

# Projekt toplinske pumpe

---

**Tomašević, Ivana**

**Master's thesis / Diplomski rad**

**2015**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **University of Rijeka, Faculty of Humanities and Social Sciences / Sveučilište u Rijeci, Filozofski fakultet u Rijeci**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:186:461262>

*Rights / Prava:* [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-08-16**



*Repository / Repozitorij:*

[Repository of the University of Rijeka, Faculty of Humanities and Social Sciences - FHSSRI Repository](#)



SVEUČILIŠTE U RIJECI  
FILOZOFSKI FAKULTET  
ODSJEK ZA POLITEHNIKU

DIPLOMSKI RAD

PROJEKT TOPLINSKE PUMPE

Ivana Tomašević

Rijeka, rujan 2015.

SVEUČILIŠTE U RIJECI  
FILOZOFSKI FAKULTET  
ODSJEK ZA POLITEHNIKU

DIPLOMSKI RAD  
PROJEKT TOPLINSKE PUMPE

Ivana Tomašević

Mentor: doc. dr. sc. Tomislav Senčić

Rijeka, rujan 2015.

## **IZJAVA**

Izjavljujem pod punom moralnom odgovornošću da sam Diplomski rad izradila samostalno, isključivo znanjem stečenim na Filozofskom fakultetu u Rijeci odsjeku za Politehniku, služeći se navedenim izvorima podataka i uz stručno vodstvo mentora doc.dr.sc Tomislava Senčića kome se srdačno zahvaljujem na uputama i savjetima.

Također se zahvaljujem Lovri, njegovoj obitelji te svojim roditeljima Ljiljani i Vladi, sestri Mariji, teti Branki, a posebno baki Marici, koji su mi kroz cijelo vrijeme mog školovanja bili najveća podrška.

Ivana Tomašević

---

FILOZOFSKI FAKULTET

ODSJEK ZA POLITEHNIKU

Diplomski studij politehlike i informatike (dvopredmetni studij u fiksnoj kombinaciji - nastavnički smjer)

**ZADATAK ZA DIPLOMSKI RAD**

Pristupnica: **IVANA TOMAŠEVIĆ**

Naziv zadatka: **PROJEKT TOPLINSKE PUMPE**

Title (English) : **HEAT PUMP PROJECT**

Sadržaj zadatka:

Toplinska pumpa (crpka) je glavni dio sustava grijanja na geotermalnu energiju. Objasniti princip rada ovih uređaja, navesti primjere primjene, opisati komponente, navesti glavne radne medije. Proanalizirati prednosti i mane različitih komponenti i radnih medija. Navesti proračun koji bi omogućio dimenzioniranje dijelova toplinske crpke za grijanje stambenog objekta te proračun utroška energije. Priložiti shemu toplinske pumpe te sklopni nacrt kompresora.

Zadano: 12.03.2015.

Mentor:

Doc.dr.sc. Tomislav Senčić

\_\_\_\_\_

Zadatak preuzeo:

\_\_\_\_\_

(potpis pristupnika)

## SADRŽAJ

1. UVOD.....	8
2. TOPLINSKA PUMPA.....	5
2.1. VRSTE TOPLINSKIH PUMPI.....	6
2.1.1. TOPLINSKA PUMPA VODA/VODA.....	6
2.1.2. TOPLINSKE PUMPE ZRAK/VODA .....	7
2.1.3. TOPLINSKA PUMPA TLO/VODA .....	7
2.1.3.1. SUSTAV S OTVORENIM KRUGOM .....	7
2.1.3.2. SUSTAV SA ZATVORENIM KRUGOM.....	8
2.2. DIJELOVI TOPLINSKE PUMPE .....	11
2.2.1. ISPARIVAČ.....	11
2.2.2. KOMPRESOR .....	12
2.2.3. KONDENZATOR.....	14
2.2.4. EKSPANZIJSKI VENTIL .....	15
2.3. PRINCIP RADA TOPLINSKE PUMPE .....	16
2.4. RADNA TVAR .....	17
2.4.1. PREDNOSTI I NEDOSTACI RADNIH TVARI.....	18
2.5. PRIMJERI PRIMJENE TOPLINSKIH PUMPI.....	22
2.5.1. SUSTAV TOPLINSKE PUMPE ZA GRIJANJE I PRIPREMU POTROŠNE VODE U NISKOENERGETSKOJ OBITELJSKOJ KUĆI U KARLOVCU .....	23
2.5.2. SUSTAV TOPLINSKE PUMPE U INDUSTRIJSKOM POSTROJENJU.....	26
3. PRORAČUNI .....	28
3.1. PRORAČUN ZA DIMENZIONIRANJE DIJELOVA TOPLINSKE CRPKE ZA GRIJANJE STAMBENOG OBJEKTA .....	28
3.2. IZBOR TERMOSTATSKOG EKSPANZIJSKOG VENTILA .....	32
3.3. PRORAČUN UTROŠKA ENERGIJE ZA GRIJANJE POMOĆU TOPLINSKE PUMPE.....	36
3.4. USPOREDBA POTROŠNJE ELEKTRIČNE STRUJE ZA GRIJANJE POMOĆU ELEKTRIČNOG RADIJATORA .....	38
4. METODIČKI DIO - PRIPREMA ZA IZVOĐENJE NASTAVE.....	40
5. ZAKLJUČAK .....	50
6. LITERATURA:.....	51

## 1. UVOD

Toplina koju dobivamo iz Zemlje je značajan izvor energije i pogodna je za iskorištavanje u svom izvornom obliku ili za pretvorbu u električnu energiju te toplinu u toplinskim sustavima. Ta toplina, odnosno geotermalna energija se u prirodi manifestira u obliku vrućih izvora, vulkana i gejzira. Geotermalna energija se smatra obnovljivim izvorom energije jer je količina takve energije jako velika i može se smatrati neiscrpnom. Resursi se nalaze u širokom rasponu dubina, od plitkih površinskih do više kilometara dubokih. Elektrane kojima je izvor energija dobivena iz Zemlje ne pridonose emisiji stakleničkih plinova i ne emitiraju štetne tvari u okoliš te je takav izvor energije prilično jeftin u usporedbi sa ostalim izvorima energije.



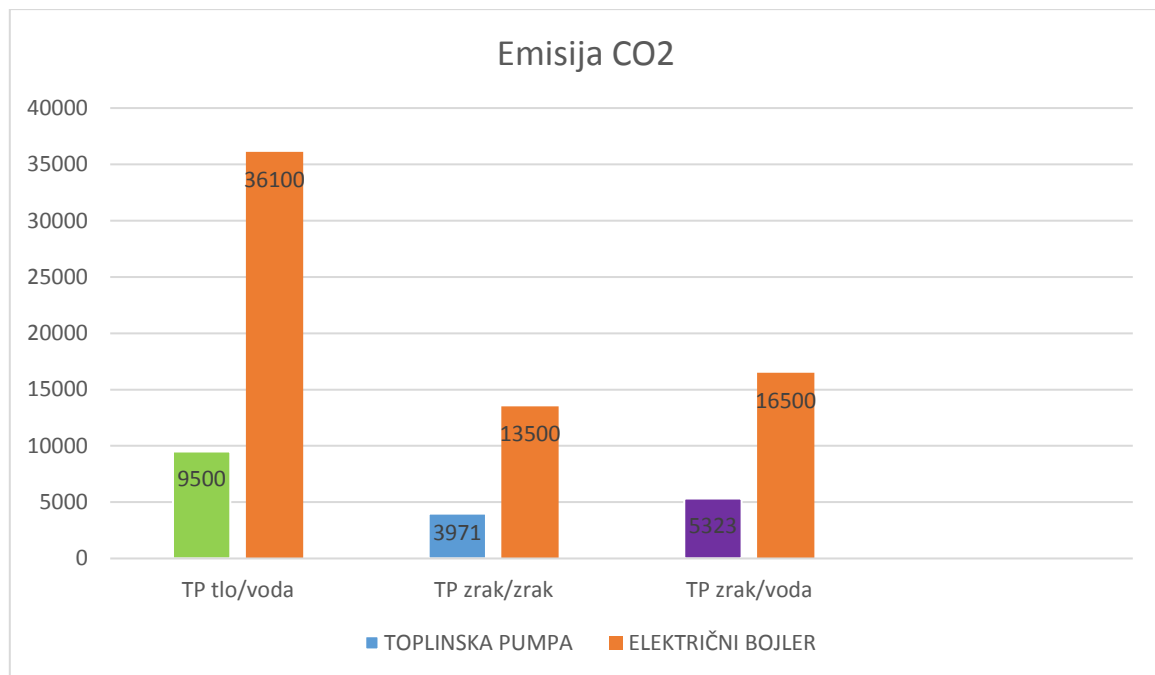
Slika 1: Presjek Zemlje [1]

Kora Zemlje zadržava toplinu plašta ispod nje te grije tlo zemlje, ali i podzemne te površinske vode čija je toplina također iskoristiva pomoću sistema sa toplinskim pumpama. Ne samo toplina tla i vode, već i toplina zraka. Interes zemalja koje iskorištavaju geotermalnu energiju iz gejzira i vrućih izvora raste te istražuju potencijale ovakvih sistema. Sustavi za grijanje pomoću toplinskih pumpi se već u velikom broju koriste u Sjedinjenim Američkim državama, Švicarskoj, Njemačkoj, Švedskoj, Kanadi, Francuskoj itd., ali raste i interes za njihovu implementaciju u Rusiji, Kini, Norveškoj, Turskoj, Japanu, Iranu, Argentini i drugim državama.

Toplinska pumpa koja je doživjela porast u korištenju je toplinska pumpa tlo/voda ( *eng. Geothermal (ground-source)heat pump*) te se instalira od malih domaćinstava do raznih velikih sistema koji proizvode razne kapacitete energije. Daljnim razvojem i njihovom

instalacijom se teži visokoj iskoristivosti, dugotrajnosti, kvaliteti pumpi i njihovih sistema, zanemarivoj emisiji stakleničkih plinova te većoj upotrebi sistema iz obnovljivih izvora energije.

Njihova uloga u smanjenju stakleničkih plinova je prepoznata te se predviđa da bi toplinska pumpa tlo/voda mogla smanjiti svjetsku razinu CO<sub>2</sub> za 6 % što je jedan od najvećih rezultata postignutih tehnologijom koja je dostupna na tržištu.



Dijagram 1: Količina emisije CO<sub>2</sub> u usporedbi sa električnim bojlerom [3]

Trenutni svjetski instalirani kapacitet daje nešto više od 10 MWt-toplinske energije, a godišnja svjetska potošnja energije iznosi 16 GWh. U svijetu je instalirano oko 900 000 toplinskih pumpi, no predviđa se više jer podaci nisu potpuni. [2]

U tablici su prikazuje zemlje koje su pri vrhu po upotrebi toplinskih pumpi:

DRŽAVA	TOPLINSKA ENERGIJA (MWt)	BROJ UGRAĐENIH TOPLINSKIH PUMPI
1. SAD	6300	600 000
2. ŠVEDSKA	2300	230 000
3. NJEMAČKA	640	46 400
4. KANADA	435	36 000
5. ŠVICARSKA	525	30 000
6. AUSTRIJA	275	23 000

Tablica 1. : Broj instaliranih toplinskih pumpi [2]

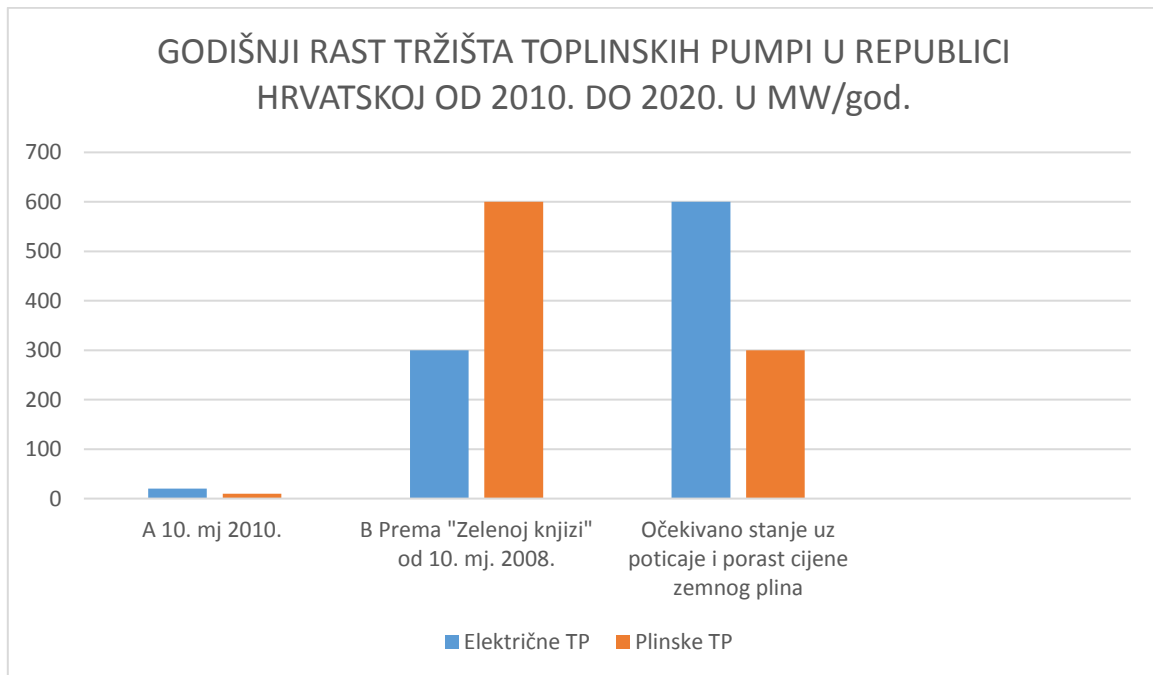
Korištenje toplinskih pumpi se može primjeniti bilo gdje ovisno o izvoru topline cijelog sistema (zrak, voda, zemlja) s obzirom na prosječne vanjske temperature mjesta instalacije.



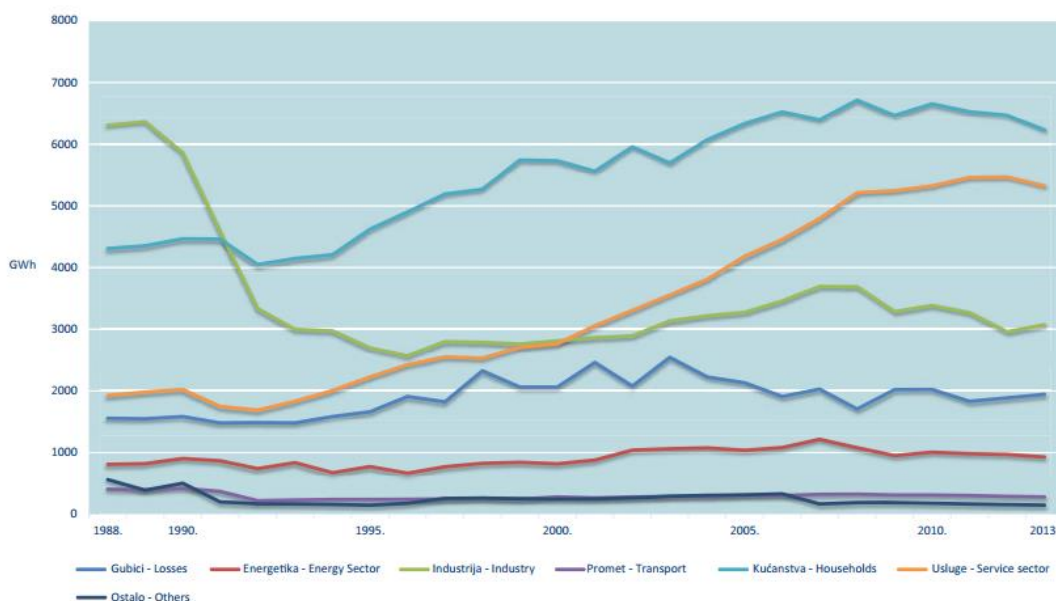
Za rad koriste i električnu energiju i toplinu iz izvora (tlo, voda, zrak) da bi se proizvela količinu topline koja je potrebna.

Smanjuju potrošnju električne energije za 3 puta te omogućavaju uštedu novca, a istovremeno je okružju, mjestu primjene, potrebna manja količina proizvedene električne energije.

Ono što zapravo toplinske pumpe rade je da podižu temperaturu niže razine na temperaturu više razine, a radni proces toplinske pumpe je inverzija rada hladnjaka gdje se uzima toplina koja se oslobađa na kondenzatoru, za razliku od principa rada hladnjaka kada se preuzima temperatura sa isparivača za hlađenje.



Dijagram 2: Grafički prikaz stanja godišnjeg rasta tržišta dizalica topline u RH za razdoblje od 2010. do 2020. u MW/god. [16]



Slika 2: Potrošnja električne energije u pojedinim sektorima [28]

Iz grafa možemo primjetiti da su do 2013. upravo kućanstva najveći potrošači električne energije. Industrijski sektor troši u pola manje električne struje što je vjerovatno posljedica zatvaranja mnogobrojnih industrija te malog i srednjeg poduzetništva u Republici Hrvatskoj.

Vrsta potrošača Customer category		2000.	2001.	2002.	2003.	2004.	2005.	2006.	2007.
Kućanstva Households	kn/m <sup>3</sup>	1,45	1,72	1,94	1,95	2,04	2,04	2,05	2,05
	kn/kWh	0,1565	0,1853	0,2098	0,2101	0,2203	0,2203	0,2214	0,2214
Usluge Services	kn/m <sup>3</sup>	1,45	1,72	1,98	1,99	2,08	2,06	2,07	2,07
	kn/kWh	0,1565	0,1853	0,2134	0,2415	0,2246	0,2224	0,2235	0,2235
Industrija Industry	kn/m <sup>3</sup>	1,38	1,72	1,94	1,94	2,04	2,05	2,05	2,04
	kn/kWh	0,1495	0,1855	0,2091	0,2099	0,2203	0,2214	0,2214	0,2203

Vrsta potrošača Customer category		2008.	2009.	2010.	2011.	2012.	2013.
Kućanstva Households	kn/m <sup>3</sup>	2,05	2,41	2,83	2,88	3,66	3,80
	kn/kWh	0,2214	0,2602	0,3056	0,3113	0,3952	0,4103
Usluge Services	kn/m <sup>3</sup>	2,08	2,44	3,43	4,12	4,86	4,52
	kn/kWh	0,2246	0,2635	0,3704	0,4454	0,5248	0,4881
Industrija Industry	kn/m <sup>3</sup>	2,05	2,43	3,60	3,99	4,47	4,35
	kn/kWh	0,2214	0,2624	0,3887	0,4309	0,4827	0,4697

Slika 3: Prosječna prodajna cijena prirodnog plina od 2000.-2013. godine u kn/m<sup>3</sup> s PDV-om [28]

U tablici možemo vidjeti da je cijena plina u 2013. bila 0,4103 kn/kWh što je manje nego današnja cijena struje, no isto tako možemo uočiti stalan rast cijena koji će se vjerovatno nastaviti jer je raspoloživost fosilnih goriva, plina i nafte vremenski ograničena, stoga je potrebno uložiti više u sustave obnovljivih izvora energije za proizvodnju električne energije, kao i toplinske energije za grijanje kućanstava, stambenih zgrada, ali i u industriji jer su upravo oni najveći zagađivači.

U kontinentalnoj Hrvatskoj, od ukupnog broja kupaca toplinske energije, 96% su zapravo kućanstva.

Prednosti toplinskih pumpi:

TIHI RAD- toplinske pumpe tijekom rada ne stvaraju veliku buku pa su pogodne za upotrebu u domaćinstvima i u poslovnim prostorima

PRILAGODBA- možemo ih koristiti tijekom visokih i niskih temperatura odnosno pogodne su za rashlađivanje i za zagrijavanje

FLEKSIBILNOST- sustavi sa toplinskom pumpom se mogu instalirati u razne svrhe te se oni , također, mogu povezati u mrežu koja bi opskrbljivala toplinskom energijom privatne ili poslovne objekte

## 2. TOPLINSKA PUMPA

Toplinske pumpe se koriste u sustavima za proizvodnju toplinske energije. One se trenutno koriste za grijanje stanova, kuća, plastenika, ali i za grijanje naselja jer ih možemo primjeniti u svim veličinama ovisno o potrebi. Toplinska pumpa sudjeluje u prijenosu topline između spremnika niže temperature razine i spremnika više temperature razine. U literaturi se nalaze 3 različita izraza, ali imaju isto značenje: toplinska crpka, toplinska pumpa i dizalica topline.

Ono što zapravo toplinska pumpa radi, najbolje opisuje izraz dizalica topline jer možemo zaključiti da ona ustvari diže nižu temperaturu na višu temperaturu. Iz prva dva izraza bi mogli primjetiti da ona crpi toplinu iz nekog izvora ili da je to pumpa koja radi pomoću topline što nije točno, no sva 3 izraza su pravilna.

Za primjenu toplinskih pumpi koriste se plitki geotermalni resursi dubine od 15 do 200 m. Ovisno o efikasnosti toplinske pumpe direktno iz okoliša može se crpiti 75% potrebne energije.

Ta energija koju koristimo dolazi od Sunca ili iz Zemlje. Geotermalna toplina dovodi se domaćinstvima gdje se većim dijelom koristi za grijanje, hlađenje i pripremu tople vode. Upotrebom toplinskih pumpi smanjuje se potrošnja električne energije.



Slika 4: Toplinska pumpa tlo/voda Vitocal 350-A [6]

Sustav sa toplinskom pumpom sastoji se od 3 kruga:

1. Krug izvora topline- krug izvora topline se smatra onaj iz kojeg crpimo toplinu (tlo, voda, zrak)
2. Krug radne tvari (TP)- pod krugom radne tvari se podrazumijeva sam radni proces toplinske pumpe kada njoj dovedemo energiju iz izvora topline zbog toga što u toplinskoj pumpi kruži radna tvar koja mijenja agregatno stanje pod utjecajem topline
3. Krug ponora topline- krug ponora topline je onaj kome predajemo dobivenu količinu toplinske energije (sustav grijanja)

## 2.1. VRSTE TOPLINSKIH PUMPI

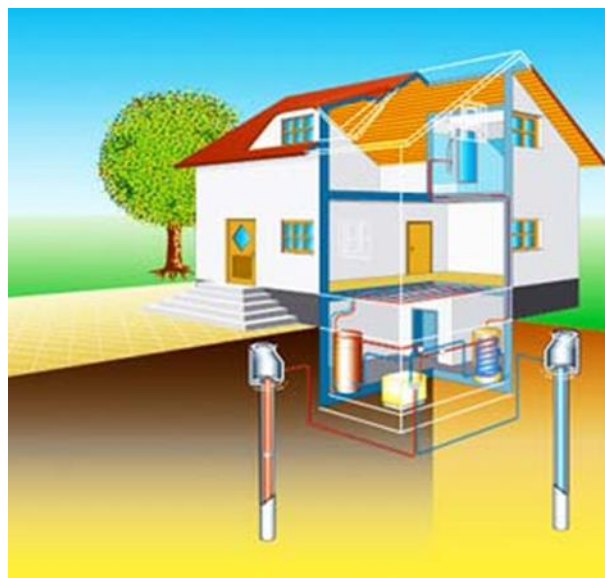
### 2.1.1. TOPLINSKA PUMPA VODA/VODA

Toplinsku energiju možemo dobiti iz izvora površinskih i podzemnih voda. Karakteristika podzemnih voda je ta da je temperatura tijekom cijele godine relativno stalna i kreće se između 7 i 12 °C.

Voda se tada iz jedne bušotine, vodene površine ili vodotoka crpi, a kroz drugu bušotinu vraća u podzemne slojeve.

Za instalaciju toplinske pumpe voda/voda potrebno je izvesti crpni zdenac i njegov upojni zdenac na 5 metara dubine međusobno odaljeni minimalno 15 metara u kojeg se vraća voda iz toplinske pumpe. (Slika 5)

Voda se u crpni zdenac vraća s nepromijenjenim kemijsko – biološkim svojstvima, ali nešto toplija. 1m<sup>3</sup> vode može dati oko 4 kW toplinske energije.

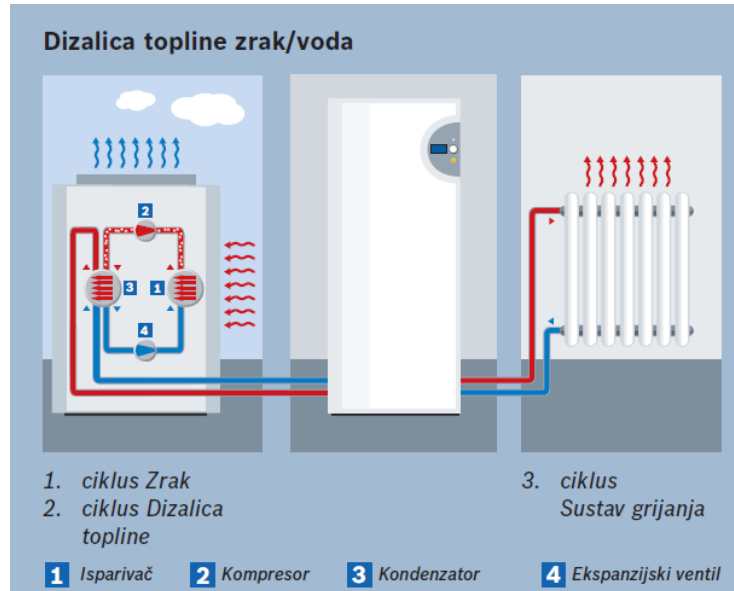


Slika 5: Izvedba sistema grijanja TP voda/voda [9]

### 2.1.2. TOPLINSKE PUMPE ZRAK/VODA

Ovakav sustav grijanja može se instalirati na područjima u kojima vanjska temperatura nije jako niska. Razlog tome je temperatura zraka koja nije stalna. Ukoliko temperatura padne ispod  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ , zrak je hladniji od temperature radne tvari u isparivaču i ne crpi se energija.

Ovaj sustav sadrži usisni ventilator za usis vanjskog zraka, toplinsku pumpu u kojoj se u izmjenjivaču topline predaje toplina zraka na radnu tvar u toplinskoj pumpi te se dobivena toplina distribuira u sustav grijanja.



Slika 6: Sustav toplinske pumpe zrak/voda [10]

### 2.1.3. TOPLINSKA PUMPA TLO/VODA

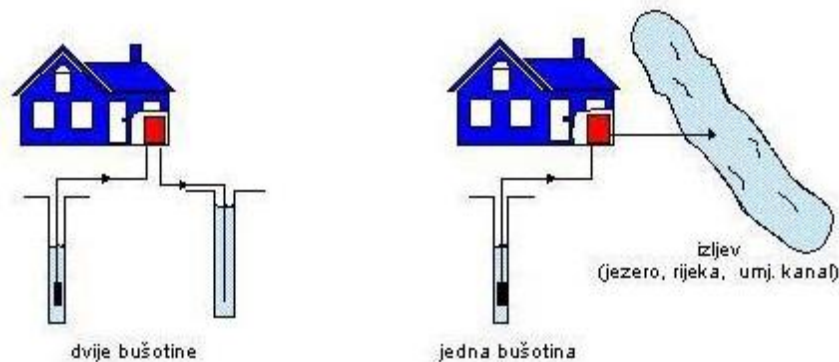
Ove pumpe se još nazivaju geotermalne toplinske pumpe koje koriste toplinu zemlje.

Postoje dva tipa sustava geotermalnih toplinskih pumpi:

- 1) Sustav s otvorenim krugom
- 2) Sustav sa zatvorenim krugom

#### 2.1.3.1. SUSTAV S OTVORENIM KRUGOM

Sastoji se od 2 bušotine (proizvodne i utisne) ili bušotine i izljeva.

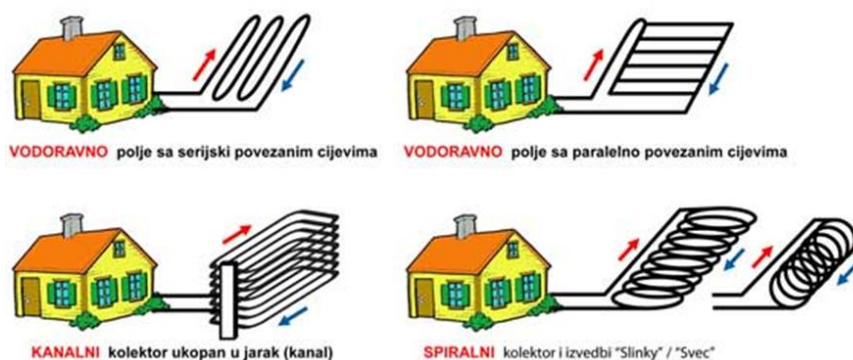


Slika 7: Otvoreni krug

### 2.1.3.2. SUSTAV SA ZATVORENIM KRUGOM

#### HORIZONTALNI

Zemlja ima vrlo stabilnu temperaturu bez obzira na vanjske uvjete. Preko ukopanih cijevi u kojima teče radni medij se prenosi toplina tla koja na 1,2 metra dubine ima temperaturu od 8 do 12 °C. Na spomenutu dubinu se postavljaju geotermalni kolektori. Toplinska pumpa ovu temperaturu podiže do 60°C.



Slika 8: Izvedbe zatvorenog sustava s podzemnim kolektorima [9]

To je zatvoreni cijevni sistem gdje se oduzimanje topline vrši preko horizontalnog geotermalnog kolektora koji se postavlja na dubini od 1,2 – 1,5 m. Međusobna udaljenost plastičnih cijevi mora biti minimalno 70 cm.

Ako je raspoloživa velika površina oko kuće onda je ovo najisplativije rješenje.

Također za instalaciju ovakvih kolektora treba uzeti kvalitetu zemlje tj. koliko može dati W/m<sup>2</sup> (specifični toplinski učinak)

Prema smjernicama VDI 4640 moguće je oduzimanje iz:

KVALITETA TLA	SPECIFIČNI TOPLINSKI UČINAK
Suho, pjeskovito tlo	10 W/m <sup>2</sup>
Vlažno, pjeskovito tlo	15-20 W/m <sup>2</sup>
Suho, glinasto tlo	20-25 W/m <sup>2</sup>
Vlažno, glinasto tlo	25-30 W/m <sup>2</sup>
Zasićeno vodom, glinasto tlo	30 W/m <sup>2</sup>

Tablica 2: Specifični toplinski učinak tla prema VDI 4640 [12]

VDI 4640 je standard za toplinsko crpljenje geotermalne energije koje je donijelo Europsko vijeće za geotermalnu energiju i odnosi se na toplinske pumpe tlo/voda.

Površina geotermalnog kolektora može se smanjiti ili povećati ovisno o kvaliteti tla s obzirom na njen specifični toplinski učinak.

<b>Razmak polaganja cca 80 cm</b>	<b>Dubina polaganja 120 cm</b>											
Broj krugova cijevi	3	3	4	5	6	7	8	9	11	13	15	18
Ukupna duljina cijevi (tekući metar)	300	300	400	500	600	700	800	900	1100	1300	1500	1800
Potrebna površina u m <sup>2</sup>	240	240	320	400	480	560	640	720	880	1040	1200	1140

Tablica 3. Veličine i površina geotermalnog kolektora [12]

## VERTIKALNI

Dubinske sonde će se primjeniti kada nije na raspolaganju velika površina zemlje kao što je u slučaju korištenja geotermalnog kolektora. Ovdje je bitno odrediti dubinu bušenja i raspored sondi.

Za izvršavanje bušenja potrebno je zvati specijalizirane tvrtke i usluge geologa jer je prvo potrebno izvršiti geološka ispitivanja na osnovu kojih se izbuše odgovarajuće rupe određenog promjera i dubine.



Slika 9: Izvedba sa dubinskom sondom [9]

Sonda se sastoji od dvostruke U-cijevi. Za sonde duljine do 50 m minimalna udaljenost između bušotina treba iznositi 5 m dok za sonde duljine veće od 50 m minimalna udaljenost između bušotina treba iznositi 6 m.



Slika 10. : Način izvedbe sonde [7]

U cijevima se koristi smjesa vode i propilen-glikola za zaštitu od smrzavanja.



## 2.2. DIJELOVI TOPLINSKE PUMPE

Toplinska pumpa se sastoji od 4 osnovna dijela:

- 1) Isparivač
- 2) Kompresor
- 3) Kondenzator
- 4) Ekspanzijski ventil

Unutar toplinske pumpe se nalazi radna tvar koja služi kao nositelj topline između izvora topline i sustava grijanja.

### 2.2.1. ISPARIVAČ

U isparivaču dolazi do isparavanje radne tvari kada se do njega dovede toplina iz okoline. On je izmjenjivač topline u kojemu radna tvar u TP izmjenjuje toplinu sa medijem iz okoline (zrak, voda, rasolina, glikolna smjesa), a pri tome se medij hladi. Učinak isparivača ovisi o površini sa kojom izmjenjuje toplinu te razlici temperature medija i radne tvari. Razlika temperature treba biti što manja (4-8 °C), a tlak isparavanja što viši. Zato se pri projektiranju uzima razlika između polaznog i povratnog hoda 5 °C.

Pri ulasku u isparivač radna tvar je u stanju mokre pare te pri konstantnom tlaku dolazi do njenog isparavanja. Moraju biti što manjih dimenzija te je potreban što manji pad tlaka sa strane izmjenjivača iz okoline. Zato je važno pravilno napuniti cijevi horizontalnog kolektora propilenskom smjesom te osigurati dodatni ventil za odzračivanje sustava.

Postoji više vrsta isparivača ovisno o vrsti toplinske pumpe:

- 1) Isparivači za TP s tlom kao izvorom
  - a. Pločasti
  - b. Dvostruki s koaksijalnom cijevi
- 2) Isparivači za TP s podzemnom vodom kao izvorom
  - a. Pločasti od nehrđajućeg čelika
  - b. Dvostruki s koaksijalnom cijevi od bakra ili legure bakra i nikla
- 3) Isparivači za TP s površinskom vodom kao izvorom
  - a. Pločasti
- 4) Isparivači za TP sa zrakom kao izvorom
  - a. Lamelasti
  - b. S cijevnom zmijom [11]

### 2.2.2. KOMPRESOR

Kompresor u toplinskoj pumpi služi za tlačenje radne tvari i za to mu je potrebno dovesti rad. Radnoj tvari snižava tlak i temperaturu isisavanjem pare radnoj tvari koja je u suho zasićenom ili blago pregrijanom stanju. Usisanu paru radne tvari komprimira na tlak kondenzacije, a ta je temperatura viša od temperature izvora. Kompresor mora usisavati samo paru pa da bi se osiguralo da ne dođe do hidrauličkog udara, radna tvar se iz sigurnosnih razloga uvijek pregijava u blago pregrijano stanje. Rashladni učinak kompresora i isparivača mora biti jednak kako bi se omogućilo potpuno komprimiranje radne tvari.

Kompresore s obzirom na način stlačivanja radne tvari dijelimo na:

- a) Klipne kompresore
- b) Vijčane kompresore
- c) Spiralne kompresore
- d) Turbokompresore

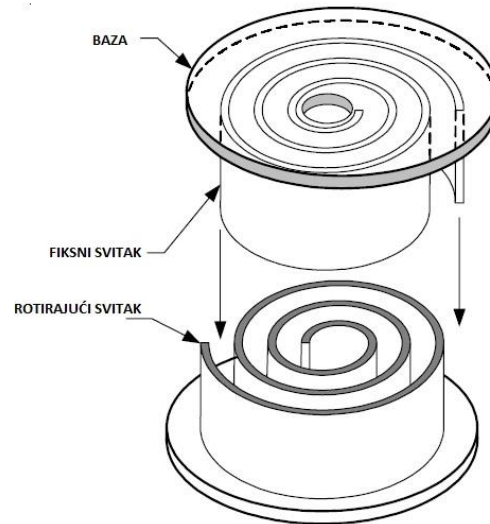


Slika 11. Danfoss spiralni kompresori za grijanje [13]

U toplinskim pumpama se koriste klipni i spiralni kompresori, no u primjeni se ipak koriste više spiralni zbog svojih prednosti naspram klipnih kompresora, a to su:

- Izvrsna individualna efikasnost pri djelomičnim i punim opterećenjem
- Vrlo malo pokretnih dijelova (tri)
- Dokazana pouzdanost
- Vrlo tihi rad
- Vrlo male vibracije
- Kontinuirani proces kompresije, gotovo da i nema pulsiranja i vibracija

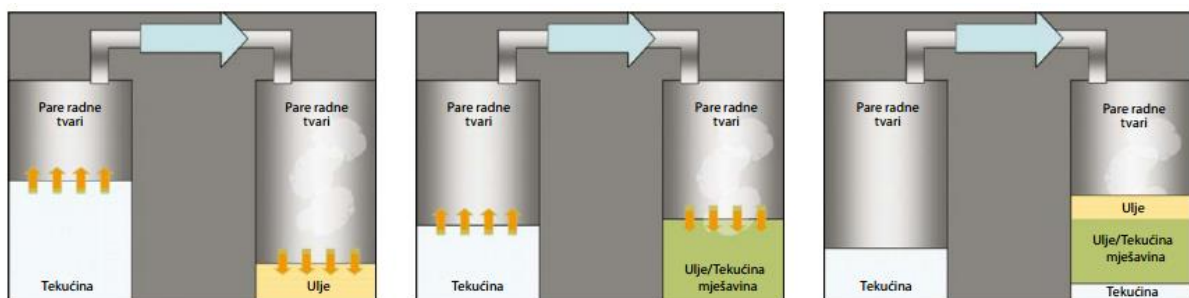
- Nepopustljiv dizajn, gdje ne postoji kontakt između svitaka, koji ima vrlo nisko trenje što poboljšava učinkovitost
- Većina dijelova nije podložna mehaničkom trošenju i kvarovima



Slika 12: Svitak spiralnog kompresora [14]

Spiralni kompresor pomicanjem svitaka stalno i ravnomjerno stlačuje jednaku količinu radne tvari tako da se smanjuje prostor između fiksnog i rotirajućeg svitka.

Najčešći problem koji se javlja kod kompresora je taj da usljed neaktivnosti kompresora, pri niskim temperaturama okoline, radna tvar u toplinskoj pumpi isprava te se kreće prema hladnijem dijelu sustava, a to je kompresor. U njemu se kondenzira i miješa s uljem koje se nalazi u njemu. Što je kompresor više u stanju mirovanja, to više kapljevine ulazi u krater kompresora. Pri radu takva smjesa podmazuje dijelove kompresora te se javlja toplina nastala trenjem koja tekućinu ponovno isparava. Tada dolazi do pregrijavanja i ova situacija se naziva potopljeni start.



Slika 13: Kondenziranje radne tvari unutar kompresora [25]

### 2.2.3. KONDENZATOR

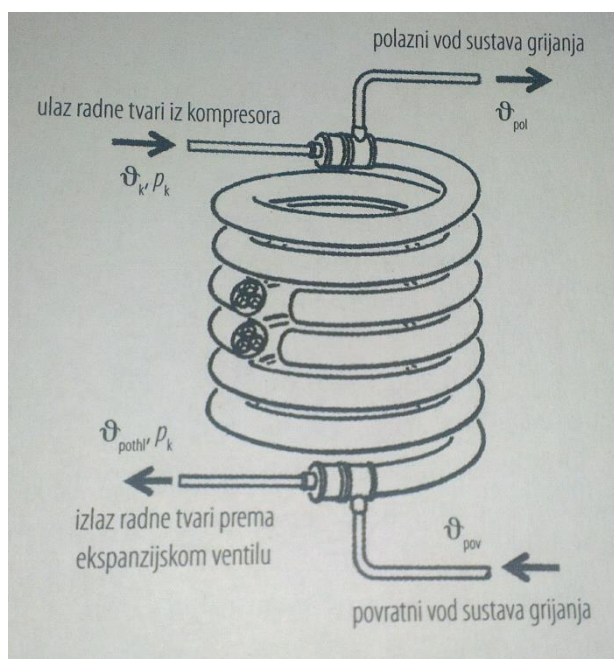
U kondenzatoru dolazi do kondenzacije (ukapljvanja) radne tvari pri predaji topline sustavu grijanja koji zagrijava prostor. Radna tvar u stanju pregrijane pare se hladi do temperature kondenzacije pri čemu se daljnim hlađenjem radna tvar kondenzira odnosno udio kapljevine raste.

Postoje dvoje izvedbe kondenzatora:

1. Vodom hlađeni- kod sustava toplovodnog grijanja i pripreme potrošne tople vode
2. Zrakom hlađeni- kod sustava toplozračnog grijanja, ventilacije i klimatizacije

Kondenzator s obzirom na konstrukciju se izvodi kao:

- Pločasti od nehrđajućeg čelika
- S dvostrukom koaksijalnom cijevi od bakra ili legure bakra ili nikla



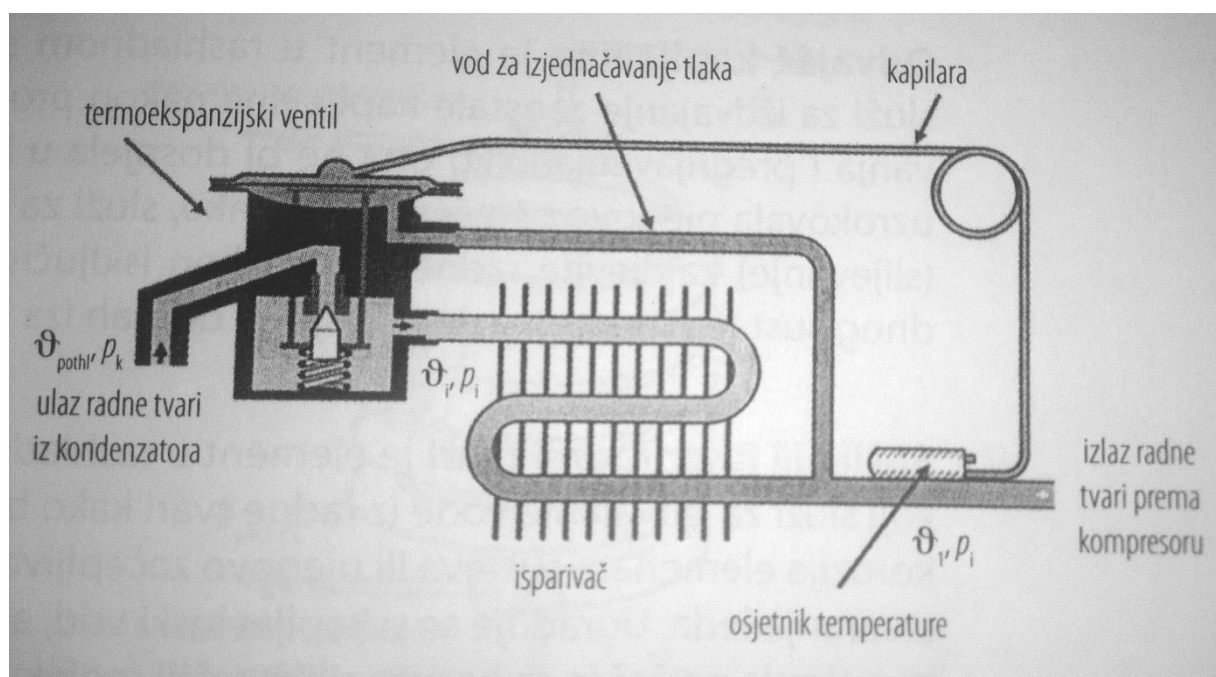
Slika 14: Shema kondenzatora s dvostrukom koaksijalnom cijevi [11]

#### 2.2.4. EKSPANZIJSKI VENTIL

Kako se radna tvar kondenzirala pri visokom tlaku, u kapljevitom stanju dovodi se do ekspanzijskog ventila koji ima za zadaću smanjiti tlak radne tvari na tlak isparavanja čime se snižava temperatura radne tvari.

Koriste se 3 izvedbe ekspanzijskih ventila:

1. Jednostavna kapilarna cijev
2. Termostatski ekspanzijski ventil
3. Ekspanzijski ventil s elektroničnim upravljanjem



Slika 15: Shema termoekspanzijskog ventila [11]

Osim osnovna 4 dijela, u toplinsku pumpu se ugrađuju osjetnici temperature, regulatori tlaka, osjetnici tlaka, upravljač toplinskom pumpom, ekspanzijski uređaj, filter sušač za kapljevitu vodu te kontrolno staklo. Funkcija kontrolnog stakla je da prati sadržaj vlage u radnoj tvari unutar toplinske pumpe, a ugrađuje se na kapljevinski vod što je vidljivo iz sheme toplinske pumpe koja je priložena u radu.

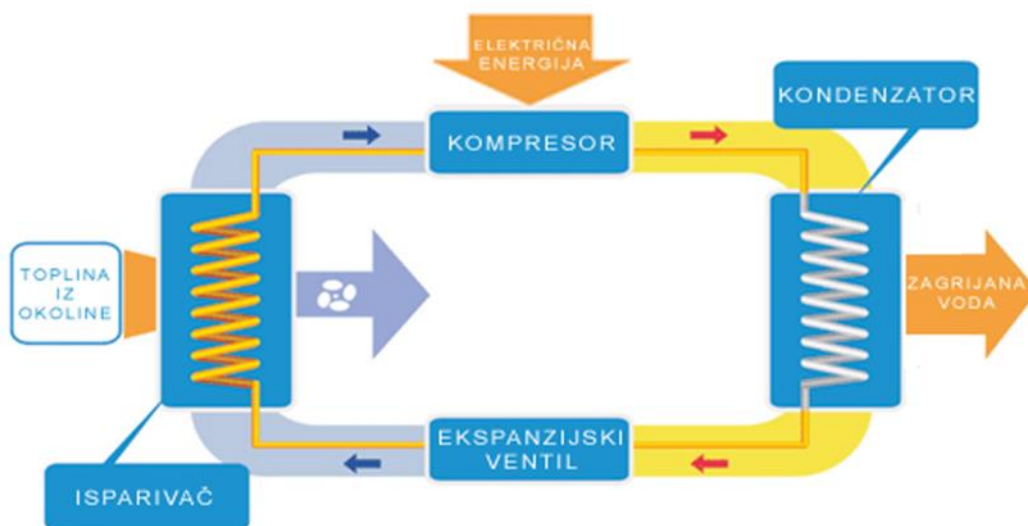


Slika 16: Kontrolno staklo [27]

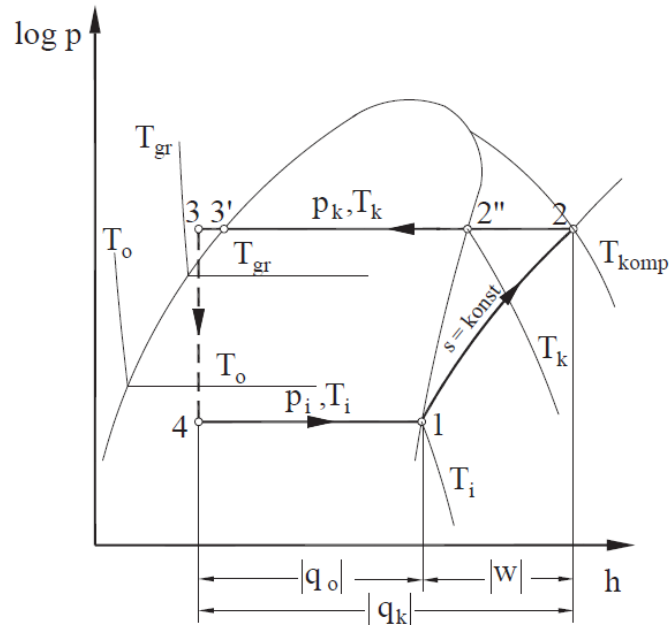
### 2.3. PRINCIP RADA TOPLINSKE PUMPE

Pomoću topline dovedene iz okoline putem medija, isparava radna tvar u isparivaču, a medij se hladi. U plinovitom stanju se dovodi do kompresora koji ju tlači i povećava tlak i temperaturu na temperaturu kondenzacije te se putem kondenzatora daje vodi za grijanje te se šalje u radijatore, podno grijanje ili spremnik potrošne vode. Pri predaji topline radna tvar postaje kapljevina.

Nakon toga se radna tvar u tekućem stanju preko ekspanzijskog ventila vraća u isparivač. U ekspanzijskom ventilu radna tvar ekspanzira s višeg tlaka kondenzatora na niži tlak isparivača te se hladi čime započinje novi kružni proces.



Slika 17: Shema rada toplinske pumpe [15]



Slika 18: Proces TP prikazan u log p-h dijagramu [8]

Na slici je prikazan ljevokretni kružni proces toplinske pumpe, odnosno obrnut Carnotov proces.

Pri čemu su promjene stanja:

- 4-1 isparavanje
- 1-2 kompresija
- 2-3 kondenzacija
- 3-4 prigušenje

## 2.4. RADNA TVAR

Kako radna tvar u procesu rada toplinske pumpe mijenja agregatna stanja, primjenjuju se radne tvari koji se lako ukapljuju. Zadatak radne tvari u toplinskoj pumpi je da prenosi toplinsku energiju.

S obzirom na kemijski sastav dijele se na:

- Halogenirane ugljikovodike
- Čiste ugljikovodike
- Zeotropske smjese
- Azeotropske smjese
- Anorganske tvari

**Halogenirani ugljikovodici** su poznati pod nazivom freoni. Najčešće korišteni halogenirani ugljikovodici su :

- R22 (difluoromonoklormetan  $\text{CHF}_2\text{Cl}$ )
- R 134a (tetrafluoretan;  $\text{C}_2\text{H}_2\text{F}_4$ )
- R 123 (trifluordikloretan;  $\text{C}_2\text{HF}_3\text{Cl}_2$ )
- R 124 (tetrafluoromonokloretan;  $\text{C}_2\text{HF}_4\text{Cl}$ )
- R 142b (difluoromonokloretan;  $\text{CClF}_2\text{CH}_3$ )

**Čisti ugljikovodici** su spojevi ugljika i vodika, a njihovom reakcijom nastaju halogenirani ugljikovodici. Koriste se: metan R 50, etan R 170, propan R 290, izo-butan R 600a.

**Zeotropske smjese** su smjese više radnih tvari i pri njihovom isparavanju prvo isparava tvar koja ima najnižu temperaturu isparavanja, a kako se povećava dovod topline isparavaju radne tvari sa višim temperaturama isparavanja. Ove smjese se miješaju u određenim omjerima.

Zeotropske smjese koje se najčešće koriste su:

- R 404A – R 125, R 143, R 134a
- R 407A – R 35, R 125, R 134a
- R 407C – R 125, R 32, R 134a
- R 410A – R 125, R 32

**Azeotropske smjese** su smjese radnih tvari i pri čijem isparavanju ne dolazi do promjene temperature i sastava. Više se ne koriste u rashladnim sustavima.

**Anorganske tvari** zbog svojeg kemijskog sastava se koriste u rashladnim sustavima, a to su amonijak R 717, voda R 718, ugljični dioksid R 744 i sumporni dioksid R 764.

#### 2.4.1. PREDNOSTI I NEDOSTACI RADNIH TVARI

Za upotrebu u rashladnim uređajima i toplinskim pumpama, radne tvari moraju zadovoljiti sigurnosne, ekološke i uporabne zahtjeve.

Pod sigurnosnim uvjetima se smatra da radna tvar mora biti nezapaljiva u svom čistom stanju ili u smjesi sa vodom, zrakom ili uljem, neotrovna za ljude te ukoliko dođe do propuštanja da se u zraku otkrije na jednostavan način.

Uporabni uvjeti zahtjevaju da radna tvar ima dugoročnu kemijsku postojanost te da je otporna na koroziju da ne bi došlo do uništenja dijelova unutar toplinske pumpe. Radna tvar mora



imati nisku cijenu i lako nabavljanje i rukovanje s istom. Unutar sustava, radna tvar ne smije reagirati s ostalim materijalima od kojih su izrađeni elementi toplinske pumpe ili s uljima.

Moraju imati mali potencijal razaranja ozona (ODP- ozone depletion potential) i globalnog zagrijavanja (GWP- global warming potential) te ukupni ujecaj na stvaranje efekta staklenika (TEWI- total equivalent warming impact) u vijeku trajanja uređaja za grijanje ili hlađenje.

ODP je sposobnost za razgradnju broma i klora u atmosferi. Za izačun je uzeta vrijednost ODP=1 za radnu tvar R 11 te se ostale radne tvari izražavaju prema njegovoj vrijednosti.

Broj GWP-a nam kazuje koliki je utjecaj radne tvari na stvaranje efekta staklenika u odnosu na 1 kg CO<sub>2</sub> u atmosferi. GWP se uvijek iskazuje u nekom vremenskom periodu.

Radne tvari iz skupine halogeniranih ugljikovodika sadrže klor, fluor i brom koji narušavaju prirodnu ravnotežu ozona u atmosferi i utječu na smanjenje njegove koncentracije. Neki od njih su radne tvari R 12 i R 22 pa se oni zamjenjuju sa zamjenskim radnim tvarima.

Razvoj rashladne tehnike usmjerava proizvođače na korištenje prirodnih radnih tvari kao što su ugljikovodici, amonijak, ugljikov dioksid i R1234yf.

<b>RADNA TVAR</b>	<b>ZAMJENA ZA</b>	<b>PRIMJENA</b>
R 134a	R 12, R 22	Kućanski aparati i mali rashladni uređaji
R1234yf	R 134a	Automobilski rashladni uređaji
R 600a	R 12, R134a	Kućanski aparati
R 404a	R 502, R 22	Pokretne hladnjače za smrznutu robu
R 407C	R 22	Klimatizacija, toplinske pumpe
R 410A	-	Split sustavi za hlađenje, toplinske pumpe
R 744		Kaskadni rashladni uređaji, toplinske pumpe
R 717	R 22	Industrijsko hlađenje

Tablica 4: Ekološki prihvatljive radne tvari [8]

Kako radne tvari moraju zadovoljiti sigurnosna i ekološka svojstva da bi se koristili u rashladnim sustavima, u tablici 5 možemo vidjeti njihove utjecaje te postojanost u atmosferi.

<b>RADNA TVAR</b>	<b>SVOJSTVO</b>	<b>UTJECAJ NA OZON (ODP)</b>	<b>UTJECAJ NA EFEKT STAKLENIKA GWP<sub>100</sub></b>	<b>POSTOJANOST GODINA</b>
R 11	Neotrovan i nezapaljiv, štetan za okolinu	1	3500	60
R 12	Neotrovan i nezapaljiv, štetan za okolinu	1	7300	130
R 22	Neotrovan i nezapaljiv	0,05	1500	15
R 114	Neotrovan i nezapaljiv, štetan za okolinu, dugi vijek trajanja u atmosferi	1	6000	200
R 134a	Neotrovan i nezapaljiv	0	1200	16
R 717 (NH <sub>3</sub> amonijak)	Korozivna ili otrovna tvar, granica zapaljivosti veća od 3,5%	0	0	-

Tablica 5: Sigurnosna i ekološka svojstva [11]

Radna tvar koja se pokazala kao najbolji izbor je R 717 jer nema nikakvog utjecaja na ozon i efekt staklenika za razliku od ostalih radnih tvari koji imaju relativno visok utjecaj te veliku postojanost u atmosferi.

U sljedećoj tablici su prikazana svojstva nekih radnih tvari jer upravo ona određuju količinski protok radne tvari, veličinu kompresora, dimenzije izmjenjivača i cjevovoda te punjenje sustava.

<b>SVOJSTVO</b>	<b>R 22</b>	<b>R 404a</b>	<b>R 410A</b>	<b>R 407C</b>	<b>R 717</b>
ODP	0,055	0	0	0	0
GWP <sub>100</sub>	1500	3260	1725	1526	0
KRITIČNA TEMPERATURA	96,2	72,14	70,14	86,05	135,25
KRITIČNI TLAK	49,9	37,4	47,7	46,3	113,3
GUSTOĆA KAPLJEVINE (30 °C) kg/m <sup>3</sup>	1171	1021	1035	1116	595,2
GUSTOĆA PARE (-15 °C) kg/m <sup>3</sup>	12,9	18,57	18,43	11,48	1,97
SPECIFIČNA TOPLINA ISPARAVANJA (-15 °C) kJ/kg	216,5	177,7	237,6	221,9	1312,8
VOLUMETRIČKI RASHLADNI UČINAK, kJ/m <sup>3</sup>	2178,8	2250,7	3243,7	1888,5	2214,3

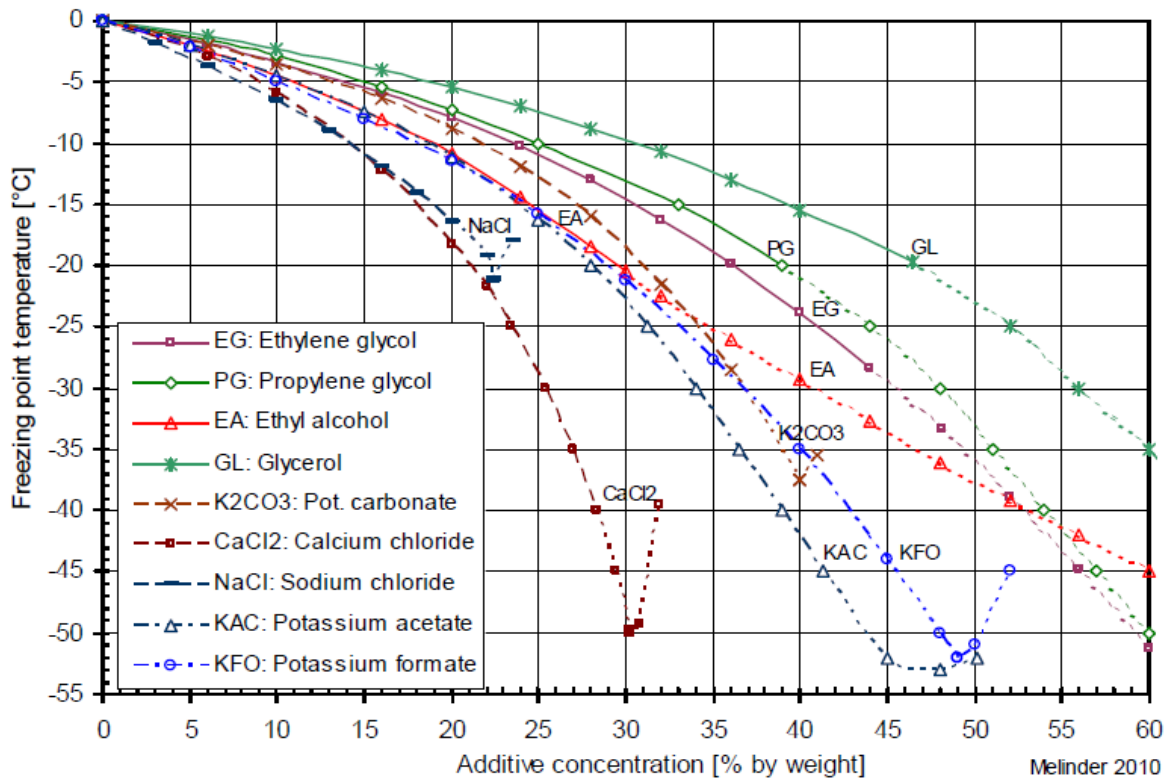
Tablica 6: Svojstva radnih tvari [18]

Iz tablice br. 4 vidimo da su za radnu tvar R 22 zamjenske R 134a, R 404a i R 407C.

R 404a i R 407C u usporedbi sa R 22 imaju veću specifičnu toplinu isparavanja te će za isti kapacitet sustava imati manju protočnu masu radne tvari kroz sustav. Zbog manjeg protoka i manje gustoća radne tvari u kapljevitom ili parnom agregatnom stanju nam govori da će biti potreban manji promjer njihovih vodova. Što je veća gustoća radne tvari, to će biti veći

volumetrički rashladni učinak odnosno dimenzije kompersora biti će manje što je viši tlak radne tvari.

U sustavu sa geotermalnom toplinskom pumpom, horizontalni i vertikalni kolektori se pune **glikolnim smjesama ili rasolinom** koje prenose toplinu tla do toplinske pumpe. **Rasoline** su otopine soli i vode. Zbog koncentracije soli one se zaleđuju na određenoj temperaturi te imaju temperaturu ledišta koja je niža od temperature ledišta same vode.



Slika 19: Točke zaleđivanja s obzirom na udio tvari u vodi [17]

Možemo primjetiti kako se mijenja temperatura ledišta s obzirom na udio koncentracije tvari u vodi odnosno da se temperatura ledišta povećava ili smanjuje s količinom aditiva u vodi.

Najčešće se koristi otopina kalijevog klorida i vode ( $\text{CaCl}_2 + \text{H}_2\text{O}$ ) i otopina natrijevog klorida i vode  $\text{NaCl} + \text{H}_2\text{O}$ .

U sustavu s rasolinom može doći do korozije unutar kruga izvora topline ukoliko bi se u kolektoru stvorili zračni jastuci koji sadrže ugljikov dioksid i kisik. Zbog toga se često koristi samo u sustavu sa zatvorenim krugom jer je moguće izvršiti odzračivanje geotermalnog kolektora preko ventila.

**Glikolna smjesa** je smjesa vode i alkohola. Kao i rasoline, koriste se za prijenos topline tla. Izazivaju koroziju kao i rasoline pa se u njih dodaju otopine koje stabiliziraju pH vrijednost smjese.

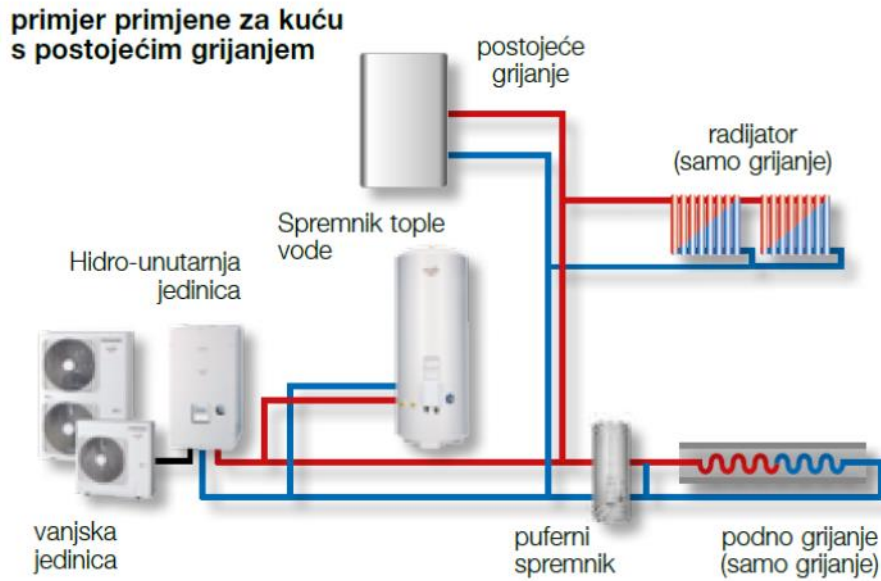
Glikolne smjese koje se najčešće koriste su etilen-glikol  $C_2H_6O_2$  i propilen glikol  $C_3H_8O_2$ .

<b>SVOJSTVO</b>	<b>ETILEN-GLIKOL</b>	<b>PROPILEN-GLIKOL</b>
GUSTOĆA PRI 20 °C, kg/m <sup>3</sup>	1113	1036
TEMPERATURA ZASIĆENJA PRI 1,013 bara, °C	198	187
LEDIŠTE, °C	-12,7	<-60,0
SPECIFIČNI TOPLINSKI KAPACITET PRI 20 °C, c (kJ/kgK)	2,347	2,418
LATENTNA TOPLINA ISPARAVANJA PRI 1,013 bar, kJ/kg	846	688

Tablica 7: Svojstva glikola [11]

## 2.5. PRIMJERI PRIMJENE TOPLINSKIH PUMPI

Toplinske pumpe se koriste u kućanstvima, hotelima, stambenim zgradama te industriji za grijanje i hlađenje. Sustavi s toplinskom pumpom mogu biti samostalni ili se u oni mogu nadograditi u postojeći sustav grijanja. Ostali obnovljivi izvori energije kao što je toplina sunca koju „prikupljamo“ pomoću kolektora može služiti kao toplina za nadogrijavanje potrošne vode u kućanstvu. U industriji se sustavi s toplinskim pumpama koriste u razne svrhe od kojih su neki zagrijavanje bazena za kupanje ili bazena za uzgoj riba.



Slika 20: Primjer primjene toplinske pumpe zrak/voda [26]

Pufni spremnik (spremnik vode) pohranjuje višak topline te se ona preuzima kada je to potrebno. Pufni spremnik se koristi i u solarnim sustavima za spremanje topline dobivene iz njih.

### 2.5.1. SUSTAV TOPLINSKE PUMPE ZA GRIJANJE I PRIPREMU POTROŠNE VODE U NISKOENERGETSKOJ OBITELJSKOJ KUĆI U KARLOVCU

Izvor topline sustava grijanja je toplinska pumpa tlo/voda s geotermalnim podzemnim kolektorom i solarnim kolektorima. Kako je kuća niskoenergetska, zahtjeva manju toplinsku energiju. Zidovi su toplinski izolirani ekspandiranim polistirenom debljine 5 cm, a prozori i vrata od aluminijske konstrukcije. Toplinski gubici su iznosili 12 kW za površinu od 150 m<sup>2</sup>.

Zbog opterećenja koja bi se mogla javiti, ugrađen je električni grijač koji bi pomogao toplinskoj pumpi.

Geotermalni horizontalni kolektor se sastoji od 4 petlje od kojih je svaka duga 150 m koje su spojene na sabirnik i razdjelnik. U cijevima je smjesa etilen-glikola čiji omjer štiti od smrzavanja do -15 C.

Sustav se regulira automatski pomoću vanjskog temperaturnog osjetnika.



- 1- Toplinska pumpa 10,9 kW
- 2- Regulacijska jedinica toplinske pumpe
- 3- Cirkulacijska crpka sustava grijanja
- 4- Cirkulacijska crpka kruga primarnog medija
- 5- Membranska ekspanzijska posuda sustava grijanja
- 6- Sustav površinskog grijanja
- 7- Osjetnik temperature povratnog hoda sustava grijanja
- 8- Prestrujni ventil
- 9- Osjetnik temperature zraka u prostoriji
- 10- Osjetnik temperature polaznog voda sustava grijanja
- 11- Sigurnosni ventil kruga grijanja
- 12- Ventil za punjenje i pražnjenje kruga grijanja
- 13- Sigurnosni ventil kruga primarnog medija
- 14- Manometar kruga primarnog medija
- 15- Membranska ekspanzijska posuda kruga primarnog medija
- 16- Toplinski izvor
- 17- Dovod hladne vode
- 18- Protupovratni ventil sustava PTV-a
- 19- Recirkulacijska crpka
- 20- Trošila PTV-a
- 21- Troputni miješajući ventil
- 22- Spremnik tople vode 200 l
- 23- Osjetnik temperature u spremniku
- 24- Regulator protoka solarnog kruga
- 25- Cirkulacijska crpka solarnog kruga
- 26- Protupovratni ventil solarnog kruga
- 27- Ventil za punjenje i pražnjenje solarnog kruga
- 28- Membranska ekspanzijska posuda solarnog kruga
- 29- Sigurnosni ventil solarnog kruga
- 30- Osjetnik vanjske temperature
- 31- Solarni kolektori 3\*2,25 m<sup>2</sup>
- 32- Osjetnik temperature solarnog kolektora
- 33- Regulacijska jedinica solarnog kruga

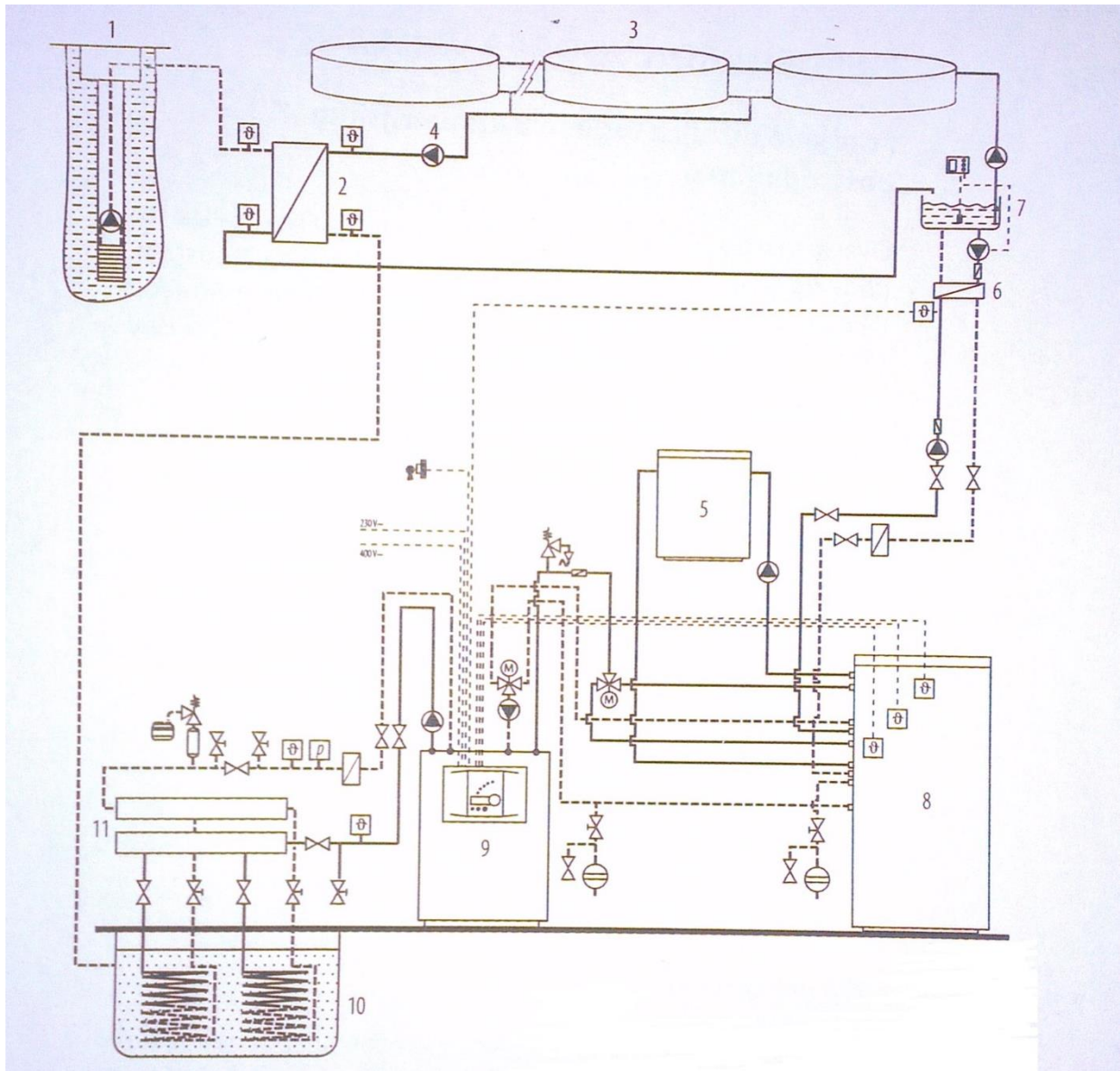
Legenda sustava obiteljske kuće u Karlovcu [11]

## 2.5.2. SUSTAV TOPLINSKE PUMPE U INDUSTRIJSKOM POSTROJENJU

Radove za ovaj sustav je izvela tvrtka Vaillant, a radi se o primjeni sustava sa toplinskom pumpom u ribnjacima za uzgoj jegulja u mjestu Kaniška Iva nedaleko od Garešnice.

Prvotno je za uzgoj jegulja korišteno loživo ulje za zagrijavanje bazene. To je zahtjevalo velika financijska davanja s obzirom na cijenu barela sirove nafte.

Objekt se sastoji od 17 velikih bazena promjera 6 m i visine 1 m kao i od 6 malih bazena koji imaju promjer 2 m i visinu 1 m.



Slika 22: Sustav grijanja postrojenja za uzgoj jegulja [11]



- 1- Bunar s uronjenom crpkom
- 2- Pločasti rastavljivi izmjenjivač topline
- 3- Bazeni za uzgoj jegulja
- 4- Bazenska regulacijska crpka
- 5- Kotao na loživo ulje 130 kW
- 6- Pločasti izmjenjivač topline
- 7- Miješalište s regulacijom
- 8- Međuspremnik tople vode VPS750; 750 L
- 9- Toplinska pumpa geoTHERMVWS, 45,5 kW
- 10- Podzemni spremnik otpadne vode sa 9 spiralnih izmjenjivača
- 11- Sabirnik i razdjelnik kolektorskog kruga
- 12- Ekspanzijska posuda kruga grijanja

Legenda sustava postrojenja za uzgoj jegulja [11]



Slika 23: Bazeni za uzgoj jegulja [30]

Kotao na loživo ulje je uključen u proces projektiranja ovog sustava kako bi se povećala pouzdanost pogona. Toplinski gubici pri projektiraju su bili viši od 100 kW. Ukupna ušteda toplinske energije u odnosu na prethodni sustav iznosi preko 400.000 kWh (35.000 litara loživog ulja) nakon 7 mjeseci rada sustava, a sva uložena sredstva su se vratila za 14 mjeseci.

### 3. PRORAČUNI

#### 3.1. PRORAČUN ZA DIMENZIONIRANJE DIJELOVA TOPLINSKE CRPKE ZA GRIJANJE STAMBENOG OBJEKTA

Površina stambenog objekta potrebnog za grijanje: 100 m<sup>2</sup>

Visina zidova stambenog objekta 2,6 m

Potrebna količina topline za zagrijavanje prema toplinskim gubicima : 5,94 kW

Proračun gubitaka za ovaj stambeni objekt je proveden u završnim radu. [33]

Radna tvar u toplinskoj pumpi je zeotropna smjesa R 407C koja ima sljedeće karakteristike:

- Temperatura isparavanja: 0 °C
- Temperatura kondenzacije: 40 °C

Stambeni objekt se zagrijava sa geotermalnom toplinskom pumpom i horizontalnim geotermalnim kolektorom.

$$A = 100 \text{ m}^2$$

$$P_0 = 5,94 \text{ kW}$$

Veličina površine koja zahtjeva 1 kW toplinske energije:

$$a = \frac{A}{P_0} = \frac{100}{5,94} = 16,83 \text{ m}^2/\text{kW}$$

Poračun snage kondenzatora da bi se dobavila potrebna količina toplinske energije

$$Q_{kon} = \frac{A}{a} = \frac{100}{16,83} = 5,94 \text{ kW} \approx 6 \text{ kW}$$

Odabir kompresora

Iz tablica proizvođača spiralnih kompresora, možemo očitati vrijednosti pojedinog kompresora koji koristi radnu radnu tvar R 407C.

Podaci su očitani za Danfoss spiralni kompresor, model HHP015T4 pri temperaturi isparavanja 0 °C i temperaturi kondenzacije 40°C.

**Spiralni kompresor HHP015T4**

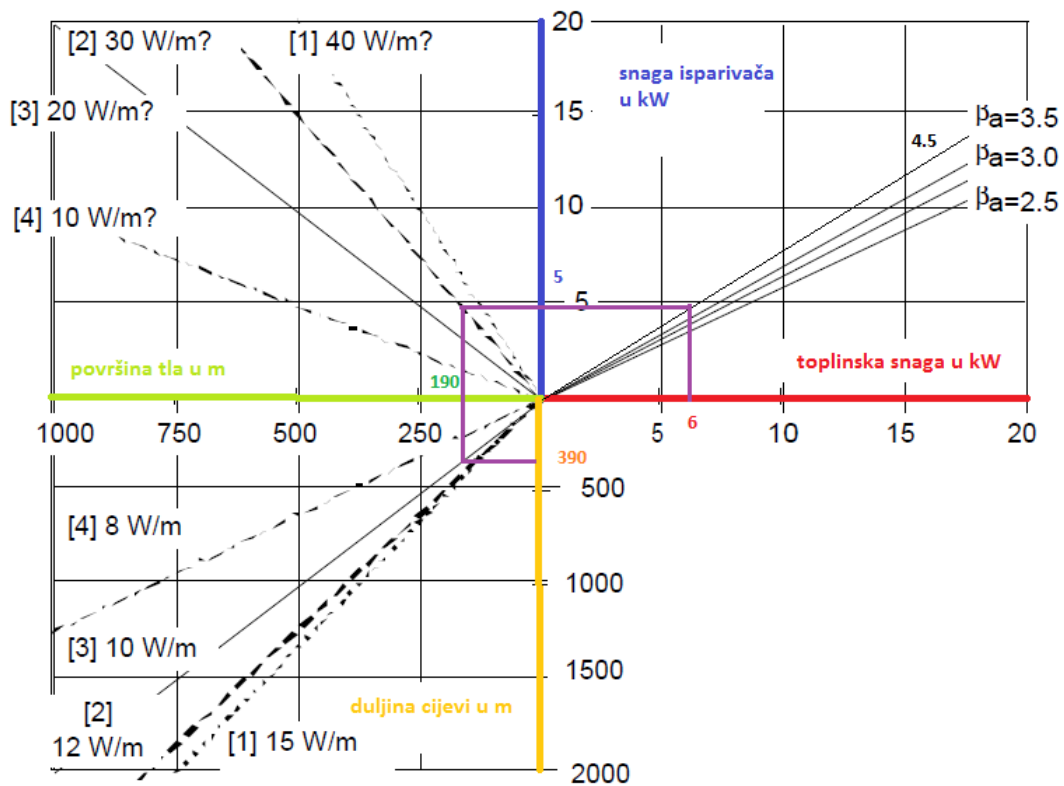
<b>Kapacitet grijanja [W]</b>	6522
<b>Ulazna snaga [W]</b>	1376
<b>Potrošnja struje [A]</b>	2,69
<b>Maseni protok radne tvari [kg/h]</b>	107
<b>COP grijanja kompresora (coefficient of performace)</b>	4,74

Tablica 8: Karakteristike spiralnog kompresora HHP015T4 [20]

Ovaj kompresor za 1 kW električne energije daje 4,74 kW toplinske energije.

## Dimenzioniranje geotermalnog kolektora

Za dimenzioniranje koristiti ću nomogram koji na jednostavan način prikazuje sve potrebne parametre prema kvaliteti zemlje  $30 \text{ W/m}^2$ .



[21]

Iz nomograma možemo očitati da je za potrebnu toplinsku energiju od  $6 \text{ kW}$  potrebno:

- Isparivač snage  $5 \text{ kW}$
- Površina tla  $190 \text{ m}^2$
- Duljina cijevi geotermalnog kolektora  $390 \text{ m}$

Provjeru dobivenih parametara možemo provjeriti pomoću formule

$$Q_{\text{isp}} + P_{\text{komp}} = Q_{\text{kon}}$$

Gdje je:

$Q_{\text{isp}}$  – snaga isparivača

$P_{\text{komp}}$  – snaga kompresora

$Q_{\text{kon}}$  – snaga kondenzatora

Iz sljedećeg izraza možemo izračunati snagu kompresora:

$$P_{\text{komp}} = \frac{Q_{\text{kon}}}{COP} = \frac{5,94}{4,74} = 1,25 \text{ kW}$$

Ako dobivene rezultate uvrstimo u gornji izraz, dobijemo:

$$Q_{isp} + P_{komp} = Q_{kon}$$

$$5 + 1,25 = 6,25$$

Potrebno je izračunati volumen stambene zgrade prema formuli

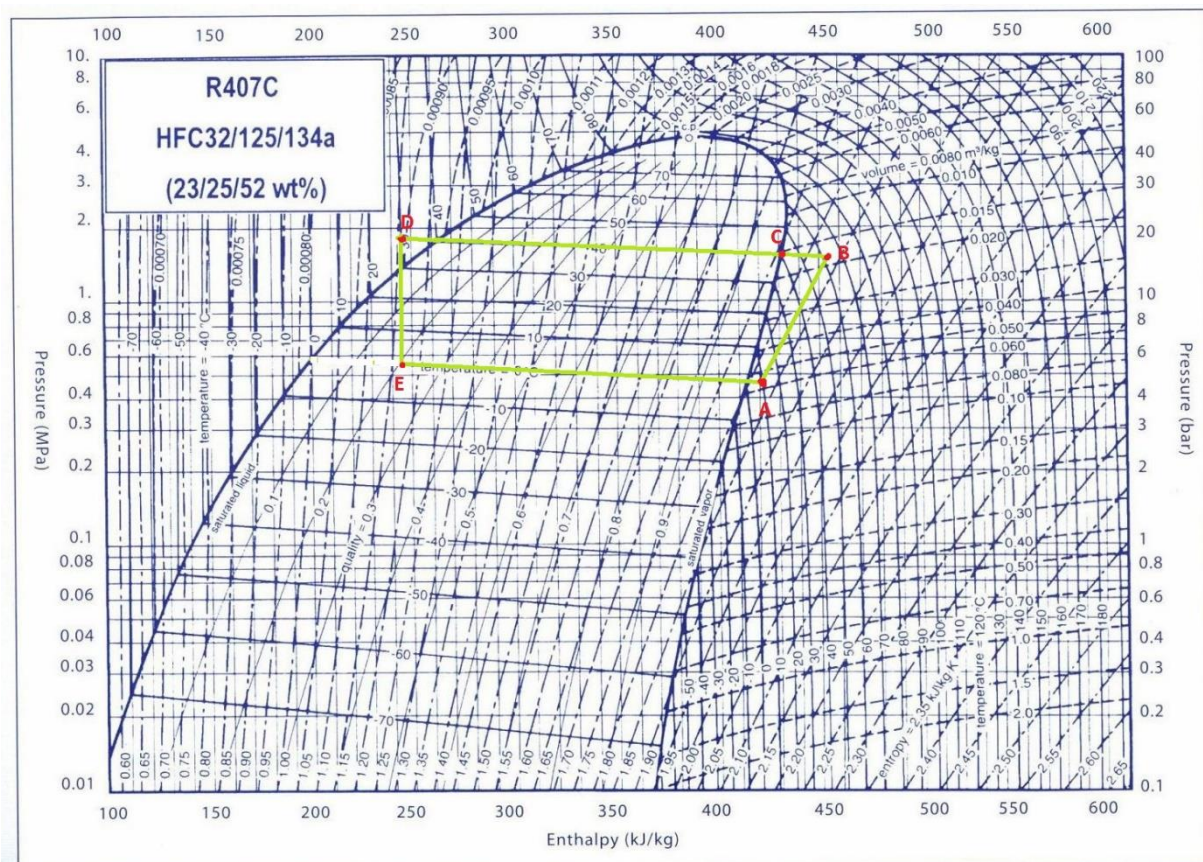
$$V = A * h = 100 * 2,6 = 260 \text{ m}^3$$

Faktor grijanja iznosi

$$f = \frac{Po}{V} = \frac{5,94}{260} = 0,022846 \text{ kW/m}^3$$

Kao što je navedeno, za proračun će se koristiti radna tvar R 407C. Na slici je prikazan p-h dijagram na kojemu sam označila kružni proces toplinske pumpe.

Na dijagramu osim temperatura isparavanja i kondenzacije uzeto je još dodatnih 10 °C da bi radna tvar prešla u stanje pregrijane pare da bi nakon izvršetka mogla izaći iz procesa kompresije. Isto tako, za izlaz iz kondenzatora je oduzeto 10 °C od temperature kondenzacije da bi radna tvar izašla iz kondenzatora i vratila se do isparivača kako bi se pokrenuo novi ciklus toplinske pumpe.



Slika 24 : p-h dijagram azeotropne smjese R 407C

Sa dijagrama su očitane entalpije:

$$\mathbf{A} \quad i_1 = 420 \text{ kJ/kg}$$

$$\mathbf{B} \quad i_2 = 450 \text{ kJ/kg}$$

$$\mathbf{D,E} \quad i_3 = i_4 = 248 \text{ kJ/kg}$$

Toplina koja se oslobodila u kondenzatoru je:

$$q = i_2 - i_3 = 450 - 248 = 202 \text{ kJ/kg}$$

Kapacitet hlađenja isparivača :

$$q_0 = i_1 - i_4 = 420 - 248 = 172 \text{ kJ/kg}$$

Iskorišteni rad kompresora jednak je:

$$j_e = i_2 - i_1 = 450 - 420 = 30 \text{ kJ/kg}$$

Provjera:

$$q_0 + j_e = q$$

$$172 + 30 = 202$$

Količinu topline ćemo izračunati pomoću umnoška volumena prostora kojeg grijemo i faktora grijanja:

$$Q = V * f = 260 * 0,022846 = 5,939 \text{ kW}$$

Dobava radne tvari R 407C:

$$D_f = \frac{Q}{q} = \frac{5,939}{202} = 0,0294 \text{ kg/s}$$

$$0,0294 \text{ kg/s} = 0,0294 * 3600 = 105,84 \text{ kg/h} \approx 106 \text{ kg/h}$$

Snaga kompresora se dobije kao uložena energija u jedinici vremena:

$$P_{\text{komp}} = j_e * D_f = 30 * 105,84 = 3175,2 \text{ kJ/h}$$

$$3175,2 \text{ kJ/h} = 3175,2 / 3600 = 0,882 \text{ kW}$$

Toplina isparavanja je dobivena hlađenjem isparivača u jedinici vremena:

$$Q_0 = q_0 * D_f = 172 * 105,84 = 18204,48 \text{ kW}$$

Izbor termostatskog ekspanzijskog ventila sam izvršila pomoću Danfoss programa Coolselector2 u koji sam upisala dobivene parametre:

- Maseni protok radne tvari 106 kJ/h
- Temperaturu isparavanja radne tvari 0 C
- Tlak kondenzacije 18 bara

Nakon unosa podataka, s lijeve strane se odabire radna tvar toplinske pumpe.

Sa p-h dijagrama možemo očitati da tlak kondenzacije linija (B – D) iznosi 1,8 MPa.

U barima to iznosi:

$$1,8 \text{ MPa} = 1,8 * 10^6 \text{ Pa}$$

$$1 \text{ bar} = 100\,000 \text{ Pa} \rightarrow 1,8 * 10^6 / 100\,000 = 18 \text{ bara}$$

### 3.2. IZBOR TERMOSTATSKOG EKSPANZIJSKOG VENTILA

Za izbor ventila koristila sam program koji je besplatan i može se preuzeti sa službene Danfoss stranice. Program prema upisanim podacima i odabranu radnu tvar predloži koji su ventili nepogodni, a koji pogodni za ugradnju s obzirom na kapacitet ventila te se vrši odabir željene vrste ventila i dostupnih modela. Izabrala sam ekspanzijski termostatski ventil T2/TE2, model T2-3 koji je izrađen od mesinga (slitine bakra i cinka) te termostatskim elementima i zamjenjivim otvorom od nehrđajućeg čelika. Kao što se može vidjeti sa prikaza performansi ventila u sustavu, on pri vršnom opterećenju radi sa 62 % kapaciteta. Svaki drugi ventil bi bio predimenzioniran za ovu toplinsku pumpu.

Coolselector2 - Untitled.csprij

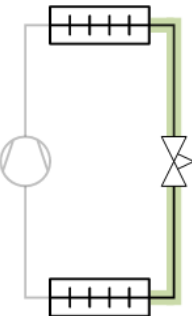
File Options Tools About

Selected component:  Copy Rename

Report  TXV 1  New

System: Dry


Selected line: - Liquid line



Refrigerant: R-407C

Product families

- T2
- TE5-55
- TGE
- TU/TVC



T2/TE2 thermostatic expansion valve. Flare and solder connections. 2-part design. Brass body with stainless steel thermostatic element and exchangeable orifice.

Operating conditions:

Capacity:

Mass flow in line: 106,0 kg/h

Cooling capacity: 4,691 kW

Heating capacity: 6,116 kW

Evaporation:

Temperature: 0,0 °C

Useful superheat: 8,0 K

Additional superheat: 0 K

Condensation:

Bubble point temperature: -40,0 °C

Subcooling: 2,0 K

Additional subcooling: 0 K

Additional:

Discharge temperature: 76,0 °C

Selection criteria:

Load: 100 %

Distributor pressure drop: 0 bar

Liquid line (Dry expansion system, R-407C, TXV)

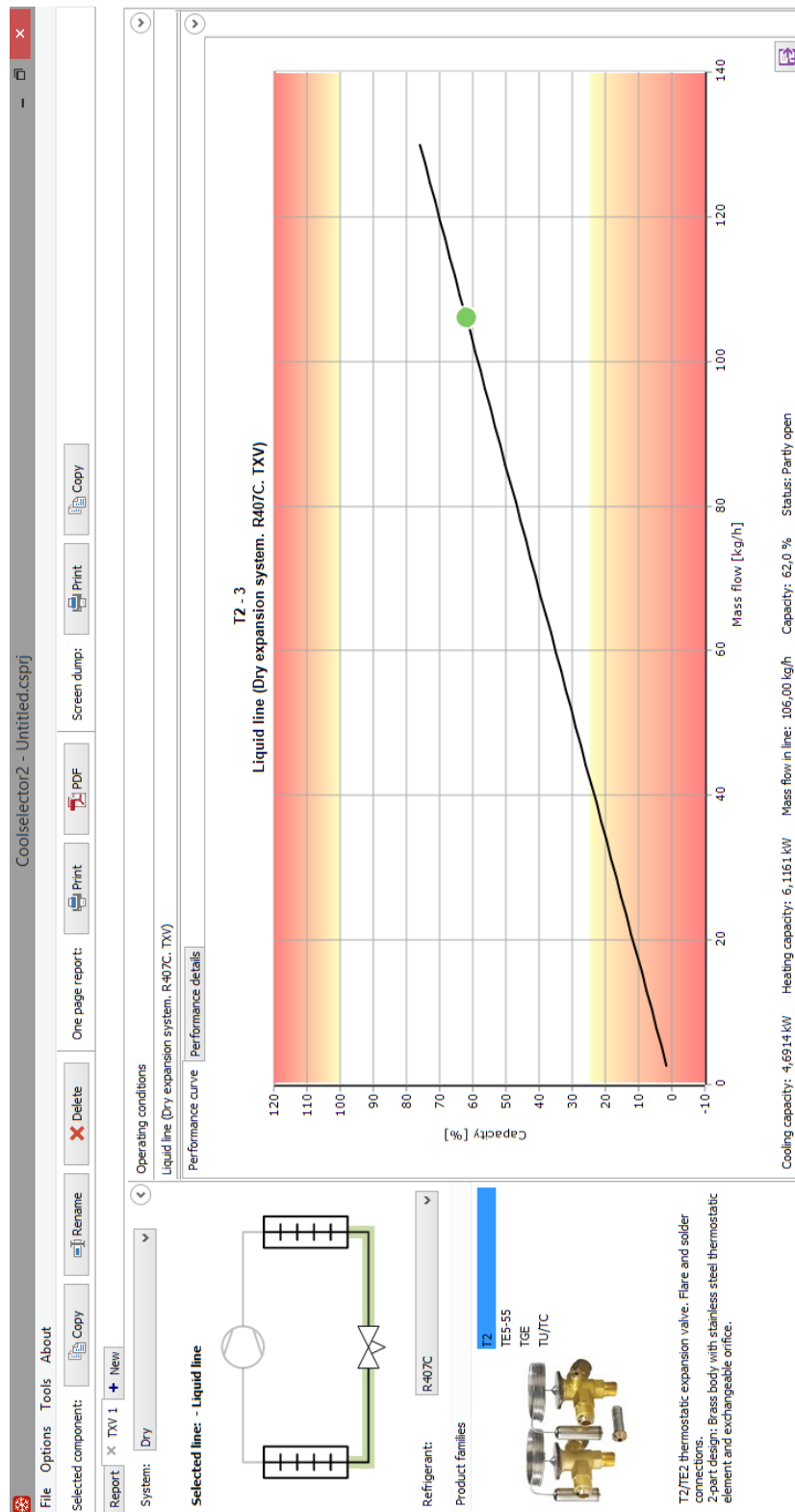
**Selection: T2 - 3**

Selected	Type	NS	Range	Max. capacity [kW]	Min. capacity [kW]	Load [%]	DP [bar]	Velocity, in [m/s]	Result
<input type="radio"/>	T2 - X	10	N	0,939	0,235	500	12,84	0,54	⚠
<input type="radio"/>	T2 - 0	10	N	1,796	0,449	261	12,84	0,54	⚠
<input type="radio"/>	T2 - 1	10	N	3,397	0,849	138	12,84	0,54	⚠
<input type="radio"/>	T2 - 2	10	N	4,440	1,110	106	12,84	0,54	⚠
<input checked="" type="radio"/>	T2 - 3	10	N	7,564	1,891	62	12,84	0,54	✓
<input type="radio"/>	T2 - 4	10	N	11,35	2,836	41	12,84	0,54	✓
<input type="radio"/>	T2 - 5	10	N	15,03	3,758	31	12,84	0,54	✓
<input type="radio"/>	T2 - 6	10	N	18,02	4,506	26	12,84	0,54	✓

Performance curve Performance details

Slika 25: Prikaz pogodnih i nepogodnih ventila za proračunatu toplinsku pumpu

Osim što program predloži odgovarajuće ventile, prikazuje performase odabranog ventila te detalje izvođenja cjelokupnog sustava.



Slika 26: Prikaz performansi odabranog termostatskog ekspanzijskog ventila T2/TE2



Coolselector2 - Untitled.csprj

File Options Tools About

Selected component: Copy Rename

One page report: Print PDF Screen dump: Print Copy

Report X TVX 1 + New

System: Dry

**Selected line: - Liquid line**

Refrigerant: R-407C

Product families: T2 TES-55 TGE TU/TC

T2/TGE2 thermostatic expansion valve. Flare and solder connections. 2-part design. Brass body with stainless steel thermostatic element and exchangeable orifice.

Operating conditions

Liquid line (Dry expansion system, R-407C, TXV)

Performance curve | Performance details | Component performance details

Point	Description	Temperature [°C]	Pressure [bar]	Density [kg/m <sup>3</sup> ]	Enthalpy [kJ/kg]	Entropy [kJ/(kg·K)]
1	Compressor suction	8,0	4,611	18,87	416,2	1,801
2	Compressor discharge	78,0	17,45	62,11	464,6	1,843
2s	Condensation dew point	44,9	17,45	78,44	424,7	1,723
3s	Condensation bubble point	40,0	17,45	1068	260,2	1,729
3a	Condenser out	38,0	17,45	1078	256,9	1,191
3	Including additional subcooling	38,0	17,45	1078	256,9	1,191
4	After expansion valve	-4,4	4,611	63,03	256,9	1,211
4s	Evaporation bubble point	-6,3	4,611	1299	191,2	0,9682
1s	Evaporation dew point	0,0	4,611	19,71	-408,9	1,774
1a	Evaporator out	8,0	4,611	18,87	416,2	1,801

Slika 27: Prikaz performansi cjelokupne toplinske pumpe

### 3.3. PRORAČUN UTROŠKA ENERGIJE ZA GRIJANJE POMOĆU TOPLINSKE PUMPE

Za proračun cjelokupnog sustava grijanja sa toplinskom pumpom, uzimaju se u obzir zimske projektne temperature te se bira najpogodniji izbor izvora toplinske energije za mjesto instalacije sustava.

Za proračun utroška energije, koristiti će se referentnim klimatskim podacima za kontinentalnu hrvatsku. Podaci su preuzeti iz Priloga 5 iz Pravilnika o energetske pregledima građevina i energetske certificiranju zgrada od Ministarstva graditeljstva i prostornog uređenja.

Dostupni podaci važeći za grad Karlovac prema kojima će se vršiti proračun.

$\theta_a$ (°C)	BROJ DANA GRIJANJA			STUPANJ-DAN GRIJANJA (°C) $\theta_a=20^\circ\text{C}$		
	10	12	15	10	12	15
m	159,1	178,9	200,3	2759,8	2939,5	3082,9
sd	11,7	10,5	7,0	231,8	205,0	183,6
max	179,0	196,0	210,0	3138,0	3228,9	3336,6
min	134,0	154,0	183,0	2265,4	2481,6	2749,5
max-min	45,0	42,0	27,0	872,6	747,3	587,1
Percentili						
1	134,9	156,0	183,3	2274,9	2502,3	2750,1
2,5	136,2	159,1	183,7	2289,3	2533,3	2751,1
5	137,0	161,0	185,4	2315,7	2576,2	2773,0
10	143,3	161,0	193,3	2376,5	2634,1	2804,1
25	152,3	174,3	196,3	2635,5	2821,2	2966,1
50	160,5	180,5	200,0	2766,5	2948,1	3117,5
75	166,8	188,5	206,5	2949,3	3113,4	3252,7
90	171,4	190,2	209,0	3036,0	3191,5	3323,0
95	176,1	192,6	209,6	3055,3	3218,4	3329,5
97,5	177,6	193,8	210,0	3086,3	3228,8	3332,0
99	178,4	195,1	210,0	3117,3	3228,8	3334,8
100	179,0	196,0	210,0	3138,0	3228,9	3336,6

Meteorološke veličine	
$\theta$	temperatura zraka (°C)
$p$	tlak vodene pare (hPa)
$\phi$	relativna vlažnost zraka (%)
$v$	brzina vjetrova (m/s)
$H_{s,g}$	globalno sunčevo zračenje (MJm <sup>-2</sup> )
Indeksi	
$m$	mjesec
$m$	srednja vrijednost
min	minimalna vrijednost
max	maksimalna vrijednost
sd	standardna devijacija
pq	q-ti percentil
e	vanjska (temperatura)
l	unutarnja (temperatura)
7h, 14h	termin mjerenja
ic	nagib plohe
s	sunčevo (zračenje)
g	globalno (zračenje)

Slika 28: Broj dana u sezoni grijanja

**Srednja godišnja vrijednost** temperature zraka u karlovačkom području iznosi 10,8 °C.

Za proračun se koristiti najveći broj dana grijanja, a to je 200,3.

Za rad toplinske pumpe je potrebna električna energija za pogon motora kompresora.

#### Spiralni kompresor HHP015T4

Kapacitet grijanja [W]	6522
Ulazna snaga [W]	1376
Potrošnja struje [A]	2,69
Maseni protok radne tvari [kg/h]	107
COP grijanja kompresora (coefficient of performace)	4,74

Snaga kompresora je 1376 W, što je 1,376 kW.

U proračun je uzeto u obzir zimsko računanje vremena:

- VT od 07-21 sat
- NT od 21-07 sati

10 h \* 200 dana= 2000 h po NT

Utrošak električne energije pri radu kompresora od 1 h

$$A = P * T = 1,376 * 1 = 1,376 \text{ kWh}$$

A = energija (količina rada) kWh

P = snaga (kW, odnosno kVA)

t = vrijeme u satima ( h)

Potrošnja električne energije tijekom jednog dana (14 h po VT, 10 h po NT)

$$\text{VT: } 1,376 * 14 = 19,264 \text{ kWh}$$

$$\text{NT: } 1,376 * 10 = 13,76 \text{ kWh}$$

Potrošnja električne struje tijekom sezone grijanja:

$$\text{VT: } 19,264 * 200,3 = 3858,579 \text{ kWh}$$

$$\text{NT: } 13,76 * 200,3 = 2756,128 \text{ kWh}$$

$$\text{UKUPNA POTROŠNJA: } 6614,707 \text{ kWh}$$

Potrošnja električne energije u kunama po važećem cjeniku HEP-a:

$$\text{VT: } 3858,579 * 0,96 = 3704,26 \text{ kn}$$

$$\text{NT: } 2756,128 * 0,77 = 2122,22 \text{ kn}$$

**UKUPNA POTROŠNJA TIJEKOM SEZONE GRIJANJA: 5826,48 kn**

S obzirom da je broj dana u sezoni grijanja 200, a okvirni broj dana u mjesecu neka bude 30, stambeni objekt se grijao otprilike 6,66 mjeseci.

Kako je potrošnja tijekom 200 dana sezone grijanja bila 5826,48 kn, dobiti ćemo da bi mjesečni račun za električnu energiju, prema trenutnoj cijeni struje, iznosio 874,84 kune mjesečno uz pretpostavku da se neprekidno grije.

### 3.4. USPOREDBA POTROŠNJE ELEKTRIČNE STRUJE ZA GRIJANJE POMOĆU ELEKTRIČNOG RADIJATORA

Za ovaj proračun će se koristiti električni radijator GLAMOX TPA15ET snage 1500 W koji može zagrijavati površinu od 14 – 17 m<sup>2</sup>, a ubraja se u moderni sustav grijanja koji štedi energiju.



Slika 29: Električni radijator GLAMOX TPA15ET [31]

S obzirom da je površina stambenog objekta 100 m<sup>2</sup>, za zagrijavanje će biti potrebno

$$\frac{100 \text{ m}^2}{17 \text{ m}^2} = 5,88 \approx 6 \text{ električnih radijatora}$$

Utrošak električne energije pri radu jednog radijatora od 1 h

$$A = P * T = 1,5 \text{ kW} * 1 = 1,5 \text{ kWh}$$

A = električna energija (količina rada) kWh

P = snaga (kW, odnosno kVA)

t = vrijeme u satima ( h)

Potrošnja električne energije jednog radijatora tijekom jednog dana (14 h po VT, 10 h po NT)

$$\mathbf{VT: 1,5 * 14 = 21 \text{ kWh}}$$

$$\mathbf{NT: 1,5 * 10 = 15 \text{ kWh}}$$

Potrošnja električne struje 6 radijatora tijekom jednog dana:

$$\mathbf{VT: 21*6 = 126 \text{ kWh}}$$

$$\mathbf{NT: 15*6 = 90 \text{ kWh}}$$

Potrošnja električne struje tijekom cijele sezone grijanja:

$$\text{VT: } 126 * 200,3 = 25237,8 \text{ kWh}$$

$$\text{NT: } 90 * 200,3 = 18027 \text{ kWh}$$

$$\text{UKUPNA POTROŠNJA: } 43\,264,8 \text{ kWh}$$

Potrošnja električne energije u kunama po važećem cjeniku HEP-a:

$$\text{VT: } 25237,8 * 0,96 = 24228,28 \text{ kn}$$

$$\text{NT: } 18027 * 0,77 = 13880,79 \text{ kn}$$

UKUPNA POTROŠNJA TIJEKOM SEZONE GRIJANJA POMOĆU ELEKTRIČNOG RADIJATORA: **38109,07 KN**

**Mjesečna potrošnja:**

$$38109,07 / 6,66 = \mathbf{5722,08 \text{ kn}}$$

#### GRIJANJE STAMBENOG OBJEKTA OD 100 m<sup>2</sup>

	TOPLINSKA PUMPA	ELEKTRIČNI RADIJATOR
<b>KOLIČINA POTROŠENE ENERGIJE</b>	6614,707 kWh	43 264,8 kWh
<b>UKUPNA CIJENA TIJEKOM SEZONE GRIJANJA (za 200 dana)</b>	5826,48 kn	38 109,07 kn
<b>MJESEČNA CIJENA (za 6,66 mjeseci)</b>	874,84 kn	5722,08 kn

Cijene električne energije u drugim zemljama Europske Unije veće nego u Hrvatskoj pa bi mjesečni račun za električnu energiju također bio veći. No, ako pogledamo životni standard i prosječnu visinu plaća u zemljama sa jačom ekonomijom, ulaganja u ovakve sisteme dugoročno se isplate. Ne samo u sisteme sa geotermalnim pumpama, nego i u proizvodnju struje iz obnovljivih izvora energije čime bi se smanjila i cijena električne energije i štetan utjecaj na okoliš. Uz dovoljnu proizvodnju električne energije iz fotonaponskih ćelija, sustav s toplinskom pumpom bi mogao biti neovisan o distributerima električne energije.

# 4. METODIČKI DIO - PRIPREMA ZA IZVOĐENJE NASTAVE S V E U Č I L I Š T E U R I J E C I

FILOZOFSKI FAKULTET RIJEKA

**ODSJEK ZA POLITEHNIKU**

Ime i prezime: Ivana Tomašević

## P R I P R E M A Z A I Z V O Đ E N J E N A S T A V E

Škola: Elektroindustrijska i obrtnička škola Mjesto: Rijeka

Razred: 4. A \*Zanimanje: Tehničar za mehatroniku

Nastavni predmet: Obnovljivi izvori energije

Kompleks: Toplinske pumpe

Metodička (nastavna) jedinica: Princip rada toplinske pumpe

\*\*Datum izvođenja: \*\*Mentor:

## S A D R Ž A J N I P L A N

### ***Podjela kompleksa na teme (vježbe, operacije)***

(Uz svaku temu /vježbu, operaciju/ navedite broj nastavnih sati i podvucite onu koja se u pripremi obrađuje)

Redni broj	Naziv tema u kompleksu	Broj sati	
		teorija	vježbe
1.	<u>Princip rada toplinske pumpe (obrnuti Carnotov kružni proces)</u>	<u>1</u>	
2.	Primjeri upotrebe i instalacije toplinskih pumpi	1	
3.	Princip rada gorive ćelije i podjela gorivih ćelija prema vrsti elektrolita	1	
4.	Prednosti i načini dobivanja struje iz gorive ćelije i njihov utjecaj na okoliš	1	
5.	Priprema za pisanu provjeru znanja	1	
6.	Pisana provjera znanja	1	
7.	Analiza pisane provjere znanja	1	

***Karakter teme (vježbe, operacije) – metodičke jedinice***

### ***Informativni tip***

\* Popunjava se ako se nastava održava u srednjoj strukovnoj školi

\*\* Popunjava se ako obrazac služi za nastavnu praksu studenta

## PLAN VOĐENJA ORGANIZACIJE NASTAVNOG PROCESA

### **Cilj (svrha) obrade metodičke jedinice:**

(Navedite ŠTO OD UČENIKA OČEKUJETE na kraju, nakon obrade nastavne građe, zbog čega se građa obrađuje)

Steći znanja o načinu iskorištavanja obnovljivog izvora energije (zrak, zemlja, voda) te principu rada toplinskih pumpi u svrhu primjene istih u sustavima za grijanje i hlađenje.

### **Ishodi učenja (postignuća koja učenik treba ostvariti za postizanje cilja):**

(Posebno upišite koja znanja, koje vještine i umijeća, te koju razinu samostalnosti i odgovornosti učenik treba steći nakon obrade nastavne teme. Ishode formulirati jasno i jednoznačno kako bi se mogli nedvojbeno provjeriti evaluacijom.)

#### ZNANJE I RAZUMIJEVANJE (*obrazovna postignuća*):

- Objasniti pojam toplinske pumpe
- Navesti dijelove toplinske pumpe
- Objasniti ulogu dijelova toplinske pumpe
- Nacrtati i objasniti kružni proces toplinske pumpe
- Objasniti čemu služi radni medij unutar toplinske pumpe
- Reći što je koeficijent učinkovitosti toplinske pumpe

#### VJEŠTINE I UMIJEĆA (*funkcionalna postignuća*):

- Prosuditi važnost korištenja toplinskih pumpi u sustavima grijanja i klimatizacije

#### SAMOSTALNOST I ODGOVORNOST (*odgojna postignuća*):

- Aktivno surađivati sa učenicima i nastavnikom

#### Organizacija nastavnog rada – artikulacija metodičke jedinice:

(Pregledno u tablicu upišite, zasebno za uvodni, glavni i završni dio u obliku teza: ŠTO se obrađuje – sadržaj, KAKO se obrađuje – metode rada i KOLIKO se obrađuje – trajanje nastavnog rada)

Dio sata	Faze rada i sadržaj	Metodičko oblikovanje	Vrijeme (min)
UVODNI DIO	Uvođenje u novo gradivo	Dijalog s učenicima o svrhovitosti toplinskih pumpi	5 min
GLAVNI DIO	Pojam toplinske pumpe Dijelovi toplinske pumpe Princip rada toplinske pumpe Radna tvar toplinske pumpe Koeficijent učinkovitosti toplinske pumpe	Predavanje o toplinskim pumpama i načinu rada	35 min
ZAVRŠNI DIO	Ponavljanje	Dijalog s učenicima	5 min

Posebna nastavna sredstva, pomagala i ostali materijalni uvjeti rada:

(Navedite što je konkretno potrebno i količine koje su potrebne. Izdvojite zasebno sredstva, pomagala i ostalo.)

Nastavno sredstvo:

- Ppt prezentacija koja grafički prikazuje toplinsku pumpu, njene dijelove i način rada.

**Metodički oblici koji će se primjenjivati tijekom rada:**

(Upišite na koji način ćete prezentirati sadržaj u pojedinom dijelu sata ili nastavnog rada)

UVODNI DIO

- dijalog s učenicima o svrsi toplinskih pumpi

GLAVNI DIO

- predavanje o toplinskoj pumpi
- demonstracija kružnog procesa toplinske pumpe

ZAVRŠNI DIO

- ponavljanje

**Izvori za pripremanje nastavnika:**

(Literatura s potpunim bibliografskim podacima, prikupljenim podacima, uvidom u konkretnu praksu i drugo.)

Labudović Boris: *Osnove primjene dizalica topline*, Energetika marketing, Zagreb 2009.

**Izvori za pripremanje učenika:**

(Udžbenik ili/i pomoćna literatura s potpunim bibliografskim podacima i sl.)

Ljubomir Majdandžić: *Obnovljivi izvori energije*  
Bilješke učenika



## **TIJEK IZVOĐENJA NASTAVE – NASTAVNI RAD**

(Detaljna razrada teza iz tablice artikulacije – napisati onako kako će se izvoditi pred učenicima – “scenarij” nastavnog procesa)\*

Dobar dan svima, ja sam Ivana i danas ću vam držati sat. Nadam se da ćemo se lijepo družiti. Na ppt prezentaciji prikazujem sliku nekih obnovljivih vrsta energije



Na početku ćemo kratko prodiskutirati obnovljive izvore energije.

- Koje obnovljive izvore poznajete? (energija vode, energija vjetra, toplina sunca...)
- Kao što ste naveli izvore, koji bi još po vama mogli biti potencijalni izvori obnovljive energije? –
  - **tlo, voda, zrak.**

Ako smo iskoristili snagu vjetra, snagu vode, toplinu sunca (solarna energija), možemo onda iskoristiti i temperaturu tla, vode, zraka za dobivanje toplinske energije ili hlađenja

Ne vjetar zato što se radi na usisu zraka u sustav, kod vjetrenjača je to vjetar nastao promjenama u prirodi.

Takav način iskorištenja energije iz zraka, tla i vode moguće je ostvariti upotrebom toplinskih pumpi.

Krenuti ćemo od toga što je to toplinska pumpa. U literaturi ćete naći još 2 izraza, a to su toplinska crpka ili dizalica topline.

Iz naziva Toplinska pumpa/crpka (eng. Heat pump) možda bi neki zaključili da se radi o stroju koji pumpa/crpi pomoću toplinske energije

No, naziv **dizalica topline** najbolje opisuje ono što ona zapravo radi.

- Što možemo zaključiti iz navedenog izraza? Diže nižu temperaturu na višu temperaturu.

Zapišite u svoje bilježnice naslov Toplinske pumpe (dizalice topline)

---

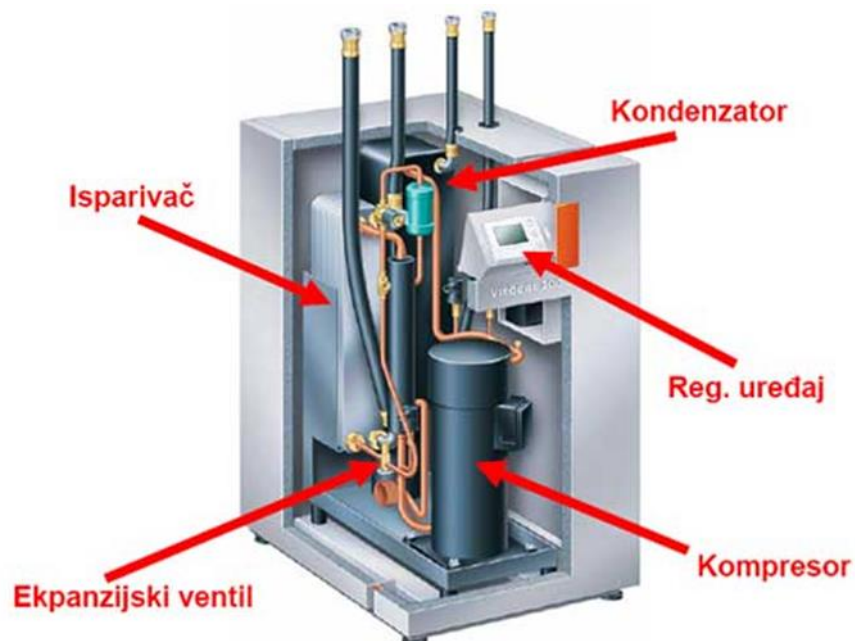
\* Uložite nove stranice papira, odnosno onoliko koliko zahtijeva tekst “scenarija”.

## GLAVNI DIO

Toplinska pumpa je uređaj koji omogućava prijenos toplinske energije iz toplinskog spremnika niže temperature razine u spremnik više temperature razine.

### Dijelovi toplinske pumpe

- ISPARIVAČ- isparivač dizalice je ustvari izmjenjivač topline u kojem radna tvar toplinske pumpe izmjenjuje toplinu s medijem (voda, zrak, rasolina, glikolna smjesa), pri čemu se on hladi.
- KOMPRESOR- radnoj tvari u parovitom stanju iz isparivača dovođenjem energije (rada) povisujemo tlak i temperaturu, a ujedno i kruženje kroz sustav. Zadatak kompresora je povisiti temperaturu i tlak radne tvari na vrijednost njezine temperature kondenzacije.
- KONDENZATOR- u njemu dolazi do kondenzacije radne tvari zahvaljujući predaji topline okolici (prostoru ili mediju). To je također izmjenjivač topline jer u njemu radna tvar izmjenjuje toplinu s sustavom grijanja koji se pri tom zagrijava (voda, zrak i sl.)
- EKSPANZIJSKI VENTIL- u njemu se radnoj tvari snižava tlak i temperatura na vrijednost pri kojoj se omogućava isparavanje (novi ciklus). Ta temperatura je **niža** od temperature posrednog medija.



Na slici je prikazan razmještaj dijelova unutar toplinske pumpe.

## RADNA TVAR

Radne tvari imaju nižu temperaturu isparavanja od radnog medija pomoću kojega dovodimo toplinu iz okoline.

Postoji više vrsta radnih tvari koje možete vidjeti u tablici 1.14.

Najčešće se u toplinskim pumpama koriste zeotropne smjese koje se sastoje dvije ili više radnih tvari u određenim omjerima.

Sljedeća tablica prikazuje omjere nekih radnih tvari

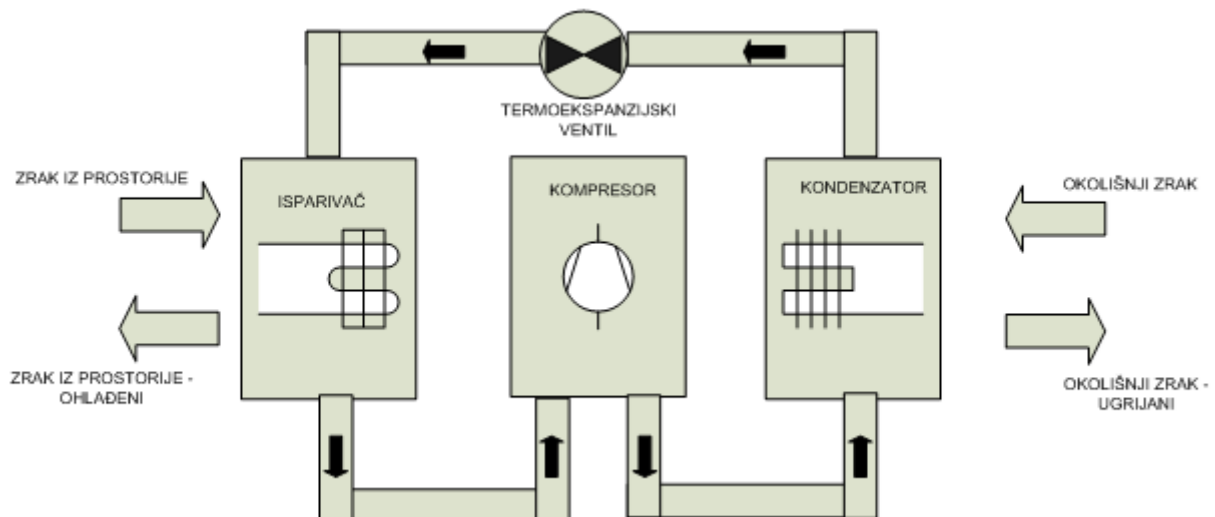
RADNA TVAR	OMJER
R 404A	44 : 54 : 4 %
R 407A	25 : 23 : 52 %
R 410A	50 : 50 %

Ako svaka radna tvar ima svoju temperaturu isparavanja, što postizemo sa smjesom unutar toplinske pumpe?

- Pri njihovom isparavanju, najprije dolazi do isparavanja tvari koja ima najnižu temperaturu isparavanja, a potom s povećanjem dovoda topline do isparavanja i ostalih tvari sa višim temperaturama isparavanja

I klima uređaj je također dizalica topline.

- Tko će mi opisati što klima uređaj radi? On snižava temperaturu. Može i grijati. Klima uređaj se sastoji od vanjske i unutarnje jedinice. Vanjska jedinica se sastoji od kompresora i kondenzatora, a unutarnja sadrži isparivač. Sljedeća slika prikazuje način rada klima uređaja.

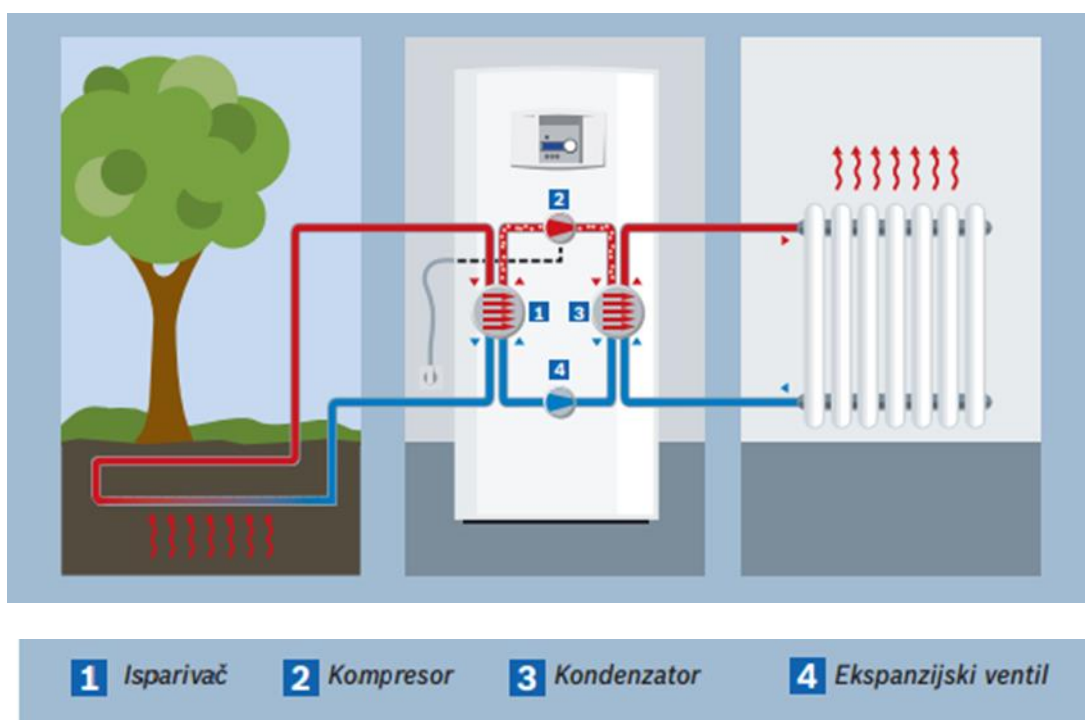


Radna tvar kao kapljevina ulazi u isparivač i isparava od topline iz zraka iz prostorije. Nakon što je isparila, u plinovitom stanju odlazi do kompresora putem cjevovoda u vanjskoj jedinici. Kompresijom se povećava tlak i temperatura radnog medija i takva se šalje kondenzatoru gdje postaje kapljevina. Tijekom kondenzacije, stvara se toplina koju preuzima vanjski zrak.

U njoj je radna tvar plin Freon.

## NAČIN RADA TOPLINSKE PUMPE

Toplinska pumpa radi na obrnutom principu. Umjesto da hladi, ona grije. Na slici je prikazan izveden sustav za grijanje pomoću toplinske pumpe gdje je izvor toplinske energije temperatura tla.

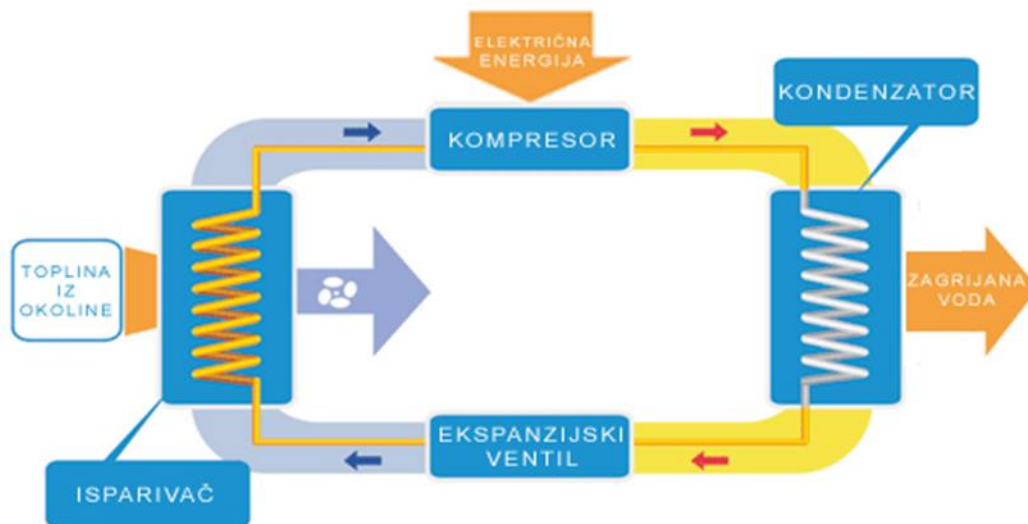


Toplina iz toplinskog izvora se prenosi radnim medijem koja se nalazi u sustavu cijevi. U našem slučaju je to smjesa propilen-glikola i vode koja služi protiv smrzavanja za vrijeme niskih temperatura.

- Pomoću topline dovedene iz okoline putem medija, isparava radna tvar u izmjenjivaču (isparivaču), a medij se hladi.
- U plinovitom stanju se dovodi do kompresora koji ju tlači i povećava tlak i temperaturu koja se putem izmjenjivača (kondenzatora) njoj daje vodi za grijanje te se šalje u radijatore, podno grijanje ili spremnik potrošne vode. Na način da se radna tvar j kondenzira i postaje kapljevina i pri tome se stvara toplina koju preuzima sustav grijanja, spremnik potrošne vode itd.

- Nakon toga se radna tvar ( plin ) preko ekspanzijskog ventila vraća u isparivač.

U ekspanzijskom ventilu radna tvar ekspandira s višeg tlaka kondenzatora na niži tlak isparivača te se hladi. Ovo je zatvoreni kružni proces (isparavanje-kompresija-kondenzacija-ekspanzija).



Na taj način toplina se dovodi domaćinstvima, gdje se većim dijelom koristi za grijanje, hlađenje i pripremu tople vode.

Upotrebom toplinskih pumpi  **smanjuje se potrošnja električne energije** u domaćinstvima.

Što mislite, može li toplinska pumpa hladiti prostor?

- Ako je odgovor da, zašto?
- Ako je odgovor ne, zašto?

Da bi toplinska pumpa hladila, što je potrebno napraviti?

- Zamijeniti kondenzator i isparivač, ali ne fizički nego preko ventila

**Iz tablice 2.2** možemo vidjeti koje sve toplinske izvore imamo dostupne.

Kod projektiranja sustava sa toplinskom pumpom, bitne su prosječne temperature mjesta.

Zašto?

- Da bi se spriječilo zaleđivanje radne tvari i medija pomoću kojeg dovodimo toplinu okoline do isparivača

Važan nam je i **koeficijent učinkovitosti toplinske pumpe** (COP- coefficient of performance)

Pokazuje koliko puta više energije toplinska pumpa daje nego što troši.

COP se može pročitati u podacima o toplinskoj pumpi, no što zapravo on znači?

Ovisno o izvedbi toplinske pumpe, COP može biti jako velik. Ukoliko je COP 5.5 , to znači da pumpa daje 5.5 kW energije za svaki 1kW uložene energije.

**Prednosti:**

TIHI RAD- kod ovakvih sustava nema dijelova koji proizvode buku, pa su zbog toga vrlo pogodni za upotrebu u domaćinstvima ili u poslovnim prostorima.

PRILAGODBA- koriste se i u toplim i u hladnim razdobljima. Ljeti za hlađenje, a zimi za grijanje.

FLEKSIBILNOST- ovakvi geotermalni sustavi mogu opskrbljivati toplinskom energijom razne vrste potrošača. To mogu biti privatni ili poslovni objekti povezani u jedinstvenu mrežu.

EKOLOŠKI PRIHVATLJIVE

**Nedostaci:**

VELIKI INVESTICIJSKI TROŠKOVI

VELIKA CIJENA TOPLINSKE PUMPE

NEDOSTATAK DRŽAVNIH POTICAJA ZA PRIMJENU OBNOVLJIVE ENERGIJE

ZAVRŠNI DIO

Na kraju sata sa učenicima ponavljam najvažnije pojmove s kojima su se susreli.

- Što je to toplinska pumpa?
- Koji su osnovni dijelovi toplinske pumpe?
- Opišite mi način rada toplinske pumpe.
  - Jedan učenik će opisati rad isparivača i kompresora
  - Drugi učenik će opisati rad kondenzatora i ekspanzijskog ventila
- Koja je glavna funkcija ekspanzijskog ventila?
  - radnoj tvari snižava tlak i temperaturu
- Što se snižavanjem tlaka i temperature radne tvari želi postići?
  - Da se temperatura radne tvari spusti na vrijednost pri kojoj se omogućava ponovno isparavanje radne tvari, odnosno početak novog ciklusa
- Prednosti toplinske pumpe
- Nedostaci toplinske pumpe

### ***Izgled ploče***

(Skicirati potpuni izgled ploče nakon obrađene teme /naslov, skice, crteži, tekst/ .)

#### **TOPLINSKA PUMPA (DIZALICA TOPLINE)**

Toplinska pumpa- uređaj koji omogućava prijenos toplinske energije iz spremnika niže temperaturne razine u spremnik više temperaturne razine.

Dijelovi TP:

Isparivač

Kompresor

Kondenzator

Ekspanzijski ventil

Schema TP

Princip rada TP

Radna tvar- služi za izmjenjivanje  
toplina sa okolinom

Ima nižu temperature isparavanja  
od temperature radnog medija

Koeficijent učinkovitosti COP

\_\_\_\_\_  
(potpis studenta)

\*Pregledao: \_\_\_\_\_

\*Datum: \_\_\_\_\_

#### ***Osvrt na izvođenje:***

(Sažet kritički osvrt na sadržajnu, stručno – teorijsku, organizacijsko – tehničku i subjektivnu komponentu vođenja nastavnog procesa.)

\*Ocjena: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

( Potpis ocjenjivača)

(Datum)

\_\_\_\_\_  
\* Popunjava se ako se obrazac koristi za nastavnu praksu studenata.

## 5. ZAKLJUČAK

Sustavi s toplinskim pumpama mogu koristiti na većini mjesta u Republici Hrvatskoj, bilo da je izvor topline tlo, zrak, ili voda, i one su jedan od sigurnih, ekoloških i ekonomičnih sustava grijanja i njihova primjena je široka te višestruko isplativa. Kako tehnologija i razvoj sustava napreduje, tako ugrađeni sustavi imaju dug vijek trajanja te imaju jednostavno održavanje.

Da bi se potaknula veća primjena toplinskih pumpi u Republici Hrvatskoj, nedostaju poticaji za kako bi se osigurali svi tehničko-tehnološki uvjeti za ugradnju sustava zbog velikog početnog ulaganja koje doseže i do 6500 dolara.

Jedna od ključnih stvari je podizanje životnog standarda i svijesti građana da bi se smanjila potreba za korištenjem fosilnih goriva te da se što više električne energije proizvede, odnosno dobije iz obnovljivih izvora energije, kao i toplinske energije koju se može neograničeno koristiti smanjujući štetni utjecaj na prirodu kao i emisiju stakleničkih plinova.

Zbog svoje fleksibilnosti u primjeni, sustavi s toplinskim pumpama, ne samo da griju prostor, nego ga mogu i hladiti u vrućim ljetnim mjesecima kada je najveća potrošnja električne energije. Istodobnom ugradnjom spremnika za potrošnu toplu vodu u sustav, smanjuje se potrošnja električne energije koju koriste električni grijači u električnim bojlerima na način da se u sustav dodaju solarni kolektori za nadogrijavanje vode u spremniku.

Cilj ovog rada je bio dimenzionirati toplinsku pumpu za kućanstvo te izračunati njenu potrošnju tijekom sezone grijanja. Valja imati na umu da je u proračun uzet maksimalan broj sati rada kompresora pa je utrošak električne energije manji ako se preko regulatora toplinske pumpe regulira uključenje kompresora ovisno o potrebi.

Nakon dobivene potrošnje električne struje za grijanje pomoću električnog radijatora, možemo primjetiti kako je mjesečni izdatak za grijanje istog objekta 6,5 puta veći što nam zapravo dokazuje učinkovitost i uštedu toplinskih pumpi u kućanstvu kao i dani primjeri primjene u industriji gdje su se početna ulaganja vratila za 14 mjeseci, a toplinski gubici smanjili za više od 100 kW.

Kroz istraživanje tijekom izrade ovog rada, detaljnije sa se upoznala sa dijelovima toplinske pumpe, radnim tvarima koje se koriste u toplinskim pumpama kao i primjenom u industriji gdje njihova upotreba značajno smanjuje toplinske gubitke, ali i ono što je najbitnije od svega da smanjuje razinu emitiranja CO<sub>2</sub> u atmosferu s obzirom da su industrije veliki pogoni koji su poznati po velikom zagađenju i onečišćenju okoliša.

Možemo zaključiti da se daljnim istraživanjima sve više radi na sigurnosti radnih tvari, što manjem utjecaju na ozon, efekt staklenika te globalno zagrijavanje, u ulozi posrednika prijenosa topline u cjelokupnom sustavu, kao i djelovanjem radne tvari na materijale od kojih su izrađeni sastavni elementi toplinskih pumpi. Isplativost i učinkovitost toplinskih pumpi su davno prepoznale vodeće zemlje što se pokazalo kao dobra investicija za domaćinstva, industriju, stambena naselja koja su povezana u mrežu čime se postiže smanjenje potrošnje električne energije koja je potrebna za grijanje ili hlađenje kao i smanjena potreba za eksploatacijom prirodnog plina i njegovom upotrebom.



## 6. LITERATURA:

- [1] [www.menea.hr](http://www.menea.hr)
- [2] R. Curtis , J. Lund, B. Sanner, L. Rybach, G. Hellström: *Ground Source Heat Pumps - Geothermal Energy for Anyone, Anywhere: Current Worldwide Activity*
- [3] Filip Haddad, Leon Trang: *Heat pump systems and their costs from the perspective of insurance companies, users and environment*, KTH School of Industrial Engineering and Management
- [4] Z. Guzović, D. Lončar, N. Ferdelji : *Possibilities of electricity generation in the Republic of Croatia by means of geothermal energy*, Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture, University of Zagreb
- [5] <http://www.menea.hr/wp-content/uploads/2013/12/6-geotermalna.pdf> - Energetski institut Hrvoje Požar
- [6] [www.viessmann.de](http://www.viessmann.de) - Viessman Planungshandbuch Wärmepumpen; priručnik za projektiranje toplinskih pumpi
- [7] Tomislav Kurevija : *Analiza potencijala plitkih geotermalnih resursa u sustavima toplinskih pumpi na području grada zagreba*; Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Sveučilište u Zagrebu, Zagreb, Hrvatska
- [8] Zvonimir Guzović : *Geotermalna energija i dizalice topline*; Fakultet strojarstva i brodogradnje , Sveučilište u Zagrebu
- [9] [http://www.eko-puls.hr/Toplinske\\_pumpe.aspx](http://www.eko-puls.hr/Toplinske_pumpe.aspx)
- [10] [www.bosch.hr](http://www.bosch.hr)
- [11] Labudović Boris: *Osnove primjene dizalica topline*, Energetika marketing, Zagreb 2009.
- [12] <http://pdfsdb.com/doc/wp-handbuch-ausgabe5cdr-72408303.html>
- [13] Danfoss scrolling compressors datasheet
- [14] Carrier Corporation: *Scroll compressors high efficiency compression for commercial and industrial applications*, Syracuse, New York
- [15] [http://www.vlamont.hr/toplinska\\_pumpa.aspx](http://www.vlamont.hr/toplinska_pumpa.aspx)
- [16] Velimir Tolić: *Potencijali dizalice topline u Republici Hrvatskoj, te koncept primjena raznih tehnologija dizalice topline u projektu "Sveučilišni Kampus Borongaj"*, KOMFOR KLIMA GRUPA
- [17] Produced within Effsys2 P2 with funding from Energimyndigheten and cooperation from KTH and a large number of companies and persons: *Handbook on indirect refrigeration and heat pump systems*
- [18] Vladimir Soldo, Vlasta Zanki Alujević, Marino Grozdek, Tonko Ćurko: *Properties od alternative refrigerants*, Fakultet strojarstva i brodogradnje Zagreb

- [19] <http://www.vaillant.com/downloads/dokumente/system-geotherm-fin-1402-03-106310.pdf>
- [20] [www.danfoss.com](http://www.danfoss.com) datasheets- Danfoss scroll compressors for heating
- [21] Manfred Reuss and Burkhard Sanner: *Geothermal Heat pumps, chapter 2.5 Design of closed loop heat exchangers*, International summer school on Direct Application of Geothermal energy
- [22] <http://www.hep.hr/ods/kupci/tarifni.aspx>
- [23] [http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/File:Half-yearly electricity and gas prices, second half of year, 2012%E2%80%9314 \(EUR per kWh\) YB15.png](http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/File:Half-yearly_electricity_and_gas_prices,_second_half_of_year,_2012%E2%80%9314_(EUR_per_kWh)_YB15.png)
- [24] [http://www.eko-puls.hr/Toplinske\\_pumpe.aspx](http://www.eko-puls.hr/Toplinske_pumpe.aspx)
- [25] [http://www.danfoss.com/NR/rdonlyres/6FB1694F-6C49-4E27-AEB3-710E98B12372/0/HR\\_Cooling\\_Matters\\_2\\_2010.pdf](http://www.danfoss.com/NR/rdonlyres/6FB1694F-6C49-4E27-AEB3-710E98B12372/0/HR_Cooling_Matters_2_2010.pdf)
- [26] <http://toshiba-inverteri.ba/proizvodi/poslovniprostori/estia/>
- [27] <http://www.danfoss.com/nr/rdonlyres/078fa996-d691-4012-90d1-4302ff659fab/0/coolinginfo12010hr.pdf>
- [28] <http://www.eihp.hr/wp-content/uploads/2015/02/Energija2013.pdf>
- [29] [http://grijanje.danfoss.com/PCMPDF/VDGSJ237\\_Heat\\_exchanger\\_XB61-print.pdf](http://grijanje.danfoss.com/PCMPDF/VDGSJ237_Heat_exchanger_XB61-print.pdf)
- [30] [http://www.irena-istra.hr/fileadmin/poddomene/IRENA/Projekti\\_s\\_dizalicama\\_topline\\_tlo\\_voda\\_u\\_republici\\_hrvatskoj\\_i\\_regiji.pdf](http://www.irena-istra.hr/fileadmin/poddomene/IRENA/Projekti_s_dizalicama_topline_tlo_voda_u_republici_hrvatskoj_i_regiji.pdf)
- [31] <http://www.elipso.hr/grijaca-tijela/elektricne-grijalice/GLAMOX-TPA15ET/>
- [32] J. Perko, Student Member, IEEE, V. Dugec, D. Topic, D. Sljivac, Member, IEEE, and Z. Kovac: *Calculation and Design of the Heat Pumps; Leiria, Portugal 2011*
- [33] Ivana Tomašević: *Geotermalna energija*, završni rad, Filozofski fakultet u Rijeci, 2013.
- [34] MINISTARSTVO GRADITELJSTVA I PROSTORNOGA UREĐENJA- PRAVILNIK O ENERGETSKIM PREGLEDIMA GRAĐEVINA I ENERGETSKOM CERTIFICIRANJU ZGRADA, [http://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2012\\_07\\_81\\_1906.html](http://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2012_07_81_1906.html)