

# Primjena toplinskih crpki

---

**Copić, Petra**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2018**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **Josip Juraj Strossmayer University of Osijek, Faculty of Electrical Engineering, Computer Science and Information Technology Osijek / Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Fakultet elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija Osijek**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:200:146151>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-02-17**

*Repository / Repozitorij:*

[Faculty of Electrical Engineering, Computer Science and Information Technology Osijek](#)



**SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU  
FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA I  
INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA OSIJEK**

**Sveučilišni studij**

**PRIMJENA TOPLINSKIH CRPKI**

**Završni rad**

**Petra Copic**

**Osijek, 2018.**

1. Uvod .....	3
1.1. Zadatak završnog rada .....	4
2. Princip rada toplinske crpke .....	5
3. Klasifikacija toplinskih crpki .....	8
3.1. Toplinska crpka zrak / voda .....	8
3.2. Toplinska crpka voda/voda .....	9
3.3. Toplinska crpka tlo/voda .....	10
3.3.1. Sustav sa zatvorenim krugom .....	11
Vertikalni .....	12
Horizontalni .....	15
Vodoravna kolektorska polja .....	15
Kanalni, kompaktni ili kolektori u jarku .....	16
Spiralni kolektori .....	17
3.3.2. Sustav sa otvorenim krugom .....	18
3.4. Solarna toplinska crpka .....	19
Solarne crpke s posrednim isparavanjem radne tvari .....	19
Solarne crpke s neposrednim isparavanjem radne tvari .....	19
4. Dijelovi toplinske crpke .....	20
4.1. Isparivač .....	21
4.2. Kompresor .....	22
4.3. Kondenzator .....	24
4.4. Ekspanzijski ventil .....	26
5. Prednosti i nedostaci toplinskih crpki .....	27
5.1. Prednosti i nedostaci toplinskih crpki zrak / voda .....	28
5.2. Prednosti i nedostaci toplinske crpke voda/voda .....	29
5.3. Prednosti i nedostaci toplinske crpke tlo/voda .....	30
5.4. Prednosti i nedostaci solarne toplinske crpke .....	31
6. Primjer proračuna proizvodnje toplinske energije toplinske crpke tlo/voda .....	32
7. Zaključak .....	37
Literatura .....	38
Popis slika .....	39
Popis tablica .....	40
Sažetak .....	41
Abstract .....	41
Popis oznaka .....	42
Životopis .....	43

## 1. Uvod

Toplinske crpke su sustavi koji crpe toplinu iz jednog tijela te ju predaju drugom. Kako bi se ta toplina mogla prenijeti, potrebna je pogonska snaga. Ovisno o vrsti toplinske crpke ona može biti: mehanička, električna ili termalna.

Toplinska crpka radi na principu Ljevokretnog Carnotovog kružnog procesa, jer se sustavu rad dovodi izvana. Ovaj proces ima veliki stupanj korisnosti, najviše primarne toplinske energije se pretvori u koristan rad.

Obzirom na vrstu izvora topline (zrak, voda, tlo, sunce), klasificiramo toplinske crpke. One koriste isključivo obnovljive izvore topline iz okoliša. Razlikujemo toplinsku crpku zrak/voda, voda/voda, tlo/voda i solarnu toplinsku crpku.

Od navedenih crpki, najviše se koristi toplinska crpka tlo/voda, poznatija pod nazivom geotermalna toplinska crpka. Primjenju se od kućanstava do raznih poslovnih prostora i industrija. U stambenim i poslovnim prostorima služe za pripremu PTV-a, grijanje ili hlađenje prostora. Dok u industriji griju pogone i staklenike, zagrijavaju industrijsku vodu, proizvode vodenu paru.

Karakteriziraju je veći troškovi ugradnje u odnosu na druge vrste crpki, no isplativost je velika. Smanjuje emisiju CO<sub>2</sub> tj stakleničkih plinova i ne koristi fosilna goriva (neobnovljivi izvor energije). Ovo su glavne prednosti svih crpki.

Povijest današnjih rashladnih uređaja i toplinskih crpki započinje 1834. godine. Jacob Perkins je patentirao prvi parni kompresorski rashladni uređaj, koristeći se teorijskim načelima Carnotovog kružnog procesa. Peter von Rittinger je 1856. godine izradio prvu praktično uporabljivu toplinsku crpku, korištenu u industrijske svrhe. Prva velika dizalica topline puštena je u rad 1930./31. godine u Los Angelesu. Bila je vlasništvo kompanije za elektrodistribuciju. [1]

## **1.1. Zadatak završnog rada**

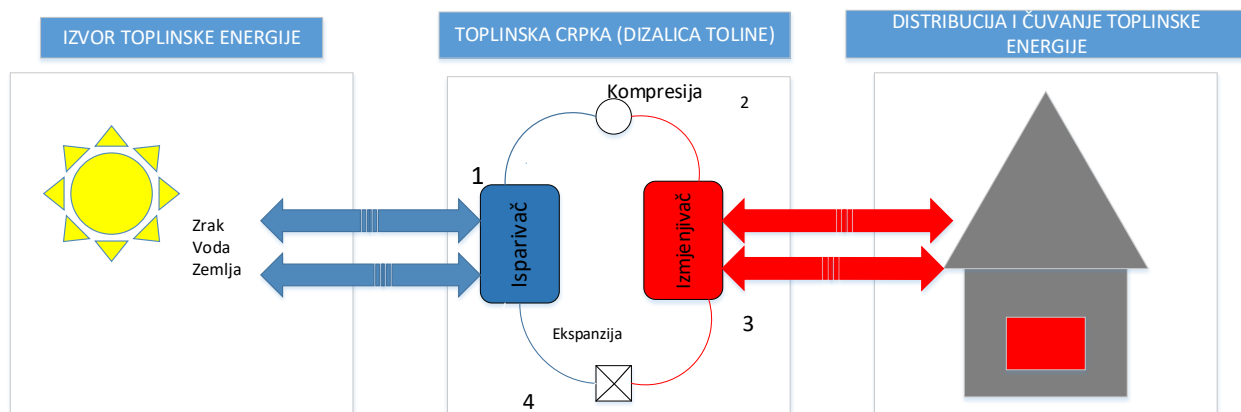
Završnim radom je potrebno opisati osnovni princip rada toplinske crpke te opisati njene osnovne dijelove. Klasificirati toplinske crpke obzirom na vrstu korištenja izvora topline. Na osnovu četiri vrste toplinskih crpki, dati relevantan pregled literature o prednostima i nedostacima pri korištenju. Također je dan primjer proračuna proizvodnje toplinske energije toplinske crpke tlo-voda.

## 2. Princip rada toplinske crpke

Toplinska crpka je uređaj koji transformira toplinsku energiju niže temperature u toplinsku energiju više temperature, uz dodatni vanjski rad. Osnovni cilj rada toplinske crpke je upotreba toplinske energije za grijanje ili hlađenje.

Ako toplinska crpka koristi za grijanje, onda se izmjena toplinske energije vrši na kondenzatoru (viša temperatura), a ako se koristi za hlađenje onda se izmjena toplinske energije vrši na isparivaču (niža temperatura). Bilo koji rashladni uređaj istovremeno je i toplinska crpka, samo je bitno koja mu je osnovna namjena, zagrijavanje ili hlađenje.

Izvor toplinske energije za rad toplinske crpke može biti zrak, voda ili zemlja (geotermalna energija). Toplinska energija dovedena medijem na isparivač uzrokuje isparavanje radne tvari koja u plinovitom stanju dolazi do kompresora (1). Porastom tlaka raste i temperatura radne tvari koja prelazi u tekuće stanje (kapljevina) pri dolasku u izmjenjivač topline (2). Radna tvar predaje energiju mediju u izmjenjivaču topline (3) te prolaskom kroz ekspanzijski ventil ekspandira na niži tlak i temperaturu (4), a u isparivaču pod djelovanjem izvora toplinske energije opet prelazi u plinovito stanje čime opet započinje već opisani novi kružni proces. Na slici 2.1. je prikazan princip rada toplinske crpke na sustavu za centralno grijanje, sam proces je objašnjen u gore navedenom tekstu.



Slika 2. 1. Princip rada toplinske crpke

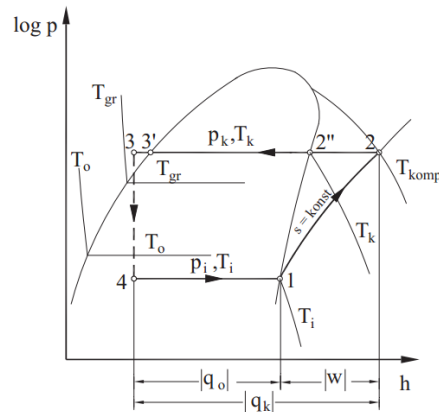
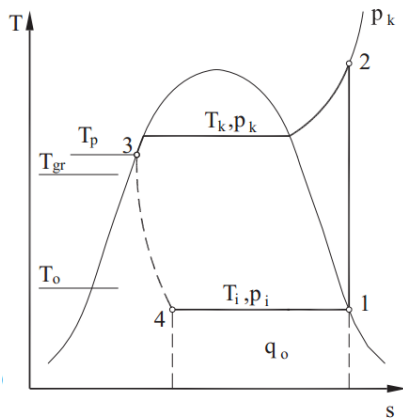
Takav kružni proces može se objasniti ljevokretnim Carnotovim kružnim procesom. Carnotov ciklus je kružni proces kojeg je u 19. st. objasnio N. Leonard Carnot, a Paul E. Clapeyron dodatno proširio.

Kružni proces je reverzibilan. Ukoliko se sustavu dovodi vanjski rad sustav radi kao toplinska crpka. Carnotov kružni proces ima visok stupanj korisnosti.

Na slici 2.2. a) je prikazan proces toplinske crpke  $T-s$ , odnosno na slici b)  $\log p-h$  dijagramom.

Promjene stanja [2]:

- isparivanje: 4-1
- kompresija: 1-2
- kondenzacija: 2-3
- prigušenje: 3-4



Slika 2.2. a) Proces toplinske crpke u  $T-s$

b) Proces toplinske crpke u  $\log p-h$  [2]

U isparivaču radna tvar isparava pri tlaku  $p_i$  i konstantnoj temperaturi  $T_i$  (4-1, slika 2.2.a ). Radna tvar pri tome prima toplinu iz izvora toplinske energije (tlo, zrak, voda) kojeg hladi. Radna tvar isparava pri nižoj temperaturi od temperature toplinskog izvora od kojeg oduzima toplinsku energiju. Pri ulazu u isparivač, radna tvar se nalazi većinom u tekućem agregatnom stanju (stanje 4), a pri izlasku iz isparivača ona je u stanju suhozasićene pare (stanje 1).[2]

Kompresor suhozasićenu paru radne tvari stlači na tlak kondenzacije (1-2, slika 2.2. b ), odnosno na temperaturu koja je viša od temperature ogrjevnog medija. [2]

Radna tvar prilikom ulaska u kondenzator nalazi se u stanju pregrijane pare (stanje 2) i u kondenzatoru predaje toplinu ogrjevnom mediju.

Energija kondenzacije (2-3, slika 2.2. b) koju je potrebno predati ogrjevnom mediju sustava grijanja jednaka je energiji izmijenjenoj u isparivaču uvećanoj za energiju koja je dovedena kompresoru:

$$q_{kond} = q_{isp} + w_{komp}, [kJ/kg] \quad \text{ili} \quad \Phi_{kond} = \Phi_{isp} + P_{komp, n}, [W]$$

$q_{kond}$  - specifični učinak kondenzatora [kJ/kg]

$\Phi_{kond}$  – učinak kondenzatora [W]

$q_{isp}$  - specifični učinak isparivača [kJ/kg]

$\Phi_{isp}$  – učinak isparivača [W]

$w_{komp}$  - rad kompresora [ kJ/kg]

$P_{komp, n}$  – snaga kompresora [W]

Radna tvar u tekućem agregatnom stanju ulazi u ekspanzijski ventil koji snižava tlak radne tvari i pri tome pada i temperatura radne tvari (3-4, slika 2.2. b ). Na taj način kružni je proces završen. [3]



### 3. Klasifikacija toplinskih crpki

Toplinske crpke klasificiramo prema izvoru topline. Izvori topline mogu biti okolišni zrak, površinske i podzemne vode te tlo.

Prema izvoru topline razlikujemo toplinsku crpku zrak/voda, voda/voda i tlo/voda.

Zahtjevi za toplinski izvor [1]:

1. toplinski izvor bi trebao imati dovoljnu količinu topline na što višoj i stabilnijoj temperature u svako doba dana
2. mogućnost priključenja toplinske crpke na toplinski izvor pri čemu su troškovi i utrošena energija vrlo niski

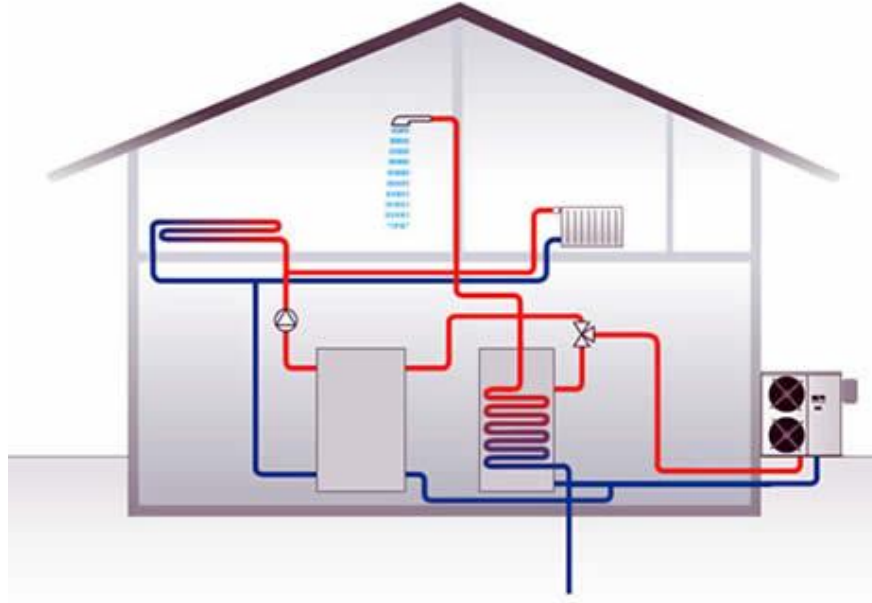
#### 3.1. Toplinska crpka zrak / voda

Toplinske crpke zrak/voda uzimaju energiju iz zraka kako bi zagrijali vodu u sustavu grijanja.

Rade učinkovito do temperature vanjskog zraka  $-20^{\circ}\text{C}$ . Ako je temperatura niža od navedene, energija se ne može crpiti jer je zrak hladniji od temperature radne tvari u isparivaču.[4]

Ovaj sustav sadrži vanjsku jedinicu (usisni ventilator) koja usisava vanjski zrak, odnosno uzima toplinu zraka te ju podiže na temperaturu koja je pogodna za grijanje, zatim se ta toplina prenosi radnim medijem do unutarnje jedinice. Na taj se način dobivena toplina distribuira u sustav grijanja.

Primjenjuje se za grijanje prostora zimi te hlađenja prostora ljeti. Također ova vrsta toplinskih crpki može omogućiti pripremu potrošne tople vode .



*Slika 3.1. Sustav grijanja toplinske crpke zrak/voda [5]*

### **3.2. Toplinska crpka voda/voda**

Toplinske crpke voda/voda koriste površinske i podzemne izvore vode za dobivanje toplinske energije.

Temperatura podzemnih voda je ovisna o dubini crpljenja, te iznosi 8-12°C. Zbog toga što je temperatura podzemnih voda konstantna, ovaj izvor topline je idealan za rad toplinskih crpki.

Za postavljanje toplinske crpke potrebna su nam dva zdenca (bušotine), crpni i ponorni koji se nalazi na 5 m dubine. Iz jednog zdenca se voda uzima, a kroz drugi vraća. Najmanji protok vode treba iznositi 2m<sup>3</sup>/h (on se postiže na 5 m dubine).[4] Udaljenost između ta dva zdenca treba iznositi minimalno 15 m. Crpni zdenac mora u svakom trenu davati dovoljnu količinu vode tj., njegova izdašnost je najvažnija za ovu vrstu toplinske crpke.

Za razliku od rijeka, jezera su pogodnija za akumulaciju zbog temperature vode. Temperatura vode tijekom hladnijih mjeseci u prosjeku iznosi oko  $6^{\circ}\text{C}$  pri dubinama većim od 10 m.

Jedina mana jezera kao izvora za rad toplinske crpke voda/voda je njegova nedostupnost jer mali broj potrošača ima pristup jezeru.

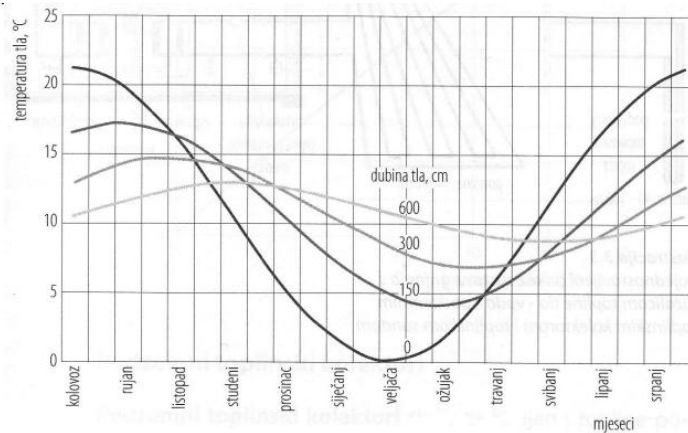


*Slika 3.2. Sustav grijanja toplinske crpke voda/voda[6]*

### **3.3. Toplinska crpka tlo/voda**

Toplinske crpke tlo/voda se još nazivaju geotermalne toplinske crpke. One koriste toplinu (energiju) iz površinskog sloja zemlje nastalu Sunčevim zračenjem. Ispod površine zemlje, na dubini od 2 m, temperature iznose od  $7^{\circ}\text{C}$  do  $12^{\circ}\text{C}$ . Realativno su konstantne tijekom svih mjeseci.[4]

Istraživanjima je utvrđeno da je temperatura zemlje na većim dubinama konstantna jer atmosfera nema utjecaja. Pri manjim dubinama utjecaj je prisutan pa temperatura nije konstantna, što se vidi iz grafa.



Slika 3.3. Dijagram ovisnosti temperature o dubini tijekom mjeseci[7]

Razlikujemo dvije vrste geotermalne toplinske crpke. Sustave otvorenog (vertikalni i horizontalni) i sustave zatvorenog kruga(dvije bušotine) .

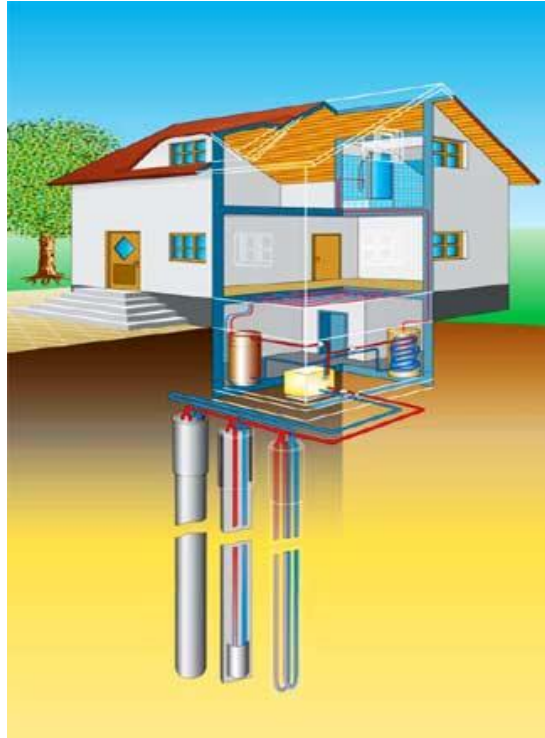
### 3.3.1. Sustav sa zatvorenim krugom

Putem sustava sa zatvorenim krugom (vertikalni i horizontalni), akumulirana toplina zemlje se putem posrednog medija prenosi do isparivača toplinske crpke. Kao posredni medij se najčešće koristi rasolina ili glikolna smjesa. Količina akumulirane i predane topline u najvećoj mjeri ovisi o termofizikalnim svojstvima tla.

Klasifikacija geotermalnih toplinskih crpki sa zatvorenim krugom je ona prema načinu izvedbe izmjenjivača topline. Tu razlikujemo dvije varijante postavljanja sustava za izmjenu topline u tlu: vertikalno i horizontalno postavljanje.

## Vertikalni

Pomoću vertikalnih izmjenjivača topline, geosondi oduzima se energija iz zemlje pri većim dubinama. Kod ovog sustava primarna je geotermalna energija, a ne direktno sunčevo zračenje. Ova vrsta izmjenjivača topline se koristi kada na raspolaganju nisu slobodne veće površine.



*Slika 3.4. Dubinska sonda[6]*

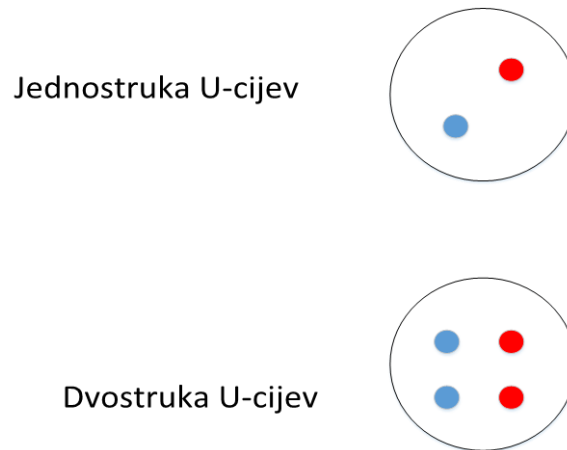
Pri postavljanju ovih sondi izvode se dubinska bušenja pri dubini od 40 do 100 metara, u bušotinu se polažu cijevi. Razmak između njih mora biti najmanje 5 m.

Postoje dvije izvedbe cijevi : 1.) dvostruka U cijev

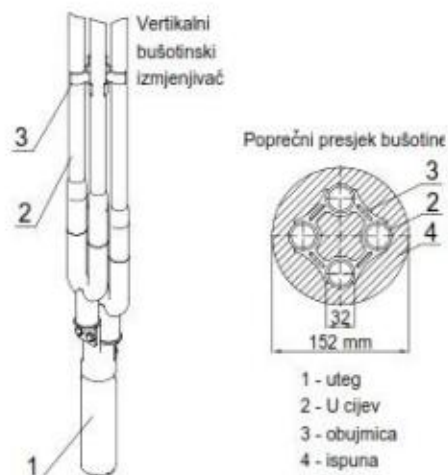
2.) koaksijalna cijev

## Dvostruka U cijev

Cijev se najčešće izrađuje od polietilena. Jedan dio cijevi ulazi u ohlađeni medij iz toplinske crpke, a kroz drugi dio cijevi se vraća zagrijan. Promjer ovih cijevi iznos 32 ili 44 mm.



Slika 3.5. Izvedba sonde



Slika 3.6. Prikaz dvostruke U cijevi i poprečni presjek bušotine[7]

## Koaksijalna cijev

Unutarnja cijev je napravljena od polietilena. U cijev ulazi ohlađena posredna tvar iz toplinske crpke, a kroz drugi (vanjski) dio cijevi se vraća zagrijan. Vanjski dio cijevi konstruiran je od korozijski postojećih čelika. Kao posredna tvar za geosonde upotrebljava se smjesa koja sadrži 30% glikola i 70% vode. Pri postavljanju sonde bitno je poznavati svojstva tla, redoslijed slojeva tla te otpor tla.

Kod instalacije geosonde može se pri normalnim hidrogeološkim uvjetima uzeti da je srednji učinak po jednom metru dužine sonde 50 W. U tablici 3.1. dani su podaci za različite vrste tla.

Tablica 3.1. Iznosi specifičnog toplinskog učinka tla [6]

Vrsta tla	Specifični toplinski učinak tla $q_e [W/m]$
Šljunak, suhi pijesak	<20
Šljunak, mokri pijesak	55-65
Glina, ilovača	30-40
Vapnenac	45-60
Pješčanik	55-65
Kiseli magmatit	55-70
Bazični magmatit	35-55
Kristalasti škriljavec	60-70

## Horizontalni

Horizontalni izmjenjivači topline služe za izmjenu topline. Toplina se izmjenjuje među posredne tvari i površine tla, do 2 m dubine. Energija tla u gornjem sloju zemlje se regenerira solarnim zračenjem i kišom, odnosno energijom iz ekoloških utjecaja. Materijal za izradu cijevi koji se koristi je polietilen jer ima dobra toplinska i fizikalna svojstva.

Vrste izmjenjivača [7] :

- a) vodoravna kolektorska polja (sa serijski i paralelno povezanima cijevima)
- b) kanalni, kompaktni ili kolektori u jarku
- c) spiralni kolektori („Slinky“ i „Svec“)

### Vodoravna kolektorska polja

Vodoravna kolektorska polja su najčešća izvedba podzemnih kolektora topline kod toplinskih crpki tlo/voda. Moguće su dvije izvedbe, sa serijski i paralelno povezanim cijevima (Slika 3.7.). Polažu se u tlo pri dubini od 1,3 m do 1,5 m. Prilikom postavljanja ovih kolektorskih polja ,površina zemljišta treba biti barem dva puta veća od površine prostora koji treba grijati.



*Slika 3.7. Vodoravno kolektorsko polje sa serijski (lijevo) i paralelno povezanim cijevima (desno)[7]*



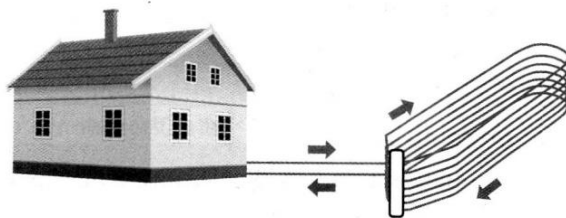
## Kanalni, kompaktni ili kolektori u jarku

Kanalni, kompaktni ili kolektori u jarku su izvedba podzemnih toplinskih kolektora. Najviše su zastupljeni u Nordijskoj regiji. Zauzimaju manju površinu zemljišta od vodoravnih kolektorskih polja.

Kod ove izvedbe je omogućen najveći iznos specifičnog toplinskog učinka tla koji iznosi od  $100 \text{ W/m}^2$  do  $130 \text{ W/m}^2$ . [7]

Za instalaciju vrijedi nekoliko osnovnih pravila: [7]

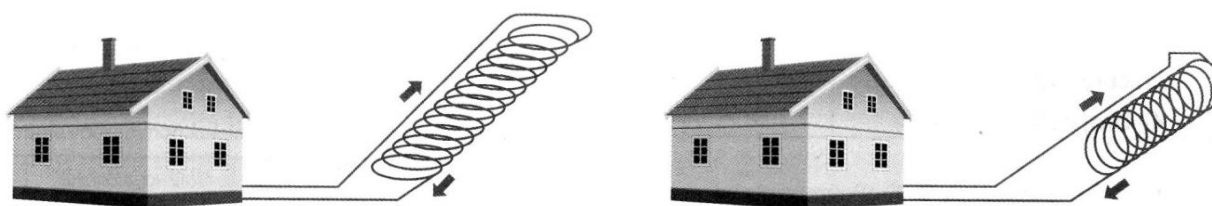
- a) dubina polaganja: 1,6 – 2,0 m
- b) najmanja širina kanala: 0,8 m
- c) duljina kanala: 20 – 30 m
- d) materijal i dimenzije cijevi kolektora: polietilen,  $\Phi 32 \times 3 \text{ mm}$
- e) duljina cijevi u petlji: 125 m
- f) razmak cijevi: 3 m



Slika 3.8. Kanalni kolektor (u jarku)[7]

## Spiralni kolektori

Spiralni kolektori su vrsta horizontalnog izmjenjivača topline koji koristi toplinu nakupljenu ispod zemlje i uklanja ju sustavom cijevi ispod razine zamrzavanja. Cijevi su spljoštene i preklopljene kako bi površina za prijenos topline imala što manji volumen. Zbog toga zauzimaju manju površinu zemljišta i rovovi su kraći. Kod spiralnog kolektora 'Slinky' cijevi su postavljene vodoravno duž dna širokog rova, a kod 'Sveca' cijevi su položene okomito.



Slika 3.9. Spiralni kolektor 'Slinky'(lijevo) i 'Svec' (desno) [7]

Horizontalni izmjenjivač se koristi kada je raspoloživa velika površina, za razliku od vertikalnih izmjenjivača topline, ekonomičniji su. Cijevi se polažu na dubinu od 1,1 do 1,5 m dubine. Na toj dubini vlada relativno konstantna temperatura tijekom cijele godine, od 5 °C do 15 °C. Razmak između cijevi mora biti od 40 cm do 70 cm. U cijevi se stavlja 30% glikola i 70% vode, na taj način cijevi se štite od zamrzavanja. Za vrijeme zimskih mjeseci temperature idu ispod ničice te se zbog toga cijevi dodatno zatrpavaju zemljom.[7]

Prilikom postavljanja ovakvog sustava, treba uzeti u obzir kvalitetu i vrstu tla, podaci se mogu vidjeti iz tablice 3.2. Apsorbirana toplina će biti veća što je tlo vlažnije i bogatije mineralima te manje porozno. Specifični toplinski učinak tla na dubini od 1,5 m do 2 m iznosi od 15 do 40  $W/m^2$ . [6]

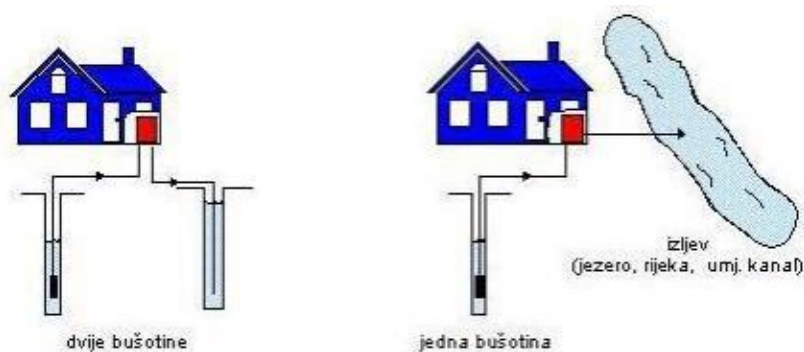
Tablica 3.2. Iznosi specifičnog toplinskog učinka tla[6]

Vrsta tla	Specifični toplinski učinak tla $q_e [W/m^2]$
Suho pjeskovito	10-15
Vlažno pjeskovito	15-20
Suho glinasto	20-25
Vlažno glinasto	25-30
Sa podzemnim vodama	30-35

### 3.3.2. Sustav sa otvorenim krugom

Geotermalne toplinske crpke sa otvorenim krugom koriste toplinu podzemnih (geotermalnih) voda koja se nalazi u zdencima ili bušotinama u tlu. Podzemnoj vodi se oduzima toplina, zatim se ona utiskuje natrag u slojeve zemlje ili ispušta u vodotoke ili kanalizacijske sustave.

Sustav sa otvorenim krugom je ekonomičniji i učinkovitiji od zatvorenog sustava, no veliki vodeni prinos od površinske ili podzemne vode u većini slučajeva nije moguć. U područjima gdje postoji rizik od nestašice vode ili suše nije preporučljivo upotrebljavati ovaj sustav.



Slika 3.10. Otvoreni krug[4]

### **3.4. Solarna toplinska crpka**

Solarne toplinske crpe koriste solarnu energiju tj. toplinu sunčevog zračenja kako bi isparile radnu tvar. Njihov isparivač je solarni kolektor. Isparivač se postavlja na krov kuće ili zgrade. Za solarnu toplinsku crpku neophodna je električna energija koja služi za pogon kompresora.

Prednost ovog izvora topline je njegova neiscrpnost, dok bi nedostatak bio ograničena vremenska dostupnost energije jer je sunčevo zračenje dostupno samo preko dana i uvelike ovisi o vremenskim prilikama.

Postoje dvije izvedbe solarnih toplinskih crpki [8]:

- a) s posrednim i
- b) neposrednim isparavanjem radne tvari u solarnom kolektoru

#### **Solarne crpke s posrednim isparavanjem radne tvari**

Kroz solarni kolektor ne prolazi radna tvar već posredni medij. Posredni medij može biti zrak ili voda. U ovisnosti o odabranom mediju, solarna crpka se primjerice može dodatno nadograditi kao toplinska crpka zrak/voda.[8]

#### **Solarne crpke s neposrednim isparavanjem radne tvari**

Ova izvedba solarnih crpki koristi solarni kolektor kao isparivač. Jedini nedostatak je potreba za većim punjenjem radne tvari te je ograničena udaljenost kolektora od kompresora i kondenzatora sustava.[8]

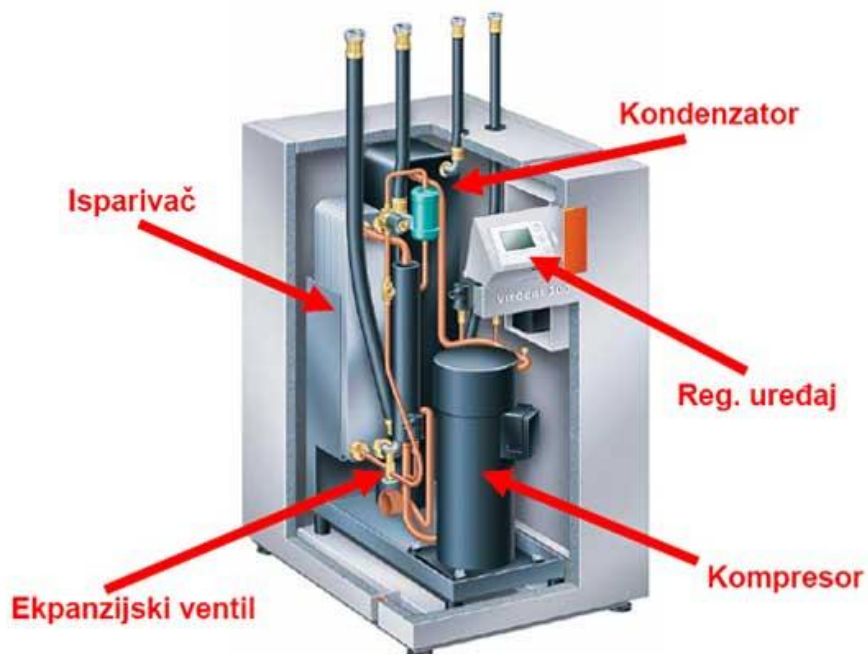
## 4. Dijelovi toplinske crpke

Osnovni dijeli toplinske crpke su [7]:

- isparivač
- kompresor
- kondenzator
- ekspanzijski ventil

Osim osnovnih dijelova toplinske crpke, imamo i pomoćne dijelove: spojne vodove, reulacijske i pomoćne elemente te radni medij. Osnovni i pomoćni dijelovi nalaze u zajedničkom kućištu, te tako tvore toplinsku crpku.

Kako bi toplinska crpka funkcionirala u sustavu grijanja, pripreme PTV-a (potrošne tople vode), ventilacije i klimatizacije, moraju postojati dodatni spojevi na dovod posrednog, razvod ogrijevnog medija i el. mreže.



Slika 4.1. Dijelovi toplinske crpke[6]

## 4.1. Isparivač

Isparivač je dio toplinske crpke. U njemu sva radna tvar ispari, a razlog tomu je dovođenje topline iz okolnog područja. Isparivač ustvari predstavlja izmjenjivač topline jer radna tvar razmjenjuje toplinu sa medijem, koji se tijekom tog postupka hladi. Sama djelotvornost isparivača uvjetovana je površinom sa kojom izmjenjuje toplinu i razlikom temperature medija i radne tvari. Temperatura medija i radne tvari tj njihova razlika treba iznositi od 4°C do 8°C, a tlak isparavanja treba biti što veći. Za isparivač je vrlo bitno da ima male dimenzije. Funkcijski je građen kao kondenzator.

Radni proces toplinske crpke započinje u isparivaču, gdje radna tvar izmjenjuje toplinu sa toplinskim izvorom, te tu toplinsku energiju preuzima na sebe. Radna tvar prilikom ulaska u isparivač u stanju je mokre pare, no zbog konstantnog tlaka ispari. Odnosno iz kapljevitoagregatnog stanja prelazi u plinovito. Radna tvar mora potpuno ispariti i uslijed toga se pregrijava na temperaturu koja je viša od temperature isparavanja. Na taj način se onemogućava ulazak neisparenih dijelova u kompresor. Ukoliko bi nesipareni dijelovi ušli u kompresor, on bi se oštetio.

Vrste isparivača ovisno o vrsti toplinske crpke [7]:

- a) S tlom kao izvorom
  - Pločasti
  - Dvostruki s koaksijalnom cijevi
- b) S podzemnom vodom kao izvorom
  - Pločasti od nehrđajućeg čelika
  - Dvostruki s koaksijalnom cijevi od bakra ili legure bakra i nikla
- c) S površinskom vodom kao izvorom
  - Pločasti
- d) Sa zrakom kao izvorom
  - Lamelasti
  - S cijevnom zmijom

## 4.2. Kompresor

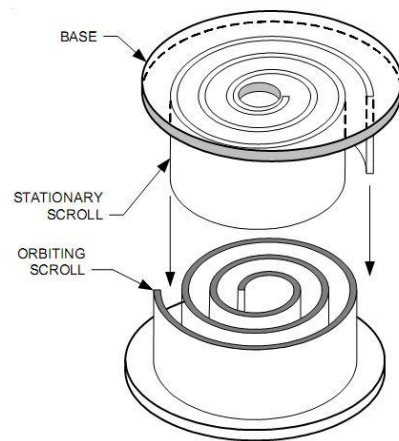
Kompresor je dio toplinske crpke tj rashladnog sustava koji tlači radnu tvar, podiže temperaturu i tlak. Za to mu je potrebno dovesti rad. Na taj način je omogućeno cirkuliranje radne tvari u rashladnom sustavu. Glavna zadaća kompresora je povišenje temperature i tlaka radne tvari na vrijednost na kojoj je moguća kondenzacija ali temperatura treba biti veća od temperature ogrijevnog medija. Uloga kompresora je komprimiranje radne tvari iz isparivača uz uvjet jednakosti rashladnih učinaka isparivača i kompresora.

Podjela kompresora s obzirom na način stlačivanja[7]:

- klipni
- vijčani
- spiralni
- turbokompresori

U toplinskim crpkama najčešće se koriste klipni i spiralni kompresori, no u primjeni je spiralni kompresor zastupljeniji zbog svojih prednosti. Za razliku od klipnih, spiralni imaju izvrsnu efikasnost pri djelomičnim i punim opterećenjima, vrlo malo pokretnih dijelova, pouzdani su, imaju kontinuirani proces kompresije sa gotovo neprimjetnim pulsiranjem i vibriranjem.

Spiralni kompresor stlačuje radnu tvar pomicanjem svitaka na način da se smanjuje prostor između fiksnog i rotirajućeg svitka.



*Slika 4.2. Svitak spiralnog kompresora[9]*

Podjela kompresora prema načinu ugradnje [7]:

- otvoreni
- poluhermetički
- hermetički



*Slika 4.3. Spiralni hermetički kompresor Scroll[10]*



### 4.3. Kondenzator

Kondenzator je dio toplinske crpke. U njemu se radna tvar kondenzira ili ukapljuje. Radna tvar predaje toplinu neposrednoj okolici, a to može biti prostor ili prijenosni medij.

Pri ulasku radne tvari (plinovito stanje) u kondenzator, započinje radni proces. Radna tvar se hladi do kondenzacijske temperature, uz konstantnu temperaturu i tlak. Pri tome se toplina predaje okolnom području kondenzatora. Neposredno prije dolaska u ekspanzijski ventil, radna tvar dodatnim pothlađivanjem, postiže potrebnu temperaturu pothlađivanja. Ovisno o procesu koji se odvija u kondenzatoru, postoje tri zone.

Kondenzator možemo podijeliti u tri zone [7]:

- zona pregrijavanja
- zona kondenzacije
- zona pothlađivanja

Toplinski učinak kondenzatora ovisan je o njegovoj radnoj površini, koeficijentu prijelaza topline materijala od kojeg je napravljen i razlici temperature radne tvari i ogrijevnog medija.

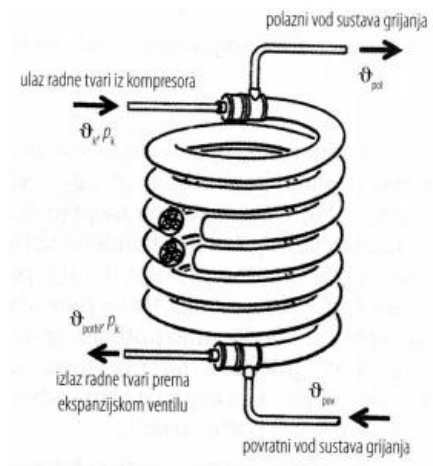
Postoje dvije vrste kondenzatora obzirom na vrstu ogrijevnog medija [7]:

- Hlađeni vodom - ogrijevni medij je voda
- Hlađeni zrakom - ogrijevni medij je zrak

Kondenzator kao i isparivač mora imati male dimenzije te mali pad tlaka na ogrijevnoj strani medija i radne tvari.

S obzirom na konstrukciju kondenzatora u toplinskoj crpki postoje dvije izvedbe [7]:

- Pločasti od korozijski postojanog čelika
- S dvostrukom koaksijalnom cijevi od bakra ili mjedi i bronce



*Slika 4.4. Kondenzator s dvostrukom koaksijalnom cijevi[7]*



*Slika 4.5. Pločasti kondenzator[11]*

## 4.4. Ekspanzijski ventil

Ekspanzijski ventil je dio toplinske crpke. Njegova uloga je da radnoj tvari koja se nalazi u tekućem stanju snizi tlak i temperaturu. On ustvari regulira protok rashladnog medija kroz sustav. Smješten je između kondenzatora i isparivača.

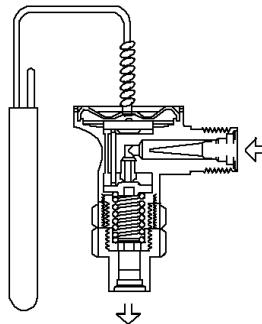
Proces u ekspanzijskom ventilu započinje ulaskom radne tvari iz kondenzatora, na višoj temperaturi i tlaku. Zatim radna tvar ekspandira, dolazi do snižavanja temperature i tlaka do vrijednosti temperature i tlaka isparavanja. S tim vrijednostima temperature i tlaka ulazi u isparivač.

Ekspanzijskim ventilom se može regulirati rad kompresora. Na taj način kompresor postiže najpovoljniji rad i temperaturu medija.

Postoje tri vrste izvedbe ekspanzijskog ventila [7]:

- a) jednostavna kapilarna cijev
- b) termostatski ekspanzijski ventili
- c) ekspanzijski ventili s elektroničkim upravljanjem

Manji sustavi koriste kapilarne cijevi, rade na istom principu kao i ekspanzijski ventil samo je površina poprečnog presjeka protoka plina konstantna.



Slika 4.6. Grafički prikaz ekspanzijskog ventila [12]

## 5. Prednosti i nedostatci toplinskih crpki

Prednosti toplinskih crpki[13]:

- Zahtijevaju minimalno redovito održavanje
- Vijek trajanja im je do 50 godina,pouzdan izvor topline
- Ne gube na učinkovitosti
- Sigurnije su od sustava koji se temelje na izgaranju,imaju mali rizik od nezgoda
- Smanjuju emisije ugljika,ne sadrže kontaminante te ne štete okolišu
- Učinkovito pretvaraju energiju u toplinu,pružaju mogućnost grijanja i hlađenja
- Emisija  $CO_2$ se smanji od 25% do 65% (ovisno o osnovnoj vrijednosti)
- Ne zahtijevaju prostor za skladištenje goriva

Nedostatci toplinskih crpki[13]:

- Visoki početni troškovi ulaganja
- Proces instalacije toplinske crpke nije jednostavan,moraju se provesti istraživanja kako bi se razumjelo kretanje topline,geološka ispitivanja kao i zahtjevi za grijanje i hlađenje
- Kod nekih toplinskih crpki se ne može postići puna učinkovitost tijekom hladnih godišnjih doba
- Električna energija je potrebna za pokretanje toplinskih crpki, što znači da nema u potpunosti ugljične neutralnosti

## 5.1. Prednosti i nedostaci toplinskih crpki zrak / voda

Prednosti[14]:

- Do 75% toplinske energije uzima se iz okoline, smanjuju se troškovi
- Smanjuje se emisija  $CO_2$  prema okolini do 60%
- Imaju mogućnosti grijanja i hlađenja – toplinska ugodnost je osigurana tijekom cijele godine
- Relativno mali investicijski troškovi u odnosu na druge izvedbe toplinskih crpki
- Ugradnja je idealna za kuće i manje zgrade

Nedostaci[14]:

- Potrebno im je dosta vremena da se zagrije
- Nisu najbolja opcija ako je kućanstvo na plinskoj mreži
- Potrebno je strujno napajanje ako nema pristupa sunčevoj energiji ili vjetroelektranama
- Kuća bi trebala biti dobro izolirana kako bi se postigao visoki povrat u smislu uštede i korištenja toplinske crpke
- Glasna je kao klima uređaj
- Tijekom zime mora konstantno raditi kako bi prostor ostao ugodne topline, što može dodatno pogoršati šumove i povećati troškove
- Nizak koeficijent učinkovitosti (COP) zbog hladnih godišnjih doba

## 5.2.Prednosti i nedostaci toplinske crpke voda/voda

Prednosti[13]:

- Voda ima visoku sposobnost zadržavanja topline u odnosu na njegov volumen
- lako apsorbira toplinu i lako ga isporučuje(velika brzina prijenosa)
- Toplinski kapacitet i toplinska inercija vode omogućuju zadržavanje nekih sunčeve topline dobivene od ljeta do zime
- Podzemne vode su toplije od temperature zraka na hladnim zimskim danima i time osiguravaju atraktivniju ulaznu temperaturu na toplinsku pumpu
- Dobro opremljen sustav toplinske pumpe podzemne vode ima pristup velikoj količini vode: to omogućuje da se ekstrahira toplina iz vrlo velikog izvora topline čija se temperatura neće znatno promijeniti, budući da se iz nje izvlače relativno male količine topline

Nedostaci[13]:

- Prilikom primjene vode kao toplinskog izvora,moraju se zadovoljiti zahtjevi Agencije za zaštitu okoliša
- Voda može sadržavati krhotine, nestabilne pH vrijednosti ili biološki rast (dodatno opterećenje crpke)
- Sadrži velik broj malih jedinica za toplinsku crpku,zahtijevaju redovno održavanje

### 5.3. Prednosti i nedostaci toplinske crpke tlo/voda

Prednosti[13, 14]:

- Operativni trošak je vrlo nizak u usporedbi s električnim sustavima grijanja, samo kompresor zahtijeva korištenje električne energije
- Ne proizvode emisije  $CO_2$  i ne koriste nikakvu vrstu goriva
- Imaju mogućnost grijanja i hlađenja
- Geotermalna energija je neiscrpan izvor
- Pogodne su za kućanstva i poslovne prostore jer nisu bučne
- Posredni medij ima nisko ledište pa onemogućava smrzavanje cijevi

Nedostaci[13,14]:

- Troškovi ugradnje su vrlo visoki
- Mora se voditi računa o sastavu tla i dostupnosti geotermalne energije
- Instalacija zahtijeva veće slobodne površine zemljišta
- Sustav s otvorenim krugom zahtijeva velike količine vode, dok sustav s zatvorenim krugom koristi kemijske tvari u cijelom sustavu

## 5.4. Prednosti i nedostatci solarne toplinske crpke

Prednosti[15]:

- Sunčeva energija je besplatna
- Oko 80% Sunčevog zračenja se pretvara u toplinu
- Smanjuju emisiju CO<sub>2</sub> i ne koriste fosilna goriva ( ne zagađuje okoliš)
- Ugradnja je jeftinija od klasičnih solarnih sustava
- Ne narušava estetski izgled objekta
- Radna tvar se ne zaleđuje pri zimskim mjesecima

Nedostatci[15]:

- Isparivač se nalazi izravno izložen sunčevom zračenju, zbog toga je izložen vremenskim nepogodama (tuča, grmljavina, olujni vjetar)
- Pri postavljanju isparivača, mora se paziti na orijentaciju i lokaciju zbog insolacije
- Za pogon kompresora je potrebna električna energija
- Crpke s posrednim isparavanjem radne tvari su sigurnije jer nema mogućnosti da voda dođe u kontakt s radnom tvari



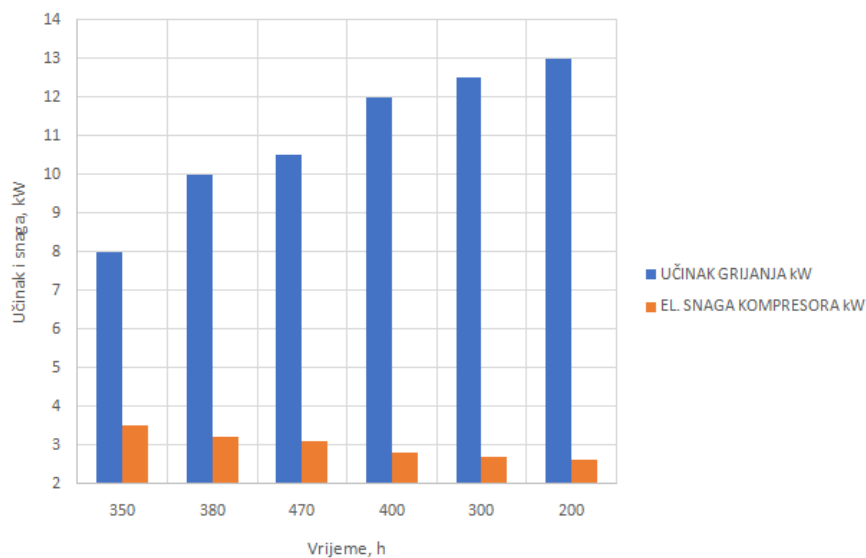
## 6. Primjer proračuna proizvodnje toplinske energije toplinske crpke tlo/voda

Cilj proračuna je odrediti godišnji toplinski množitelj toplinske crpke tlo-voda ako uređaj tijekom sezone grijanja radi 2100 sati sa sljedećim prosječnim parametrima:

Tablica 6.1. Parametri toplinske crpke tlo/voda

Učinak grijanja, kW	El. snaga kompresora, kW	Snaga crpke za glikolnu smjesu, W	Snaga crpke za vodu (do međuspremnika), W	Vrijeme rada toplinske crpke, h
8	3,5	130	65	350
10	3,2	130	65	380
10,5	3,1	130	65	470
12	2,8	130	65	400
12,5	2,7	130	65	300
13	2,6	130	65	200

Potrebno je odrediti i dubinu polaganja izmjenjivača u tlo uz specifični učinak izmjenjivača u tlu od 50 W/m<sup>2</sup>



Slika 6.1. Parametri rada toplinske crpke tlo-voda

## Godišnji toplinski množitelj

Za izračun godišnjeg toplinskog množitelja toplinske crpke, moramo izračunati ukupnu toplinsku energiju proizvedenu toplinskom crpkom te ukupnu električnu energiju potrebnu za pogon toplinske crpke.

$$SPF = \frac{Q_{DT}}{\sum E}$$

Gdje je :

SPF-godišnji toplinski množitelj

$Q_{DT}$ -ukupna toplinska energija proizvedena toplinskom crpkom

$\sum E$ -ukupna količina energije za pogon toplinske crpke(kompresor, crpka izvora topline, crpka međuspremnik tople vode)

Izračun  $Q_{DT}$  , ukupne toplinske energije proizvedene toplinskom crpkom:

$$Q_{DT} = \Phi_{gr,n} * t_n \text{ [kW*h]}$$

$\Phi_{gr,n}$ -učinak grijanja [kW]

$t_n$ -vrijeme rada toplinske crpke [h]

n- brojevi od 1 do 6

$$Q_{DT} = \Phi_{gr,1} * t_1 + \Phi_{gr,2} * t_2 + \Phi_{gr,3} * t_3 + \Phi_{gr,4} * t_4 + \Phi_{gr,5} * t_5 + \Phi_{gr,6} * t_6$$

$$Q_{DT} = 8*350 + 10*380 + 10,5*470 + 12*400 + 12,5*300 + 13*200$$

$$Q_{DT} = 22685 \text{ kWh}$$

Ukupna toplinska energija proizvedena toplinskom crpkom iznosi 22685 kWh.

Izračun  $\Sigma E$ , ukupne količine energije potrebne za pogon toplinske crpke :

$$\Sigma E = P_{\text{komp},n} * t_n + (P_{\text{pg}} + P_{\text{pv}}) * t_{\text{uk}} \text{ [kWh]}$$

Gdje je :

$P_{\text{komp},n}$ -snaga kompresora [kW]

$P_{\text{pg}}$ -snaga pumpe za glikolnu smjesu [W]

$P_{\text{pv}}$ - snaga pumpe za vodu (do međuspremnika) [W]

$t_n$ -vrijeme rada toplinske crpke [h]

n- brojevi od 1 do 6

$t_{\text{uk}}$ -ukupno vrijeme rada toplinske crpke [h]

$$\Sigma E = P_{\text{komp},1} * t_1 + P_{\text{komp},2} * t_2 + P_{\text{komp},3} * t_3 + P_{\text{komp},4} * t_4 + P_{\text{komp},5} * t_5 + P_{\text{komp},6} * t_6 \\ + (P_{\text{pg}} + P_{\text{pv}}) * t_{\text{uk}}$$

$$t_{\text{uk}} = t_1 + t_2 + t_3 + t_4 + t_5 + t_6 = 350 + 380 + 470 + 400 + 300 + 200 = 2100 \text{ h}$$

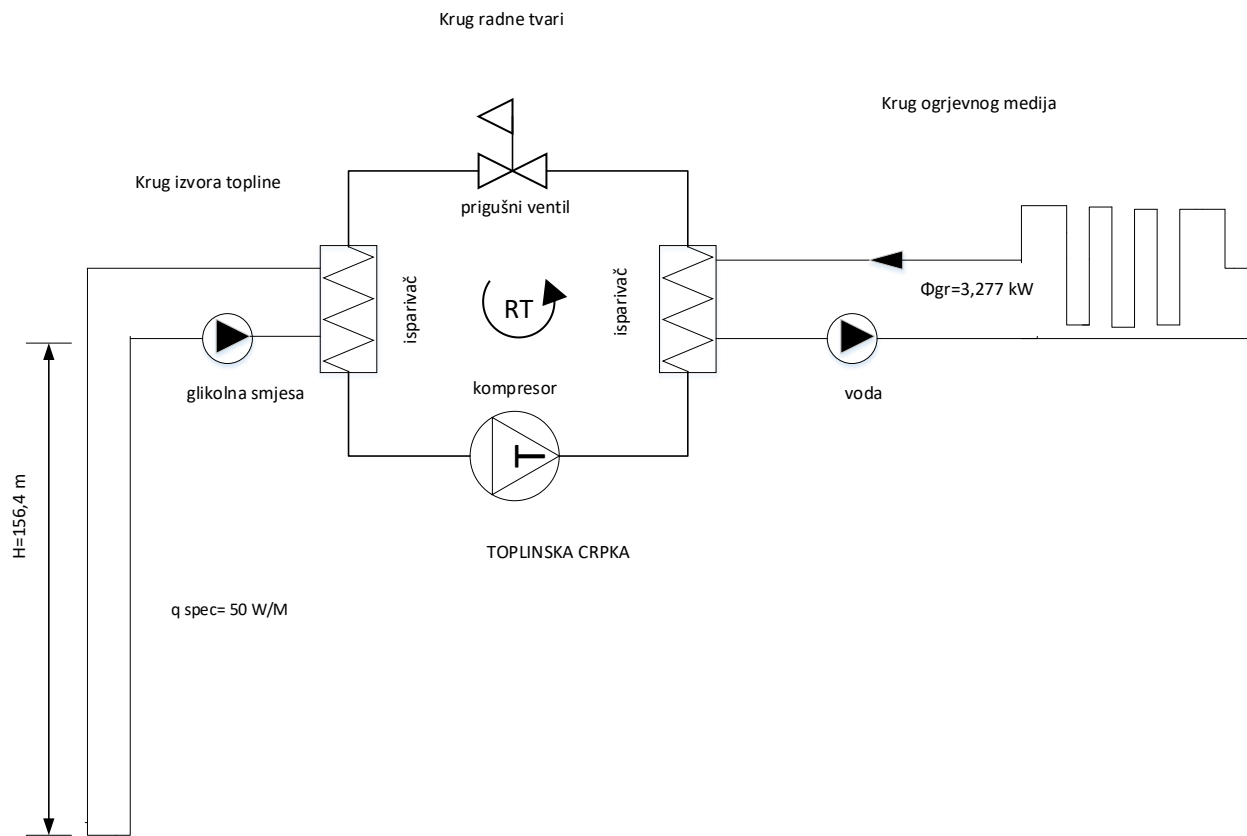
$$\Sigma E = 10^3 * (3,5*350 + 3,2*380 + 3,1*470 + 2,8*400 + 2,7*300 + 2,6*200) + (130 + 65) * 2100$$

$$\Sigma E = 6757500 \text{ Wh} = 6757,5 \text{ kWh}$$

Nakon što smo u prethodnim koracima izračunali potrebne podatke za godišnji toplinski množitelj, dobivamo :

$$SPF = \frac{Q_{DT}}{\Sigma E} = \frac{22685}{6757,5} = 3,357$$

## Dubina polaganja izmjenjivača



Slika 6.2. Shema toplinske crpke tlo/voda

Za izračun dubine polaganja izmjenjivača u tlo, potreban nam je učinak isparivača tj. učinak bušotinskog izmjenjivača te specifični učinak izmjenjivača u tlu.

$$H = \frac{\Phi_{isp}}{q_{spec}}$$

Gdje je :

H- dubina polaganja bušotinskog izmjenjivača u tlo

$\Phi_{isp}$  - učinak isparivača

$q_{spec}$  - specifični učinak izmjenjivača u tlu

Učolak grijanja,  $\Phi_{gr}$  računamo kao srednju vrijednost svih vrijednosti učinaka, koji su navedeni u tablici 6.1.

$$\Phi_{gr} = \frac{8 + 10 + 10,5 + 12 + 12,5 + 13}{6} = 3,277 \text{ kW}$$

Faktor grijanja je omjer ukupne toplinske energije koju proizvede toplinska crpka i ukupne električne energije za pogon toplinske crpke.

$$\varepsilon_{gr} = \frac{\Phi_{gr}}{P_{EL}}$$

Gdje je :

$\Phi_{gr}$  - učinak grijanja [kW]

$\varepsilon_{gr}$  - faktor grijanja

Iz ovog izraza želimo izračunati  $P_{EL}$  :

$$P_{EL} = \frac{\Phi_{gr}}{\varepsilon_{gr}} = \frac{11}{3,357} = 3,227 \text{ kW}$$

Nakon što smo izračunali učinak grijanja i električnu snagu, preostaje nam izračunati učinak isparivača, odnosno učinak bušotinskog izmjenjivača i to na sljedeći način :

$$\Phi_{isp} = \Phi_{gr} - P_{EL} = 11 - 3,277 = 7,723 \text{ kW}$$

Sada imamo sve potrebne podatke za izračun dubine polaganja bušotinskog izmjenjivača u tlo, H.

$$H = \frac{\Phi_{isp}}{q_{spec}} = \frac{7723}{50} = 154,6 \text{ m}$$

## **7. Zaključak**

U ovom završnom radu je opisan osnovni princip rada toplinske crpke. Glavni dijelovi toplinske crpke, čija je funkcija i svrha detaljno objašnjena. Dana je klasifikacija crpki prema vrsti korištenja toplinskog izvora. Na osnovu klasifikacije toplinskih crpki, dane su prednosti i nedostaci crpki. Iz toga je vidljivo da je najbolja toplinska crpka tlo/voda ili geotermalna toplinska crpka zbog prednosti kao što su maksimalna iskoristivost toplinske energije, smanjenje emisije stakleničkih plinova, nekorištenje fosilnih goriva... Jedini nedostatak je visoka cijena početnog ulaganja, koja se s vremenskim periodom od nekoliko godina, uvelike isplati. U primjeru proračuna toplinske crpke tlo/voda možemo primjetiti da nam se učinak grijanja i električna snaga kompresora povećava sa smanjenjem vremena rada toplinske crpke.

## Literatura

- [1] Matko Bupić, Sanel Čustović: Stanje i trendovi uporabe dizalica topline, Naše more 53(5-6)/2006., 213-219.
- [2] Zvonimir Guzović : Geotermalna energija i dizalice topline, FSB Zagreb, [http://www.ss-tehnicka-ri.skole.hr/skola/djelatnici/dordano\\_bucci?dm\\_document\\_id=557&dm\\_dnl=1](http://www.ss-tehnicka-ri.skole.hr/skola/djelatnici/dordano_bucci?dm_document_id=557&dm_dnl=1), datum pristupa 15.rujna 2018.
- [3] Službene stranice ECOL d.o.o. <http://www.ecol.hr/toplinskecrpke.html>, pristup stranici: 4. rujna 2018.
- [4] Službene stranice Gradskog ureda za gospodarstvo,energetiku i zaštitu okoliša grada Zagreba <http://www.eko.zagreb.hr>, pristup stranici 18.srpnja 2018. 8
- [5] Službene stranice tvrtke Abbey Solar <http://www.abbey-solar.com/heat-pumps.html> , pristup stranici 18.srpnja 2018.
- [6] 5 Službene stranice EKO-PLUS d.o.o. [http://www.eko-puls.hr/Toplinske\\_pumpe.aspx](http://www.eko-puls.hr/Toplinske_pumpe.aspx), pristup stranici 15. svibnja 2018
- [7] 2 Osnove primjene dizalice topline,skupina autora, Energetika marketing, Zagreb, 2009.
- [8] 15 <https://www.sciencedirect.com>, datum pristupa 23. svibnja 2018.
- [9] <http://theworkshopcompressor.com/learn/compressor-types/scroll-compressor/> , datum pristupa 11. rujna 2018.
- [10] <http://hr.sw-hvac.net/refrigeration-compressor/copeland-refrigeration-compressor/copeland-scroll-compressor-zp-semi-hermetic.html> , datum pristupa 11. rujna 2018.
- [11] službene stranice Hennlich grupe, [www.hennlich.hr](http://www.hennlich.hr) , datum pristupa 11. rujna 2018.
- [12] [https://www.swtc.edu/Ag\\_Power/air\\_conditioning/lecture/expansion\\_valve.htm](https://www.swtc.edu/Ag_Power/air_conditioning/lecture/expansion_valve.htm) , datum pristupa 13. rujna 2018.
- [13]17 <https://www.icax.co.uk> , datum pristupa 13.rujna 2018.
- [14] 16 <https://www.greenmatch.co.uk> , datum pristupa 13.rujna 2018.
- [15] <http://www.solarpanelsplus.com> datum pristupa 13. Rujna 2018.

## Popis slika

Slika 2.1. Princip rada toplinske crpke.....	5
Slika 2.2. a Proces prikazan u T-s dijagramu.....	6
Slika 2.2. b Proces prikazan u log p-h dijagramu .....	6
Slika 3.1. Sustav grijanja toplinske crpke zrak/voda.....	9
Slika 3.2. Sustav grijanja toplinske crpke voda/voda.....	10
Slika 3.3. Dijagram ovisnosti temperature o dubini tijekom mjeseci.....	11
Slika 3.4. Dubinska sonda.....	12
Slika 3.5. Izvedba sonde.....	13
Slika 3.6. Prikaz dvostruke U cijevi i poprečni presjek bušotine.....	13
Slika 3.7. Vodoravno kolektorsko polje sa serijski i paralelno povezanim cijevima .....	15
Slika 3.8. Kanalski kolektor (u jarku).....	16
Slika 3.9. Spiralni kolektor 'Slinky' i 'Svec'.....	17
Slika 3.10. Otvoreni krug .....	18
Slika 4.1. Dijelovi toplinske crpke .....	20
Slika 4.2..Svitak spiralnog kompresora .....	23
Slika 4.3. Spiralni hermetički kompresor Scroll .....	23
Slika 4.4. Kondenzator s dvostrukom koaksijalnom cijevi .....	25
Slika 4.5. Pločasti kondenzator.....	25
Slika 4.6. Grafički prikaz ekspanzijskog ventila.....	26
Slika 6.1. Parametri rada toplinske crpke tlo-voda.....	32
Slika 6.2. Shema toplinske crpke tlo/voda.....	35



## **Popis tablica**

Tablica 3.1. Iznosi specifičnog toplinskog učinka tla.....	14
Tablica 3.2. Iznosi specifičnog toplinskog učinka tla.....	18
Tablica 6.1. Parametri toplinske crpke tlo/voda.....	32

## Sažetak

Tema ovog završnog rada je primjena toplinskih crpki. U završnom radu je opisan osnovni princip rada toplinske crpke te njeni glavni dijelovi (isparivač, kompresor, kondenzator i ekspanzijski ventil). Toplinske crpke su klasificirane prema vrsti toplinskog izvora, stoga razlikujemo toplinsku crpku zrak/voda, voda/voda, tlo/voda te solarnu toplinsku crpku. Također su navedeni prednosti i nedostaci navedenih toplinskih crpki. Prednosti toplinskih crpki su smanjenje emisije stakleničkih plinova i uporaba obnovljivih izvora energije, dok je visoka cijena ugradnje jedna od glavnih nedostataka.

Dan je primjer proračuna toplinske crpke tlo/voda sa zadanim prosječnim parametrima kao što su: učinak grijanja, el.snaga kompresora, snaga pumpe za glikolnu smjesu, snaga pumpe za vodu i vrijeme rada toplinske crpke. Potrebno je izračunati godišnji toplinski množitelj i dubinu polaganja izmjenjivača u tlo.

## Abstract

The theme of this final work is the use of heat pumps. The final work describes the basic principle of the heat pump and its main components (evaporator, compressor, condenser and expansion valve). Heat pumps are classified according to the type of heat source, so we distinguish the heat pump air / water, water / water, ground / water and solar heat pump. The advantages and disadvantages of heat pumps are also mentioned. The benefits of heat pumps are the reduction of greenhouse gas emissions and the use of renewable energy sources, while the high cost of installation is one of the main disadvantages.

Given an example of soil / water heat pump calculation with set average parameters such as: heating effect, compressor compressor power, glycolic pump power, water pump power, and heat pump operation time. It is necessary to calculate the annual heat exchanger and the depth of laying the exchanger in the ground.

## Popis oznaka

$\Sigma E$ -ukupna količina energije za pogon toplinske crpke(kompresor, crpka izvora topline, crpka međuspremnik tople vode) [kWh]

H- dubina polaganja bušotinskog izmjenjivača u tlo [m]

n- brojevi od 1 do 6

$P_{komp,n}$ -snaga kompresora [W]

$P_{pg}$ -snaga pumpe za glikolnu smjesu [W]

$P_{pv}$ - snaga pumpe za vodu (do međuspremnik) [W]

$Q_{DT}$ -ukupna toplinska energija proizvedena toplinskom crpkom [kWh]

$q_{isp}$  - specifični učinak isparivača [ kJ/kg]

$q_{kond}$  - specifični učinak kondenzatora [ kJ/kg ]

$q_{spec}$  - specifični učinak izmjenjivača u tlu [W/m]

SPF-godišnji toplinski množitelj

$t_n$ -vrijeme rada toplinske crpke [h]

$t_n$ -vrijeme rada toplinske crpke [h]

$t_{uk}$ -ukupno vrijeme rada toplinske crpke [h]

$w_{komp}$  - rad kompresora [kJ/kg ]

$\epsilon_{gr}$ - faktor grijanja

$\Phi_{gr,n}$ -učinak grijanja [kW]

$\Phi_{isp}$  - učinak isparivača [kW]

$\Phi_{kond}$  – učinak kondenzatora [ W]

$\Phi_{isp}$  – učinak isparivača [ W]

## **Životopis**

Petra Copić je rođena 18. svibnja 1995. u Osijeku, u Republici Hrvatskoj. Nakon završene Prirodoslovno-matematičke gimnazije u Osijeku, upisuje Elektrotehnički fakultet u Osijeku, 2014. godine, smjer elektroenergetika