

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: 44/2016

Адем М. Салиховић

Исплативост коришћења топлотних пумпи

Завршни рад

Комисија за преглед и одбрану:

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

Датум
одбране: _____

Оцена: _____

У оквиру овог завршног рада студент треба да да преглед и типове топлотних пумпи за грејање објеката и да анализира њихову исплативост у реалним условима.

Препоручена литература:

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

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

Крагујевац, јул 2019. године

Ментор:
Проф. др Небојша Лукић

САДРЖАЈ:

ABSTRACT	5
РЕЗИМЕ	5
УВОД	6
1 Геотермална енергија	6
1.1 Геотермални извори	8
2 Топлотне пумпе	8
2.1 Принцип рада система са топлотним пумпама	9
2.2 Принцип рада топлотне пумпе.....	11
3 Типови топлотних пумпи	16
3.1 Топлотна пумпа ваздух – вода	16
3.2 Топлотна пумпа вода – вода.....	18
3.3 Топлотна пумпа земља(сонда) – вода	20
4 Трошкови бушења и укупна инвестиција	24
4.1 Трошкови бушења бунара за топлотну пумпу вода – вода.....	24
4.2 Трошкови бушења бушотина за топлотну пумпу земља – вода.....	26
4.3 Укупна инвестиција	28
5 Исплативост коришћења	29
5.1 Потребна енергија за грејање на годишњем нивоу.....	29
5.2 Цена струје за домаћинства.....	29
5.3 Годишња цена грејања помоћу елетро котла	30
5.4 Годишња цена грејања помоћу топлотне пумпе вода - вода	31
5.5 Годишња цена грејања помоћу топлотне пумпе земља - вода	32
5.6 Годишња цена грејања помоћу топлотне пумпе ваздух - вода.....	33
5.7 Годишња цена грејања - природни гас -	34
5.8 Цена и потрошња на годишњем нивоу	35
5.8.1 Разлика инвестиције и потрошње топлотне пумпе земља – вода - електричног котла и гасног котла	36
5.8.2 Разлика инвестиције и потрошње топлотне пумпе вода – вода - електричног котла и гасног котла	36
5.8.3 Разлика инвестиције и потрошње топлотне пумпе ваздух – вода - електричног котла и гасног котла	37
Закључак	39
Литература	40

ABSTRACT

The final paper is dedicated to getting to know heat pumps and their cost effectiveness. They are used to obtain heat in the heating season and can also serve as cooling machines in the summer when space cooling is required. There is talk of geothermal energy and geothermal sources.

In the part related to heat pumps, the types of heat pumps and the principle of operation of the system with heat pumps are discussed. A comparison of the cost-effectiveness of heat pumps with an electric boiler and natural gas has been done.

Keywords: Heating, Geothermal energy, The heat pump

РЕЗИМЕ

Завршни рад је посвећен упознавању топлотних пумпи и њиховој исплативости. Служе за добијање топлоте у грејној сезони, а могу да служе и као расхладне машине у летњем периоду када је потребно вршити расхлађивање простора. Говори се о геотермалној енергији и геотермалним изворима.

У делу везаном за топлотне пумпе обрађени су типови топлотних пумпи и принцип рада система са топлотним пумпама. Обрађено је поређење исплативости топлотних пумпи са електричним котлом и природним гасом.

Кључне речи: Исплативост, Геотермална енергија, Топлотна пумпа.

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 носкотемпературне 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 најчешће већа од топлотног еквивалента утрошеног рада тј. електричне енергије.

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

1 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.) [1].

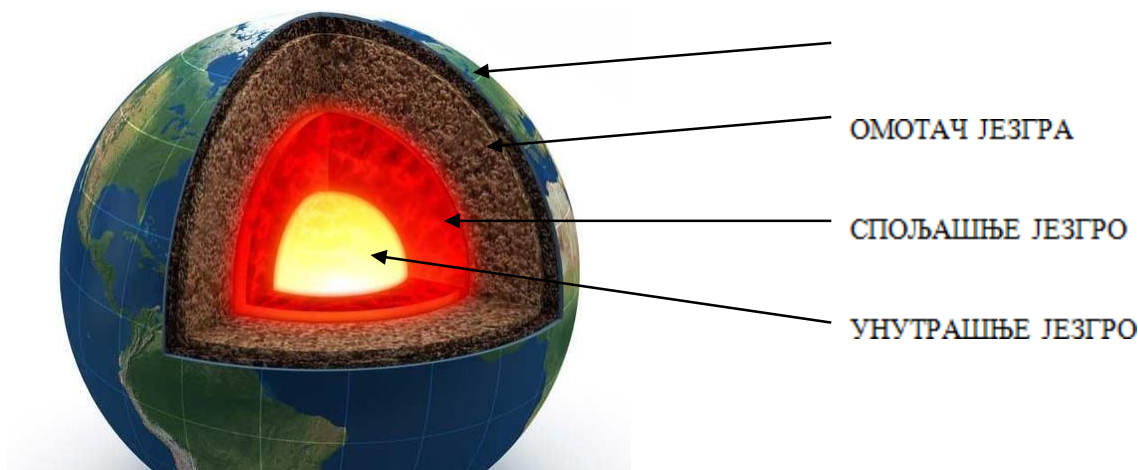


Слика 1. Космичка прашина [1]

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). [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 простира 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, 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.

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.

1.1 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.

2 Топлотне пумпе

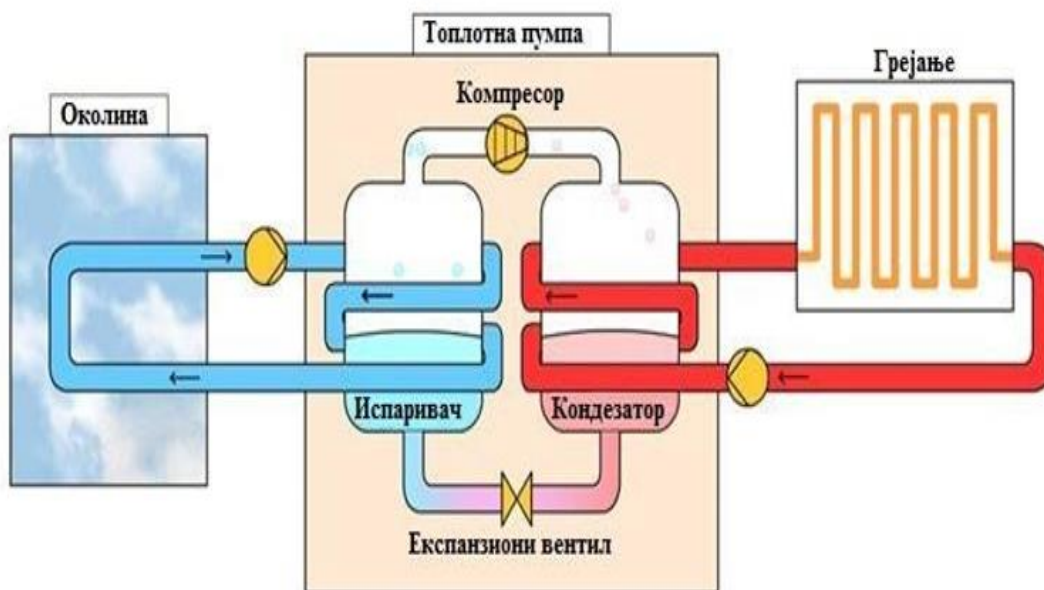
Топлотна пумпа представља врло ефикасно решење за уштеду електричне енергије при добијању топлоте као финалног вида енергије. Осим добијања топлоте у грејној сезони, топлотне пумпе служе и као расхладне машине у летњим месецима када је потребно вршити расхлађивање простора.

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.

2.1 Принцип рада система са топлотним пумпама

На слици је приказан принцип рада постројења са топлотном пумпом.



Слика 3. Кретање топлотне енергије од извора до потрошача [3]

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). [3]

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.

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).

Размењена количина топлоте у спољашњем или унутрашњем току воде 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_m - специфична топлота воде ($C_m = 4,19 \text{ kJ/kgK}$),

ΔT - средња температурна разлика,

T_u - улазна температура флуида (воде) [K], у испаривачу или кондензатору

T_i - излазна температура [K], из испаривача или кондензатора

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

Размена топлотне у земљи се може описати као :

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

где је:

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

A – површина контакта [m^2],

ΔT – разлика температуре земља – вода.

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.

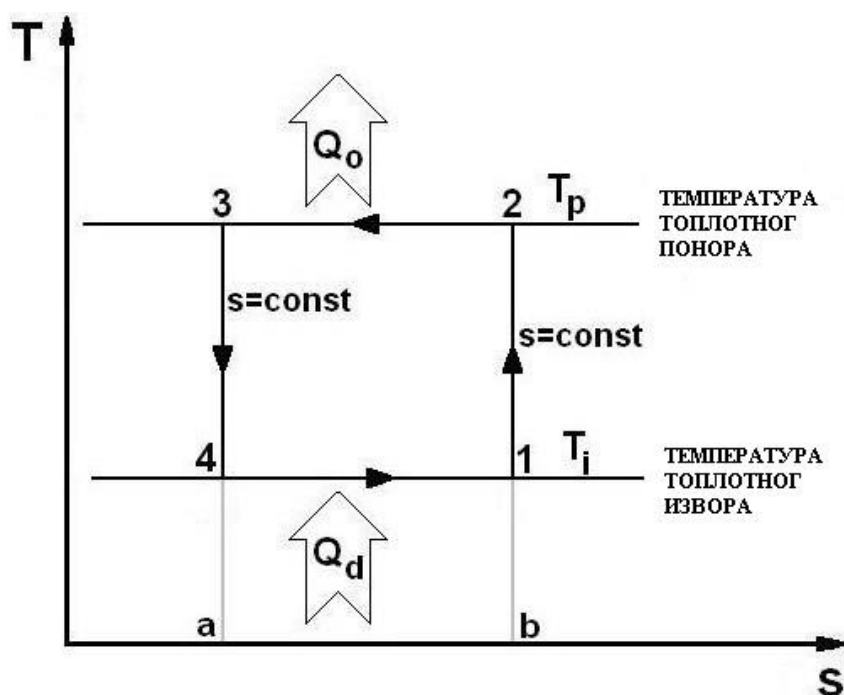
Када примарни флуид дође до топлотне пумпе, он предаје своју топлоту топлотној пумпи (Други закон Термодинамике) и шаље се назад у земљу. У топлотној пумпи радни флуид обавља своју улогу и потом загрева воду која кружи у другом сегменту (ка потрошачима). Захваљујући процесу у топлотној пумпи који обавља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

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.

2.2 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 [4].



Слика 4. Карнотов левокретни циклус са идеалним гасом (T - s дијаграм) [4]

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. 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:

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

Посматрајући слику 4. 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 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 [4].

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

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

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

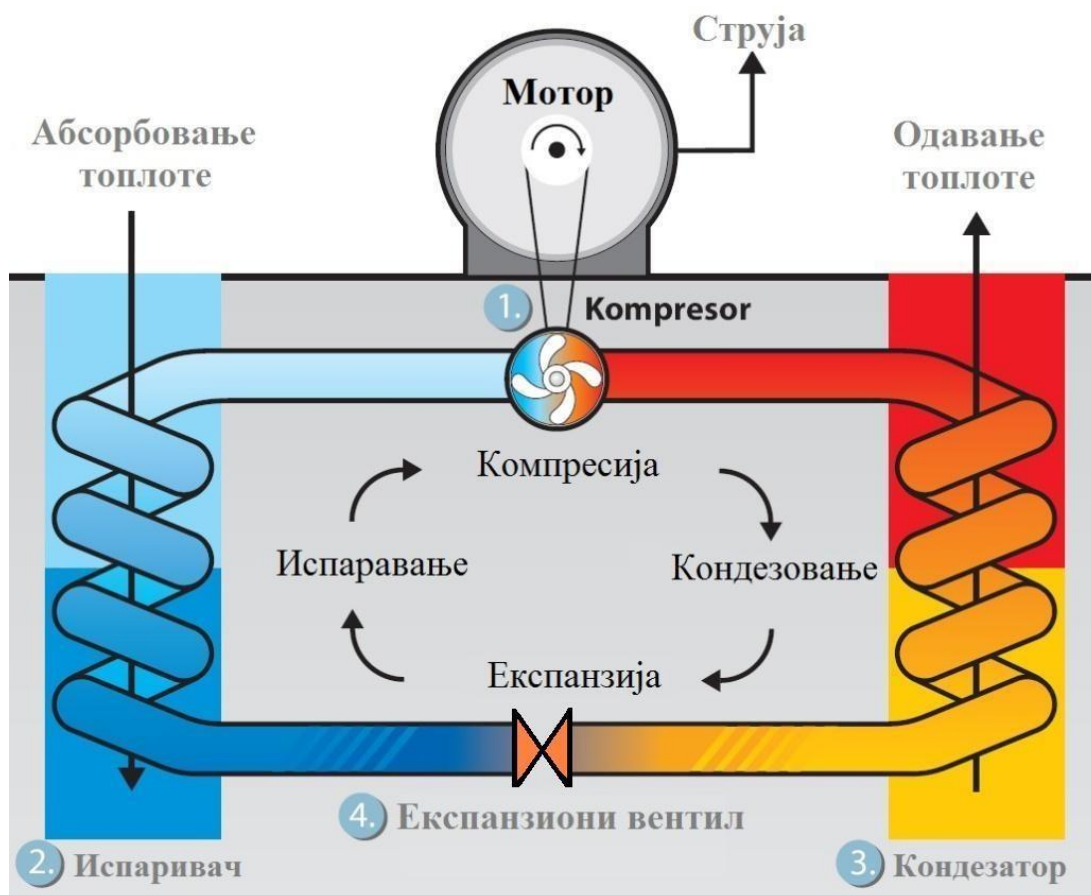
Из једначина (3), (5) и (6) се лако може израчунати фактор хлађења Carnot-овог левокретног циклуса као :

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

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

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

За разлику од коефицијента ефикасности деснокретних циклуса, фактори грејања и хлађења, у зависности од услова, могу узимати вредности и које су значајно веће од 1 [4].

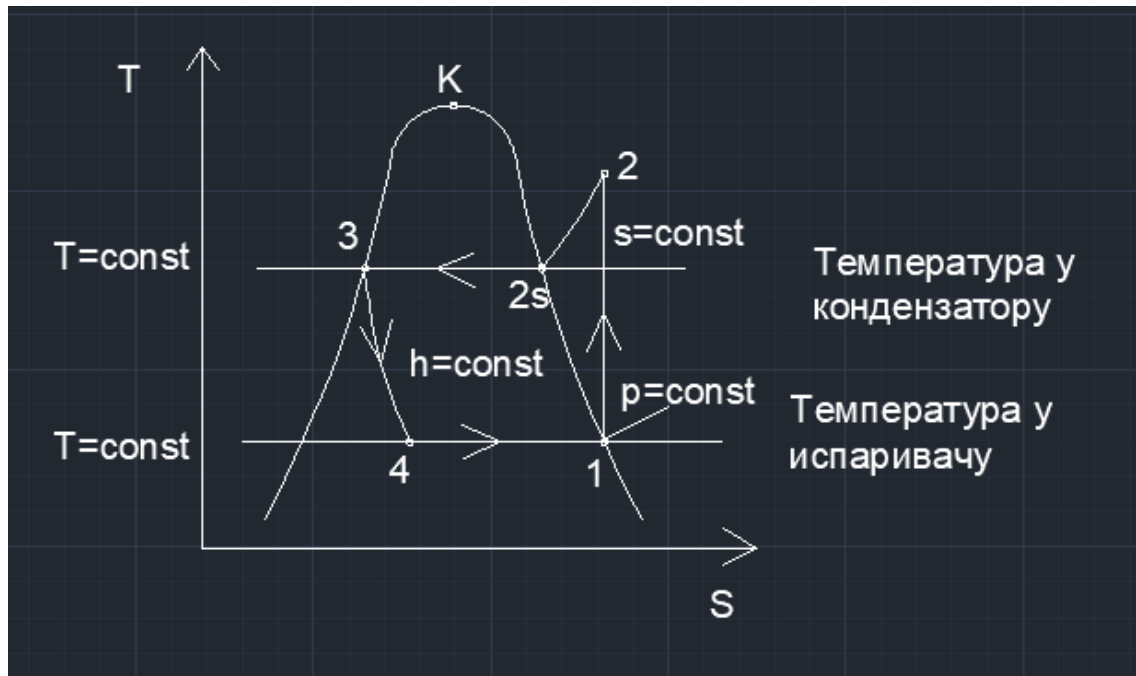


Слика 5. Шема функционисања топлотне пумпе [5]

Компресорски парни циклус данас представља доминантан циклус за потребе хлађења и грејања (топлотне пумпе). На слици 6. приказане су идеализоване промене стања радне материје у компресорском парном циклусу у $T - S$ дијаграму. [6] На слици 5. је упрошћена шема постројења.

Компресор у sisaва сувозасићену пару радне материје (стање 1) и изентропски компримује на притисак и температуру стања 2. Добијена прегрејана пара има вишу температуру од топлотног понора (окоline) и она као таква долази у размењивач топлоте-кондезатор где изобарски хладећи се брзо достиже сувозасићено стање, а затим почиње процес кондензације при константном притиску и температури (одвођење топлоте). Од тог тренутка (тачка 2s) температура у кондезатору је непроменљива све док има некондензоване паре. На крају кондезатора добија се чиста кључала течност радног флуида стања 3, на притиску који влада у кондезатору. Кључала течност се потом експандира у пригушном вентилу до стања 4. Уместо турбине у гасним циклусима, у компресорском парном циклусу постоји пригушни вентил, који котистећи Joule-Thomson-ов ефекат снижавања температуре реалног гаса при његовом

пригушивању, обавља жељену функцију. По адијабатском пригушивању у пригушном вентилу (изоенталпски процес, $h_3=h_4$) до стања 4, добија се влажна пара радне материје, ниског притиска и температуре. Температура у тачки 4 је нижа од температуре околине (довођење топлоте) и при томе испарава на константном притиску и температури, све до стања сувозасићене паре 1, када радна материја поново одлази на компресију.



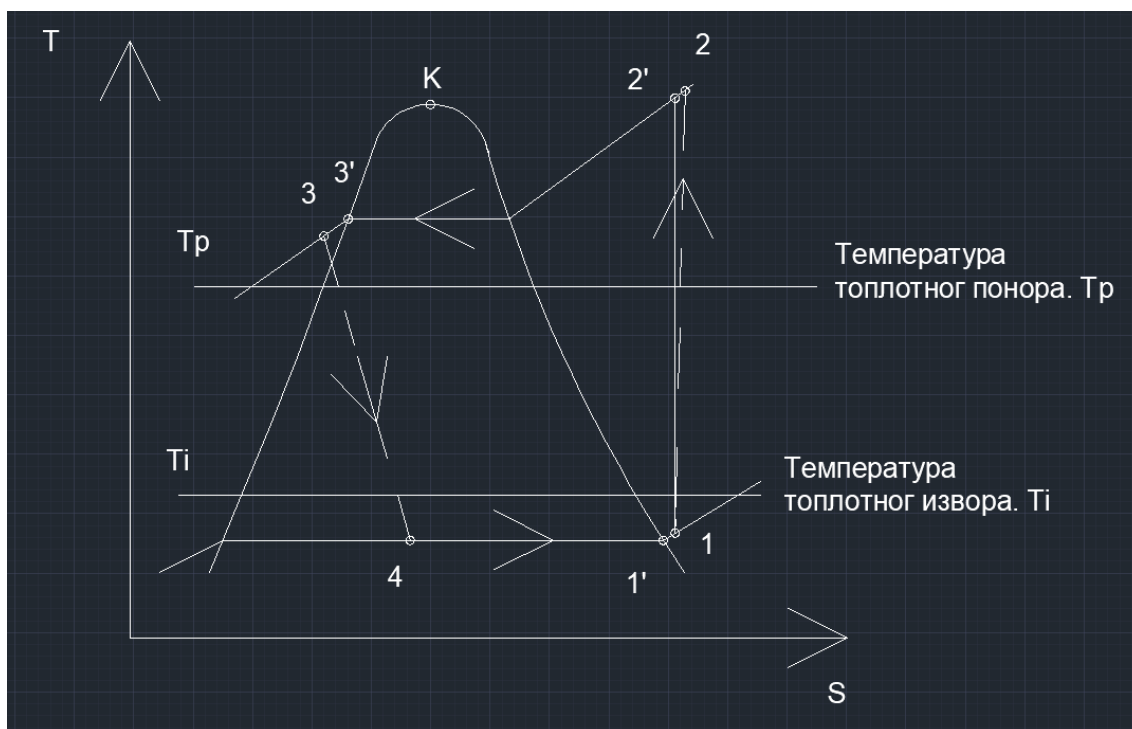
Слика 6. Идеални компресорски парни циклус [6]

Компресорски парни циклус је веома поуздан, јер је једини покретни део у постројењу (клипни) компресор, а захваљујући коришћењу латентне топлоте кондензације и испаравања, потребни проток радне материје је значајно мањи у односу на гасне циклусе. Процеси размене топлоте су углавном изотермски. Захваљујући томе, компресорски парни циклус има високе вредности фактора хлађења и грејања и масовно се користи у пракси за разноразне намене и температурне области.

Према једначини (1) фактор хлађења компресорског парног циклуса би био једнак:

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

На слици 6 је приказан идеалан компресорски парни циклус. Реални циклус се мање или више разликује и приказан је на слици 7.



Слика 7. Реални компресорски парни циклус [7]

Пре свега 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. [7]

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

$$\eta_K = \frac{L_{t-izo}}{L_{t-ad}} = \frac{h_1 - h_{2'}}{h_1 - h_2} \quad (10)$$

У реалним условима уколико се радни флуид у кондензатору потпуно кондензује пре изласка из њега (довољно ниска температура топлотног понора), 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.

3 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:

- ТОПЛОТНА ПУМПА ВАЗДУХ – ВОДА ,
- ТОПЛОТНА ПУМПА ВОДА – ВОДА,
- ТОПЛОТНА ПУМПА ЗЕМЉА – ВОДА.

3.1 Топлотна пумпа 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. [8]

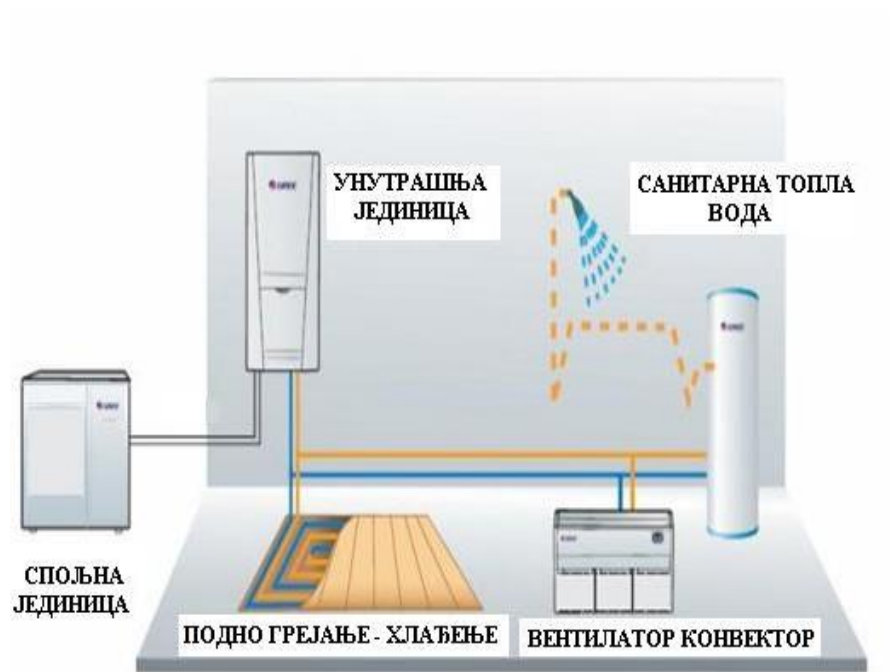
Посредством топлотне пумпе ваздух - вода природна топлота из околине - ваздуха користи се тако да се грејање, припрема топле санитарне воде у кући остварују крајње економично.

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. [10]

Унутрашња јединица управља радом главне пумпе и највише још једне пумпе (било помоћне пумпе код врло дугачких цевовода, било пумпе за други грејни круг). [9]

Начин система грејања или хлађења топлотном пумпом ваздух - вода приказан је на слици 8.



Слика 8. Систем топлотне пумпе ваздух - вода [8]



Слика 9. Унутрашња јединица са бојлером у себи за санитарну воду(комбинација са соларима [9]



Слика 10. Топлотна пумпа ваздух – вода “Panasonic” унутрашња и спољашња јединица. [10]

3.2 Топлотна пумпа вода – вода

Топлотна пумпа вода – вода црпи топлотну енергију из подземних вода. За разлику од топлотне пумпе коју смо поменули у претходној тачки, топлотна пумпа вода – вода захтева већу инвестицију и у пракси се показала као сигурнија, односно ефикаснија за наше просторе и температуре. У зависности од грејног капацитета, морамо обезбедити проток одговарајуће количине бунарске воде кроз њих. Вода која се узима из бунара се креће од неких 12°C - 15°C , такође температура може бити и нижа од 12°C , али је потребна већа количина воде. Све топлотне пумпе имају блокаду тј. ограничене су да раде до $+4.8^{\circ}\text{C}$, $+5^{\circ}\text{C}$, где после тога пумпа престаје са радом јер долази до замрзавања измењивача унутар топлотне пумпе. Дакле, потребан нам је усисни бунар из којег узимамо воду, али нам је потребан и потисни бунар, где враћамо охлађену воду и тако не реметимо ток подземних вода. [11]

На сликама 11 и 12 су приказане подстанице са топлотним пумпама вода – вода које су пуштене у рад.



Слика 11. Топлотна пумпа вода – вода “Climaveneta“, бафер, бојлер. (Подстаница) [11]



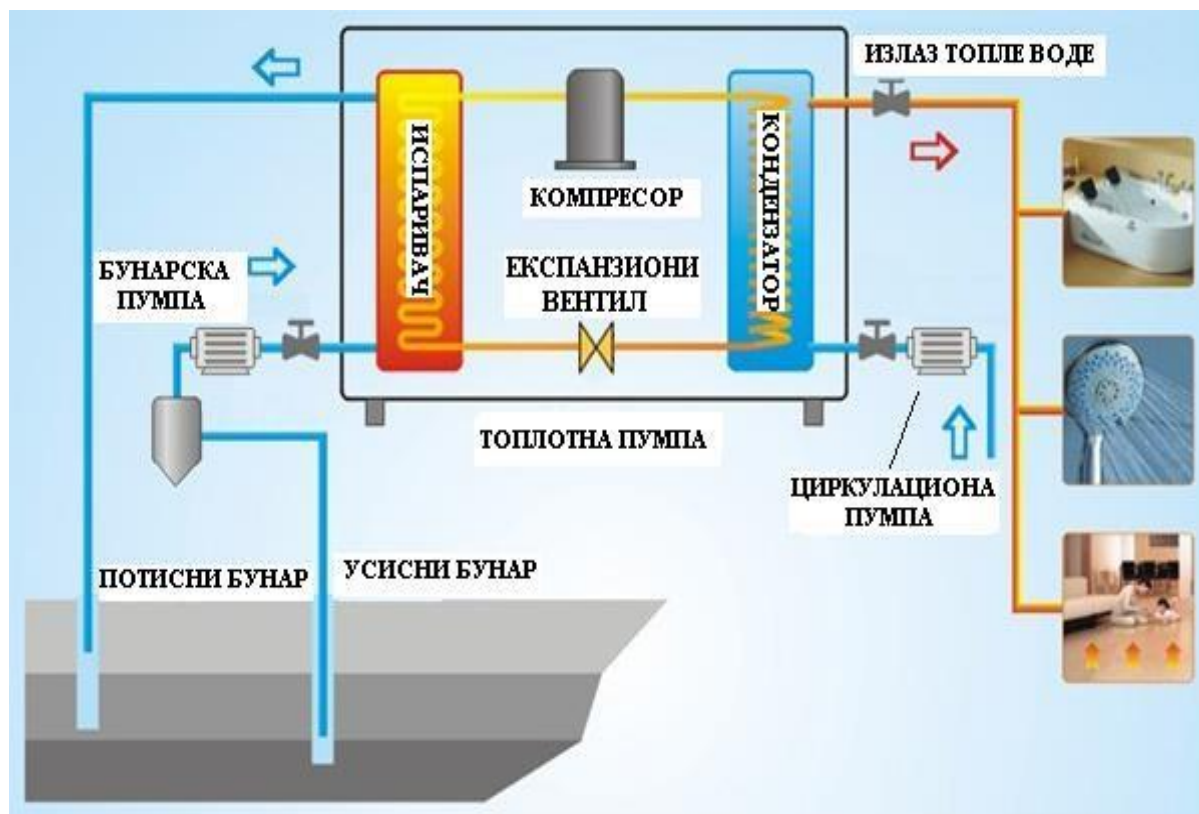
Слика 12. Топлотна пумпа вода – вода “Geotermika“, бафер, бојлер. (Подстаница) [12]

Воду црпимо из бушеног бунара, помоћу уграђене бунарске пумпе. Вода пролази кроз размењивач топлотне пумпе и губи одређену количину топлотне енергије (хлади се). [13]

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). [13]

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.



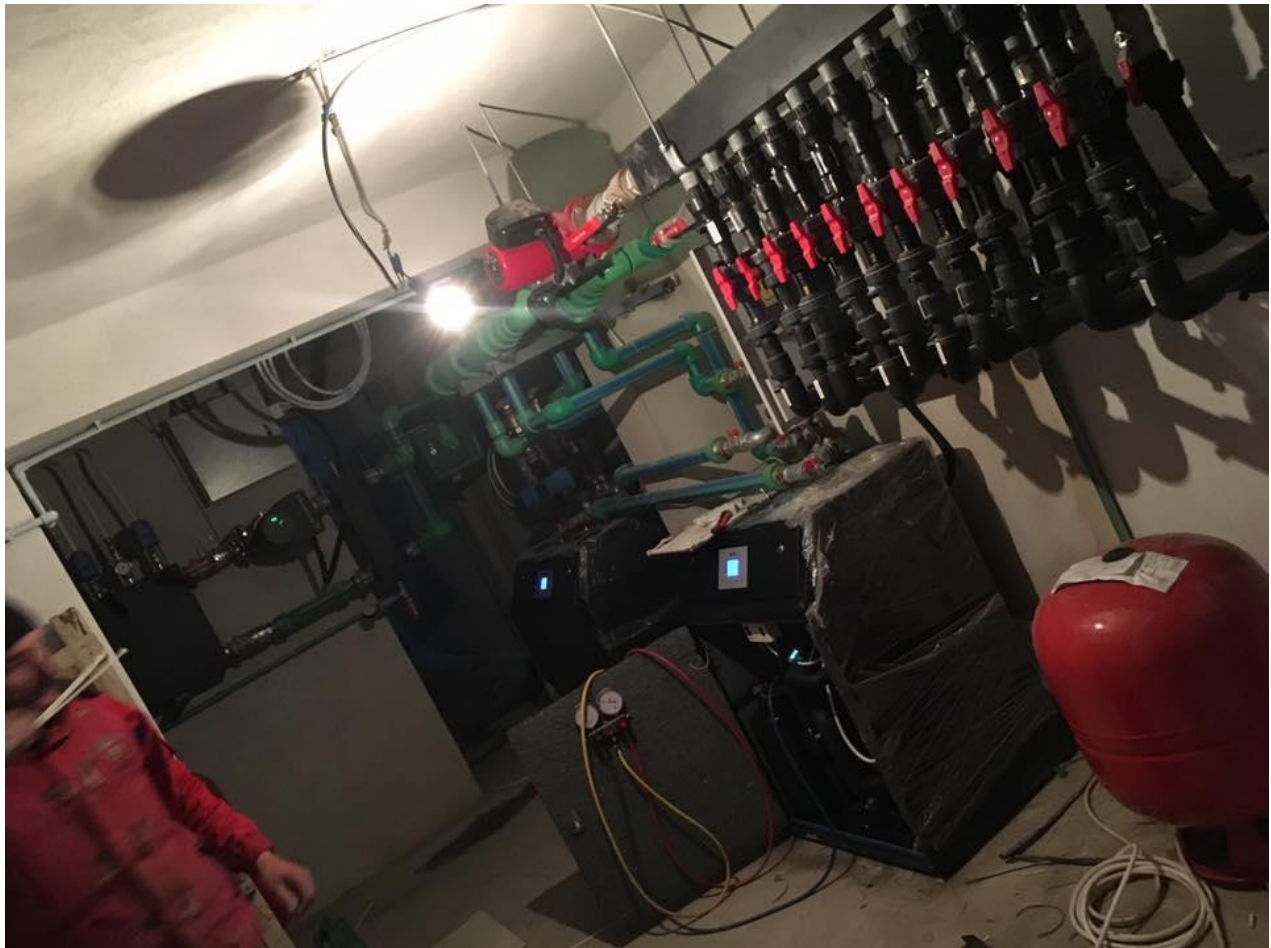
Слика 13. Систем топлотне пумпе вода - вода [13]

3.3 Топлотна пумпа земља (сонда) – вода

Топлотна пумпа земља – вода користи земљу 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. [14]

Цеви су осмишљене тако да флуид не напушта простор који цеви дефинишу, што значи да топлотна пумпа земља – вода припада затвореном систему.

Када говоримо о овим топлотним пумпама, битан је и начин постављања цеви у земљу.



Слика 14. Постављање топлотне пумпе земља – вода и разделника са сондама [14]

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

1. Вертикални ,
2. Хоризонтални цевни систем.

Код вертикалног типа постављања цеви пумпе земља – вода , флуид струји кроз цеви које су постављене вертикално. [16]

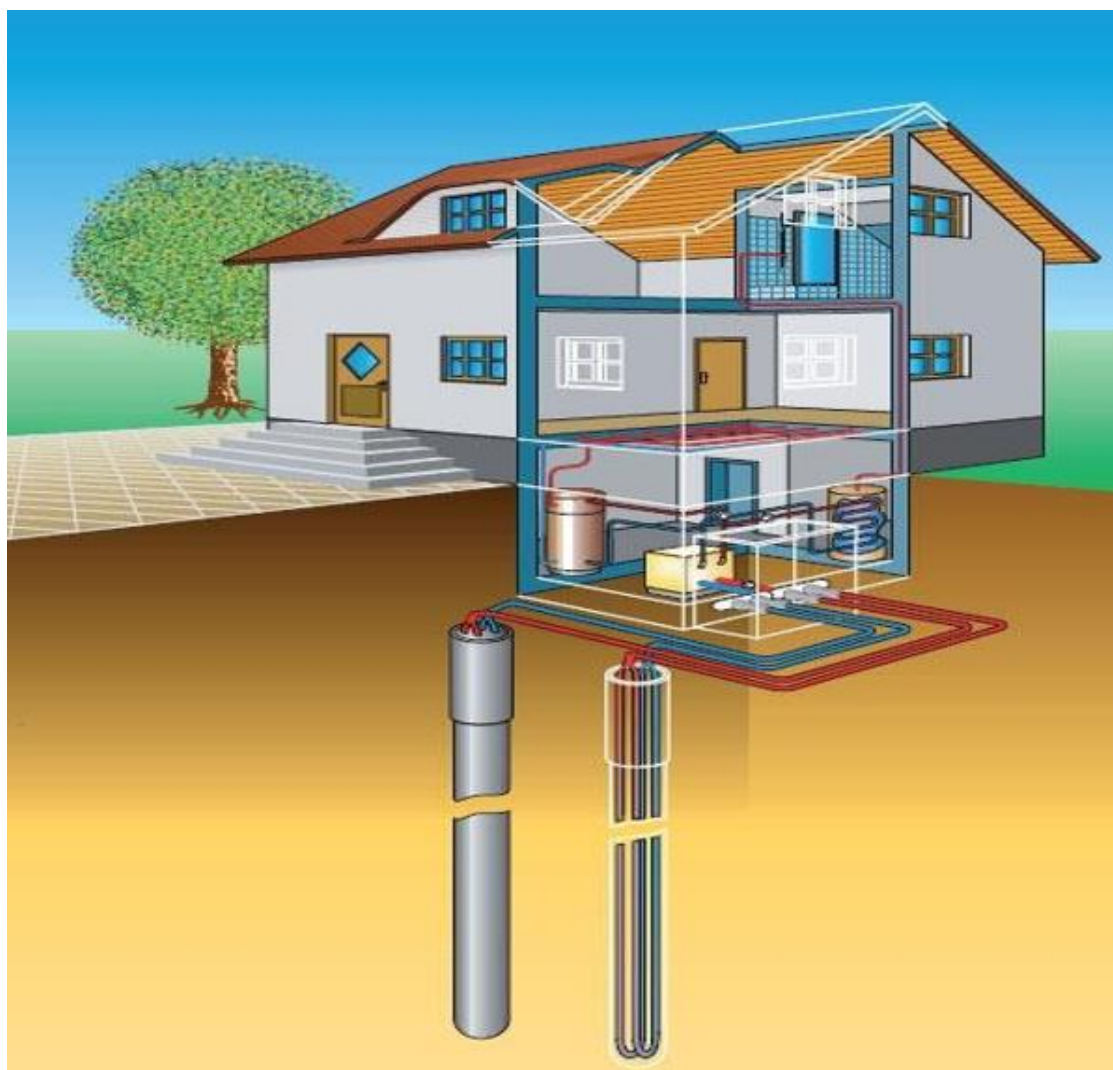
Овакав систем карактеришу посебно дизајниране цеви које могу бити “ U “ типа и “ саосног “ (коаксијалног,концентричног) типа. [15]



Слика 15. Један од типова сонди [15]

Основне карактеристике оваквог начина постављања цеви су следеће:

- Површину коју заузимају су мање (пошто се иде у дубину),
- Доступност висшим температурама извора је већа,
- Тло је погодно за зграде и веће објекте,
- Цена је знатно већа (трошкови пројекта,испитивање земљишта,техника бушења..).

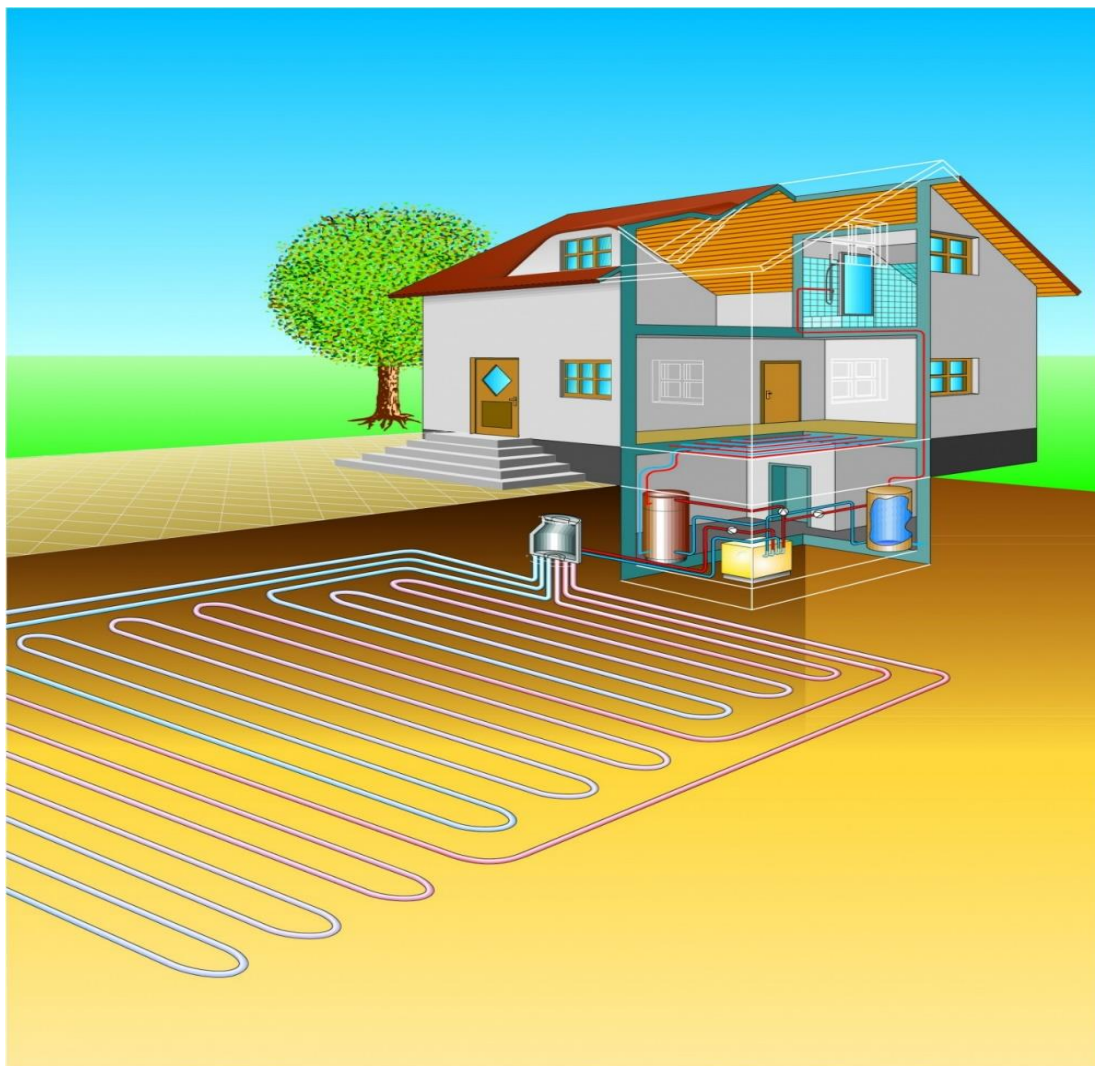


Слика 16. Вертикална цевна мрежа – Сонде [16]

Код хоризонталног типа постављања цеви пумпе земља – вода (слика 17) флуид струји кроз затворен систем цеви, али тако што су цеви постављање по хоризонтали (у равни земље). [17]

За овај тип пумпе је карактеристично следеће:

- Дубине на којој се цеви постављају су мале (око 1.5m),
- Трошкови бушења (копања) су мањи,
- Добро су решење за мање куће са великим двориштима,
- Мања је ефикасност,
- На површини изнад ње није дозвољена градња.



Слика 17. Хоризонтална цевна мрежа [17]

4 Трошкови бушења и укупна инвестиција

4.1 Трошкови бушења бунара за топлотну пумпу вода – вода

Да би могли да инсталирамо топлотну пумпу вода – вода мора се снимити терен, односно место где се налазе подземне воде.

Ако се пронађе вода и нисмо принуђени да уграђујемо други систем, можемо рећи да је ово један од исплативијих система.

Цена бушења за Србију зависи од места, односно терена и других фактора. Није иста цена где је терен песковит и мек или где је камен или стена.

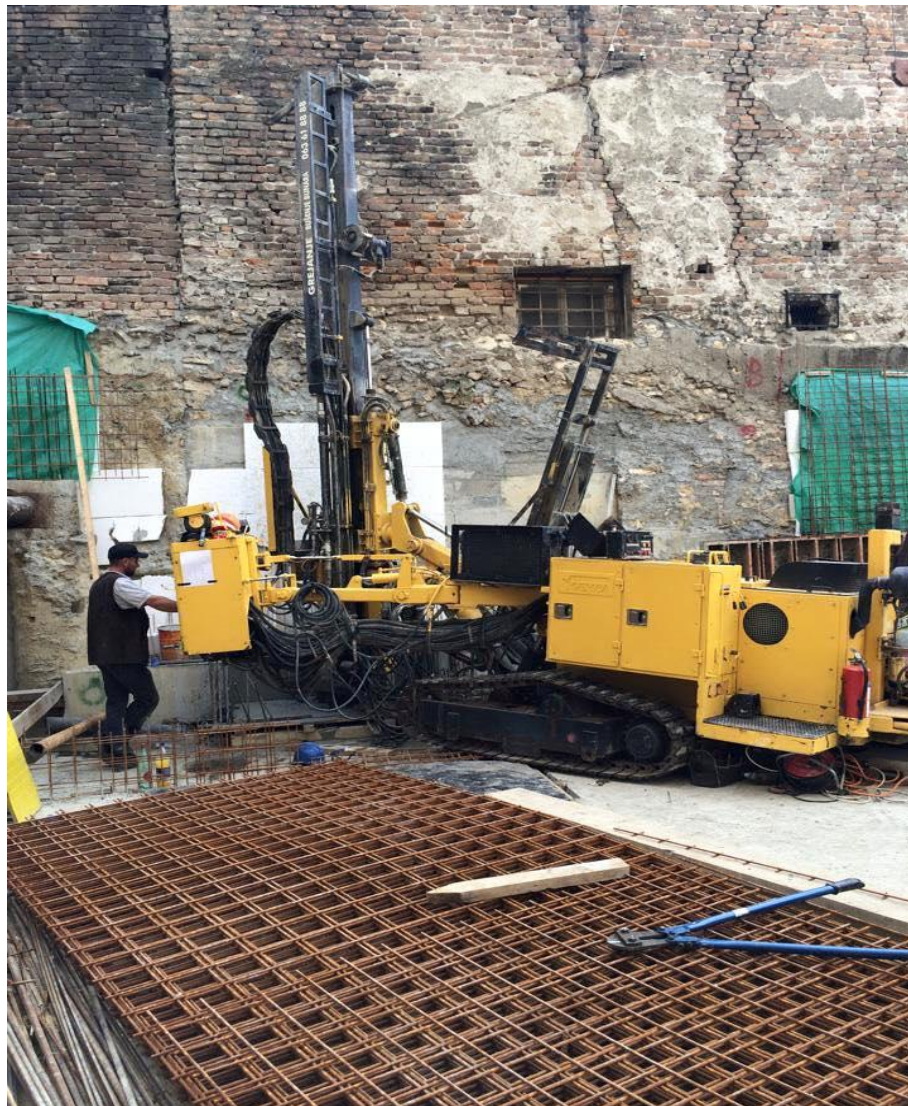
Ако узмемо средњу вредност тих цена, можемо рећи да је цена бушења бунара неких 50€ по дужном метру. [18]

Што значи ако бушимо 50 метара бунар би нас коштао 2500€, али уз то треба рачунати и пумпу за воду која кошта око 300€ (+,-). Повећање дубине утиче на јачину и цену бунарске пумпе.

Такође треба рачунати бунарске цеве, пластично цево, кабл за пумпу, сајлу

,аутоматику односно електронику итд.

Када све узмемо у обзир укупна цена по дужном метру је 70евра.Оово је цена без топлотне пумпе и инсталације унутар објекта.



Слика 18. Бушење бунара [18]

Такође је важно напоменути,да цена зависи и од пречника бушотине,који се креће од неких 140 – 300mm.

Додатни трошак може бити појава одрона у бушотини,где је неопходно уградити специјалним системом металну цев већег пречника све до дубине где се налази тврд материјал и тако спречи обрушавање. [19]



Слика 19. Уградња ме

4.2 Трошкови бушења бушотина за топлотну пумпу земља – вода

Што се тиче бушења бушотина за топлотну пумпу земља – вода, односно бушења бушотина за геотермалне сонде, сличан је принцип као за бушење бунара.

Основна разлика је у томе што нам за сонде није потребна одређена количина воде, јер у њима струји флуид (гликол), кога греје земља, али је ипак пожељно да у бушотини има мања количина воде јер та вода влажи, како земљу тако и сонду и спречава пуцање земље.

Следећа разлика је већи број бушотина, који зависи од величине објекта који намеравамо да грејемо или хладимо.

Растојање између бушотина је 8 метара, мада то некада зна варирати јер ако имамо суву бушотину без влаге онда морамо правити веће растојање да не би дошло до пуцања земље и оштећења сонде.

Из суве бушотине добијамо мању енергију у односу на бушотину у којој има воде па то може повећати број бушотина и довести до већих трошкова.

Пречник бушотине за геотермалне сонде је $\phi 140\text{mm}$.

Поред четворополних сонди које се стављају у бушотину, мора се ставити термо

цемент, туцаник или млевени камен зависно од врсте земљишта, па и то додатно утиче на трошкове.

Цена бушења и уградње сонде са термоцементом по дужном метру 40 – 60е зависно од терена. [20]

Снагу коју можемо добити по дужном метру.

- Земља – глина : 40 W
- Камен : 60 W
- Камен – вода : 100 W .



Слика 20. Уградња геотермалне сонде са туцаником, дубина 125 метара. [20]

4.3 Укупна инвестиција

Топлотна пумпа вода – вода за објекат површине 200 m² :

- Бушење бунара са опремом по дужном метру – 70e;
- Бушење бунара до 50m – 3500 e ;
- Топлотна пумпа вода – вода - 5000e ;
- Опрема за топлотну пумпу - 1000e ;
- Бафер (скретница) - 500e;
- Циркулациона пумпа, сабирници, разделници и остала пратећа опрема 1000e.

Свега : 11 000e = 1.298.000 [дин]

Овај износ може да варира зависно од дубине бунара и произвођача топлотне пумпе.

Топлотна пумпа земља – вода за објекат површине 200 m² :

- Цена уградње сонде од 40 – 60e по дужном метру;
- Потребне две бушотине од 125m.

Цена :

- $2 \cdot 125m = 250m \cdot 40e = 10.000e$;
- Топлотна пумпа земља вода - 5000e ;
- Сабирници, разделници, циркулациона пумпа и остала пратећа опрема – 1500e ;
- Заваривање сонди од врха бушотине до подстанице (развод хоризонтале) – 3500e ;

Свега : 20 000 e = 2.360.000 [дин].

Топлотна пумпа ваздух – вода за објекат површине 200 m² :

Цена топлотне пумпе ваздух – вода и пратеће опреме износи приближно 10.000e = 1.180.000 [дин].

Овај систем је јефтинији јер не захтева бушење бунара.

Из свега овога можемо да закључимо да је главни трошак ,односно највећа инвестиција код ових система бушење док су цене топлотних пумпи скоро идентичне!

5 Исплативост коришћења

5.1 Потребна енергија за грејање на годишњем нивоу

	Јединица мере	Детаљнији опис
Површина грејања	200 [m ²]	
Потребна топлотна енергија по м ² у зависности од врсте изолације објекта	7.5 [kW]	Лоше изолован објекат 100 W/m ² . Средње изолован објекат 75 W/m ² . Добро изолован објекат 50 W/m ² .
Сати грејања у току године	2548 [h]	Грејна сезона од 15.10 до 15.04 или 182 дана грејање 14 h/дан
Потребна топлотна енергија :	<u>19.110 kW</u>	$7.5 \text{ [kW]} \cdot 2548 \text{ [h]} =$ <u>19.110 kW</u>

Табела 1) Потребне енергије за грејање на годишњем нивоу

5.2 Цена струје за домаћинства

	Виша тарифа	Нижа тарифа
	дин / kWh	дин / kWh
Зелена зона До 350 kWh	5.840	1.460
Плава зона Од 351 – 1600 kWh	8.76	2.19
Црвена зона Преко 1600 kWh	17.52	4.38

Табела 2) Цена струје за домаћинства

5.3 Годишња цена грејања помоћу електротопла

Просечна месечна потрошња електричне струје у сезони грејања 4185 kWh	Месечна потрошња електричне струје за потребе домаћинства 1000 kWh	Месечна потрошња електричне струје за грејање 3185 kWh	Виша тарифа 80 %	Нижа тарифа 20 %	Са ПДВ – ом 20%
$19.110[\text{kWh}] / 6 = 3.185[\text{kWh}]$	1000 – 1600 Плава зона	600 Плава зона	480	120	5.361,12
/	1600 – 4185 Црвена зона	2585 Црвена зона	2068	517	46.194,9
Годишња цена грејања помоћу електротопла					$51.556 * 6 = 309.336[\text{дин}]$ (2.621€)

Табела 3) Годишња цена грејања помоћу електро топла

5.4 Годишња цена грејања помоћу топлотне пумпе вода - вода

Степен искоришћења ЦОП = 4	Месечна потрошња електричне струје за потребе домаћинства 1000 kWh	Месечна потрошња електричне струје за грејање 796 kWh	Виша тарифа 80 %	Нижа тарифа 20 %	Са ПДВ – ом 20%
Годишња потрошња електричне струје у kWh $19.110[\text{kW}] / 4 =$ <u>$4.775[\text{kWh}]$</u>	1000 – 1600 Плава зона	600 Плава зона	480	120	5.361,12
Просечна месечна потрошња електричне струје у сезони грејања у kWh $4.775 / 6 = 796$ kWh	1600 – 1796 Црвена зона	196 Црвена зона	156,8	39,2	2.918,832
Годишња цена грејања помоћу топлотне пумпе вода - вода					$8.279,952 * 6 =$ $49.679,712[\text{дин}]$ (421€)

Табела 4) Годишња цена грејања помоћу топлотне пумпе вода-вода

5.5 Годишња цена грејања помоћу топлотне пумпе земља - вода

Степен искоришћења ЦОП = 2.5	Месечна потрошња електричне струје за потребе домаћинства 1000 kWh	Месечна потрошња електричне струје за грејање 1.277kWh	Виша тарифа 80 %	Нижа тарифа 20 %	Са ПДВ – ом 20%
Годишња потрошња електричне струје у kWh $19.110[\text{kW}] / 2.5 = 7.664[\text{kWh}]$	1000 – 1600 Плава зона	600 Плава зона	480	120	5.361,12
Просечна месечна потрошња електричне струје у сезони грејања у kWh $7.664 / 6 = 1.277 \text{ kWh}$	1600 – 2277 Црвена зона	627 Црвена зона	501,6	125,4	11.205
Годишња цена грејања помоћу топлотне пумпе земља - вода					$16.566 * 6 = 99.396 [\text{дин}]$ (842€)

Табела 5) Годишња цена грејања помоћу топлотне пумпе земља-вода

5.6 Годишња цена грејања помоћу топлотне пумпе ваздух - вода

Степен искоришћења ЦОП = 1.5	Месечна потрошња електричне струје за потребе домаћинства 1000 kWh	Месечна потрошња електричне струје за грејање 2.123kWh	Виша тарифа 80 %	Нижа тарифа 20 %	Са ПДВ – ом 20%
Годишња потрошња електричне струје у kWh $19.110[\text{kW}] / 1.5 =$ <u>12.740 [kWh]</u>	1000 – 1600 Плава зона	600 Плава зона	480	120	5.361,12
Просечна месечна потрошња електричне струје у сезони грејања у kWh $9.555 / 6 = 2.123$ kWh	1600 – 3123 Црвена зона	1.523 Црвена зона	1.218	304,6	27.208
Годишња цена грејања помоћу топлотне пумпе ваздух - вода					$32.569,12 * 6 =$ 195.415 [дин] (1.656 е)

Табела б) Годишња цена грејања помоћу топлотне пумпе ваздух-вода

5.7 Годишња цена грејања - природни гас -

Коефицијент корисног дејства (η)	90%	
Грејна снага [Q_{dm}^3]	$Q_{dm}^3 = 34\,000 * 0,9 = 30\,600 \text{ kJ} / \text{m}^3$	$1 \text{ m}^3 = 34\,000 \text{ kJ} / \text{m}^3$
Потрошња гаса [Q]	$19\,110 \text{ kWh} * 3600\text{s} = \underline{68.796 * 10^6 \text{ kJ}}$	
Потребна запремина [V]	$V_m^3 = \frac{Q}{Q_{dm3}} = \frac{68.796 * 1000000}{30600} = 2248 \text{ m}^3$	
Цена гаса без ПДВ – а	32.28 [дин / m^3]	Извор: Србија гас
Цена гаса са ПДВ - ом	38,736 [дин / m^3]	
Природни гас	87.078,528 [дин] (738€)	

Табела 7) Годишња цена грејања – природни гас -

5.8 Цена и потрошња на годишњем нивоу

		Потрошња на годишњем нивоу
Цена електричног котла	80 000 [дин]	309.336 [дин]
Цена топлотне пумпе вода - вода	1.298.000 [дин]	49.679,712 [дин]
Цена топлотне пумпе ваздух - вода	1.180.000 [дин]	195.415 [дин]
Цена топлотне пумпе земља – вода	2.360.000 [дин]	99.396 [дин]
Цена гасног котла	100.000 [дин]	87.078,528 [дин]

Табела 8) Цена и потрошња на годишњем нивоу

5.8.1 Разлика инвестиције и потрошње топлотне пумпе земља – вода - електричног котла и гасног котла

Разлика инвестиције топлотне пумпе земља – вода и електричног котла [дин]	Разлика потрошње на годишњем нивоу [дин]	Разлика инвестиције топлотне пумпе земља – вода и гасног котла [дин]	Разлика потрошње на годишњем нивоу [дин]
$2.360.000 - 80.000 = 2.280.000$	$309.336 - 99.396 = 209.940$	$2.360.000 - 100.000 = 2.260.000$	$87.078,528 - 99.396 = - 12,318$
Време враћања инвестиције		Време враћања инвестиције	
$2.280.000 / 209.240 = 3\text{ а } 10.89\text{ година.}$		Инвестиција се не исплати.	

Табела 9) Разлика инвестиције и потрошње топлотне пумпе земља – вода - електричног котла и гасног котла

Поређењем видимо да се топлотна пумпа земља – вода у односу на електрични котао исплати за 10.89 година, док се у поређењу са гасним котлом инвестиција не исплати.

5.8.2 Разлика инвестиције и потрошње топлотне пумпе вода – вода - електричног котла и гасног котла

Разлика инвестиције топлотне пумпе вода – вода и електричног котла [дин]	Разлика потрошње на годишњем нивоу [дин]	Разлика инвестиције топлотне пумпе вода – вода и гасног котла [дин]	Разлика потрошње на годишњем нивоу [дин]
$1.298.000 - 80.000 = 1.218.000$	$309.336 - 49.679,712 = 259.657$	$1.298.000 - 100.000 = 1.198.000$	$87.078,528 - 49.679,712 = 37.399$
Време враћања инвестиције		Време враћања инвестиције	
$1.218.000 / 259.657 = 4.7$ година		$1.198.000 / 37.399 = 32.03$ За 32 године.	

Табела 10) Разлика инвестиције и потрошње топлотне пумпе вода – вода - електричног котла и гасног котла

Овим поређењем видимо да се топлотна пумпа вода – вода у односу на електрични котао исплати за 4.7 година, а у односу на гасни котао за 32 године.

5.8.3 Разлика инвестиције и потрошње топлотне пумпе ваздух – вода - електричног котла и гасног котла

Разлика инвестиције топлотне пумпе ваздух– вода и електричног котла [дин]	Разлика потрошње на годишњем нивоу [дин]	Разлика инвестиције топлотне пумпе ваздух – вода и гасног котла [дин]	Разлика потрошње на годишњем нивоу [дин]
$1.180.000 - 80.000 = 1.100.000$	$309.336 - 195.415 = 113.921$	$1.180.000 - 100.000 = 1.080.000$	$87.078,528 - 195.415 = -108.337$
Време враћања инвестиције	Време враћања инвестиције		
$1.100.000 / 113.921 = 9.65$ година.	Инвестиција се не исплати.		

Табела 9) Разлика инвестиције и потрошње топлотне пумпе ваздух – вода - електричног котла и гасног котла

Овим поређењем видимо да се топлотна пумпа ваздух – вода у односу на електрични котао исплати за 9.65 година, док се у поређењу са гасним котлом инвестиција не исплати.

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.

Због ниске цене инвестиције гасног котла, топлотне пумпе земља – вода и ваздух – вода се не исплате, док се у поређењу са електричним котлом исплате!

Тakoђе постоје разновразне 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] Небојша Лукић: скрипта: *Пренос топлоте и масе*, Машински факултет у Крагујевцу, 2011.

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

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

[4] <https://www.artel.rs/>

[5] <https://www.artel.rs/potrosnja-i-cena/poredenja-potrosnje/toplotna-pumpa-vs-centralno-grejanje/>

[6] <https://www.artel.rs/potrosnja-i-cena/poredenja-potrosnje/toplotna-pumpa-vs-elektro-kotao/>

[7] <https://www.artel.rs/potrosnja-i-cena/poredenja-potrosnje/toplotna-pumpa-vs-prirodni-gas/>

[8] <https://geotermika.com/kako-postici-maksimalan-cop-i-ustedu/>

[9] <http://www.alfaclima.co.rs/>

[10] <http://www.panontherm.co.rs.>

