

# SADRŽAJ:

<b>POPIS SLIKA</b> .....	<b>III</b>
<b>POPIS TABLICA</b> .....	<b>IV</b>
<b>1 UVOD</b> .....	<b>1</b>
<b>2 DEFINICIJA I OSNOVNI PRINCIP RADA TOPLINSKIH PUMPI</b> .....	<b>4</b>
<b>3 GEOTERMALNE TOPLINSKE PUMPE</b> .....	<b>8</b>
<b>3.1 Mogući izvori toplinske energije za dizalice topline</b> .....	<b>8</b>
<b>3.2 Sustavi iskorištavanja geotermalne energije toplinskim pumpama</b> .....	<b>10</b>
3.2.1 GTP-sustav sa zatvorenim krugom .....	11
3.2.2 GTP-sustav sa otvorenim krugom.....	12
3.2.3 Tip i dužina cijevi kruga.....	12
<b>3.3 Troškovi ugradnje toplinske pumpe za potrebe domaćinstva</b> .....	<b>13</b>
3.3.1 Potrebna grijevna snaga .....	13
3.3.2 Kapitalni troškovi.....	13
3.3.3 Operativni troškovi.....	14
3.3.4 Učinkovitost toplinske pumpe.....	14
3.3.5 Temperaturne razlike .....	15
<b>4 PRIMJER PRORAČUNA SUSTAVA GRIJANJA ZGRADE GEOTERMALNOM TOPLINSKOM PUMPOM</b> .....	<b>16</b>
<b>4.1 Dimenzioniranje bušotinskog izmjenjivača topline</b> .....	<b>16</b>
4.1.1 Proračun jedinične kvadrature prema ROT .....	16
4.1.2 Proračun snage kondenzatora.....	16
4.1.3 Odabir kompresora.....	17
4.1.4 Određivanje snage isparivača, potrebne površine zemljišta za GT izmjenjivač i duljine izmjenjivača.....	18
4.1.4.1 Postupak određivanja parametara iz nomograma .....	18
4.1.4.2 Provjera točnosti određenih parametara.....	19
<b>4.2 Proračun ciklusa toplinske pumpe</b> .....	<b>20</b>
4.2.1 Izračun volumena objekta .....	20
4.2.2 Izračun grijevnog faktora .....	20
4.2.2.1 Određivanje volumena za ROT .....	20
4.2.2.2 Izračunavanje ogrjevnog faktora .....	20
4.2.3 Određivanje entalpija .....	21
4.2.4 Kondenzator (Toplina koja se oslobađa u kondenzatoru) .....	21

4.2.5	Iparivač (Rashladni učin).....	21
4.2.6	Kompresor (Utrošeni rad kompresora).....	22
4.2.6.1	Kontrola.....	22
4.2.7	Ogrjevna toplina.....	22
4.2.8	Dobava freona.....	22
4.2.9	Snaga kompresora.....	22
4.2.10	Toplina isparavanja.....	23
4.2.11	Stupanj djelovanja.....	23
<b>5</b>	<b>ZAKLJUČAK.....</b>	<b>24</b>
<b>6</b>	<b>LITERATURA.....</b>	<b>26</b>

## POPIS SLIKA

Slika 1: Satelitske slike oštećenja ozonskog omotača.....	2
Slika 2: Temperaturna područja u pretvaračima topline (Budin, Mihelić-Bogdanić 2002).....	4
Slika 3: Podjela radnih tvari koja se koriste u kružnim procesima toplinskih pumpi.....	5
Slika 4: Shema kompresijske toplinske pumpe s vanjskim GT izmjenjivačem i unutarnjim sustavom grijanja objekta (Geothermal brochure 2004) .....	6
Slika 5: Idealizirani termodinamički proces u parno kompresijskoj toplinskoj pumpi (Budin, Mihelić-Bogdanić 2002) .....	7
Slika 6: Usporedba učinkovitosti različitih sustava grijanja .....	14
Slika 7: Nomogram za dimenzioniranje horizontalnog geotermalnog izmjenjivača topline (Reuß, Sanner 2001) .....	18
Slika 8: Fazni dijagram freon 12 ( $\text{CF}_2\text{Cl}_2$ ).....	21

## **POPIS TABLICA**

Tablica 1: Vodeće zemlje u upotrebi GTP (Lund,Sanner,Rybach,Curtis,Hellström 2004)	1
Tablica 2: Kriteriji za odabir najpogodnijeg izvora GT energije za dizalice topline.....	9
Tablica 3: Orijentacijske vrijednosti specifične topline koja se može oduzeti tlu.....	12
Tablica 4: Rezultati dimenzioniranja GT izmjenjivača.....	19

# 1 UVOD

Geotermalne toplinske pumpe(GTP)su jedna od najbrže rastućih aplikacija obnovljivih izvora energije, s godišnjim prirastom od 10 % u otprilike 30 zemalja svijeta u posljednjih 10 godina. Njihova glavna prednost je u tome što koriste uobičajene temperature tla i podzemnih voda (između 5 i 30 °C), koje su dostupne u svim zemljama svijeta. Većina tog rasta uglavnom se odnosi na Sjedinjene Američke Države i Europu iako interes značajno raste i u državama poput Japana i Turske.

Trenutni svjetski ugrađeni kapacitet procijenjen je na skoro 12 000 MWt (toplinske) energije, a godišnja potrošnja iznosi oko 72 000 TJ (20 000 GWh). Broj ugrađenih jedinica iznosi oko 1 000 000, ali podaci nisu potpuni. Tablica 1 prikazuje vodeće zemlje po pitanju upotrebe geotermalnih toplinskih pumpi (GTP).

**Tablica 1: Vodeće zemlje u upotrebi GTP (Lund,Sanner,Rybach,Curtis,Hellström 2004)**

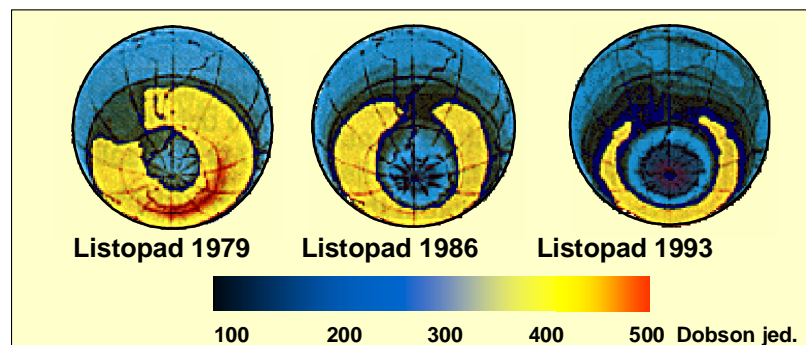
Država	MWt	GWh/god	Broj jedinica
Austrija	275	370	23 000
Kanada	435	600	36 000
Njemačka	640	930	46 400
Švedska	2 300	9 200	230 000
Švicarska	525	780	30 000
SAD	6 300	6 300	600 000

U Islandu, Turskoj, Kini i Francuskoj primjenjuje se centralizirano grijanje (npr. grijanje gradskih četvrti), gdje se geotermalnim fluidom koristi više zgrada za potrebe grijanja prostora i dobivanja tople vode. Grijanje geotermalnom energijom pogodno je za grijanje različitih javnih ustanova kao npr. škole, bolnice, športske dvorane, poslovne zgrade itd..

Slijedeći trendove razvijenih zemalja Republika Hrvatska će svoj energetske sektor zasnivati na racionalnoj potrošnji energije te na proizvodnji energije iz ekološki prihvatljivih energenata. Stoga su, prihvativši koncept održivog razvoja kao način koji vodi gospodarskom napretku, a uz održanje stanja ravnoteže u okolišu ( strategije održivog razvoja ), Zakonom o energiji (članak 5., Strategija energetskeg razvitka) određene i temeljne smjernice energetskeg razvitka koje se očituju kroz:

- povećanje energetske učinkovitosti,
- smanjenje emisija, prvenstveno CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> i NO<sub>x</sub>, iz postojećih energetskih objekata,
- smanjenje uporabe fosilnih goriva,
- promicanje korištenja ekološki prihvatljivih energenata te obnovljivih izvora energije,
- uvođenje i poticanje drugačijeg načina ponašanja konkretnim mjerama ekonomske politike.

Ozonski omotač se posljednjih desetljeća sve ozbiljnije oštećuje što ilustrira Slika 1.



**Slika 1: Satelitske slike oštećenja ozonskog omotača**

Glavnu ulogu u uništenju ozonskog sloja imaju staklenički plinovi plinovi koji dolaze u atmosferu preko slijedećih izvora:

- Aerosoli
- Proizvodnja određenih plastičnih materijala
- Određeni plinovi za gašenje požara
- Izgaranje fosilnih goriva (ugljen, nafta – najviše, plin – najmanje)
- Ispuštanje radnih tvari (freoni) korištenih u toplinskim uređajima

**Prednosti korištenja geotermalnih toplinskih pumpi:**

- **EKONOMIČNOST.** Smanjeni troškovi grijanja i hlađenja u stambenim i poslovnim objektima za 50%.
- **TRAJNOST.** Trajnost geotermalnih toplinskih pumpi je u prosjeku 20 godina, a trajnost cijevi geotermalnog izmjenjivača je određena garancijom na 25-50 godina ( U.S. DOE 1998 )
- **NISKI TROŠKOVI ODRŽAVANJA..** Ako je sistem ugrađen na propisan način ne zahtijeva gotovo nikakvo održavanje (U.S. DOE 1998 )

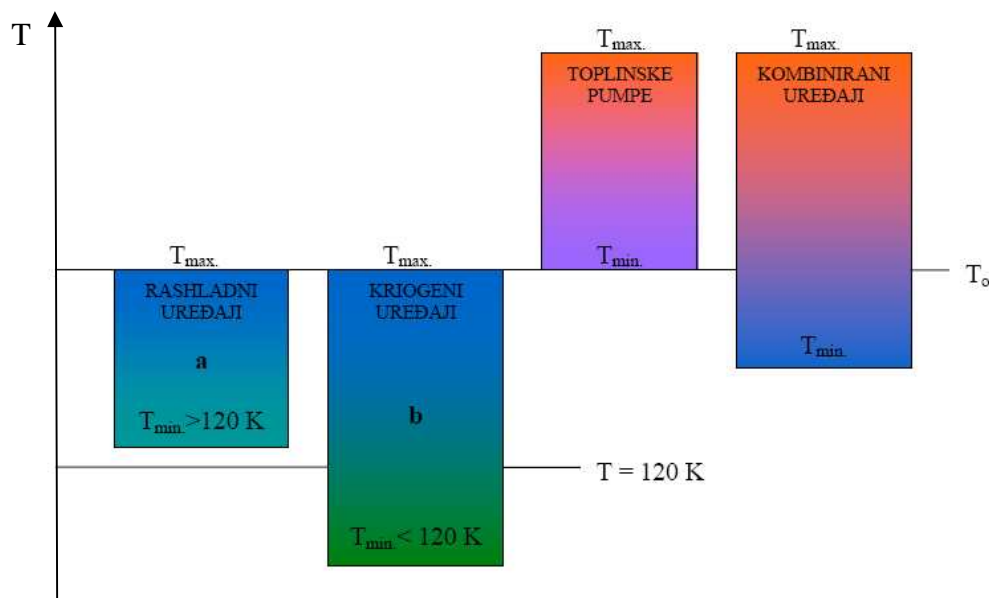
- **EKOLOGIJA.** Geotermalne toplinske pumpe gotovo ne zagađuju okolinu, pa su važan čimbenik u smanjenju onečišćenja atmosfere. Opasnost po okoliš predstavljaju radni mediji koji se koriste, od kojih su mnogi staklenički plinovi poput Ugljik dioksida CO<sub>2</sub>, Klorofluorougljici CFC (freoni) koji najviše pridonose uništavanju troposferskog ozona, Hidrofluorougljici HFC R134a sa vremenom zadržavanja u atmosferi od 13,8 godina, HFC-23 nastaje kao nusprodukt proizvodnje Hidroklorofluorougljika HCFC R22 sa vremenom zadržavanja u atmosferi od 260 godina.
- **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 snabdijevati toplinskom energijom razne vrste potrošača. To mogu biti privatni ili poslovni objekti povezani u jedinstvenu mrežu.

## 2 DEFINICIJA I OSNOVNI PRINCIP RADA TOPLINSKIH PUMPI

Toplinske pumpe ili dizalice topline pretvarači su topline u kojima je  $T_{\min.} \geq T_o$ , a  $T_{\max.} > T_o$  (Slika 2)

Ovisno o odnosu maksimalne  $T_{\max.}$  i minimalne  $T_{\min.}$  temperature prema temperaturi okoline  $T_o$ , pretvarači topline obično se dijele (Slika 2) na:

- Nisko temperaturne, gdje je  $T_{\min.} < T_o$ , a  $T_{\max.} = T_o$ , koji se opet prema razini  $T_{\min.}$  dijeli na
  - a Rashladne uređaje  $T_{\min.} > 120 \text{ K}$
  - b Kriogene uređaje  $T_{\min.} < 120 \text{ K}$
- Toplinske pumpe, gdje je  $T_{\min.} \geq T_o$ , a  $T_{\max.} > T_o$
- Kombinirane uređaje, koji imaju funkciju rashladnog uređaja i toplinske pumpe, gdje je  $T_{\min.} < T_o$ , a  $T_{\max.} > T_o$



Slika 2: Temperaturna područja u pretvaračima topline (Budini, Mihelić-Bogdanić 2002)

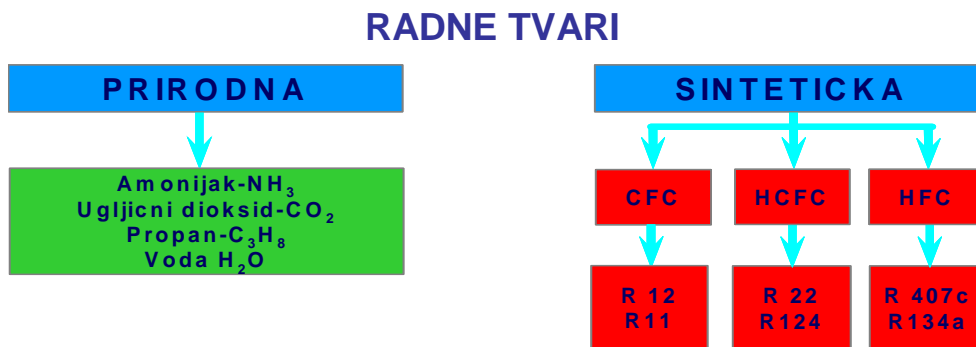
Jedna od daljnjih podjela pretvarača topline može biti prema načinu rada i obuhvaća dvije grupe: *termomehaničke* i *elektromagnetske*. Proces u termotehničkim sustavima zasnivaju se na povišenju tlaka bilo kojeg rashladnog medija. Rad elektromagnetskih sustava temelji se na primjeni konstantnog ili promjenljivog magnetskog ili električnog polja.

U tehničkoj praksi najrasprostranjeniji su termomehanički sustavi, koji se ovisno o načinu povišenja tlaka, najčešće dijele na *kompresijske* i *apsorpcijske*.



Rad kompresijskih uređaja zasniva se na povišenju tlaka, a rashladni proces kompenzira se energijom u obliku mehaničkog rada. Prema vrsti i agregatnom stanju rashladnog medija dijele se na *parne* i *plinske*. U parnim rashladnim uređajima radni medij mijenja agregatno stanje tokom procesa kompresije, kondenzacije i isparavanja nakon ekspanzije (prigušivanja). Primjenjuju se one radne tvari koje se lako ukapljaju (Slika 3), a proces kompresije odvija se do temperatura bliskih kritičnoj temperaturi ili nižih od kritične temperature.

U apsorpcijskim uređajima proces se kompenzira potrošnjom energije u obliku topline, koja se tokom procesa pretvara u mehanički rad. Do povišenja tlaka dolazi termokemijskom reakcijom sorpcije (upijanja) i desorpcije (odvajanja) radnog medija,. Sorpcija, uz odgovarajući sorbent odvija se uz odvođenje topline, a desorpcija radnog medija iz sorbenta popraćena je dovodom topline. Radni su medij binarne smjese, koje u toku procesa obično mijenjaju agregatno stanje.

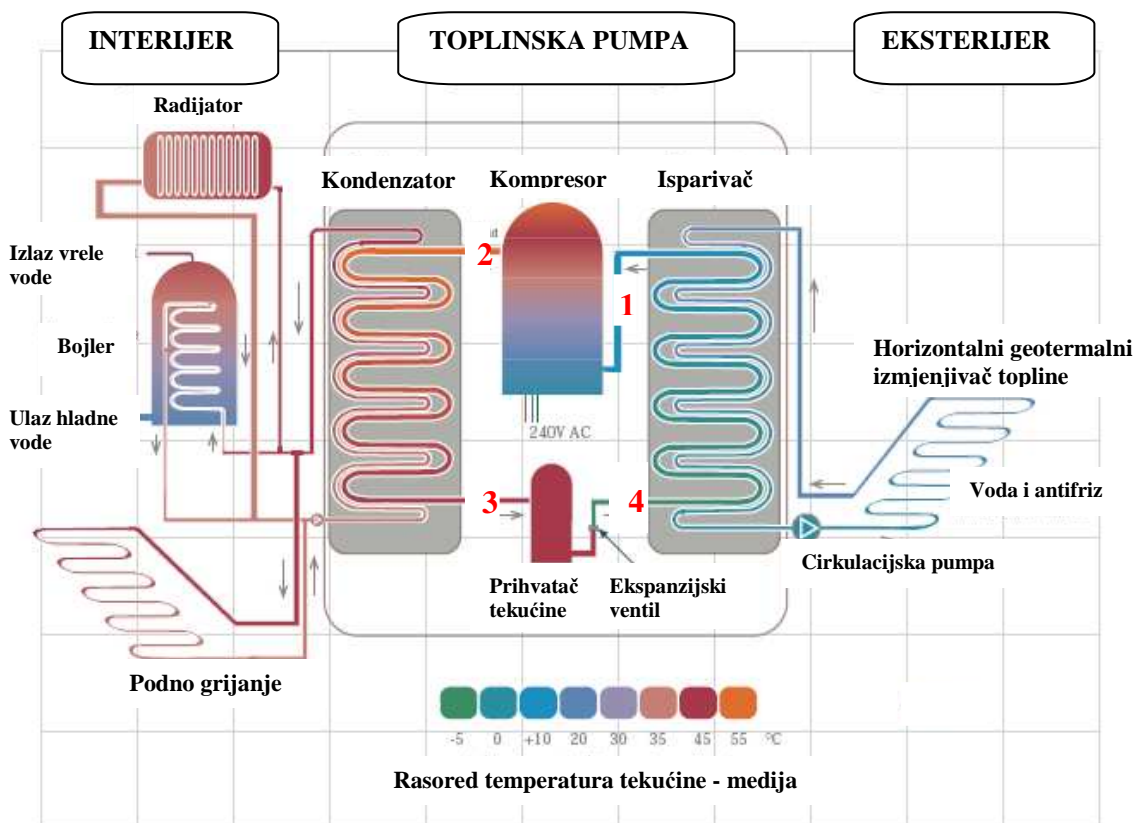


**Slika 3: Podjela radnih tvari koja se koriste u kružnim procesima toplinskih pumpi**

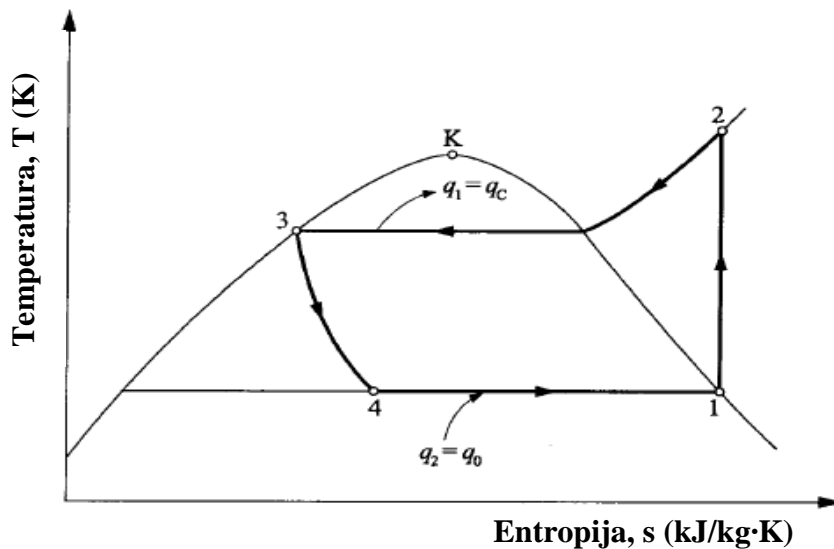
U procesu rada toplinske pumpe tijelu s nižom temperaturom oduzima se energija i predaje tijelu više temperature, uz utrošak rada. Za rad uređaja potreban je davalac topline, koji se može ohladiti na zadovoljavajuću temperaturu, i potrošač tako dobivene topline. Primjena toplinske pumpe omogućuje iskorištavanje energije tijela s relativno niskom temperaturom (npr. Okolni zrak, morska voda, voda nakon hlađenja hidrogeneratora). Kao toplinske pumpe mogu se koristiti sve vrste rashladnih uređaja, pa prema tome i svi radni mediji koji se u njima upotrebljavaju (NH<sub>3</sub>, freoni, smjesa NH<sub>3</sub>/H<sub>2</sub>O, zrak). Toplinske pumpe su posebno važne u kombiniranom sustavu za grijanje i hlađenje. Danas se najčešće primjenjuju za grijanje, ventilaciju i klimatizaciju.

Osnovni su elementi uređaja **kompresor, kondenzator, prigušni ventil i isparivač** (Slika 4). Vrsta kompresora određena je veličinom toplinske pumpe, pa se kod rashladne, tj. toplinske vrijednosti do 450 kW po jedinici koriste klipni kompresori. Centrifugalni (turbo) kompresori

upotrebljavaju se u rasponu od 450 do 550 kW. Proces u kondenzatoru može se odvijati u dva (Slika 4 i Slika 5) ili u tri stupnja, tj. hlađenje, kondenzacija i pothlađivanje rashladnog sredstva. U isparivaču se konvekcijom prenosi toplina sa površine cijevi kroz koju struji radni medij geotermalnog izmjenjivača na radni medij dizalice topline, a toplinska moć isparivača ovisi o rashladnoj snazi kompresora. Izvori topline mogu biti : rijeke, jezera , podzemne vode, okolni zrak, zemlja, Sunčeva energija, otpadni zrak industrijskih procesa, ventilacijskih i klimatizacijskih uređaja, otpadne vode, plinovi izgaranja itd.. Izvori topline moraju imati zadovoljavajuću raspoloživost te konstantnu temperaturu tokom cijele godine, moraju biti čisti i inertni prema materijalu od kojega su izrađeni uređaji.



**Slika 4: Shema kompresijske toplinske pumpe s vanjskim GT izmjenjivačem i unutarnjim sustavom grijanja objekta (Geothermal brochure 2004)**



**Slika 5: Idealizirani termodinamički proces u parno kompresijskoj toplinskoj pumpi (Budin, Mihelić-Bogdanić 2002)**

U jednostavnoj parno kompresijskoj pumpi (Slika 4) protječe proces (Slika 5) na sljedeći način: rashladni medij se komprimira uz potrošnju mehaničkog rada (1 do 2). Sljedi hlađenje i kondenzacija (2 do 3), pri čemu oslobođenu toplinu preuzima rashladna voda ili zrak kojim se kondenzator hladi. Pomoću topline rashladnog medija, zrak ili rashladna voda se zagrijavaju do temperature na kojoj se mogu primijeniti u različite svrhe, npr. za zagrijavanje. Nakon kondenzacije rashladni se medij prigušuje do tlaka i temperature u isparivaču (3 do 4). Mokra para sada ulazi u isparivač, oduzima toplinu tijelu koje se hladi (npr. zrak), isparava i vraća se u kompresor. Promjena stanja u isparivaču prikazana je linijom 4 do 1.

Prema tome, kod svake toplinske pumpe potrebna su **dva osnovna izmjenjivača topline, kondenzator i isparivač**. U kondenzatoru se hladi rashladni medij nakon kompresije. Voda za hlađenje kondenzatora se zagrijava te koristi za grijanje prostora, bazena i slično. U isparivač ulazi rashladni medij nakon prigušivanja. Vanjski zrak ili voda za grijanje isparivača, tj. izvor topline se pri tome hladi i primjenjuje za npr. klimatizaciju.

Toplinske pumpe se opisuju medijem koji se ohlađuje, odnosno toplinskim izvorom i medijem koji se zagrijava (npr. **zrak - voda, tlo - voda, voda - voda** itd.).

Toplinske pumpe koje koriste zrak kao toplinski izvor imaju zadovoljavajuću učinkovitost, ali u velikoj mjeri ovisi o promjenama godišnjih doba. Stoga su učinkovitije geotermalne toplinske pumpe, koje za izvor topline koriste zemlju ili podzemnu vodu čija pak temperatura značajno ne ovisi o godišnjem dobu i uglavnom je konstantna. Prema tome zimi su temperature tla i podzemnih voda više od temperature zraka, a ljeti su niže.

## **3 GEOTERMALNE TOPLINSKE PUMPE**

### **3.1 *Mogući izvori toplinske energije za dizalice topline***

Na toplinski izvor se postavlja niz zahtjeva da bi se osigurao ekonomičan rad dizalice topline.

Među najvažnijima su sljedeći:

- toplinski izvor treba osigurati potrebnu količinu topline na višoj temperaturi i u svako doba
- troškovi za priključenje toplinskog izvora na dizalicu topline trebaju biti mali
- potreba energije za transport topline od izvora do isparivača dizalice topline treba biti mala

Mogući izvori energije za dizalice topline su sljedeći:

- Zrak
- Zemlja
- Voda
- Sunce

Kriteriji za ocjenu najpogodnijeg izvora su sljedeći:

- Nivo temperature
- Raspoloživost na lokaciji i u vremenu
- Vremenska podudarnost potrebe za toplinom i raspoloživosti izvora
- Mogućnost samostalnog korištenja
- Utrošak energije za dovođenje topline do isparivača
- Kemijska i fizikalna svojstva no izvora topline
- Troškovi izvedbe postrojenja
- Utjecaj na ravnotežu okoline i zagađenje okoline
- Pogodnost za masovnu proizvodnju

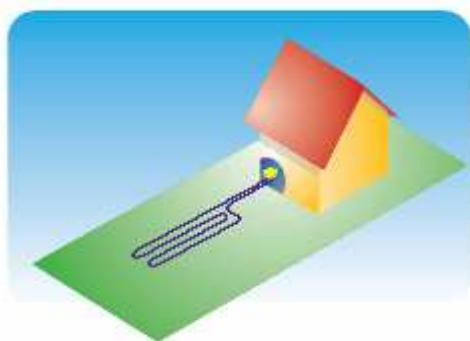
Vrednovanje kriterija po pojedinim izvorima prikazano je u narednoj tablici (Tablica 2)

**Tablica 2: Kriteriji za odabir najpogodnijeg izvora GT energije za dizalice topline**

Kriterij za korištenje	Zrak		Zemlja	Voda				Sunce
	Vanjski zrak	Zrak u klima tehnicima kao izvor topline, rasvjete, ljudi, Sunca	Akumulirana Sunčeva energija	Podzemna voda	Površinska voda - rijeke	Površinska voda - jezera	Površinska voda - more	Energija sunčevog zračenja
Temperaturni ili energetski nivo	- 25 do +20 °C	>22 °C	8 -15 w/m <sup>2</sup>	5 – 15 °C	2 – 11 °C	Min. 4 °C	Min. 0 °C	0 - 300 Wm <sup>2</sup> -25 do +40 °C Tijekom 90 % perioda grijanja = 0 °C
Mjesto	Posvuda	Kod grijanja i hlađenja zrakom	Ponegdje, ovisno od terena	Ponegdje	Ponegdje	Ponegdje	Ponegdje	Posvuda
Vrijeme	Uvijek	Ponekad, ovisno o režimu rada	Uvijek	Uvijek	Ne uvijek, zbog suše i temperatura nižih od 2 °C	Ne uvijek, zbog niskih temperatura	Uvijek	Promjenljivo i nepredvidivo
Vremenska podudarnost potrošnje i raspoložive energije	Nekoherentno: kad je najviša potreba, ima najmanje energije na raspolaganju	Koherentno: najviša potreba, najviše energije na raspolaganju	Djelomično koherentno: raspoloživa energija se smanjuje prema kraju sezone grijanja	Još koherentno: konstantna raspoloživa energija tijekom godine	Djelomično koherentno ili nekoherentno	Djelomično koherentno	Djelomično koherentno	Nekoherentno: najviša potreba, najmanje energije
Mogućnost samostalnog korištenja	Da	Djelomično	Da	Da	Djelomično	Djelomično	Da	Jedva moguće
Kemijska ili fizikalna svojstva koja otežavaju korištenja	Stvaranje leda	-	Korozija, stvaranje leda	Korozija CO <sub>2</sub> Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Korozija, prljavština, soli	Prljavština, soli	Prljavština, soli, alge	-
Utrošak energije za transport izvora topline	Velik	-	Velik	Uglavnom velik	Raznolik	Raznolik	Raznolik, češće velik	Raznolik
Troškovi izvedbe postrojenja	Mali ili srednji	Mali	Veliki	Veliki	Veliki ili srednji	Veliki ili srednji	Veliki ili srednji	Veliki
Utjecaj na energetske ravnoteže okoline	Nema znatnog utjecaja	Nema utjecaja	Uglavnom zanemariv	Nije zanemariv	Uglavnom zanemariv	Uglavnom zanemariv	Uglavnom zanemariv	Nema utjecaja
Usklađenost izvora s okolinom (nezagadljivost)	Da	Da	Neutralno	Ne	Djelomično	Djelomično	Neutralno	Da
Pogodnost za masovnu proizvodnju	Dobra	Dobra	Umjerena	Dobra	Dobra	Dobra	Dobra	Umjerena

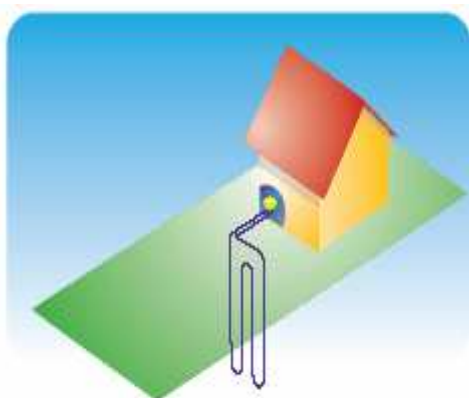
### **3.2 Sustavi iskorištavanja geotermalne energije toplinskim pumpama**

Postoje dva osnovna sustava iskorištavanja geotermalne energije s toplinskim pumpama. Prvi sustav ne koristi izravno geotermalni fluid nego sustavom s ukopanim izmjenjivačem topline iskorištava toplinu zemljine kore ili geotermalnog fluida iz bušotine takozvanim bušotinskim izmjenjivačem topline (**sustav sa zatvorenim krugom**).



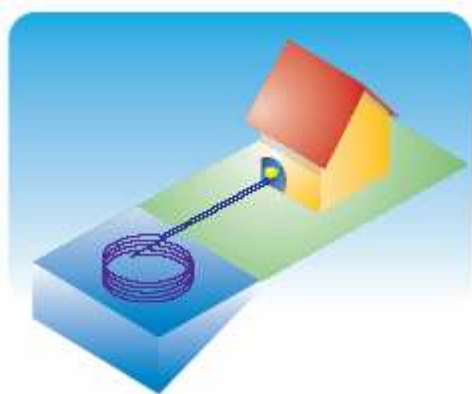
#### **Horizontalni sustav sa zatvorenim krugom**

Ovaj sustav često je najekonomičniji za ugradnju na mjestima gdje ima dovoljno prostora i gdje je tlo pogodno za izvođenje građevinskih radova. Snop cijevi polaže se paralelno u tlo ispod granice smrzavanja, tj. 1,4 do 2 metra ispod površine



#### **Vertikalni sustav sa zatvorenim krugom**

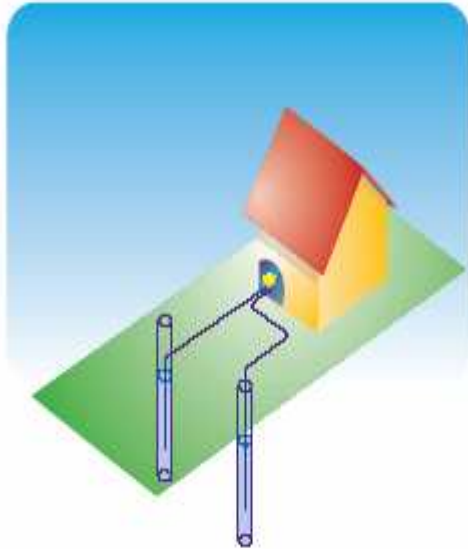
Ovaj sustav primjenjuje se kod objekata s potrebama za velikim količinama ogrjevnice i rashladne energije, kad je tlo blizu površine stjenovito ili na površinski skućenim prostorima. Potrebno je izbušiti bušotine određene dubine. Svaka bušotina opremljena je jednim snopom polietilenskih cijevi spojenih na dnu „U“-spojnicom velike čvrstoće.



#### **Jezerki sustav sa zatvorenim krugom**

Ukoliko su zgrade u blizini jezera ili vodotokova, uronjeni snop cijevi pod površinu vode često je najjeftinije rješenje. Rješenje zahtijeva minimum iskopa, postavljanje cijevne konfiguracije je jednostavno, ali jezero ili vodotok mora biti dostatne dubine i površine. U raspoloživi prostor potrebno je ugraditi što više cijevne zavojnice.

Drugi sustav iskorištava geotermalnu vodu koja se proizvodi iz bušotine, a nakon predaje topline sekundarnom krugu ili se utiskuje nazad u sloj, ili ispušta u vodotoke ili kanalizacijske sustave (**sustav sa otvorenim krugom**).



### **Vertikalni sustav s otvorenim krugom**

Iako se rijetko ugrađuje, može biti učinkovit i isplativ u slučaju prisutnosti izdašnih podzemnih voda. Podzemna voda izravno se crpi iz jedne bušotine, dovodi cijevima do objekta gdje predaje svoju toplinu geotermalnoj toplinskoj pumpi. Po izlasku iz nje voda se odvodi u drugu, utisnu, bušotinu istog podzemnog sloja (akvifera) na dostatnoj udaljenosti od prve (proizvodne). Odvod se može sprovesti i u tlo, rijeku ili jezero ukoliko ne postoji opasnost po okoliš.

### **3.2.1 GTP-sustav sa zatvorenim krugom**

GTP-sustav sa zatvorenim krugom oslanja se na tlo, stijene, podzemnu vodu, ili površinsku vodu kako bi osigurao ili preuzeo toplinu. Kondukcijom ili konvekcijom provodi se toplina iz okoline (tlo, podzemna voda) na cijev geotermalnog izmjenjivača sa koje se zatim konvekcijom odvija prijelaz topline sa površine stijenske cijevi na radni medij unutar cijevi fluidi (voda, glikol ili antifriz) koji cirkuliraju unutar izmjenjivača uz pomoć električne pumpe. Pri tome okolna voda ne ulazi u sustav.

Uobičajeni vanjski sustav sa zatvorenim krugom sadrži polietilensku cijev, koja se polaže horizontalno u iskopani rov ili okomito u bušotinu. Ta polietilenska cijev je izmjenjivač topline koji prenosi toplinu tla na fluid unutar sustava, a prema isparivaču toplinske pumpe. Veličina prijenosa topline (konduktivitet-provodljivost) između vanjskog dijela cijevi i okolnog tla određena je toplinskom provodljivošću tla. Ta se vrijednost koristi u jednadžama za određivanje duljine cijevi potrebne za postizanje adekvatnog prijenosa topline za ostvarivanje potrebne toplinske snage.

Termički karakter stijena prvenstveno ovisi o sastavu stijene, vlažnosti tla, vegetaciji i lokalnim klimatskim uvjetima. Vrijednosti specifične topline koja se može oduzeti tlu prikazuje Tablica 3.

**Tablica 3: Orijentacijske vrijednosti specifične topline koja se može oduzeti tlu**

Vrsta tla	Toplina koja se oduzima tlu, W/m <sup>2</sup>
Suha pješćana tla	<b>10 - 15</b>
Vlažna pješćana tla	<b>15 - 20</b>
Suha ilovača	<b>20 - 25</b>
Vlažna ilovača	<b>25 - 30</b>
Vrlo vlažna ilovača, vodom natopljen pijesak	<b>30 - 40</b>

### 3.2.2 GTP-sustav sa otvorenim krugom

GTP-sustav sa otvorenim krugom ovisi o prisutnosti izvora podzemne vode koja bi omogućila izmjenu topline. Ovaj sustav ne sadrži zasebno izoliran radni fluid kao što je to slučaj kod sustava sa zatvorenim krugom, već kroz sustav uz pomoć pumpe cirkulira voda. Kao izvor koriste se rijeke, jezera ili bunari. Većina sustava sa otvorenim krugom crpe vodu iz vlastitog bunara zbog zadovoljavajuće kvalitete vode. Pri crpljenju vode iz rijeke i jezera problem predstavljaju nečistoće koje se nakupljaju na situ usisa. Za sustav ove vrste koristi se pumpa većeg kapaciteta kako bi omogućila dovoljnu količinu vode za potrebe toplinske pumpe. Nedostatak korištenja sustava sa otvorenim krugom je mogućnost kemijskih reakcija ( stvaranje kamenca ) što utječe na prijenos topline. Ako sustav koristi tvrdnu vodu nužan je tretman omekšavanja vode.

Kod otvorenih sustava problem se javlja nakon prolaska vode kroz toplinsku pumpu tj.,da li vodu ispuštati u rijeku ili jezero ili je utiskivati u drugi bunar što iziskuje dodatne troškove..

### 3.2.3 Tip i dužina cijevi kruga

Polietilenske cijevi su jedini tip koji se preporučuje za vanjske krugove. Taj materijal je savitljiv,izrazito otporan na uvjete u okolini i ima zadovoljavajući prijenos topline. Trajnost polietilenskih cijevi garancijom je određena na 30 godina. Cijevi se spajaju termičkim procesom koji osigurava čvrstu vezu.

Dužina cijevi ovisi o nekoliko bitnih faktora uključujući način postavljanja cijevi, potrebnu energiju, klimatske uvjete, smještaj kruga i toplinsku provodljivost tla.

Prema Američkim iskustvima dužina za kW toplinske energije za polietilensku cijev promjera 25mm pri normalnim uvjetima tla iznosi

- 36 m za kW, ako se postavlja jednoslojno
- 55 m za kW, ako se postavlja dvoslojno
- 70 m za kW u promjerima krugova od po 1m, ako se postavlja zavojito



Gdje zimi nema opasnosti od smrzavanja jezera i riječnih tokova polietilenska cijev uronjena u vodu bi bila vrlo učinkovit sustav sa zatvorenim krugom.

### **3.3 Troškovi ugradnje toplinske pumpe za potrebe domaćinstva**

Troškovi ugradnje toplinske pumpe. ovise o brojnim čimbenicima od lokacije, veličine i izoliranosti kuće, do geološkog sastava tla. Dosadašnja Njemačka iskustva na osnovi godišnjeg prosjeka od 30 000 do 40 000 ugrađenih toplinskih pumpi pokazuju da cijela instalacija grijanja toplinskom pumpom košta više od konvencionalnog centralnog grijanja. Tijekom uporabe nema dodatnih troškova (npr. plin, drva, lož ulje) osim struje za pogon kompresora i cirkulacijske pumpe. Troškovima treba pribrojiti spremnik tople vode od oko 1 500 litara, pufer ( spremnik s izmjenjivačem i dodatnim električnim grijačem ), uređaje za automatsku regulaciju, senzore, PE-X-cijevi i pripremu tla za ugradnju sonde ili podzemnog kolektora. Uz izvedbu podnog grijanja prosječni sustav s toplinskom pumpom košta od 10 000 do 20 000 EUR. Pritom je struktura troškova bitno drukčija , nema radijatora, priključenja na plinsku mrežu i sl.

(u nastavku je prikazana procjena troškova ugradnje toplinske pumpe u kuću površine 60m<sup>2</sup>).

#### **3.3.1 Potrebna ogrijevna snaga**

Za potrebe grijanja tipične nove kuće na Novom Zelandu građene po propisanim standardima za to podneblje i životnim prostorom od 60 m<sup>2</sup> uzima se da je za ostvarivanje potrebne temperature u kući za vrijeme najhladnijih dana potrebna ogrijevna snaga od 1 kW na 10 m<sup>2</sup> podnog prostora. Iz toga proizlazi da je za kuću od 60 m<sup>2</sup> maksimalna potrebna ogrijevna snaga 6 kW.

#### **3.3.2 Kapitalni troškovi**

Procjena cijene geotermalne toplinske pumpe snage 6 kW, namijenjene samo za grijanje, iznosit će između 6 000 \$ i 7 500 \$, ugradnja geotermalnog izmjenjivača u lako obradivo pješčano tlo oko 2 300 \$ i sustav podnog grijanja oko 2 500 \$, što sveukupno iznosi oko 12 000 \$ za cijeli sustav. Usporedbe radi instalacija plinskog sustava sličnog kapaciteta iznosi 5 800 \$.

### 3.3.3 Operativni troškovi

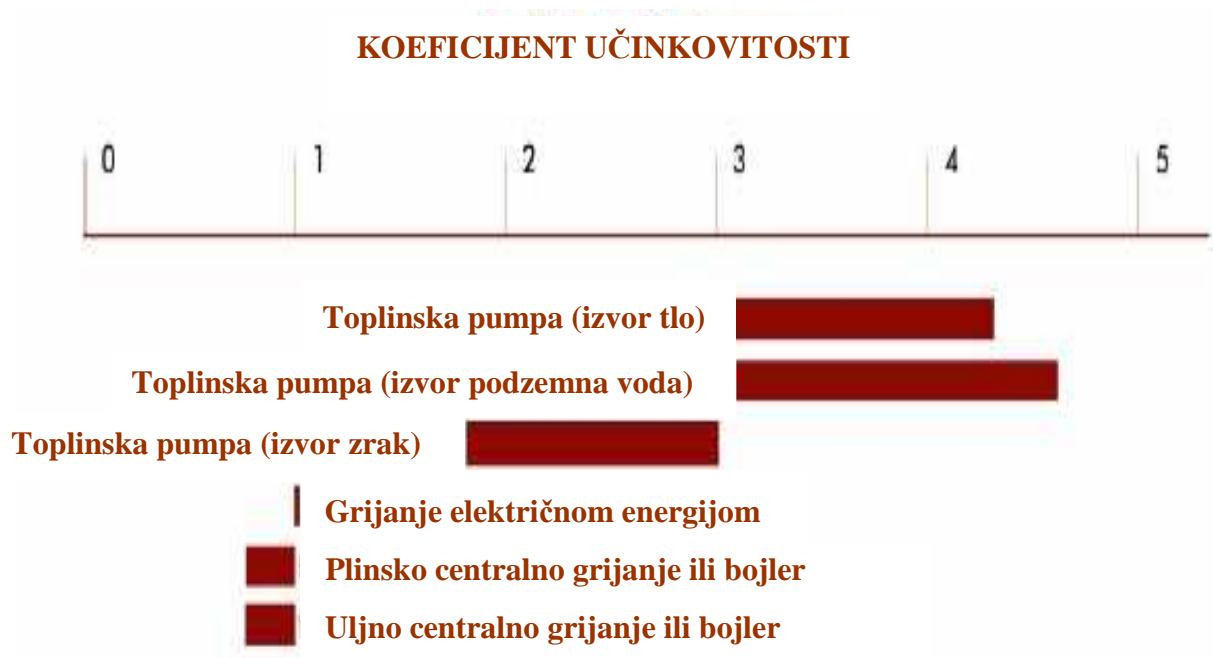
Ušteda grijanjem kuće površine 60 m<sup>2</sup> geotermalnom toplinskom pumpom u usporedbi sa grijanjem na plin iznosi 797 \$/god. Uz ovu sadašnju godišnju uštedu tijekom 20 godina uz vrijednost diskontne stope od 8 % ušteda bi iznosila oko 7 825 \$.

### 3.3.4 Učinkovitost toplinske pumpe

Mjera energetske učinkovitosti sistema geotermalne toplinske pumpe ovisi o njenom koeficijentu učinkovitosti (COP-Coefficient of Performance). To je količina toplinske energije koju isporučuje toplinska pumpa s obzirom na količinu struje potrebne za rad toplinske pumpe. Ako toplinska pumpa isporučuje 6 kW toplinske energije, a za to joj je potrebno 1,5 kW električne energije, tada ima koeficijent učinkovitosti (COP) = 4.

$$\text{COP} = \frac{\text{toplinski kapacitet(kW)}}{\text{Potrebna električna energija(kW)}}$$

Rad sustava geotermalne toplinske pumpe ovisi o učinkovitosti toplinske i cirkulacijske pumpe, o prijenosu topline u zemlji te o karakteristikama podzemne vode. Koeficijent učinkovitosti za geotermalnu toplinsku pumpu raste s porastom temperature tla. Učinkovitost sustava geotermalne toplinske pumpe u usporedbi sa ostali sistemima grijanja prikazana je na slici.



Slika 6: Usporedba učinkovitosti različitih sustava grijanja

Za proizvodnju topline pomoću kompresora s elektromotorom, pumpi treba električna energija. Međutim, u ukupnoj energetske bilanci, ova električna energija čini tek manji dio . Pumpe se razlikuju po učinkovitosti. (COP) 5 označuje da toplinska pumpa proizvodi pet puta više toplinske energije nego što je utrošeno za pogon kompresora tj., da smo s jednim kilovatsatom električne energije proizveli pet kilovatsati iskoristive toplinske energije. Učinak ovisi o vrsti toplinskog izvora (tlo, voda, zrak) i snazi pumpe. Jačim kompresorima ili stupnjevanjem nekoliko krugova postižu se i vrlo visoke temperature no uključivanjem takvih kompresora ili kombiniranjem nekoliko kompresorskih elektromotora smanjuje se ukupni učinak. Toplinskom pumpom lako je doseći temperaturu od +65°C pa se mogu primjeniti i na starijim zgradama. Najekonomičnije su u dobro izoliranim kućama s niskotemperaturnim podnim grijanjem ( 22°-25°C ) gdje temperature od 35°C omogućuju visoku ekonomičnost i potpunu udobnost. Za slučaj vrlo hladne i duge zime u spremnik se može ugraditi dodatni električni grijač koji će povremeno dogrijavati vodu. U tom slučaju struja će u godišnjim toplinskim potrebama sudjelovati s 5 do 10 posto.

### **3.3.5 Temperaturne razlike**

Sustav toplinske pumpe funkcionira isključivo na osnovi temperaturnih razlika . Što su temperaturne razlike veće, brži je i djelotvorniji prijenos topline. Pojedini tipovi klima uređaja rade kao toplinska pumpa koja zagrijava prostor oduzimanjem topline vanjskom zraku. U zimskim uvjetima brzo se postigne granica kada je vanjski zrak hladniji od medija u isparivaču i ne može mu prenijeti nikakvu toplinu. Ovo ograničenje je glavna prednost geotermalnih toplinskih pumpi koje za izvor topline koriste tlo ili podzemne vode s malim temperaturnim oscilacijama.

## 4 PRIMJER PRORAČUNA SUSTAVA GRIJANJA ZGRADE GEOTERMALNOM TOPLINSKOM PUMPOM

Naredni primjer proračuna izveden je metodom analogije, iz slijedećih pravila:

1. Za objekte – zgrade prosječne veličine (186 do 223 m<sup>2</sup>) potrebno je (10,6 do 11,4 kW) toplinske snage, ovisno o klimatskim uvjetima
2. Za vertikalne izmjenjivače uzima se (13 do 17 m/kW), a horizontalni moraju biti otprilike 30 % do 50 % duži
3. Dubina ugradnje horizontalnih izmjenjivača je (1,2 do 1,8 m)

U primjeru koji sljedi izvest će se proračun duljine geotermalnog izmjenjivača topline za grijanje objekta površine 150 m<sup>2</sup> i visine zidova 3 m.

### 4.1 Dimenzioniranje bušotinskog izmjenjivača topline

#### 4.1.1 Proračun jedinične kvadrature prema ROT

Iz prethodno navedenog pravila (br- 1) odabran je najnepovoljniji slučaj ( $P_0 = 11,4$  kW za  $A_0 = 186$  m<sup>2</sup>) iz kojeg proizlazi da je za zagrijavanje prostora površine 186 m<sup>2</sup> potrebna toplinska snaga od 11,4 kW.

Jedinična površina za koju je potreban 1 kW toplinske snage dobit će se putem obrasca (1)

$$a = \frac{A_0}{P_0} \quad (1)$$

$$a = \frac{186}{11,4}$$

$$a = 16,32 \text{ m}^2/\text{kW}$$

#### 4.1.2 Proračun snage kondenzatora

Proračun snage kondenzatora svodi se na proporcionalno određivanje iste iz gore navedenih pravila za zadanu kvadraturu konkretnog objekta putem obrasca (2).

$$Q_{\text{kon}} = \frac{A}{a} \quad (2)$$

$A_1$  - površina objekta od 150 m<sup>2</sup>

Uvrštavanjem poznatih vrijednosti u obrazac (2) izračunat će se snaga kondenzatora kako slijedi;

$$Q_{\text{kon}} = \frac{150}{16,32}$$

$$Q_{\text{kon}} = 9,19 \text{ kW} \approx 9 \text{ kW}$$

Potrebna toplinska snaga za grijanje objekta površine 150 m<sup>2</sup> iznosi dakle 9 kW.

### **4.1.3 Odabir kompresora**

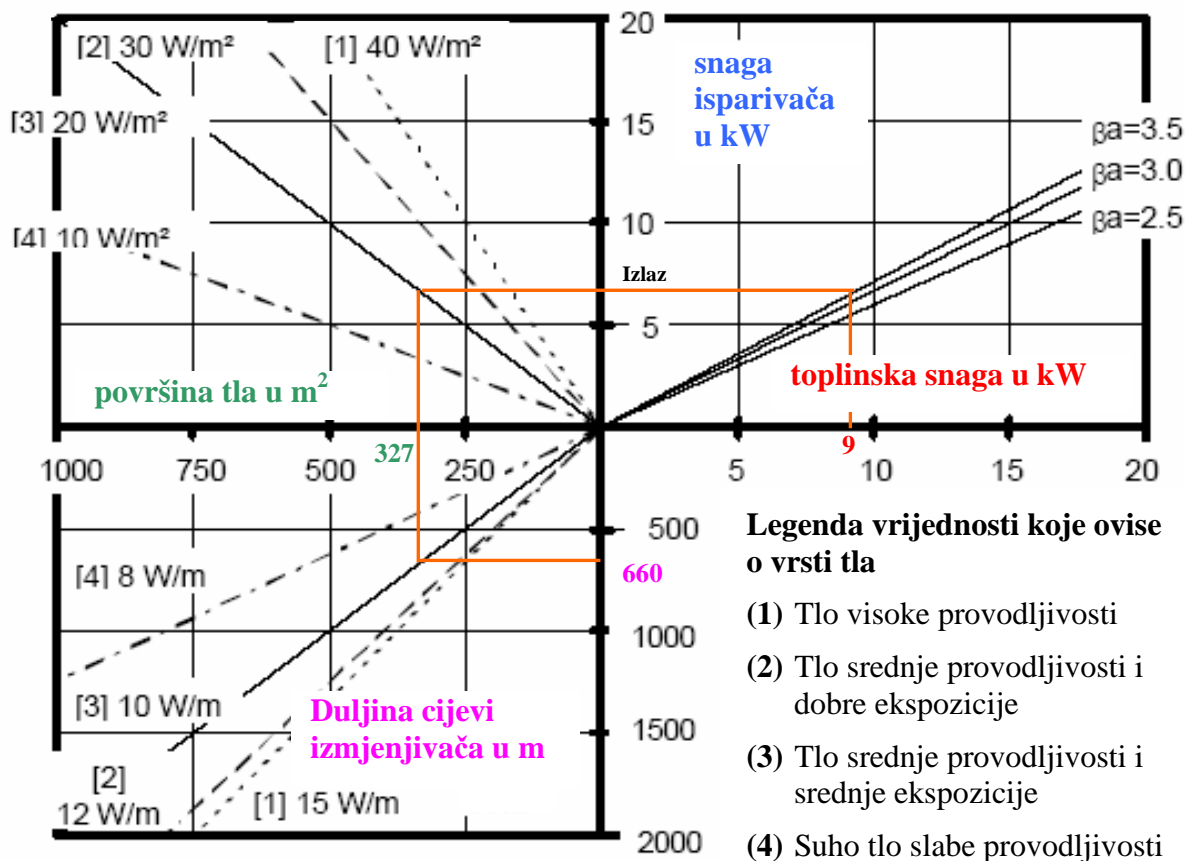
Za konkretan slučaj odabran je kompresor stupnja iskoristivosti (COP – Coefficient of Performance) kako slijedi;

$$\text{COP}(\beta_a) = 3,5$$

što drugim riječima znači da za 1 kW ulazne snage kompresor daje 3,5 kW izlazne snage

#### 4.1.4 Određivanje snage isparivača, potrebne površine zemljišta za GT izmjenjivač i duljine izmjenjivača

Traženi parametri očitavaju se iz posebnog nomograma prikazanog na sljedećoj slici pri čemu je potrebna toplinska snaga izračunata u poglavlju 4.1.2 ulazni parametar.



Slika 7: Nomogram za dimensioniranje horizontalnog geotermalnog izmjenjivača topline (Reuß, Sanner 2001)

##### 4.1.4.1 Postupak određivanja parametara iz nomograma

1. U nomogram se unosi vrijednost toplinske snage kondenzatora ( $Q_{kon} = 9 \text{ kW}$ ) kao ulazni parametar
2. Tragom crvene linije koja se povlači uspravno do vrijednosti stupnja iskoristivosti kompresora -  $COP(\beta a) = 3,5$ , a zatim vodoravno do odabrane topline koja se oduzima tlu. Ista se može uzeti iz tablica (primjer – Tablica 3), a za konkretan slučaj vodi se do linije (2) - Tlo srednje provodljivosti i dobre ekspozicije na nomogramu i iznosi  $20 \text{ W/m}^2$ .
3. Pri tome se na presjecištu vodoravne crvene linije i ordinate očitava vrijednost snage isparivača, a ista za konkretan slučaj iznosi ( $Q_{isp} = 6,5 \text{ kW}$ ).

4. Na daljnjem, okomitom putu crvene linije do linije (2) - Tlo srednje provodljivosti i dobre ekspozicije. Ista sječe apscisu na kojoj se očitava potrebna površina tla za postavu geotermalnog izmjenjivača. Potrebna površina tla za konkretan slučaj iznosi **327 m<sup>2</sup>**.
5. Konačno, crvena linija vodi se od presjecišta s linijom (2) vodoravno na ordinatu, gdje se očitava potrebna duljina cijevi izmjenjivača. Za konkretan slučaj ista iznosi **660 m**.

U narednoj tablici (Tablica 2) pregledno su prikazane očitane vrijednosti dimenzioniranja geotermalnog izmjenjivača.

**Tablica 4: Rezultati dimenzioniranja GT izmjenjivača**

Ulazni podaci		Izlazni podaci (iz nomograma)	
Opis	Vrijednost i jedinica	Opis	Vrijednost i jedinica
$Q_{kon}$	<b>9 kW</b>	$Q_{isp}$	<b>6,5 kW</b>
COP( $\beta_a$ )	<b>3,5</b>	Potrebna površina tla	<b>327 m<sup>2</sup></b>
Toplina koja se oduzima tlu	<b>20 W/m<sup>2</sup></b>	Potrebna duljina cijevi izmjenjivača	<b>660 m</b>

#### 4.1.4.2 Provjera točnosti određenih parametara

Snagu kondenzatora predstavlja zbroj snaga kompresora i isparivača što pokazuje slijedeći obrazac:

$$Q_{isp} + P_{komp} = Q_{kon} \quad (3)$$

Snagu kompresora moguće je izračunati po slijedećem obrascu:

$$P_{komp} = \frac{Q_{kon}}{COP(\beta_a)} \quad (4)$$

a uvrštavanjem poznatih vrijednosti u gornji obrazac izračunata je snaga kompresora i iznosi kako slijedi

$$P_{komp} = \frac{9}{3,5}$$

$$P_{komp} = 2,57 \text{ kW}$$

Uvrštavanje

$$6,5 + 2,57 = 9,07 \approx 9 \text{ kW}$$

## **4.2 Proračun ciklusa toplinske pumpe**

### **4.2.1 Izračun volumena objekta**

Ulazni podaci za proračun

Površina objekta  $A = 150 \text{ m}^2$

Visina zidova  $h = 3 \text{ m}$

Iz gornjih podataka računa se volumen objekta prema obrascu

$$V = A \cdot h \quad (5)$$

$$V = 150 \cdot 3$$

$$V = 450 \text{ m}^3$$

### **4.2.2 Izračun ogrjevnog faktora**

Metodom analogije za odabrani slučaj ( $P_0 = 11,4 \text{ kW}$  za  $A_0 = 186 \text{ m}^2$ ) slijedi

#### **4.2.2.1 Određivanje volumena**

$$V_0 = A_0 \cdot h \quad (6)$$

$$V_0 = 186 \cdot 3$$

$$V_0 = 558 \text{ m}^3$$

#### **4.2.2.2 Izračunavanje ogrjevnog faktora**

$$f = \frac{Pt_0}{V_0} \quad (7)$$

$$f = \frac{11,4}{558}$$

$$f = 0,02 \text{ kW/m}^2$$

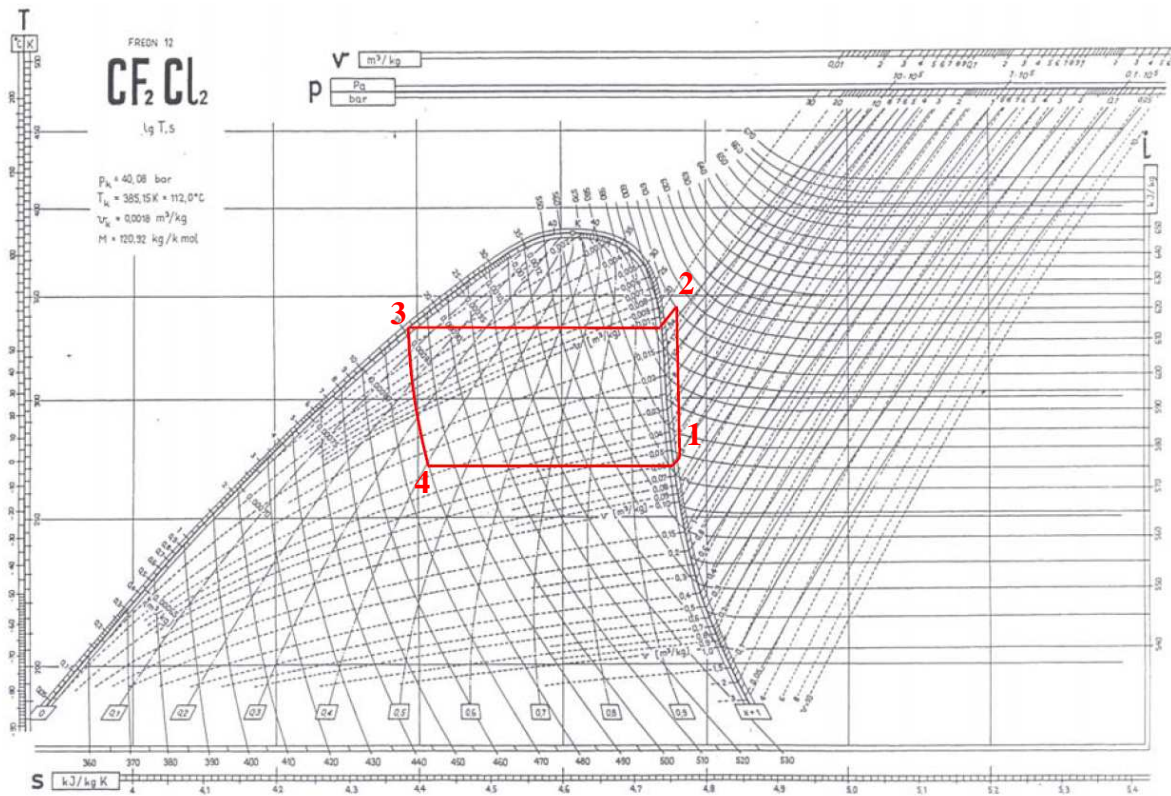
Iako se u novije vrijeme, kao medij, koriste mediji manje štetni za okoliš, u konkretnom proračunu uzet je freon 12 zbog dostupnosti faznog dijagrama potrebnog za očitavanje entalpija.



### 4.2.3 Određivanje entalpija

U procesu grijanja temperatura kondenzatora je 60 °C, a u isparivaču -3 °C.

Iz faznog dijagrama (freon 12)  $\text{CF}_2\text{Cl}_2$  očitavaju se vrijednosti entalpija. Fazni dijagram prikazan je na slijedećoj slici (Slika 8).



Slika 8: Fazni dijagram freon 12 ( $\text{CF}_2\text{Cl}_2$ )

Očitane vrijednosti entalpija su kako slijedi:

$$i_1 = 574 \text{ kJ/kg}$$

$$i_2 = 606 \text{ kJ/kg}$$

$$i_3 = i_4 = 480 \text{ kJ/kg}$$

### 4.2.4 Kondenzator (Toplina koja se oslobađa u kondenzatoru)

$$q_c = i_2 - i_3 \quad (8)$$

$$q_c = 606 - 480$$

$$q_c = 126 \text{ kJ/kg}$$

### 4.2.5 Isparivač (Rashladni učin)

$$q_0 = i_1 - i_4 \quad (9)$$

$$q_0 = 574 - 480$$

$$q_0 = 94 \text{ kJ/kg}$$

#### 4.2.6 Kompresor (Utrošeni rad kompresora)

$$j_e = i_2 - i_1 \quad (10)$$

$$j_e = 606 - 574$$

$$j_e = 32 \text{ kJ/kg}$$

##### 4.2.6.1 Kontrola.

$$q_0 + j_e = q \quad (11)$$

$$94 + 32 = 126$$

$$126 \text{ kJ/kg} = 126 \text{ kJ/kg}$$

#### 4.2.7 Ogrjevna toplina

$$Q \cdot = V \cdot f \quad (12)$$

$$Q \cdot = 450 \cdot 0,02$$

$$Q \cdot = 9 \text{ kW}$$

#### 4.2.8 Dobava freona

$$D_f = \frac{Q \cdot}{q} \quad (13)$$

$$D_f = \frac{9}{126}$$

$$D_f = 0,071429 \text{ kg/s}$$

$$D_f = 257,1429 \text{ kg/h}$$

#### 4.2.9 Snaga kompresora

$$P_{\text{kom}} = j_e \cdot D_f \quad (14)$$

$$P_{\text{kom}} = 32 \cdot 257,1429$$

$$P_{\text{kom}} = 8228,571 \text{ kJ/h}$$

$$P_{\text{kom}} = 2,29 \text{ kW}$$

#### 4.2.10 Toplina isparavanja

$$Q_0 = q_0 \cdot D_f \quad (15)$$

$$Q_0 = 94 \cdot 257,1429$$

$$Q_0 = 24171,43 \text{ kJ/h}$$

$$Q_0 = 6,71 \text{ kW}$$

#### 4.2.11 Stupanj djelovanja

$$\eta = \frac{Q \cdot}{P_{kom}} \quad (16)$$

$$\eta = \frac{9}{2,29}$$

$$\eta = 3,93$$

## 5 ZAKLJUČAK

Raspoloživost fosilnih goriva, plina i nafte, vremenski je ograničena. Izgaranjem fosilnih goriva dolazi do emisije stakleničkih plinova u atmosferu i do nepovoljnih klimatskih promjena. Zbog toga se u energetske sektoru sve više razmatraju mogućnosti primjene obnovljivih izvora energije što, donošenjem zakona iz područja proizvodnje i potrošnje energije te iz područja zaštite okoliša, stimuliraju i pojedine države.

Ovu problematiku u RH tretiraju Zakon o energiji i Zakon o zaštiti okoliša. U Zakonu o energiji donesena je Strategija energetskeg razvitka kojom se određuju temeljne smjernice energetskeg razvitka Republike Hrvatske. Strategija se očituje kroz povećanje energetske učinkovitosti, sigurnu dobavu i opskrbu, diverzifikaciju energenata i izvora, korištenje obnovljivih izvora energije, realne cijene energije i razvitak energetskeg tržišta i poduzetništva, zaštitu okoliša (smanjenje uporabe fosilnih goriva, smanjenje emisija stakleničkih plinova). Zakonom o zaštiti okoliša osigurava se racionalno korištenje prirodnih izvora i energije na najpovoljniji način za okoliš, kao osnovni uvjet zdravog i održivog razvoja. Zakonom je predviđeno poticanje korištenja obnovljivih prirodnih izvora i energije, pa se tako posebnim zakonom mogu odrediti olakšice i oslobađanje plaćanja poreza, carina i drugih javnih prihoda za korištenje obnovljivih izvora energije, opreme i uređaja koji pridonose zaštiti okoliša.

Razvijene evropske zemlje (primjer Njemačka) donesle su stimulatívne mjere u obliku kredita s povoljnim kamatama i vladinih donacija za ugradnju štedljivih tehnologija (solarni kolektori i toplinske pumpe), a distributeri električne energije nude potpore za pogon toplinske pumpe u obliku povoljnih tarifa za struju.

Geotermalne toplinske pumpe predstavljaju jedan od načina korištenja geotermalne energije, kao obnovljivog izvora, za proizvodnju toplinske energije. Nakon otklanjanja početnih tehničkih nedostataka, toplinske pumpe danas predstavljaju energetskeg učinkovit, pouzdan ekonomičan i ekološki prihvatljiv sustav grijanja. Značajno je produljen vijek trajanja svih elemenata sustava, tako da su neki od uređaja u uporabi više od 25 godina.

Razvoj novih tehnologija, stjecanje novih znanja i sve šira primjena, raznolikih izvedbi i konfiguracija geotermalnih izmjenjivača, zajedno s različitim mogućim izvedbama sustava grijanja unutar zgrada (radijatori, podno grijanje) omogućuju primjenu istih u objektima raznih namjena i veličina.

Iz svega navedenog proizlazi da postoje neki od preduvjeta (tehničko-tehnološki, geološki, klimatski pa i legislativni) za širu primjenu geotermalnih toplinskih pumpi u Republici Hrvatskoj, dok konkretni programi i mjere potpore još nedostaju.

## 6 LITERATURA

1. BUDIN, R., MIHELIĆ-BOGDANIĆ, A. 2002. *Osnove tehničke termodinamike*. 2 dopunj. i izmijenj. Izd. Zagreb: Školska knjiga
2. REUß, M., SANNER, B., 2001. *Design of Closed-Loop Heat Exchangers*. U: International summer school On Direct application of Geothermal energy, 17.-22.09.2001.: chapter 2.5, str.147-156.
3. LUND, W., J., 2001. *Design of Closed-Loop Geothermal Heat Exchangers in the U.S.*. U:International summer school On Direct application of Geothermal energy,17.-22-09.2001.: chapter 2.4, str. 134-146.
4. THAIN, I., REYES, A.G., HUNT,T., 2006. *A Practical Guide to Exploiting Low Temperature Geothermal Resources*, Lower Hutt: GNS Science Report, 2006.
5. GEOTHERMALSYSTEMS IRELAND LTD., 2004., Geothermal brochure URL: <http://www.earthwisescotland.co.uk/Tech/Downloads/brochure>.
6. U.S. DEPARTMENT OF ENERGY (DOE), 1999.Geothermal Heat Pumps for Federal Buildings. URL: <http://www.eren.doe.gov/geothermal/>
7. LUND, J., SANNER, B., RYBACH, L., CURTIS, R., HELLSTRÖM, G., 2004. *Geothermal (Ground-Source) Heat Pumps a World Overview* U: Geothermal Heating Convention Bulletin, September 2004, str. 1-10.
8. U.S. DEPARTMENT OF ENERGY (DOE), 1998. Geothermal Heat Pumps Make Sense For Homeowners. URL: <http://www.eren.doe.gov/geothermal/>
9. HRVATSKI SABOR., 19.07.2001. Zakon o energiji. URL: [http://ops.hep.hr/ops/dokument/zakoni/zakon\\_o\\_energiji](http://ops.hep.hr/ops/dokument/zakoni/zakon_o_energiji). (01.06.2007).
10. HRVATSKI SABOR, 27.10.1994. Zakon o zaštiti okoliša. URL: [http://wmd.hr/zakoni-narodne-novine/zakon\\_o\\_zaštiti\\_okoliša/](http://wmd.hr/zakoni-narodne-novine/zakon_o_zaštiti_okoliša/)