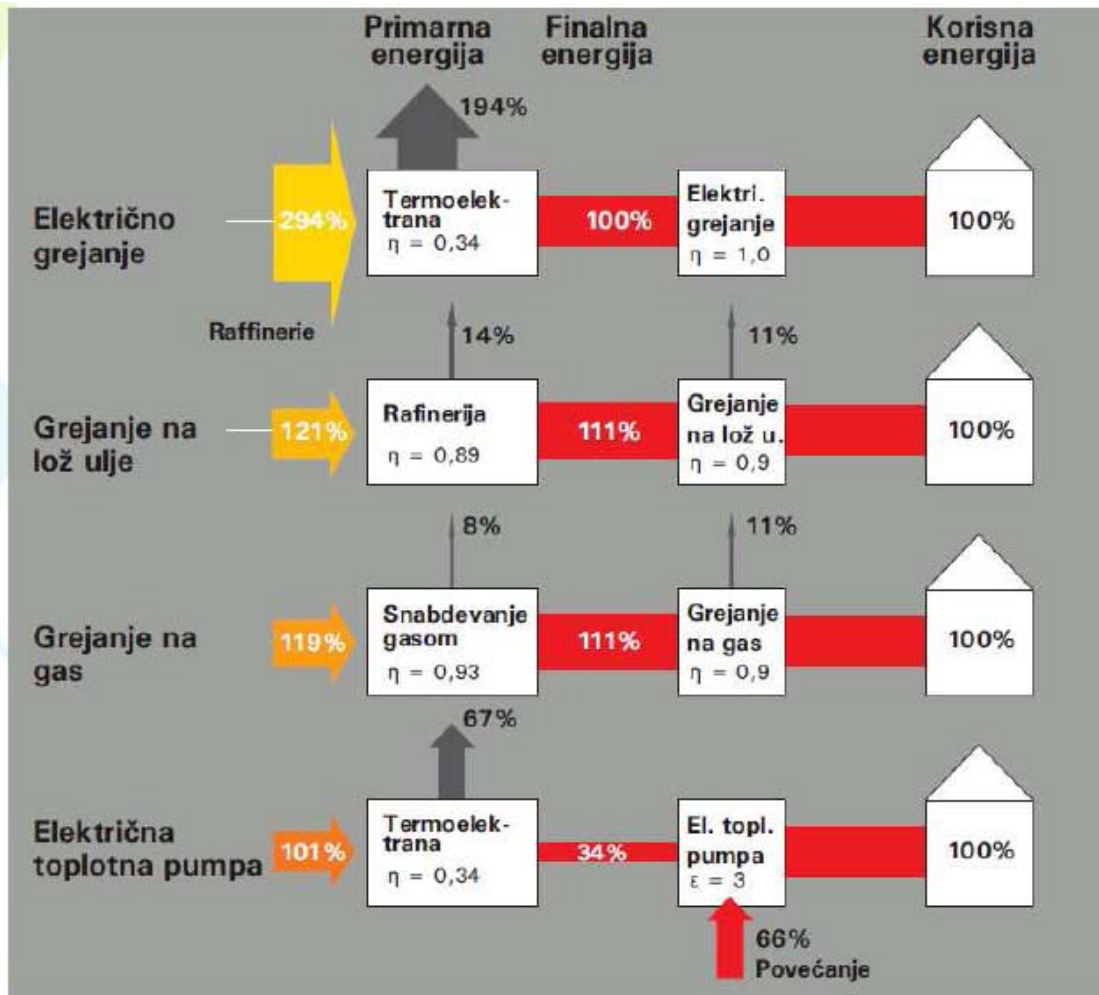


KURS ZA ENERGETSKI AUDIT 5.3

Instalacije: GEOTERMALNE TOPLOTNE
PUMPE

Pripremio: Dr Igor Vušanović

ZAŠTO TOPLOTNE PUMPE?

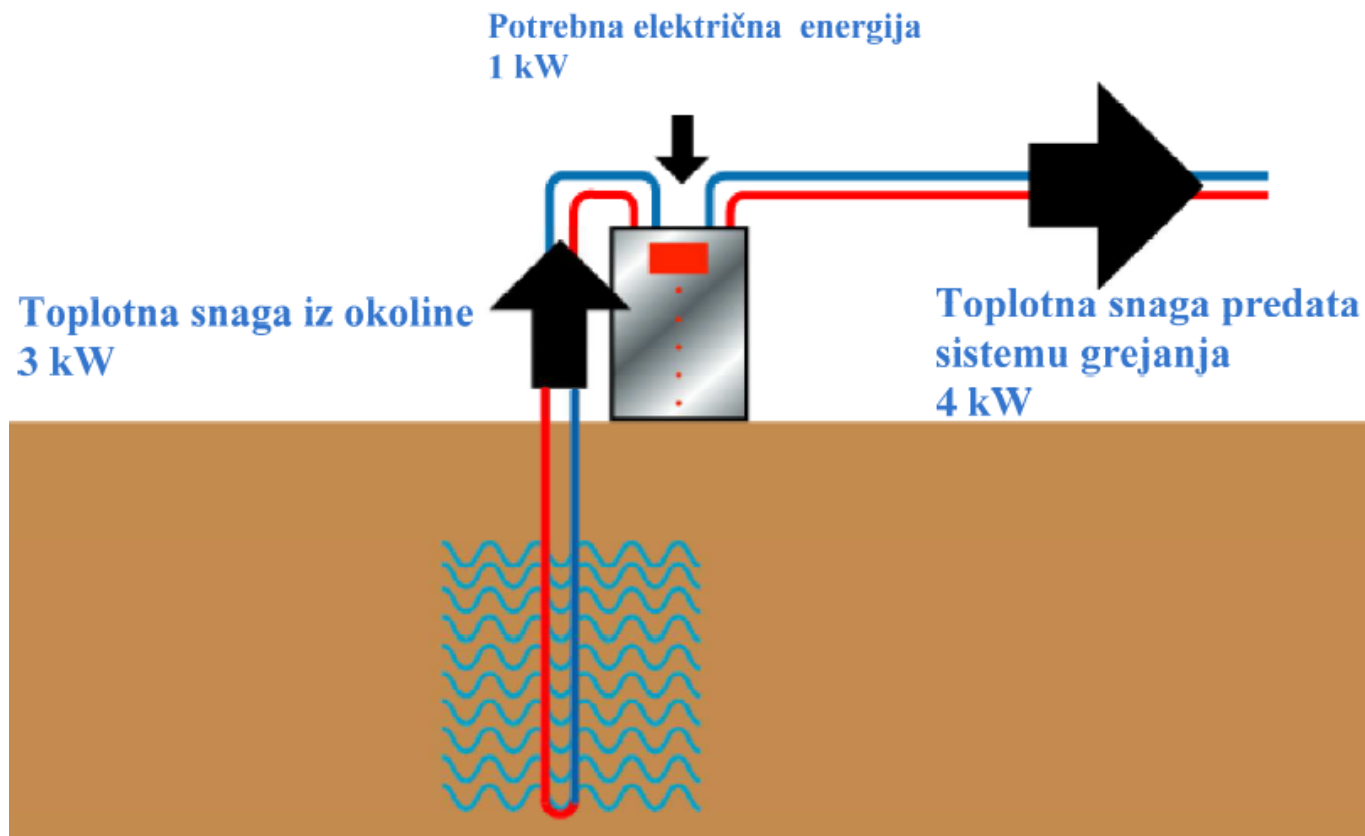


- Toplotne pumpe su jedini uređaji koji mogu regenerisati dio izgubljenje energije pri transformaciji fosilnih goriva u električnu energiju;
- Primjenom toplotnih pumpi može se koristiti niskotemperaturna toplota okoline;

ŠTA SU TO GEOTERMALNE TOPLOTNE PUMPE?

- Geotermalne toplotne pumpe su uređaji koji koriste energiju tla kao izvor/ponor toplote;
- Energija tla se koristi kao:
 - Podzemno jezero;
 - Podzemna voda (otvoreni sistemi);
 - Zemlja (zatvoreni sistemi);
- Osnovne prednosti korišćenja zemlje su:
 - Ujednačena temperatura zemlje/podzemne vode tokom sezone;
 - Manje dimenzije toplotne pumpe u odnosu na vazduhom hlađenje mašine

KAKO SU EFIKASNE?

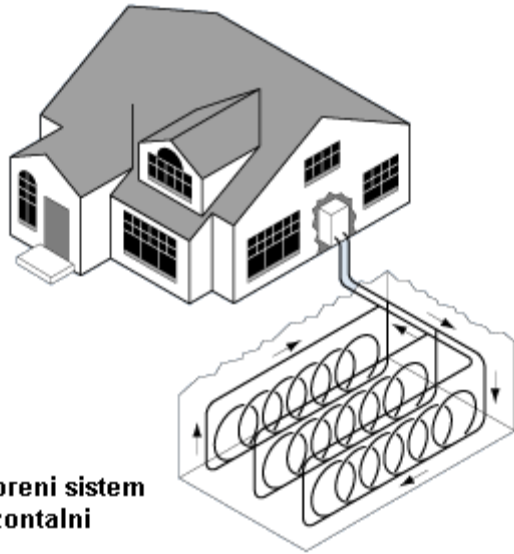


- Količina toplote koja se uzima iz zemlje može da bude i do 80% od ukupne toplote koja se predaje korisniku;
- COP geotermalnih toplotnih pumpi se kreće od 3 - 6!

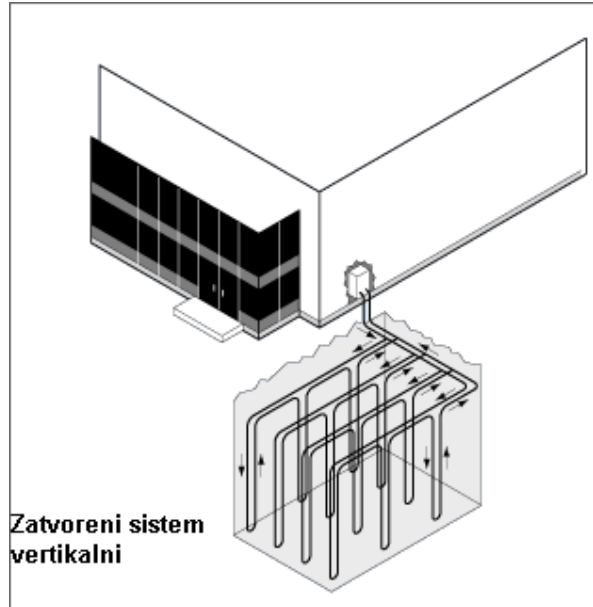
KAKO SE TOPLOTA MOŽE UZETI IZ ZEMLJE?

- Kada je izvor toplote zemlja ili podzemno jezero cijevi izmjenjivača toplote se polažu u zemlju na nekoliko načina:
 - Horizontalno (kada ima dovoljno zemlje na raspolaganju);
 - Vertikalno (kada je površina zemlje oko objekta nedovoljna);
 - Spiralno direktno u podzemno jezero;
- Ovaj način postavljanja cijevi je poznat kao "zatvoren sistem"

ZATVOREN SISTEM

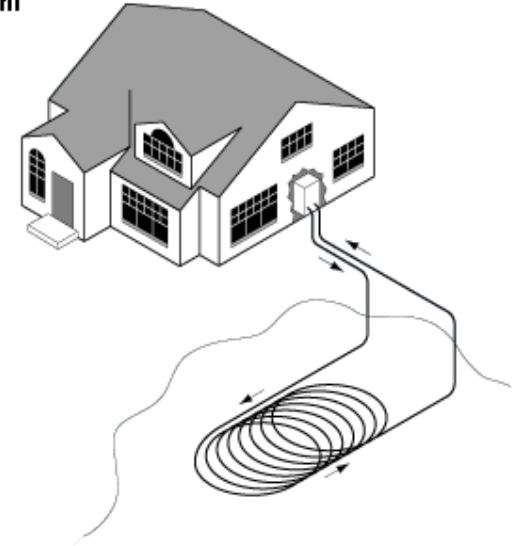


Zatvoreni sistem horizontalni



Zatvoreni sistem vertikalni

Zatvoreni sistem spiralni



- Kod zatvorenog sistema:
 - Ista količina fluida struji kroz imenjivač (cijevni registar) u zemlji;
 - Mali koeficijent provođenja toplote sa strane zemlje zahtijeva velike dužine cijevi (50W/m);

PRIMJERI KORIŠĆENJA



3600m kolektor 32x2.9mm
(45kW hlađenje)

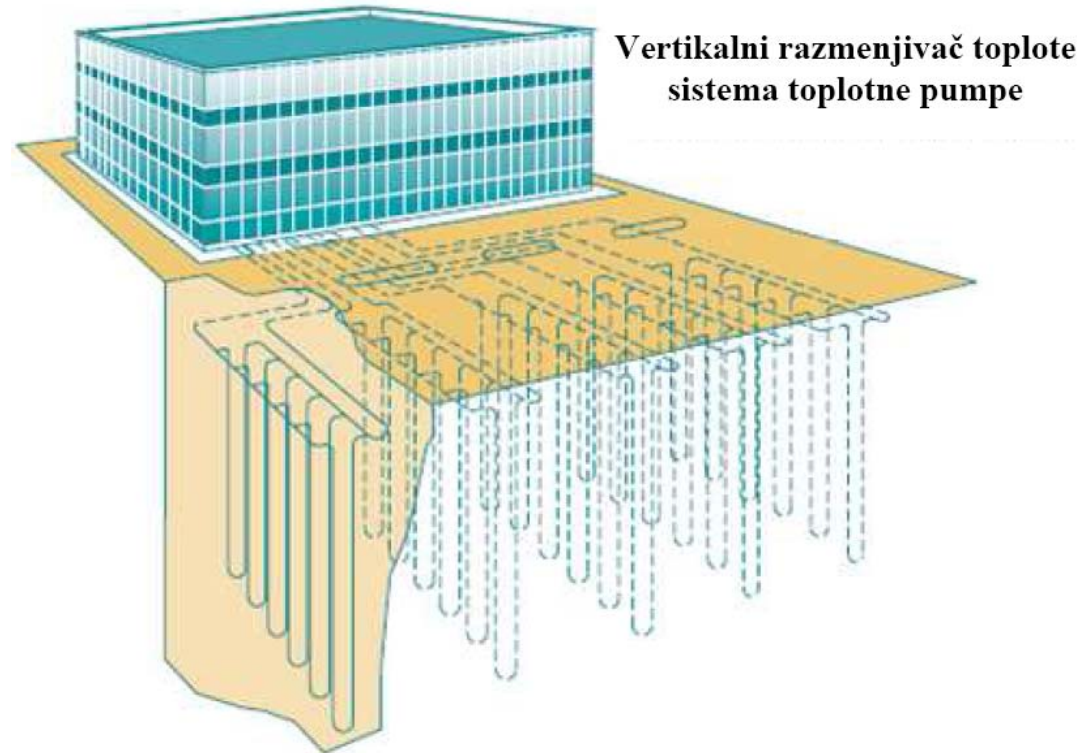


Iskop za podzemni kolektor na
dubini od 1.5 m

- Osnovni uslov za postavljanje zatvorenog sistema je prostor oko objekta;
- Za slučaj kad nema prostora oko objekta potrebno je vertikalno postavljanje cijevi;

VERTIKALNO POSTAVLJANJE CIJEVI

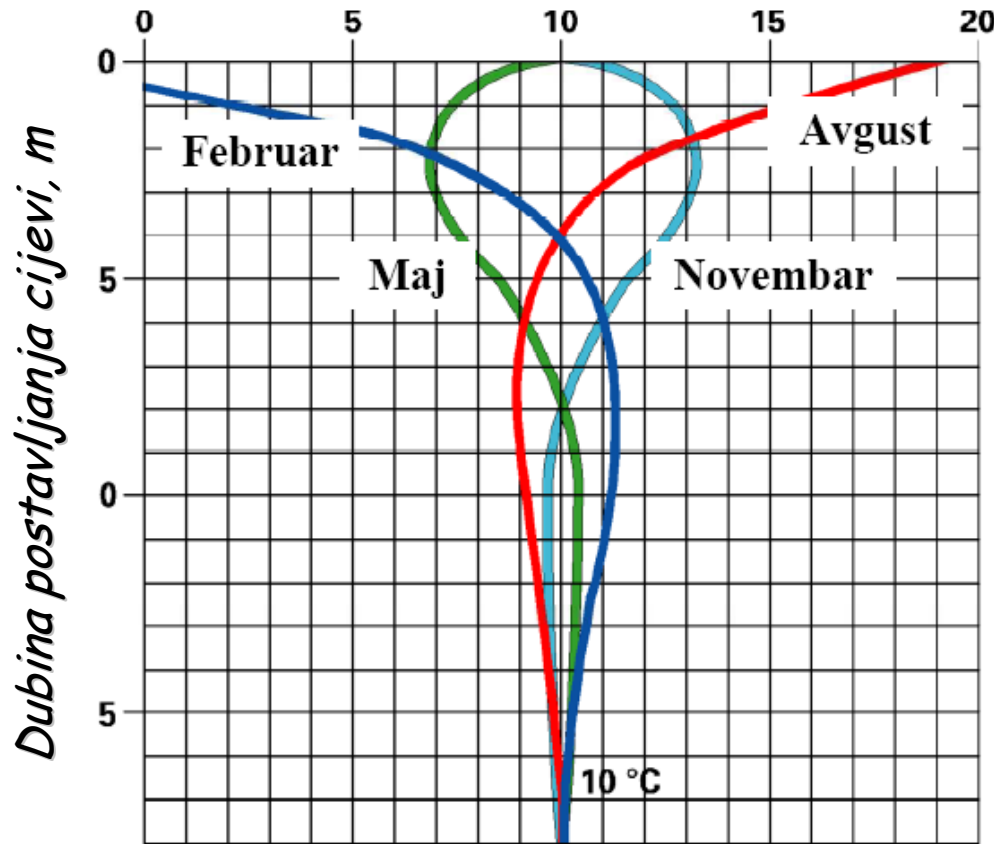
Za toplotne potrebe od 10 kW (8.4 kW rashladni kapacitet) i za vlažno glinovito tlo potrebna je prema VDI 4640 površina od cca. 340 m².



- Za slučajeve kada nema prostora potrebno je bušenje u dubinu kako bi se ostvarila projektovana dužina cijevi u skladu sa:
 - Odabranim kapacitetom toplotne pumpe;
 - Odabranim dimenzijama cijevi koje se polažu u zemlju;

TEMPERATURA TLA U NEPOREMEĆENOM ZEMLJIŠTU

Temperatura tla na površini, °C



- Ljeti je temperatura zemlje veća;
- Zimi je temperatura niža;
- Ljeti se u zemlju deponuje energija;
- Zimi se iz zemlje uzima energija;

ISKUSTVENE VRIJEDNOSTI ZA PROJEKTOVANJE SONDI

Iskustvene vrednosti za projektovanje podzemnih sondi

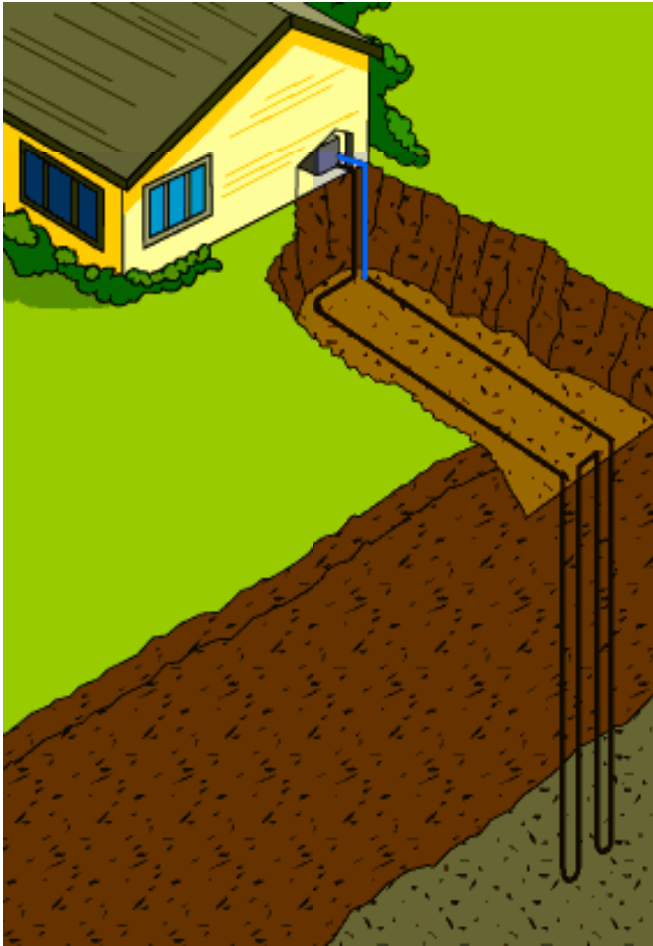
Osnovno pravilo: Što je vlažnije tlo, to će se više toplote akumulirati!

Kvalitet tla	Specif. topl. kapacitet
Suvo peskovito tlo	20 - 40 W/m
Vlažno stenovito tlo	50 - 60 W/m
Slojevi koji provode vodu	70 - 90 W/m

- Za toplotne potrebe od 10 kW (8.4 kW rashladni kapacitet)
- Potrebna je dubina bušenja od 168 m. Obično se dijeli na 2 × 84 m.



REŽIMI RADA (ljetno i zimsko)



a) Grijanje (uzimanje toplote iz zemlje)

b) Hlađenje (predaja toplote zemlji)

- Konstantna temperatura zemlje kao izvora/ponora
- Zimi se zemlja "hladi" dok se ljeti "grije"

OTVOREN SISTEM

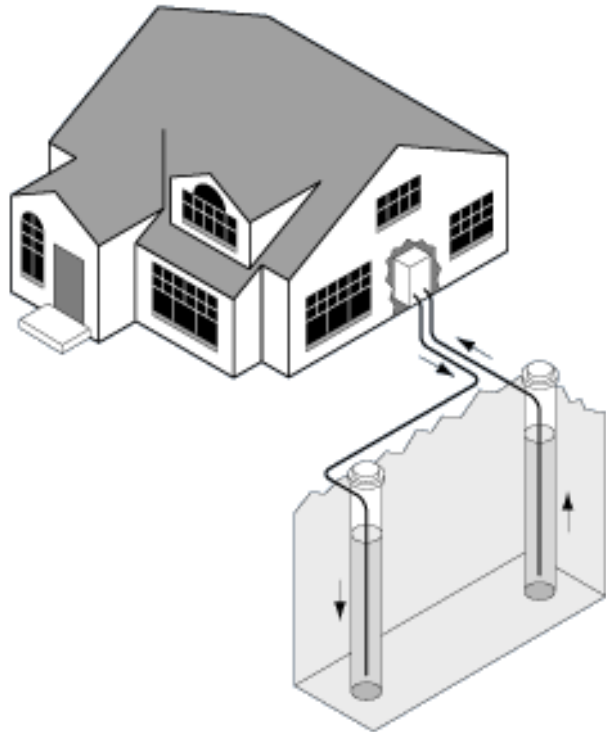
- Kod otvorenog sistema postavljaju se:
 - Usisna i upojna cijev za vodu koja se direktno vodi u izmenjivač toplotne pumpe;
 - Voda treba da ima dovoljnu čistoću i da je ima dovoljno;
 - Kapacitet bunara treba da odgovara nominalnom protoku toplotne pumpe (cca. $0.2 \text{ m}^3 / \text{h}$ po kW isparivačke snage)
 - Ako je podzemna voda bez kiseonika postoji opasnost da voda požuti;
 - Potrebna je analiza vode;
 - **Dozvola od nadležnog organa!**

OTVORENI SISTEM SA PODZEMNOM VODOM

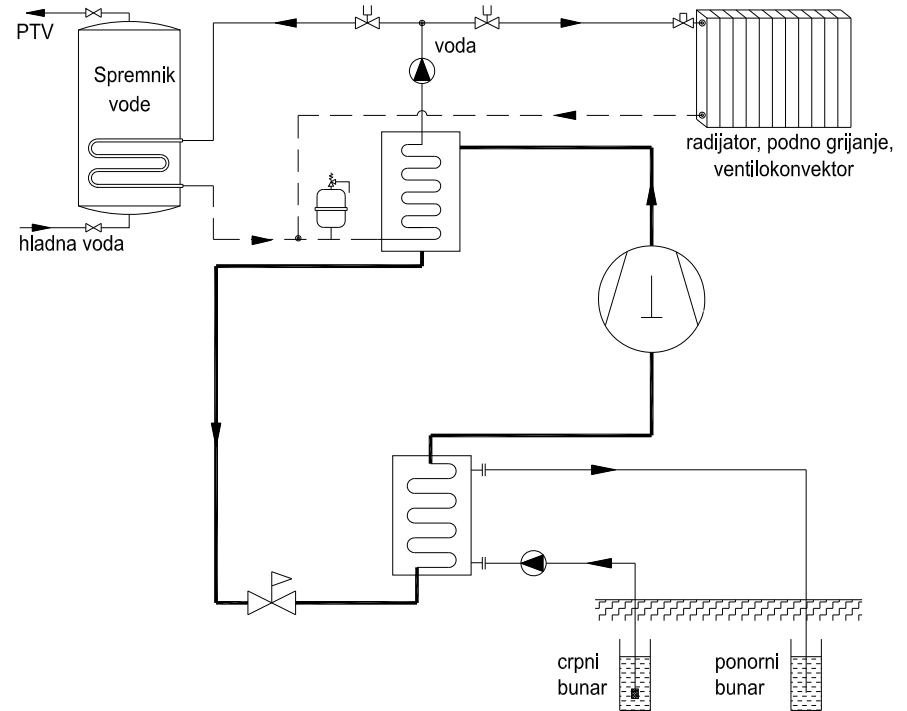
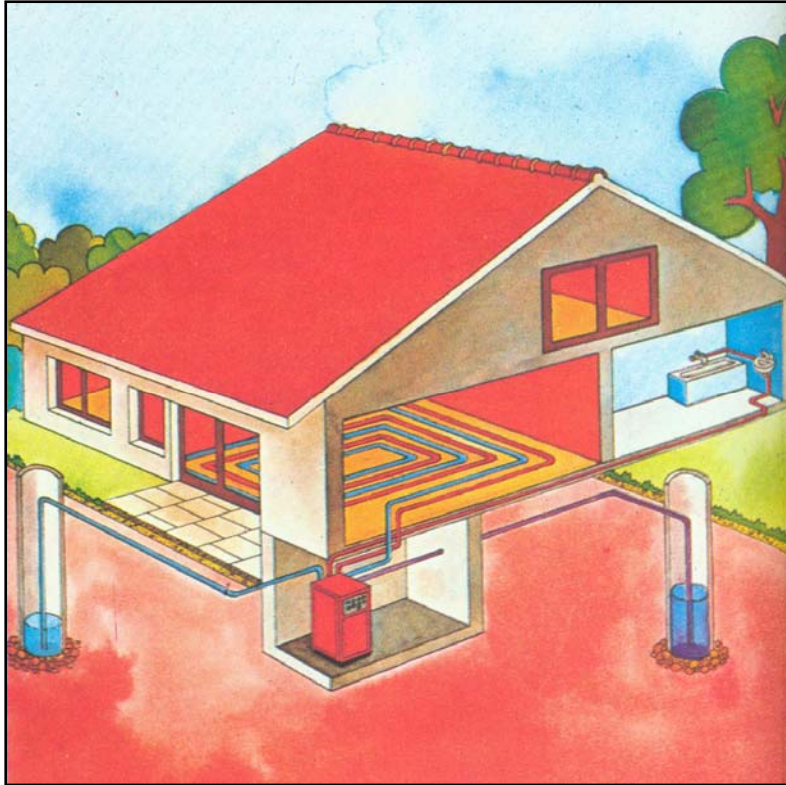
- Kod otvorenog sistema:

- Podzemna voda služi za hlađenje/grijanje i direktno se uvodi u izmenjivač toplote;
- Kritični režim je režim grijanja jer se podzemna voda hladi, pa ograničenje predstavlja temperatura smrzavanja vode;
- Kod hlađenja podzemna voda se grije u kondezatoru i postoji problem tzv. "termalnog" zagađenja;
- Pored termalnog zagađenja problem je i povećanje temperature podzemnih voda (uticaj upojnog bunara na usisni bunar)

Otvoreni sistem

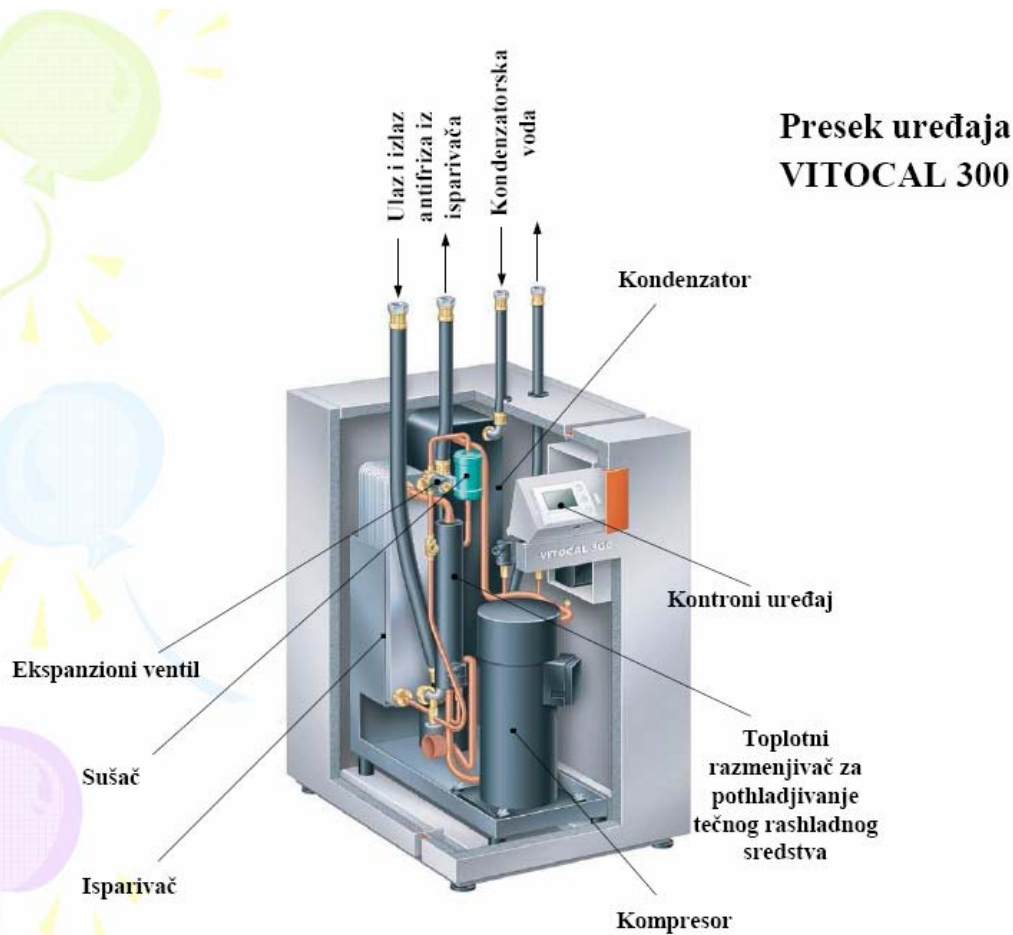


PODZEMNA VODA KAO IZVOR TOPLOTE



- Razmak između ovih bunara treba biti što je moguće veći, a po mogućnosti ne manji od 10 m;
- Pored grijanja prostora toplota iz toplotne pumpe se koristi i za pripremu sanitarnu tople vode;

KONSTRUKCIJA GEOTERMALNIH TOPLOTNIH PUMPI



Geotermalna toplotna pumpa VITOCAL 300

- Geotermalne toplotne pumpe su kompaktne izvedbe;
- Lako se montiraju u objektu;
- Imaju mogućnost za korišćenje otpadne toplote za pripremu sanitarne tople vode;

UGRADNJA TOPLOTNIH PUMPI



Kombinacija toplotne pumpe sa pripremom
sanitarne tople vode

PREDNOSTI KORIŠĆENJA GEOTERMALNIH PUMPI

- Geotermalne toplotne pumpe (GHP) koriste 25 - 50% manje energije u poređenju sa klasičnim toplotnim pumpama sa vazduhom kao izvorom toplote;
- Visok stepen iskorišćenja energije zemlje (COP = 3 - 4);
- Smanjenje emisije GHG gasova do 44% u poređenju sa vazduhom hlađenim toplotnim pumpama i čak 72% u poređenju sa sistemima za grijanje na struju;
- GHP su idealne za kontrolu vlažnosti (oko 50%) u područjima sa visokom vlažnošću;

PREDNOSTI KORIŠĆENJA GEOTERMALNIH PUMPI (2)

- Male dimenzije instalacije koja se nalazi iznad zemlje čini ih odličnim rješenjem za objekte gdje je prostor za smještanje opreme problem;
- Produženi vijek trajanja i visoka pouzdanost jer svi pokretni elementi instalacije su u objektu;
- Radni vijek cijevi u zemlji i garancija na njihov rad se kreće od 25-50 godina dok je vijek rada toplotne pume više od 20 godina
- Smanjena buka uslijed nepostojanja spoljašnje jedinice koja je kod klasičnih sistema vazduhom hladena i zahtijeva ventilator za obezbeđivanje prinudnog strujanja vazduha;

UŠTEDA EMISIJE GHG GASOVA

$$GHG = HL \left(\frac{FI}{\eta_{gor} \cdot 1000 \frac{kg}{ton}} - \frac{EI}{COP \cdot 3600 \frac{sec}{h}} \right)$$

HL (GJ/god.) - godišnje srednje opterećenje za grijanje ≈ 80 GJ/god. za moderne kuće;

FI (kg(CO₂)/GJ) - intezitet emisije GHG gasova za goriva (50 za gas, 73 za mazut i naftu);

η_{gor} - koeficijent efikasnosti kotla ($\approx 95\%$ za moderne peći)

COP - efikasnost toplotne pumpe ($\approx 2 - 3.5$);

EI - (ton(CO₂)/GWh) intezitet emisije GHG gasova od električne energije ($\approx 200-800$);

EMISIJE GHG GASOVA - svijet i mi

Godišnje smanjenje emisije GHG gasova korišćenjem geotermalnih toplotnih pumpi umjesto visokokvalitetnih kotlova na goriva i električnu energiju za samostalne objekte

Zemlja	Emisija CO ₂ od energetskih izvora	GHG uštede relativno u odnosu na		
		Prirodni gas	Lož ulje	Električno grijanje
Kanada	223 ton/GWh	2.7 ton/god	5.3 ton/god	3.4 ton/god
Rusija	351 ton/GWh	1.8 ton/god	4.4 ton/god	5.4 ton/god
USA	676 ton/GWh	-0.5 ton/god	2.2 ton/god	10.3 ton/god
Kina	839 ton/GWh	-1.6 ton/god	1.0 ton/god	12.8 ton/god
Crna Gora	693,08 ton/GWh	-0.60ton/god	1.33ton/god	11.35ton/god.

EKONOMSKA ISPLATIVOST

- Geotermalne pumpe karakteriše:
 - Visoki investicioni troškovi u poređenju sa komercijalnim toplotnim pumpama na vazduh;
 - Ekonomska isplativost isključivo i najviše zavisi od relativne razlike cijena fosilnih goriva i struje koji variraju značajno u različitim regionima svijeta;
 - Prema sadašnjim cijenama geotermalne toplotne pumpe imaju znatno niže operativne troškove u odnosu na bilo koji sistem za grijanje u skoro svim zemljama svijeta;

EKONOMSKA ISPLATIVOST (2)

- Prirodni gas je jedino gorivo koje je konkurentno korišćenju geotermalnih toplotnih pumpi i to samo ako je gas značajno jeftin ili struja značajno skupa;
- Generalno posmatrano vlasnik kuće može uštedjeti aproksimativno od 20 - 60% bilo gdje u svijetu, prelaskom sa klasičnog načina grijanja (gas, lož ulje, vazduhom hladene toplotne pumpe) na sistem sa geotermalnom toplotnom pumpom;

EKONOMSKI POKAZATELJI

Energent		€/kWh	
Električna energija	NT	0,05	
	VT	0,1	
Prirodni plin ($\eta = 0,94$)		0,031	0,29 €/m ³
Lož ulje (EL) ($\eta = 0,9$)		0,086	0,78 €/lit
Toplotna pumpa ($\varepsilon_g = 2,5$)	NT	0,022	
	VT	0,041	

- Cijena toplotne energije dobivene iz toplotne pumpe je 2 do 4 puta niža od one dobivene iz lož ulja, odnosno 0,7 do 1,3 cijene energije iz gasa.
- Nedostatak u njihovom radu je zavisnost od promjenjive temperature toplotnog izvora (npr. vazduha), koja znatno utiče na efikasnost sistema.
- U primorskom dijelu toplotna pumpa predstavlja idealno rješenje za potrebe hlađenja, grijanja i pripreme sanitarne tople vode

TROŠKOVI I PERIOD OTPLATE

Period otplate za instalirani system geotermalne toplotne pumpe za male rezidencijane objekte (100 - 200m²)

Zemlja	Period otplate prilikom prelaska na sistem sa geotermalnom toplotnom pumpom		
	Prirodni gas	Lož ulje/mazut	Električno grijanje
Kanada	13 godina	3 godina	6 godina
USA	12 godina	5 godina	4 godina
Njemačka	net loss	8 godina	2 godina

Napomene:

- Svi podaci jako zavise od cijene energije;
- U analize nijesu uključene subvencije Vlade;
- Nije procijenjen uticaj različitih klimatskoh zona;

KAPITALNI TROŠKOVI

- Kapitalni troškovi i vijek trajanja geotermalnih toplotnih pumpi su veći nego kod klasičnih rješenja toplotnih pumpi i mogu biti 2 - 5 puta veći u odnosu na klasična rješenja;
- Povraćaj investicija znatno varira od slučaja do slučaja i drastično zavisi od cijene energije;
- Procjene rađene u USA govore da cijena koštanja za sistem od 10 kW instalisane snage (jedan objekat za stanovanje od 100 - 180m²) košta od 8000 - 9000 USD (mjereno u vrijednosti USD iz 1995);

KAPITALNI TROŠKOVI (2)

- Mnogo svježije studije iz 2008 daju vrijednosti investicionih troškova od 14000 USD (USD iz 2008) za istu gore navedenu površinu kuće;
- Cijene ovakvih sistema se brzo mijenjaju u skladu sa brzim poboljšanjima efikasnosti i pouzdanosti koje su ostvarene u poslednjih 20-tak godina.
- S obzirom na velike kapitalne troškove ovakvi sistemi su znatno više isplativiji za velike poslovne zgrade i oštrije klime;

VIJEK TRAJANJA I ODRŽAVANJE

- Životni vijek geotermalnih pumpi je znatno veći od klasičnih rješenja za klimatizaciju;
- Neki od najranije ugrađenih sistema su u upotrebi od 25 - 30 godina sa propisnim održavanjem;
- Polja u kojima se zakopavaju izmjenjivački snopovi cijevi danas imaju uobičajeni garantovani vijek trajanja od 25 - 50 godina dok se očekuje da traju od 50 - 200 godina;
- Geotermalne pumpe koriste električnu energiju za pogon i povećane investicije se mogu vratiti kroz uštede za 2-10 godina kod rezidencijalnih sistema u USA.

VIJEK TRAJANJA I ODRŽAVANJE (2)

- U poređenju sa gasom ovaj period je znatno veći ali za velike sisteme vrijeme povraćaja je u USA je 1-5 godina čak i kada je gas u pitanju!
- U poređenju sa ostalim tehnologijama za najbolje iskorišćenje primarne energije geotermalne pumpe su odmah iza kogeneracije uprkos smanjenjima u efikasnost zbog:
 - Zemlja je ljeti toplija kada se vrši hlađenje (toplota se predaje zemlji);
 - Zimi je hladnija kada treba grijanje (od zemlje se uzima energija);
- Troškovi održavanja se kreću za komercijalne sisteme u USA od 11 - 22 USDcent/m²/god. Sto je znatno manje od 0.54 USDcent/m²/god. za klasične HVAC sisteme;

PRIMJER KORIŠĆENJA U CRNOJ GORI

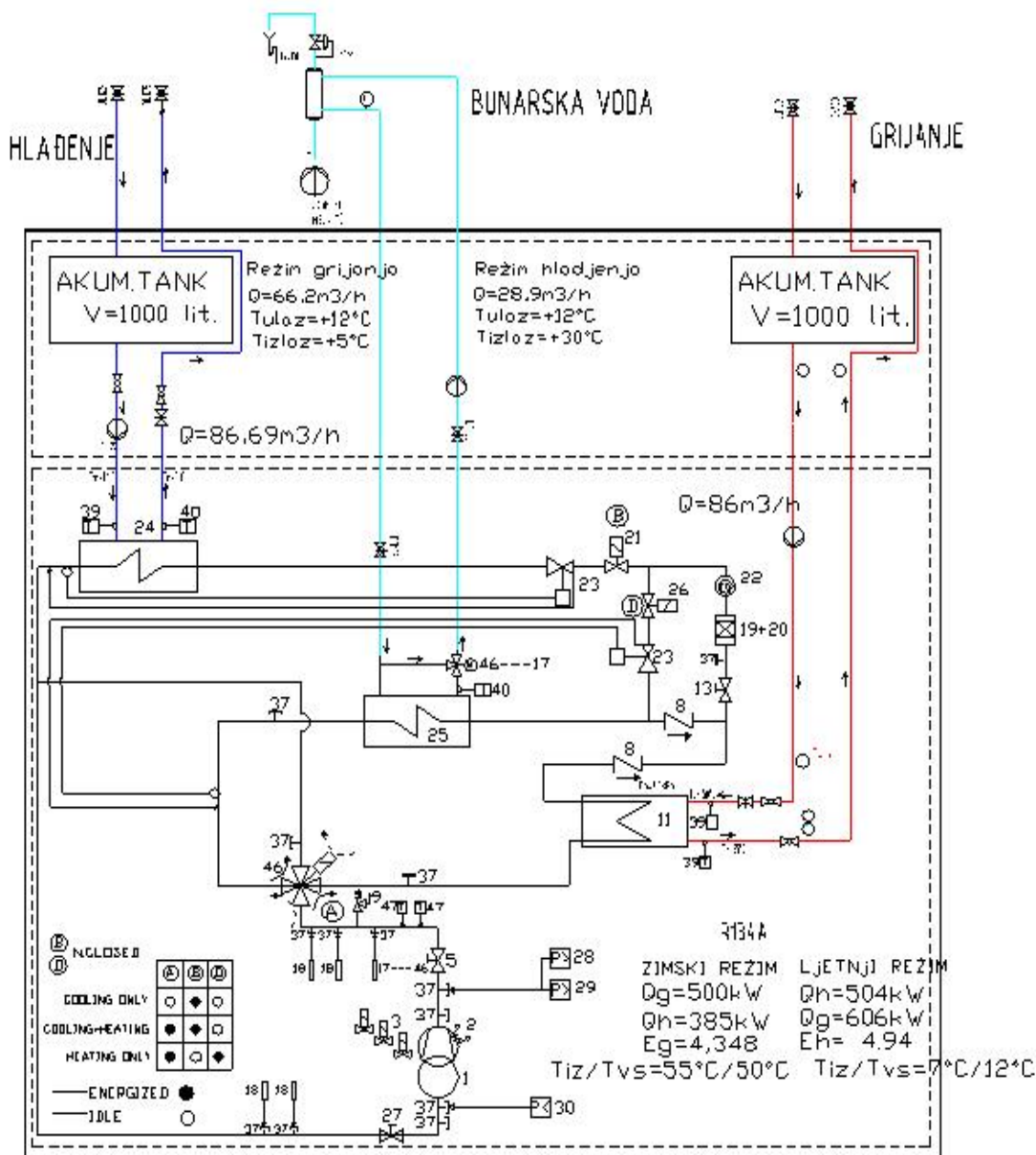


Poslovni objekat: EUROPOINT

Polifunkcionalna toplotna pumpa

- Osnovni izvor energije:
 - Podzemna voda (izvor izdašnosti 30 lit/s ~ 108 m³/h) temperature 12 - 14°C;
 - Ukupni potreban kapacitet za grijanje je 377 kW, za hlađenje 505 kW;
 - Potrebno je bilo omogućiti korišćenje "otpadne toplote" samog objekta u pojedinim zonama (polifunkcionalnost objekta);

HEMA RADA TOPLOTNE PUMPE



- Toplotna pumpa može da radi u tri režima (hlađenje, hlađenje + grijanje, grijanje)
- Postoje tri izmenjivača toplote (isparivač, kondenzator i bunarski hladnjak);
- Četvorokrakim ventilima upravljaju temperature povratnih voda na toploj i hladnoj grani;
- Dio tople vode se koristi za zagrijavanje sanitarne tople vode;
- Bunarski izmenjivač toplote treba veći protok zimi kada postoji opasnost od smrzavanja;
- Postoji mogućnost prebacivanja toplote iz "hladnog" u "topli" dio objekta i obrnuto;

IZAZOVI I DILEME PRI KORIŠĆENJU PODZEMNIH VODA

- Otvoreni sistemi imaju prednost jer:
 - Nema postavljanja izmenjivača toplote (cijevnih zmija) u zemlju koje zahtijevaju velika otkopavanja i relativno veliku površinu;
- Potencijalni problem može biti:
 - tzv. "termalno zagađenje" tj. ispuštanje vode čija je temperatura veća od temperatura podzemnih voda;
 - Izdašnost izvora koja lako može biti poremećena nekontrolisanom eksploatacijom podzemnih voda u slučaju da se otpadna voda ne vraća u podzemne već u nadzemne tokove;
 - Zagrijavanje podzemnih voda treba da bude u budućnosti tretirana kao i svako drugo zagađenje pa je potrebna regulativa o dozvoljenoj temperaturi vode koja se vraća u zemlju;

HVALA NA PAŽNJI!

?