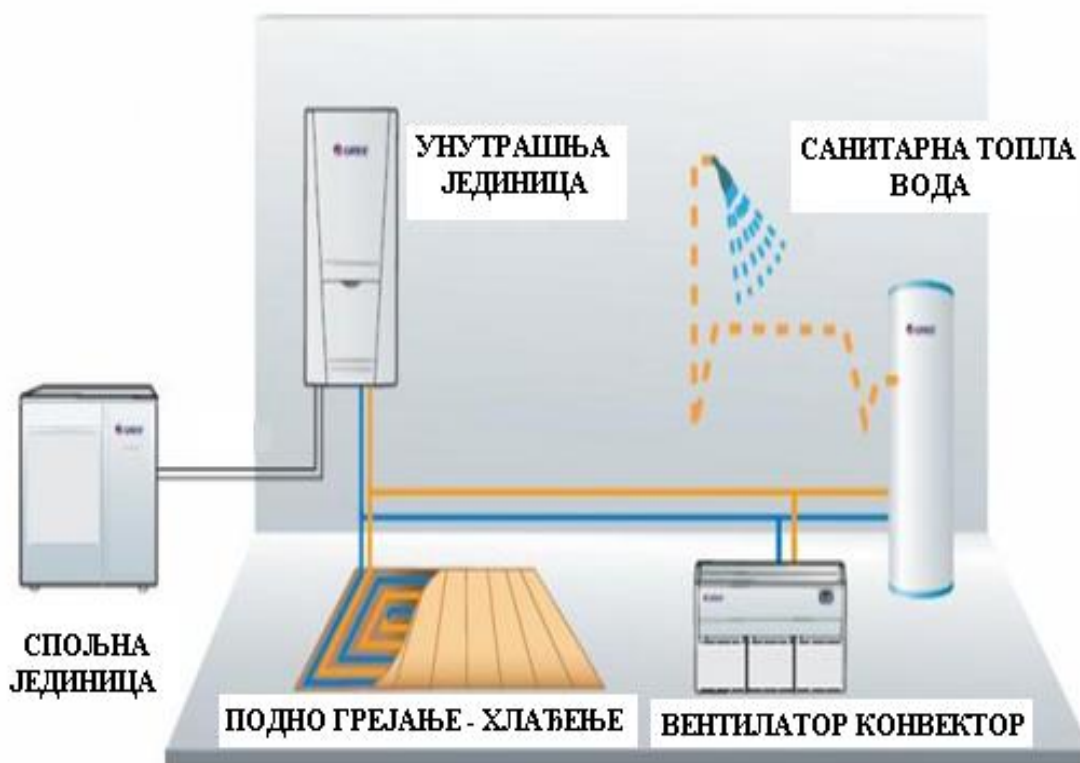


Слика 11. Вертикалне цевна мрежа – сонде [7]

5.4.2 Топлотна пумпа типа ВАЗДУХ – ВОДА

Топлотне пумпе ваздух - вода убрајају се у уређаје који користе обновљиве изворе енергије, у овом случају енергију спољашњег ваздуха, па стога представљају идеално решење. Посредством топлотне пумпе ваздух - вода природна топлота из околине - ваздуха користи се тако да се грејање, припрема топле санитарне воде, али и хлађење у кући остварују крајње економично. Соларним зрачењем долази до загревања ваздуха. Ову енергију, на ниском температурном нивоу, преузима топлотна пумпа, а затим је доводи на виши температурни ниво да би се користила за типичне кућне потребе. Лети, имамо могућност да хладимо кућу помоћу топлотне пумпе. За ту сврху неопходна нам је додатна инсталација вентилатор конвектора. Њихови размењивачи топлоте одузимају топлоту из ваздуха из просторије и предају унутрашњој јединици, посредством циркулације радног флуида за грејање, а затим помоћу циркулације радне течности, преко спољне јединице, предају је спољњем ваздуху. Унутрашња јединица управља радом главне пумпе и највише још једне пумпе (било помоћне пумпе код врло дугачких цевовода, било пумпе за други грејни круг).

Начин система грејања или хлађења топлотном пумпом ваздух - вода приказан је на слици 12 [7].



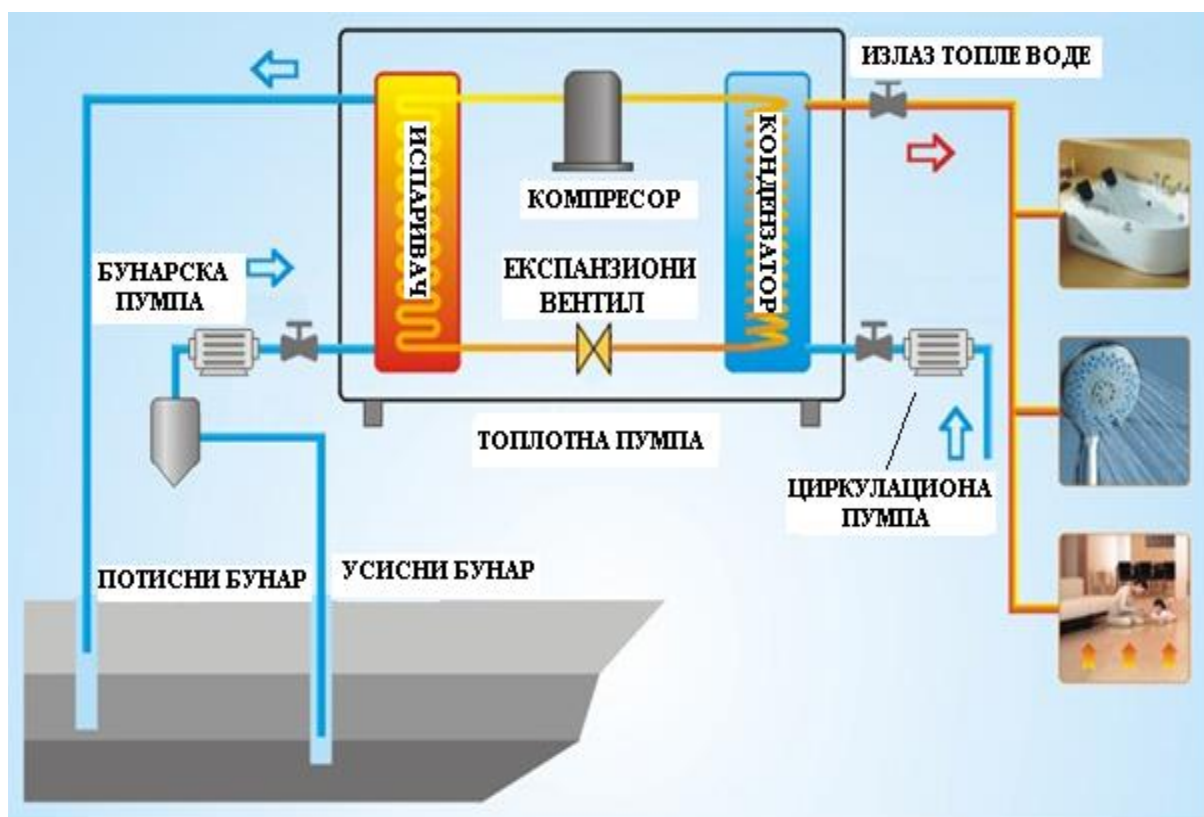
Слика 12. Систем топлотне пумпе ваздух - вода [7]

5.4.3 Топлотна пумпа типа ВОДА – ВОДА

Топлотне пумпе вода - вода црпе топлотну енергију из подземних вода. У зависности од грејног капацитета, морамо обезбедити проток одговарајуће количине бунарске воде кроз њих. Воду црпимо из бушеног бунара, помоћу уграђене бунарске пумпе. Вода пролази кроз размењивач топлотне пумпе и губи одређену количину топлотне енергије (хлади се). Топлотна енергија се транспортује расхладним кругом до другог размењивача, кроз који пролази вода из грејног система. Транспортивана топлотна енергија се предаје овој води. Приликом проласка кроз топлотну пумпу, вода грејног система прима одређену количину топлотне енергије (загрева се).

Електрична енергија се користи само за „транспорт” топлотне енергије у супротном правцу од природног – топлота се природно шири од топлијег према хладнијем предмету. Топлотна пумпа обезбеђује пренос енергије од хладније бунарске воде ка топлијој води у грејном систему.

Начин рада топлотне пумпе вода - вода приказан је на слици 13 [7].



Слика 13. Систем топлотне пумпе вода - вода [7]

5.5 Извори топлоте за топлотне пумпе

Извори топлоте за топлотне пумпе могу бити:

- 1) Подземна вода,
- 2) Земља,
- 3) Ваздух.

1) Подземна вода

Топлотну енергију добијамо из воде која се узима из избушених бунара, чија је температура на дубинама од 40 m и од 10 °C до 14 °C и не мења се током читаве године. Вода протиче кроз размењивач топлоте, после чега се враћа у земљу тј. у други бунар.

2) Земља

Топлота се узима из земље помоћу хоризонтално или вертикално постављених пластичних цеви. У земљу се поставља више кружних токова са паралелним укључивањем, на дубину од 1m до 1.5 m, у којима ступи вода, која има приближно сталну температуру, и у зимском периоду не пада испод 5 °C (када се цеви постављају вертикално дубина је од 40 m до 100 m).

3) Ваздух

Топлотну енергију добијамо из спољашњег ваздуха. Код оваквог начина добијања топлоте није потребно бушење бунара за воду нити постављање хоризонталних цеви у земљу. Али у зимском периоду при нижим температурама спољашњег ваздуха корисност топлотне пумпе драстично опада, и постаје нерентабилно. Овакав тип топлотне пумпе је погодан за загревање воде у базенима када температура спољашњег ваздуха није нижа од 10 °C.

5.6 Уштеда енергије и новца употребом топлотних пумпи

С обзиром на чињеницу да цена природног гаса наставља да расте по стопи већој од 10 – 60 % годишње, а електрична енергија за 10 – 20 %, уштеда коришћењем топлотних пумпи ће се такође повећавати.

У зависности од врсте топлотне пумпе и грејне инсталације однос уложене електричне енергије и добијене топлотне енергије креће се од 1 : 3 до 1 : 6. Стамбене објекте грејне површине 100 m² са добро урађеном термоизолацијом и системом топлотне пумпе могуће је загревати са утрешком у вредности од 150 € по грејној сезони. Добијени резултати су узети на практично примењеним системима грејања са топлотном пумпом.

За разлику од уобичајених система који служе за грејање или хлађење, системи грејања са топлотним пумпама омогућавају грејање, хлађење и загревање санитарне воде. За исту висину инвестиције добија се уређај са двоструком или троструком наменом. Такође, цене некретнина са уграђеним системом са топлотном пумпом су веће [5].

Економски показатељи просечне годишње потрошње за грејање и хлађење су приказани на слици (Слика 14):



Слика 14. Просечна годишња потрошња за грејање и хлађење по години [5]

➤ **Економска исплативост**

Нижи укупни трошкови - годишњи трошкови код грејних система са топлотном пумпом штеде до 75% средстава у односу на уобичајене грејне системе (угаљ, гориво, дрва, плин, одржавања, набавке). Постављање модерне грејне инсталације са топлотном пумпом не мора бити од стандардних инсталација јер нема трошкова за резервоар, димњак, итд. При правилном избору система уз озбиљно саветовање, пројектовање и монтажу, инвестиција за топлотну пумпу се исплати већ за неколико година. Топлотна пумпа је веома економична у раду, првенствено због чињенице да треба платити само мали део укупне топлотне енергије. То је енергија потребна за рад циркулационе пумпе и компресора. Ефикасност овог система, у односу на досадашње системе грејања и хлађења, се даље може повећати обезбеђивањем “бесплатне” топле воде у објекту, што додатно смањује рачун за утрошену електричну енергију [5].

5.7 Фактор грејања топлотне пумпе

Енергетска ефикасност топлотних пумпи се изражава преко фактора грејања. То је однос између енергије коју добијамо на излазу и енергије која је уложена, за грејање или хлађење. Упоређење се даље врши у односу на класичне системе. Што је овај коефицијент виши, то је боља енергетска ефикасност система. За топлотне пумпе његова вредност се креће у распону 4 – 6, а у пракси је то сразмерно више. Свака јединица електричне енергије уложена у покретање механизма топлотне пумпе омогућава јој да испуни минимум још 4 до 6 јединица топлотне енергије, које црпи из природних извора.

Фактор грејања у многоне зависи од температуре воде у инсталацији. Што је температура воде у инсталацији нижа коефицијент учинка је виши. Коефицијент учинка се углавном даје за две излазне температуре, +45 °C и +35 °C. Температура од +45 °C служи за грејање путем вентилатора конвектора, а температура од +35 °C служи за подно грејање [5].

6 МОГУЋНОСТ ПРИМЕНЕ ТОПЛОТНЕ ПУМПЕ ЗА ЗАГРЕВАЊЕ СТАМБЕНИХ ОБЈЕКТАТА

Топлотну енергију добијену применом топлотне пумпе можемо да предамо простору уз помоћ следећих врста грејне инсталације:

- 1) Подно грејање,
- 2) Зидно грејање,
- 3) Вентилатор конвектор (fan coil),
- 4) Радијаторско грејање,
- 5) Канални системи.

1) Подно грејање

У под се постављају пластичне или бакарне цеви, кроз које струји топла вода. Температура воде не прелази $30\text{ }^{\circ}\text{C}$, а температура која се преноси на под не прелази $25\text{ }^{\circ}\text{C}$. Овај вид преноса топлоте је најефикаснији и коефицијент корисности је највећи. Ако је систем правилно пројектован за грејање са топлотном пумпом степен корисности може да буде и до 6 пута већи од утрошене електричне енергије. Подно грејање поред тога што је одлично за грејање, пружа могућност климатизације у летњем периоду (овакви типови топлотних пумпи називају се реверзибилне тј. могу да служе како за грејање тако и за климатизацију). Пример подног грејања дат је на слици (Слика 15) [4].



Слика 15. Изглед цевне инсталације подног грејања [4]

2) Зидно грејање

Овај начин грејања је сличан подном грејању, са разликом да се цеви постављају са унутрашње стране зидова просторије. Примена зидног грејања се препоручује у новим као и постојећим објектима у којима желимо да остваримо висок фактор грејања, а уједно и обезбедимо климатизацију објекта. Пример зидног грејања дат је на слици (Слика 16).



Слика 16. Изглед цевне инсталације зидног грејања [4]

3) Вентилатор конвектор (fan coil)

Они представљају савршен облик конвектора с тим што је у кућиште уграђен вентилатор који принудно покреће собни ваздух преко размењивача топлоте. Овај вид преноса топлоте карактерише добар грејни учинак, могућност регулације температуре засебно за сваку просторију, безшуман рад, модеран дизајн који се уклапа у све ентеријере. Вентилатор конвектори при раду са топлотном пумпом остварују добар учинак (фактор грејања може да буде 4 пута већи од утрошене енергије) и пружају могућност климатизације током лета.

Примена: у породичним кућама, угоститељским објектима, хотелима, канцеларијским просторијама. Пример „вентилатор конвектор” грејања дат је на сликама (Слика 17, Слика 18).



Слика 17. Вентилатор конвектор (fan coil) паранетни (пружа могућност климатизације) [4]



Слика 18. Вентилатор конвектор плафонска изведба (пружа могућност климатизације) [4]

4) Радијаторско грејање

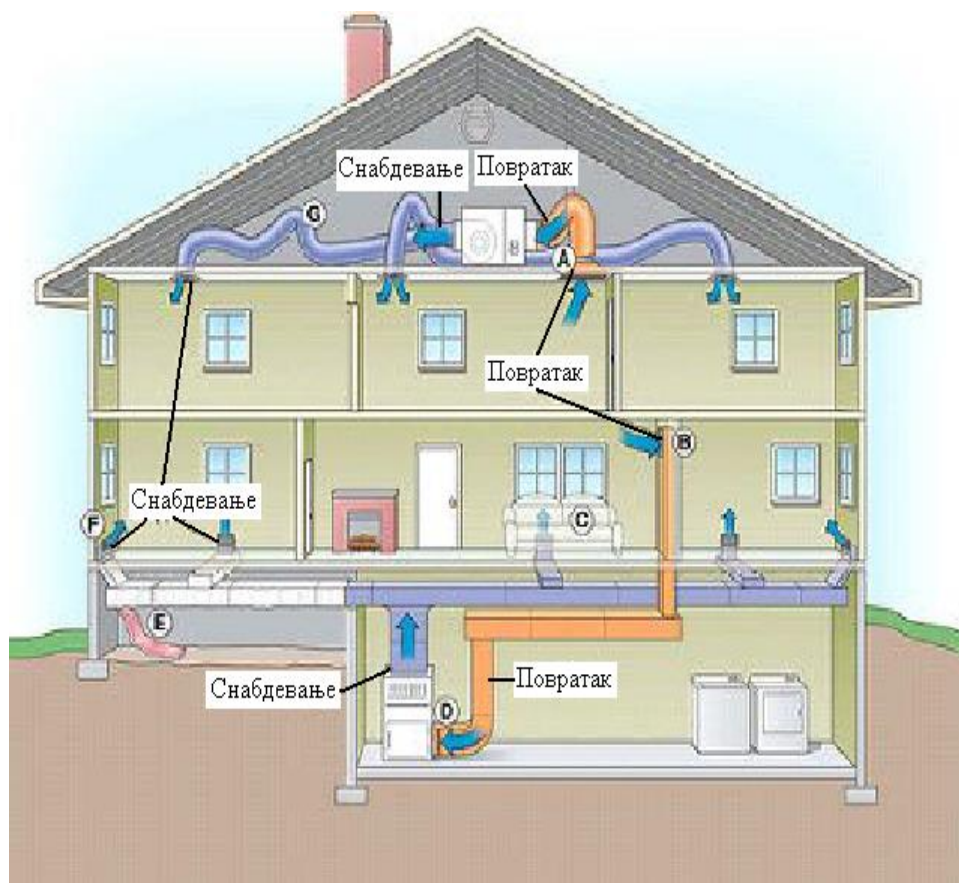
Раније није постојала могућност инсталације топлотне пумпе на системе централног грејања са радијаторима. Захваљујући технолошким иновацијама апсолутно је могуће и при температурама воде од $55\text{ }^{\circ}\text{C}$ постићи фактор грејања 4 пута већи од утрошене електричне енергије, а све то без скраћења радног века топлотне пумпе. Пример радијаторског грејања дат је на слици (Слика 19).



Слика 19. Радијаторско грејање [4]

5) Канални системи

Овај вид преноса топлоте може да се користи са топлотном пумпом. Ваздух који циркулише преко измењивача топлотне пумпе преноси топлоту каналним системом до просторија које се греју или хладе, након чега се усисним каналима враћа до измењивача и поново загрева и наставља кружење. Пример грејања помоћу каналног система дат је на слици (Слика 20).



Слика 20. Канални систем [4]

7 ПРИМЕНА ТОПЛОТНИХ ПУМПИ У ЕУ

Преко 40 % примарне енергије у Европској унији се троши за грејање и хлађење. Према томе, то је широка област у којој треба да се делује и где је неопходно да се постигну значајни резултати.

Високо постављени циљеви за смањење потрошње примарне енергије за 20 % до 2020. године уз истовремено смањење емисије угљен-диоксида за 20 % довели су до тога да се обновљиви извори енергије третирају као окосница уштеда. У тим уштедама примена топлотних пумпи ће узети значајно учешће [2].

У претходних 5 година неколико европских земаља је донело законске одредбе да сваки новоизграђени грађевински објект мора да има уграђену топлотну пумпу за загревање простора. Такође и већина европских земаља обезбеђује значајне подстицајне мере за уградњу топлотних пумпи, од директног плаћања произвођачу за сваку испоручену топлотну пумпу, до пореских олакшица за кориснике. Једноставно је израчуната добит од примене топлотних пумпи на нивоу државе и на основу тога су одређене подстицајне мере да би се остварили планирани ефекти (Табела 2).

Табела 2. Број инсталираних топлотних пумпи и годишње промене [2]

	2003	2004	2005	2006	замена 03/04	замена 04/05	замена 05/06
Аустрија	3.780	5.129	6.098	8.853	35,7%	18,9%	45,2%
Чешка	1.200	2.400	4.000	4.000	100,0%	66,7%	0,0%
Данска	0	0	4.000	4.000			0,0%
Естонија	510	750	1.095	2.333	47,1%	46,0%	113,1%
Финска	8.540	12.648	22.307	36.950	48,1%	76,4%	65,6%
Француска	13.700	17.300	25.200	61.510	26,3%	45,7%	144,1%
Немачка	15.838	19.636	25.486	51.827	24,0%	29,8%	103,4%
Ирска	1.300	1.800	2.300	2.300	38,5%	27,8%	0,0%
Италија	0	12.131	13.000	13.000		7,2%	0,0%
Холандија	1.557	1.800	1.891	2.767	15,6%	5,1%	46,3%
Норвешка	55.081	35.390	40.000	40.000	-35,7%	13,0%	0,0%
Пољска	0	0	1.465	1.465			0,0%
Шведска	68.100	100.215	101.350	122.473	47,2%	1,1%	20,8%
Швајцарска	8.695	9.796	12.008	15.806	12,7%	22,6%	31,6%
В. Британија	0	0	750	750			0,0%
Укупно	178.301	218.995	260.950	368.034	22,8%	19,2%	41,0%

Укупан број нових инсталираних топлотних пумпи у осам европских земаља је у 2008. години порастао за просечно 50 %. На примеру Шведске, где постоји законска обавеза да сваки новоизграђени објект мора да има топлотну пумпу, у току 2007. године је дошло до пада продаје због zasiћеног тржишта, то јест, због смањења броја новоизграђених објеката.

Тамо је сада тренд да се и у старим објектима изврши замена постојећих система за грејање па је захваљујући подстицајним мерама већ у 2008. години продаја порасла са 93.000 на 128.000 топлотних пумпи. Такође, све је већа уградња и у зграде са више станова, док је у првом кругу масовнија употреба била у породичним кућама [2].

ЗАКЉУЧАК

Топлотне пумпе као уређаји који користе обновљиве изворе енергије представљају будућност масовнијег коришћења за потребе грејања и хлађења, а такође спадају у групу уређаја који имају најмањи негативни утицај на животну средину при процесу функционисања.

Топлотне пумпе спадају у најефикасније системе грејања и хлађења данас. Од 100 % енергије коју генерише топлотна пумпа, 75 % је бесплатно јер долази из околног окружења, а само 25 % енергије долази из електричних извора који се плаћају.

Ефикасност овог система, у односу на конвенционалне системе грејања и хлађења, се даље може повећати обезбеђивањем “бесплатне” топле воде у објекту, што додатно смањује рачун за утрошену електричну енергију.

Као једна од веома битних предности топлотних пумпи у односу на остале системе грејања и хлађења је у томе што нема емитовања угљен-диоксида и није потребно коришћење фосилних горива за рад топлотне пумпе.

Са економске тачке гледања топлотне пумпе су веома исплативе, али исто тако је потребно и велико почетно улагање у сам процес уградње топлотне пумпе. Такође постоје разноразне препреке при инсталацији система са топлотним пумпама у чему велику улогу игра сама структура земљине површине.

С обзиром на то да овакав вид грејања и хлађења користи обновљиве изворе енергије, коришћење топлотних пумпи је веома исплативо.

Грејање и хлађење преко обновљивог извора енергије је корак испред свих других извора енергије.

ЛИТЕРАТУРА

[1] Б.Тодоровић: *Пројектовање постројења за централно грејање*, Машински факултет у Београду, 2005.

[2] Вања Шуштершич, Милун Бабић: *Геотермална енергија, енергија природних и вештачких извора топле воде*, Машински факултет у Крагујевцу, 2009.

[3] Небојша Лукић: скрипта: *Пренос топлоте и масе*, Машински факултет у Крагујевцу, 2011.

[4] <http://www.geotermika.com/primena-toplotne-pumpe-za-zagrevanje.html> (октобар 2014.)

[5] <http://www.geotermika.com/usteda-kod-toplotne-pumpe.html> (октобар 2014.)

[6] <http://www.jeffersoninst.org/sites/default/files/Geotermalna%20energija.pdf> (октобар 2014.)

[7] <http://www.toplotnepumpe.rs> (октобар 2014.)