

PRIRUČNIK

ZA UPOTREBU
GEOTERMALNE ENERGIJE
U
CRNOJ GORI



PRIRUČNIK ZA UPOTREBU GEOTERMALNE ENERGIJE U CRNOJ GORI

Autori

Dr. Nenad Kažić

Mr. Esad Tombarević

Savjet za ekološku gradnju Crne Gore

www.gbc.me

SAVJET ZA
EKOLOŠKU
GRADNJU
CRNE GORE



MONTE NEGRO
GREEN
BUILDING
COUNCIL

LEGEND projekat, akronim za “Low Enthalpy Geothermal Energy Demonstration cases for Energy” (Nisko-entalpijski geotermalni energetski demonstracioni sistemi za energetski efikasnu gradnju u Jadranskom području), je projekat sufinansiran od Evropske Unije iz IPA Jadranskog Programa prekogranične saradnje 2007 -2013.

Sadržaj ove publikacije predstavlja stav autora i ni u kom slučaju ne predstavlja stavove Evropske Unije.

<http://www.legend-geothermalenergy.eu/me/>

<http://www.legend-geothermalenergy.eu>



Projekat ko-finansira
Evropska Unija

James Collins, Predsjednik Savjeta za ekološku gradnju Crne Gore

“Kao udruženje firmi i drugih organizacija uključenih u izgradnju i razvoj građevinskog sektora, Savjet za ekološku gradnju Crne Gore u potpunosti podržava koncept LEGEND projekta, zbog čega smo sa zadovoljstvom učestvovali na projektu kao jedina nevladina organizacija. Nas zadatak u okviru projekta je bio da vodimo sveobuhvatno istraživanje tržišta, da utvrdimo razloge i ispitamo prepreke zbog kojih se ova tehnologija više ne koristi, kao i da damo preporuke za prevazilaženje tih prepreka. Mi smo obradili prvenstveno komercijalne aspekte funkcionisanja ovog tržišta, što je bilo u skladu sa našim pristupom ovom problemu. Ovaj priručnik sledi ideje i zalaže se za energetsku efikansost koja je ekonomski isplativa – što je bila svrha i cilj LEGEND projekta.“

“Opština Danilovgrad je prihvatile LEGEND projekat kao izvrsnu priliku da renovira glavni javni objekat - zgradu Kulturnog centra. Nedostatak isplativog sistema grijanja ograničavao je njegovu upotrebu u zimskom periodu. Isto tako, potpuno odsustvo rashladnog sistema uticalo je na činjenicu koliko je zgrada mogla biti korišćena u ljetnim mjesecima. Nus prostorije u zradi su bile prazne, zbog čega je donesena odluka da se putem LEGEND projekta kompletno renovira i modernizuje cijela zgrada. Za uspješnu realizaciju ovog poduhvata u vrlo kratkom roku zaslužni su veliki napori svih uključenih u planiranju i realizaciji projekta.“

ČLANOVI GBC ME:



“GEOMONT” d.o.o. BUDVA
Dubovica bb; E-mail: geomont @ t-com.me



Sadržaj

- 1. O LEGEND projektu**
- 2. Šta je geotermalna energija (GTE)?**
- 3. Predrasude i činjenice o GTE**
- 4. Šta je GSHP**
- 5. Tipovi i karakteristična rešenja GCHP**
- 6. Uticaj na okolinu**
- 7. Ekonomski razlozi za i protiv korišćenja GCHP**
- 8. Klimatske podloge u MNE**
- 9. Normativno okruženje u MNE**
- 10. Geotermalna energija u Crnoj Gori**
- 11. ‘Korak-po-korak’ postupak ka realizaciji GCHP sistema**
- 12. Analiza slučaja: konverzija Kulturnog centra Danilovgrad za korišćenje GCHP kao primarnog izvora energije za grijanje i hlađenje**
- 13. Preporuke za korišćenje geotermalne energije u Crnoj Gori**

Skracénice

COP	(Coefficient Of Performance)	Koeficijenat efikasnosti toplotne pumpe (grijanje)
EER	(Energy Efficiency Ratio)	Koeficijenat efikasnosti rashladnog uređaja (hlađenje)
HGTE	(Hygh temperature Geothermal Energy)	Visokotemparaturna geotermalna energija
HP	(Heat Pump)	Toplotna pumpa
HDPE	(High Density Polyethylene)	Polietilen visoke gustine
HVAC	(Heating, Ventilating, Air-Conditioning)	Grijanje, Ventilacija, Klimatizacija
GCHP	(Ground-Coupled Heat Pump)	Toplotna pumpa u spremi sa zemljom
GHE	(Ground Heat Exanger)	Podzemni razmjjenjivač toplote
GHPHE	(Ground Heat Pump Heat Exanger)	Razmjjenjivač toplote geotermalne pumpe
GHP	(Geothermal Heat Pumpe)	Geotermalna toplotna pumpa
GTE	(Geothermal Energy)	Geotermalna energija
GSHP	(Ground Source Heat Pump)	Geotermalna toplotna pumpa
GWHP	(Ground-water heat pump systems)	Geotermalna toplotna pumpa sa podzemnom vodom
LGTE	(Low temperature Geothermal Energy)	Niskotemparaturna geotermalna energija
SWHP	(Surface-Water Heat Pump System)	Toplotne pumpe sa površinskom vodom

1. O LEGEND projektu

Na osnovu rezultata GEO.POWER, VIGOR i SEA-R projekata, LEGEND, akronim za Low Enthalpy Geothermal Energy Demonstration Cases for Energy Efficient building in Adriatic area – Nisko-entalpijski geotermalni energetski demonstracioni sistemi za energetski efikasnu gradnju u Jadranskom području, je evropski projekat sufinansiran iz IPA Jadranskog Programa prekogranične saradnje. Projektom rukovodi italijanska opština Ferrara koja ima 30 godina prakse i iskustva u upotrebi geotermalne energije i razvoju svijesti kod građana o ovom izvoru energije.

Opšti cilj projekta je promocija koncepta energetske efikasnosti i koristi nisko-entalpijske geotermalne energije na jadranskom području kroz:

- 10 demonstracionih sistema koristeći GCHP (Ground Coupled Heat Pumps – geotermalne toplotne pumpe) u javnim zgradama u Italiji, Hrvatskoj, Albaniji, Crnoj Gori i Bosni i Hercegovini;
- SWOT analiza pred-investicija i Life Cycle Analysis metoda kao podrška administraciji u izboru najefektivnijih i po okolinu najpogodnijih tehnologija toplovnih pumpi;
- Tematske radionice za povećavanje znanja među javnim i privatnim stakeholderima o najreprezentativnijim i najboljim praksama u GCHP tehnologiji na evropskom nivou za stambene, javne i industrijske zgrade;
- Tehničke seminare za širenje znanja u GCHP tehnikama i sposobnostima svih bitnih aktera (energetski menadžeri i specijalizovani stakeholderi iz javnog i privatnog sektora);
- Političke i tehničke memorandume i smijernice za harmonizovanje normativnog okvira, poboljšanje razumjevanja prednosti GCHP i promovisanje investicija u geotermalnu energiju u javnom i privatnom sektoru.



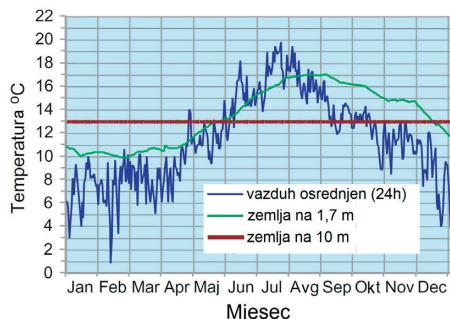
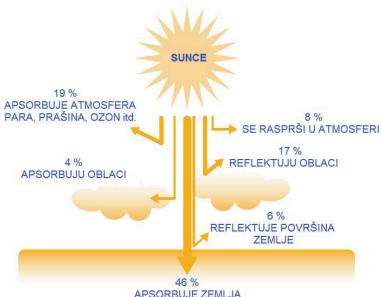
2. Šta je geotermalna energija (GTE)?

Geotermalna energija (GTE) je energija koja se nalazi u zemljinoj kori. Odakle ta energija u zemlji? Danas preovladjuje stanovište da geotermalna energija ima dva izvora: proces raspadanja radioaktivnih elemenata u zemlji i apsorpciju energije Sunca. U principu treba razlikovati dva tipa geotermalne energije (GTE):

- a. Visoko-temperaturna (HGTE), nastala kao posledica stvaranja vodene pare pod velikim pritiscima u utrobi zemlje,
- b. Nisko-temperaturna (LGTE) koja je rezultat apsorbovane solarne energije u zemlji.

U daljem tekstu, pod geotermalnom energijom (GTE) podrazumijevaće se LGTE, dakle obnovljiva energija koja se generiše u zemlji usled uticaja Sunca.

Zemlja apsorbuje gotovo 50% sunčeve energije, zagrijavajući zemlju po dubini. Velika akumulaciona sposobnost zemlje "pegla" oscilacije temperature spoljnog vazduha. Amplitude ovih kolebanja se po dubini smanjuju, odnosno na samoj površini zemlje one prate spoljni vazduh. Na većoj dubini (6 -10 m) temperatura zemlje(10 -15 C) je skoro nepromjenljiva, odnosno na toj dubini zemlja je toplija zimi a hladnija ljeti u odnosu na samu površinu zemlje.

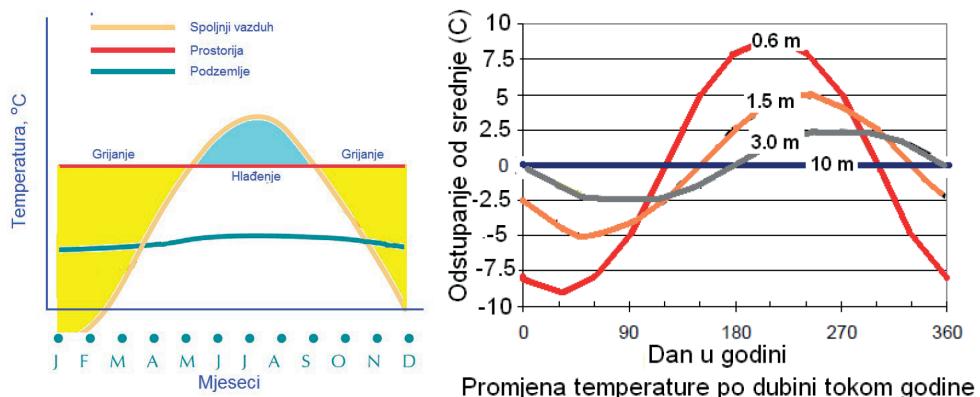


Na dubini od oko 6 - 10 m, vlada konstantna temperatura koja je jednaka srednjoj godišnjoj temperaturi vazduha, dok sama površina zemlje prati temperaturu vazduha tokom godine. Temperatura podzemnih voda je negdje oko ovih vrijednosti.

Počev od dubine 130 m temperatura zemlje raste za po 1 °C na svakih 60 m. Naš osjećaj komfora koji se ogleda kroz temperaturu vazduha prostora u kome boravimo ($t_u \sim 20 \text{ } ^\circ\text{C}$), je "udaljen" od temperature spoljnog vazduha tokom godine $\sim \pm 15 \text{ } ^\circ\text{C}$, dok je u odnosu na temperaturu zemlje $\sim +5$ do $+10 \text{ } ^\circ\text{C}$.

Kao posledica akumulacionog efekta zemlje, amplitudne oscilacije temperature zemlje se po dubini prigušuju, sa jedne strane, a sa druge strane se fazno pomjeraju u odnosu na temperaturu vazduha. Na površini, temperatura zemlje prati temperaturu vazduha pa je temperatura zemlje i vazduha približno ista, a oscilacije su u fazama. Kako idemo dublje, temperaturne amplitudne se smanjuju i povećava se fazni pomak-kašnjenje za temperaturom spoljnog vazduha.

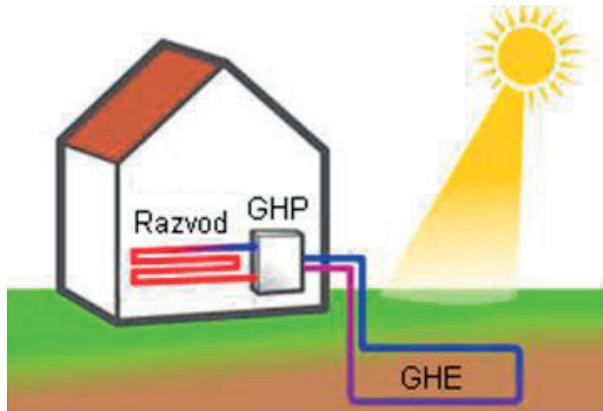
Na ovaj način raspolažemo akumuliranim solarnom energijom, ali na relativno niskoj temperaturi (oko 15 °C). Dakle na nižem temperaturnom potencijalu od prostora u kome boravimo (20 °C).



Kako toplota sama od sebe ne može preći sa niže na veću temperaturu, potrebno je zimi koristiti toplotnu pumpu (GHP) koja bi "pumpala" toplotu sa niže na višu temperaturu.

Tokom ljeta, kada imamo potrebu za hladnjanjem, nemamo taj problem, jer je boravišni prostor na većoj temperaturi od podzemlja. Dakle toplota bi mogla sama od sebe da se prostire ka dubini zemlje i hlađi boravišni prostor. Međutim, da bi povećali intezitet procesa koristimo toplotnu pumpu (GHP), ali kao rashladni uredjaj.

Posrednik između toplotne pumpe i zemlje je „podzemni razmjenjivač toplote“ (GHE) koji može imati različitu formu:



- a. u slučaju „zatvorenih sistema“ GHE čine plastične cijevi u zemlji kroz koje struji radni fluid (voda).
- b. u slučaju „otvorenih“ sistema GHE je sama zemlja sa kojom je radni fluid (voda) u direktnom kontaktu.

3. Predrasude i činjenice o GTE

A. GTE ne predstavlja obnovljivi izvor energije jer je za njeno korišćenje potrebna dodatna upotreba električne struje?

Činjenica: Tačno je da se koristi električna energija, ali utrošak 1kWh električne energije obezbjedjuje 4-5 kWh GTE za grijanje i hladjenje objekata.

B. Korišćenje GTE zahtijeva veliku površinu zemljišta oko objekta za polaganje polietilenskih cijevi u zemlju?

Činjenica: Uslovno rečeno, to je tačno samo ako se radi o horizontalnom polaganju polietilenskih cijevi u zemlju. Međutim to nije slučaj ako se koriste vertikalne bušotine za polaganje cijevi, a pogotovo ako se koriste vertikalne bušotine za korišćenje podzemnih voda.

C. Sistemi u kojima se koristi GTE su vrlo bučni?

Činjenica: Naprotiv, tiki su jer nema aerodinamičke buke ventilatora.

D. Geotermalni sistem se „troši“?

Činjenica: Mehanička oprema u ovim sistemima u principu traje decenijama (20 – 25 g) jer se obično nalazi u zatvorenim prostorijama. Instalacija u zemlji traje još mnogo duže kada je pravilno projektovana (25 do 50 g). Tako, eventualna zamjena usled istrošenosti, odnosi se samo na zamjenu mehaničke opreme dok podzemni dio ostaje isti. To je svakako jeftinije nego zamjena svega kao u alternativnim sistemima.

E. GTE služi samo za grijanje?

Činjenica: GTE je ustvari pogodnija za hladjenje nego za grijanje. Nekada se projektanti odlučuju da za špic grijanja predvide alternativni dodatni izvor energije da bi umanjili trošak na zemljane GTE radove.

F. GTE sistemi zahtijevaju velike količine rashladnog fluida (freona) zbog dužina cijevi u zemlji?

Činjenica: Većina sistema koristi samo vodu kao posrednika između zemlje i opreme.

G. GTE „otvoreni“ sistemi koriste puno vode?

Činjenica: GTE sistemi u stvari „ne troše“ vodu. Današnja rešenja vraćaju vodu u zemlju odakle je i uzeta. Za razliku od rešenja sa rashladnim kulama gdje velike količine vode isparavaju, ovdje se voda u cjelini vraća, dakle ne troši se.

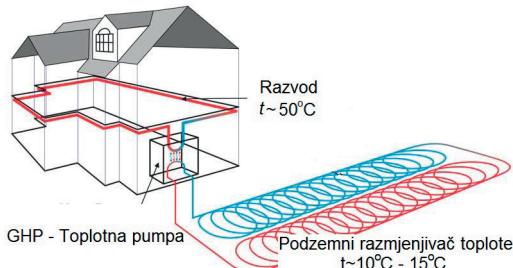
H. Instalacije HVAC sa GTE su nekonkurentne u smislu cijene u odnosu na klasične sisteme?

Činjenica: Cijena klasične HVAC instalacije je reda 1000 EUR/kW, dok je cijena HVAC>E negdje oko 1500 – 3000 EUR/kW, zavisno od rešenja. Cijena rešenja sa „otvorenom petljom“ (koriste podzemnu vodu koja se nakon korišćenja u HVAC vraća u zemlju) je u velikoj mjeri konkurentna klasičnim instalacijama HVAC.

4. Šta je GSHP (Ground Source Heat Pump)

Da bi se iskoristila energija koja je u zemlji na relativno niskoj temperaturi $+10^{\circ}\text{C}$ – $+15^{\circ}\text{C}$, potrebno ju je prebaciti na veću temperaturu koja vlada u razvodnom sistemu objekta ($\sim +50^{\circ}\text{C}$). Kako

se radi o topotli koja ne može sama od sebe preći sa niže na višu temperaturu potrebna je, kao u hidraulici kod prepumpavanja vode sa nižeg na viši nivo, neka vrsta pumpe koja će, trošeći električnu energiju, „prepumpati“ topotlu sa 10°C na 50°C . Takav uredaj se naziva „Topotna Puma“ (TP ili HP).



Kada TP prebacuje geotermalnu topotlu iz zemlje na viši nivo, to se naziva GHP ili GSHP.

Najčešće GHP služi i za hladjenje objekta, odnosno služi kao Rashladni Uredaj (RU). U tom režimu GHP samo pojačava prirodni tok topote od toplijeg objekta ka hladnijem podzemlju. Takođe postoje rešenja gdje se objekat hlađi direktno vodom iz podzemlja bez posredovanja GHP-RU.

Dva su karakteristična režima rada GHP:

a. *Grijanje*

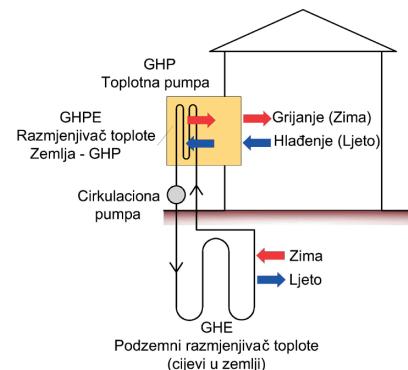
Tokom zime podzemni razmjenjivač topote oduzima topotlu zemlji, i pomoću razmjenjivača topote GPHHE predaje je topotnoj pumpi koja je prebacuje na višu temperaturu razvodnog-distributivnog sistema.

b. *Hlađenje*

U ovom režimu rada topotna pumpa radi kao rashladni uredaj: topota iz objekta prelazi na GTP-RU, i preko razmjenjivača GPHHE, odnosno GHE, prebacuje se na zemlju.

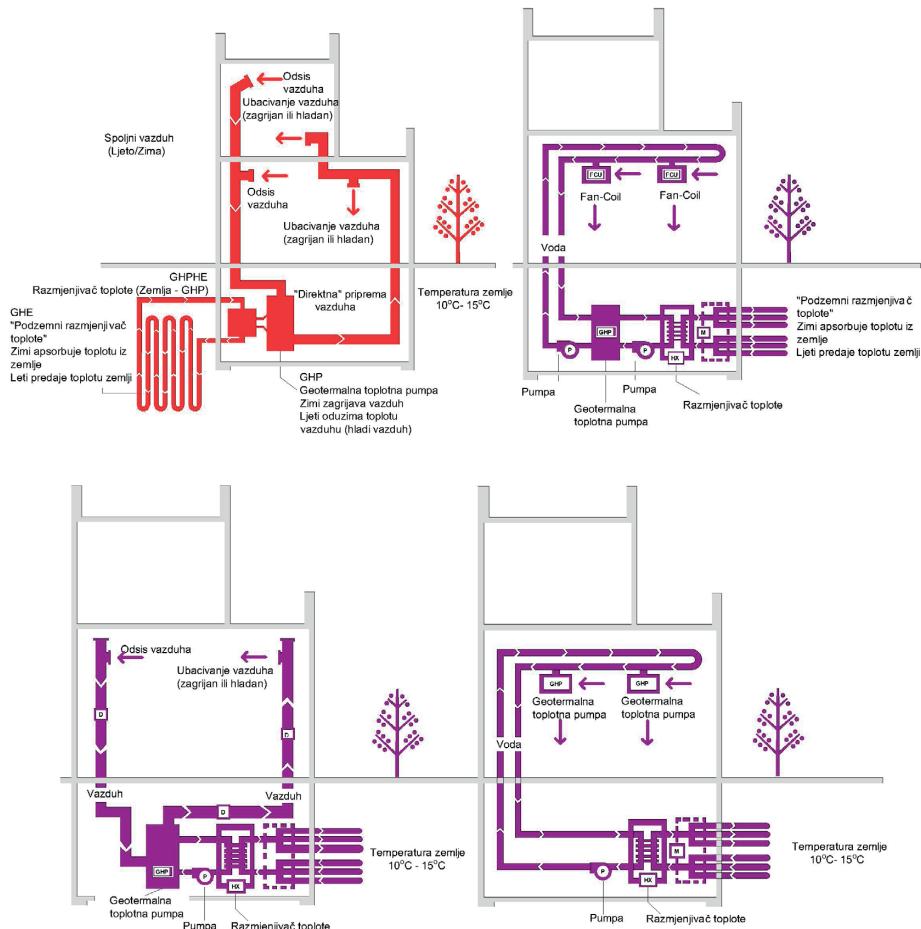
Kao posrednik između GHP i zemlje služe polietilenske cijevi u kojima je najčešće voda. Ako postoji opasnost od zamrzavanja, kao radni fluid u podzemnom cirkulacionom krugu se koristi mješavina vode i antifriza.

Kao posrednik u distribuciji energije od GHP ka objektu koristi se voda ili vazduh. U slučaju vode, koriste se razna grejna tijela. Ako se radi o vazduhu, on se može pripremati neposredno („direktno“) u GHP ili u klima komori do koje se vodenim cirkulacionim krugom dovodi energija.



Na slici su prikazani neki tipovi distributivnih sistema u objektu.

GSHP - Distributivni sistemi



5. Tipovi i karakteristčna rešenja GSHP

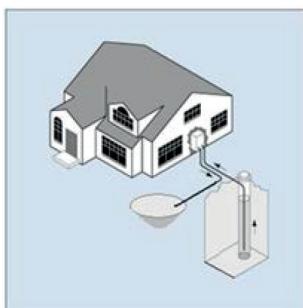
Sistemi sa geotermalnim toplovnim pumpama se mogu sistematizovati u tri kategorije, zavisno od izvora/ponora toplote. To mogu biti:

- A. podzemne vode
- B. površinske vode
- C. zemlja

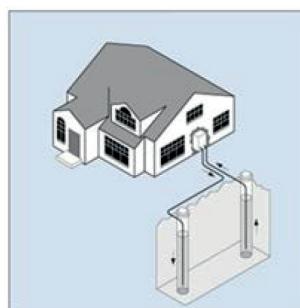
A. Sistemi koji koriste podzemnu vodu kao izvor/ponor toplote

Sistemi koji koriste podzemnu vodu (ground-water heat pump systems, GWHP) se često zovu i "sistemi sa otvorenom petljom" (open loop system) ili "otvoreni sistemi".

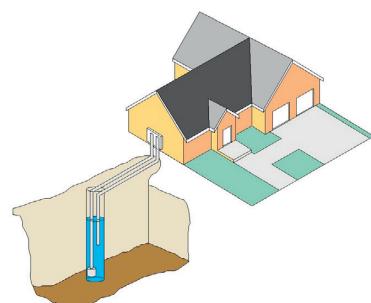
Otvoreni sistem a.



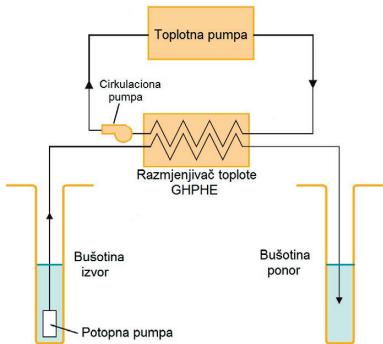
Otvoreni sistem b.



Voda se pomoću pumpe crpi iz bunara i dovodi do razmjenjivača toplote u toplovnoj pumpi. Često je neophodna antikorozivna zaštita ukoliko je podzemna voda lošeg hemijskog kvaliteta, odnosno agresivna. Iskorišćena voda se ispušta u upojni bunar-bušotinu (slika b), u površinske vode (slika a) ili u kanalizaciju. Prilikom projektovanja treba voditi računa o raspoloživosti podzemnih voda, njihovom hemijskom kvalitetu i načinu ispuštanja. Osnovne prednosti otvorenih sistema su: relativno niska cijena, jednostavnost i mala potrebna površina zemljišta u odnosu na ostale geotermalne sisteme. Nedostatak predstavlja to što u nekim regionima podzemne vode nisu na raspolaganju u dovoljnoj količini ili ih uopšte nema, a takođe problem može da bude i loš hemijski kvalitet podzemnih voda. U cilju zaštite životne sredine, u poslednjih nekoliko decenija, u mnogim zemljama su doneseni propisi koji definisu uslove za korišćenje podzemne vode u ove svrhe.



Ovoj kategoriji pripada i sistem u kojem ista bušotina ima ulogu i napojnog i upojnog bunara (standing column well). Kod ovog sistema voda se pomoću napojne cijevi uzima sa veće dubine i nakon prolaska kroz razmjenjivač toplote geotermalne toplotne pumpe, vraća se povratnom vodom u istu bušotinu, ali na manju dubinu.



Ovo omogućava direktni kontakt vode sa tlom i prodror podzemnih voda cijelom dužinom bušotine. Bunarska bušotina je obično prečnika do 15 cm i dubine do 500 m.

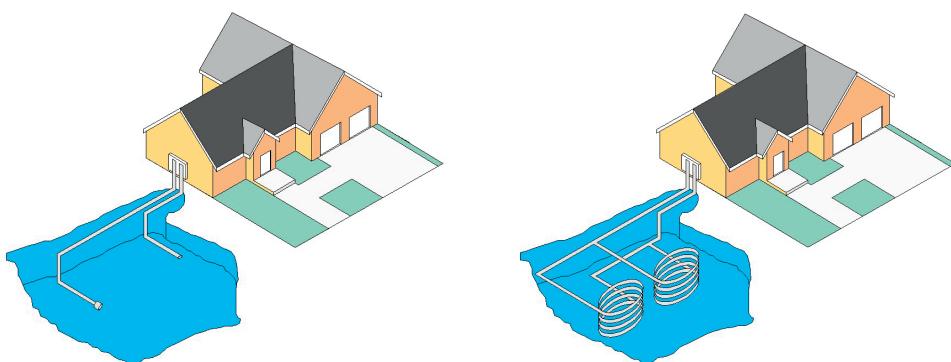
Kod otvorenih sistema gdje se voda ponovo vraća u zemlju, tj. upojnu bušotinu, zbog problema koji su posljedica asimetrije u hidraulici, nekada se za svaku napojnu bušotinu izvode po dvije upojne.

Kod otvorenih sistema je veoma značajno dimenzionisanje i korišćenje što efikasnije potopne pumpe jer njen rad značajno utiče na integralnu efikasnost instalacije GHP, pogotovo ako je nivo vode na dubini >30 m.

Isto tako, nečistoće iz ovog primarnog kruga podzemne vode treba što efikasnije uklanjati jer mogu da dovodu do oštećenja razmjenjivača toplote GHPHE.

B. Sistemi koji koriste površinske vode kao izvor/ponor toplote

Sistemi sa toplotnom pumpom koji koriste površinske vode kao izvor/ponor toplote (Surface-Water Heat Pump System, SWHP), mogu da budu zatvorenog i otvorenog tipa. Kod sistema zatvorenog tipa, razmjena toplote se odvija preko fluida koji struji kroz cijevi od polietilena visoke gustine, i koje su postavljene na odgovarajućoj dubini u jezeru, rezervoaru ili otvorenom kanalu.



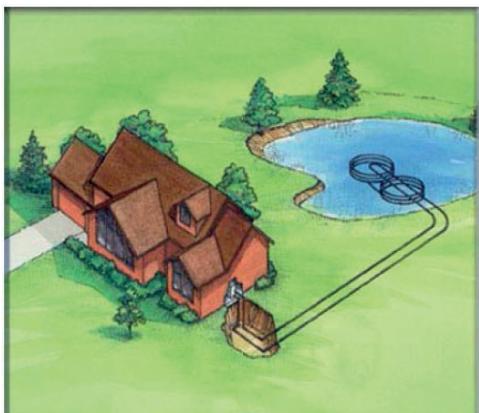
Cijevi su obično prečnika $\frac{3}{4}$ " do $1\frac{1}{2}$ ", dužine u skladu sa zahtjevima (30 – 100 W/m) i zavisno od klimatskih uslova.

Kod otvorenih sistema, potrebna količina površinskih voda se propušta kroz razmjenjivač toplote topotne pumpe i ispušta u odgovarajući prijemnik. Prednosti sistema koji koriste površinske vode kao izvor/ponor toplote je niska investicija i mogućnost direktnog hlađenja.

Neki od nedostataka su:

- * fluktuacija temperature površinskih voda u širokom intervalu, što utiče na efikasnost
- * kod velikih instalacija potrebne su veće količine vode
- * cijevi postavljene u vodi mogu da predstavljaju problem npr. za ribolov i sl.

- Najekonomičnija varijanta zatvorenog sistema
- Dubina vode 3.5-4.5 m (min)
- Dužina cijevi - 10 m/kW (min) (cijevi u namotaju)
- Kapacitet 10 - 20 W/m vodene površine



C. Sistemi koji koriste zemlju kao izvor/ponor toplote

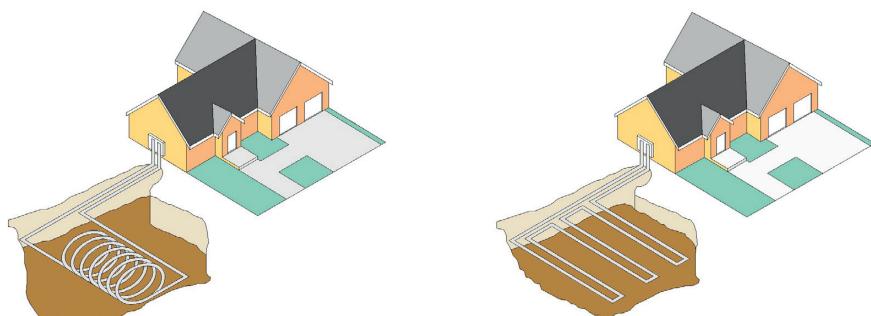
Sistemi koji koriste zemlju kao izvor/ponor toplote (ground-coupled heat pump systems, GCHP) su zatvorenog tipa. Osnovna prednost u odnosu na bunarske otvorene sisteme je ta što se na ovaj način eliminišu problemi vezani za loš hemijski sastav i mali protok podzemnih voda. Sistemi ovog tipa mogu da se izvode na svim lokacijama gdje je bušenje i prekopavanje zemlje tehnički izvodljivo.

Kod ovih sistema, razmjena toplote se vrši preko fluida koji struji kroz cijevi koje su ukopane u zemlju. Fluid za razmjenu toplote je najčešće čista voda ili rastvor antifrina. Obično se koriste cijevi od polietilena visoke gustine (high density polyethylene - HDPE). Cijevi se obično postavljaju u horizontalnim kanalima i u vertikalnim bušotinama pa zavisno od toga zatvoreni sistemi mogu da budu horizontalni i vertikalni.

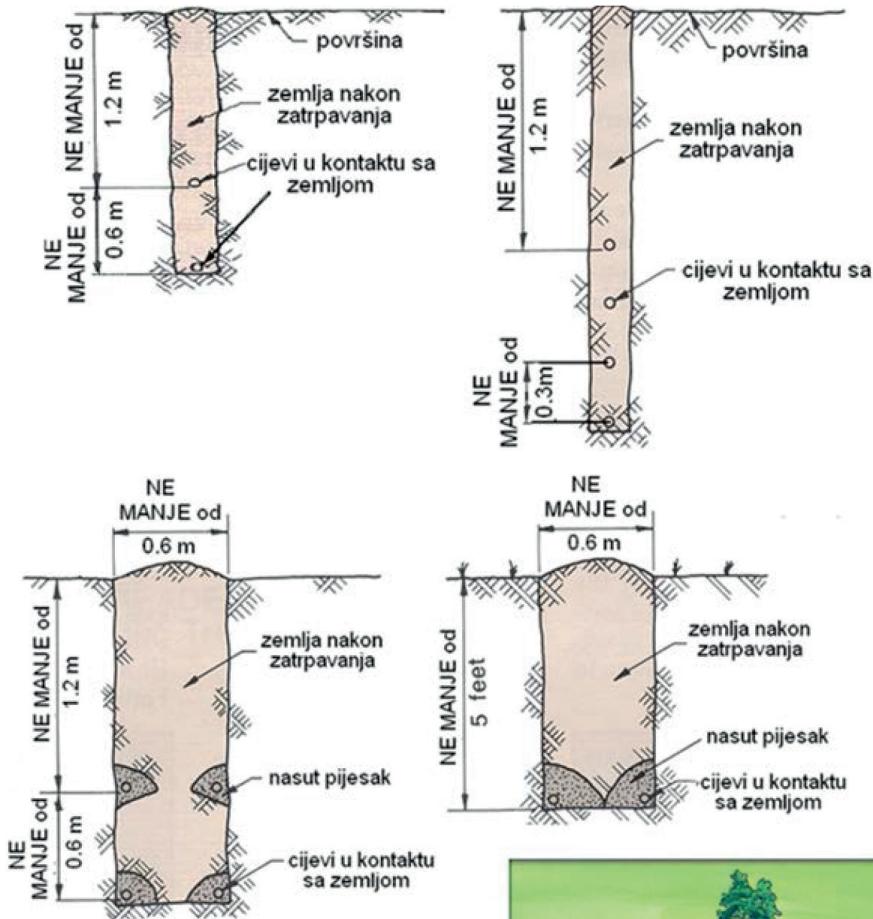
U ovoj varijanti toplota koja se razmjenjuje izmedju cijevi i zemlje je oko $30 - 50 \text{ W/m}$ (veće vrijednosti su u načelu za vertikalnu varijantu).

C1. Horizontalni sistemi

Kod horizontalnih sistema (horizontal ground-coupled heat pump systems), podzemni razmjenjivač toplote (GHE) se obično sastoji od niza paralelno ili redno povezanih cijevi, prečnika od $\frac{3}{4}''$ (DN 20) do $1\frac{1}{2}''$ (DN 40) položenih na dubini od 1 do 2m. Mogući su različiti načini postavljanja cijevi.



Iako je instalacija horizontalnih sistema jednostavna i relativno jeftina, oni imaju i svoje nedostatke. Prije svega potrebna je veća površina tla, koja nije uvijek na raspolaganju. Kako su horizontalni razmjenjivači toplote (GHE) postavljeni blizu same površine tla, njihov rad je više pod uticajem vremenskih prilika i fluktuacija spoljašnje temperature vazduha. Poslijedica ovoga su veće fluktuacije temperature fluida unutar sistema pa samim tim i manja efikasnost toplotne pumpe. Takođe, zbog veće dužine cijevi u odnosu na vertikalne sisteme, veća je potrošnja energije cirkulacionih pumpi.

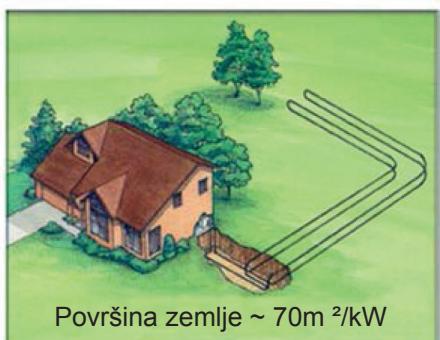


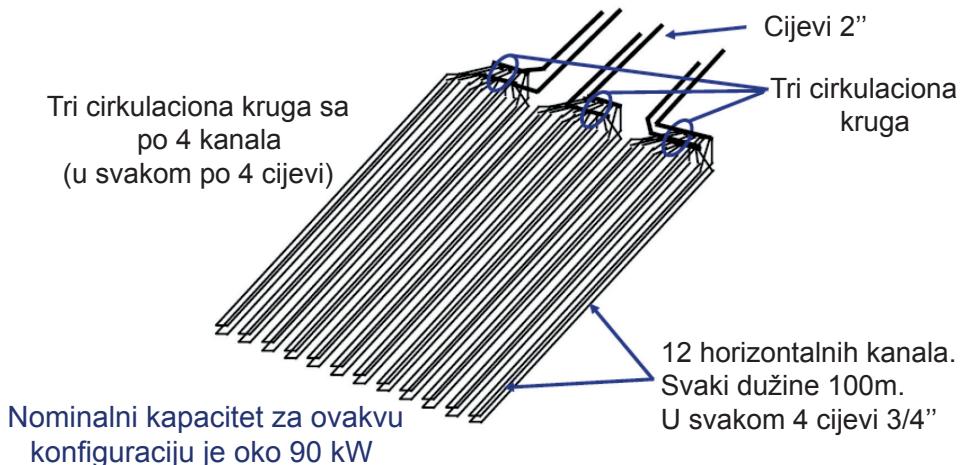
Karakteristični parametri po 1 kW

*Dužina kanala (1 cijev) ~ 25 m

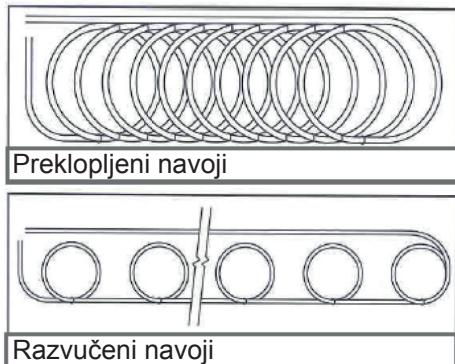
*Ukupna dužina cijevi (do i nazad) ~ 50m

Zatvoreni sistemi - preporučena dispozicija horizontalno položenih cijevi u zemlji





Spiralne horizontalne petlje



■ Tipični parametri po 1 kW

*Dužina kanala ~ 11m

*Ukupna dužina cijevi (do i nazad) 65m



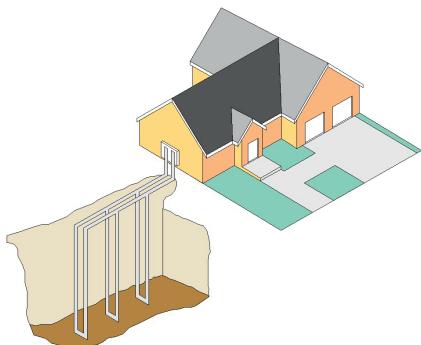
Skorija istraživanja su fokusirana i na mogućnost korišćenja horizontalnih sistema kao dodatnog razmjenjivača toplote za vertikalne sisteme.

Horizontalnim sistemima je posvećena mnogo manja pažnja u odnosu na vertikalne. Jedan od razloga je što su vertikalni sistemi prikladni za velike instalacije jer je potrebna mnogo manja površina za njihovo postavljanje.

Sa druge strane, prednost horizontalnih sistema je i to što se postavljaju na manjim dubinama, pa se toplotne karakteristike tla mogu lakše odrediti. Takođe, zbog relativno niske cijene izvođenja horizontalnih sistema, čak i kada bi se projektom značajno predimenzionirao razmjenjivač toplote, to ne bi bitno uticalo na početnu investiciju od koje zavisi isplativost projekta.

C2. Vertikalni sistemi

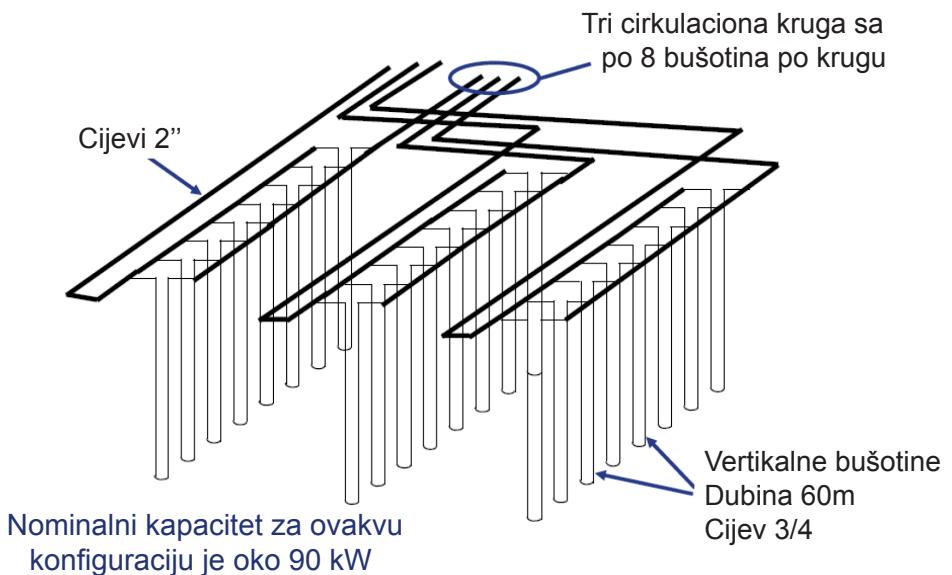
Kod vertikalnih sistema sa bušotinama (vertical borehole ground-coupled heat pump systems), razmjenjivač topote u zemlji čini jedna ili čak nekoliko desetina vertikalnih bušotina u kojima su postavljene jedna ili dvije cijevi savijene u obliku slova U, kroz koje struji fluid-voda. Međusobno povezivanje bušotina može da se izvede na različite načine (paralelno, redno ili kombinovano). Koriste se cijevi prečnika od $\frac{3}{4}$ " (DN 20) do $1\frac{1}{2}$ " (DN 40). Bušotine su obično prečnika od 3" do 5" (DN 80 do DN 125) i dubine do 100 m. Bušotina se nakon postavljanja U cijevi popunjava materijalom koji sprječava kontaminaciju podzemnih voda. Da bi međusobni uticaj bušotina bio što manji, preporučuje se da rastojanje između bušotina bude 4.5 do 8m.



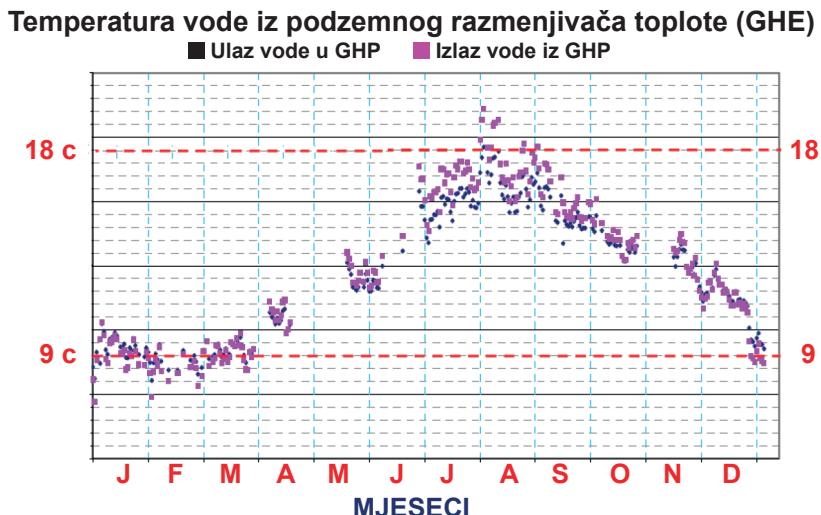
Prednost vertikalnih sistema sa bušotinama u odnosu na horizontalne su:

- * potrebna je manja površina tla,
- * temperatura tla kao izvora/ponora topote je približno konstantna,
- * potrebna je manja dužina cijevi, tako da je manja potrošnja energije cirkulacionih pumpi.

Najveći nedostatak vertikalnih sistema sa bušotinama u odnosu na horizontalne je visoka cijena instalacije zbog skupe opreme koja je potrebna za bušenje tla.

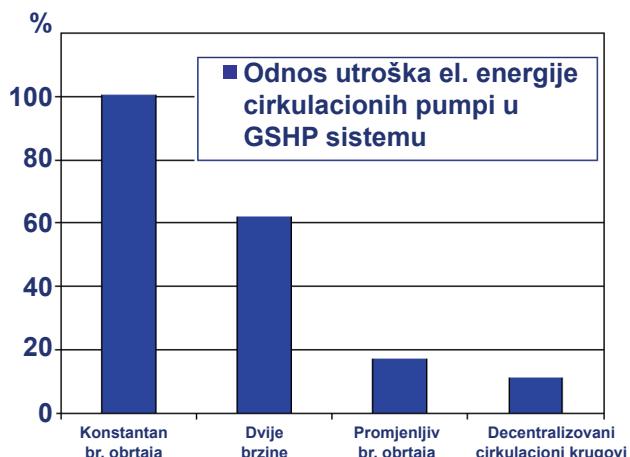


Na slici je prikazana promjena temperature vode na izlazu i ulazu iz podzemnog razmenjivača topline, odnosno na ulazu i izlazu iz toplothe pumpe, izmjerene na jednom izvedenom objektu (zatvoren sistem)..



5.1 Uticaj cirkulacionih pumpi u GSHP sistemima

Postoji pravid da utrošak energije cirkulacionih pumpi nema neki veći uticaj na ukupni energetski bilans klimatiziranog objekta. Međutim istraživanja pokazuju da to može ići i do 40 % ukupnog bilansa energije HVAC sistema.



Štaviše, kod GSHP sistema uticaj pumpi je još više izražen, jer kako je njihov rad sinhronizovan sa radom HP, oni svojim radom utiču direktno i na smanjenje njihovog COP/EER toplovnih pumpi.

Zbog toga projektovanju cirkulacionih kola, regulaciji i optimizaciji rada pumpi treba posvetiti punu pažnju. Prema dosadašnjem iskustvu, snaga cirkulacionih pumpi ne bi smjela da predje normu od 50 W/kW kapaciteta HP. Na slici je prikazan odnos godišnjeg utroška energije u jednom GSHP sistemu, gdje je kao referentan slučaj (100 %) uzeta pumpa sa konstantnim parametrima.

Sa slike koja ima u kvalitativnom smislu univerzalan značaj, očigledan je dramatičan uticaj projektantskog rešenja cirkulacionog sistema.

Kada je riječ o otvorenim sistemima, orijentacioni napor pumpe u metrima vodenog stuba (mVS) se može uzeti da je

$$H_P[mVS] = \Delta H_V + 15,$$

gdje je ΔH_V rastojanje u metrima od površine do potopne pumpe u bušotini (15 mVS je pretpostavljeni napor za savladjivanje ostalih otpora u instalaciji).

6. Uticaj na okolinu

GHP mogu imati i pozitivan i negativan uticaj na okolinu. Pozitivan uticaj je u prvom redu posledica velike efikasnosti ovih sistema, dok prema dosadašnjim istraživanjima, negativan uticaj GHP na okolinu je minimalan, pogotovo ako su sistemi pravilno projektovani.

6.1 Vrste zagadjenja.

Medutim ako se govori o eventualno lošem uticaju GHP, tu se u prvom redu misli na 3 vrste potencijalnog zagadjenja:

- a. Termalno zagadjenje
- b. Hemijsko zagadjenje
- c. „Hidraulično“ zagadjenje

a. Termalno zagađenje

Veza GHP sa zemljom u bilo kojoj varijanti, preko cijevi u zatvorenim sistemima-petljama ili u direktnom dodiru sa vodom u otvorenim sistemima-petljama, unosi poremećaj u okruženje sa kojim je u kontaktu.

Kada je riječ o horizontalno položenim cijevima, s obzirom da su položene u zemlju na manjoj dubini, njihov termički uticaj prije svega može ugroziti površinski biljni svijet. Medutim ako su položene na dubinu jednaku ili veću od 1.2 m, ta vrsta uticaja je minimalna.

Kad je riječ o otvorenim sistemima, termalno zagađenje u podzemlje donosi voda koja iz GHP odlazi topila ili hladnija. Oko mjesta ispuštanja vode u zemlji se stvara „ostrovo“ termičkog poremećaja koje se u principu širi do neke granične veličine. Taj termički uticaj, zavisno od temperature koju donosi, utiče uslovno na fizičko, hemijsko i biološko stanje podzemlja. Da bi se smanjili rizici na ovom planu, temperatura vode koja se iz GHP vraća u zemlju treba da je u nekim propisanim granicama. U tabeli su dati podaci o dozvoljenim temperaturskim ograničenjima vode koja se uvodi u podzemlje, doduše propisanim samo u nekim Evropskim zemljama. Kako kod nas ne postoje propisi koji regulišu ovu oblast, možda je najcjelishodnije osloniti se na Austrijske norme.

OTVORENI SISTEMI

	Razlika temperatura	Maximalna temperatura	Minimalna temperatura
Austrija	± 6 C	20 C	5 C
Danska	-	25 C	2 C
Francuska	± 11 C	-	-
Holandija	-	25 C	5 C
Linenštajn	-3 / +1.5 C	-	-
Švajcarska	± 3 C	-	-

Napomena: Promjene temperature vode u odnosu na temperaturu neporemećenog sloja zemlje gdje se vraća voda

BUŠOTINE SA ZATVORENIM SISTEMIMA

	Razlika temperatura	Maximalna temperatura	Minimalna temperatura
Austrija	± 15 C	35 C	0 C / - 5C *
Danska	-	25 C	2 C

*Pri vršnom opterećenju

Napomena: Promjene temperature vode u odnosu na temperaturu podzemne vode

b. Hemijsko zagađenje

Hemijsko zagađenje je posljedica prije svega curenja mješavine vode i antifriza kod zatvorenih sistema. Evidentno je da vrste antifriza koje su danas u upotrebi, nemaju isti uticaj na okolinu. Rezultati nekih istraživanja su dati u tabeli. Prema izloženim rezultatima Propylene Glycol je favorit za korišćenje u GHP sistemima, gdje se zahijeva korišćenje antifriza.

Tabela Faktora rizika pri korišćenju antifriza u GHP sistemima

FAKTOR RIZIKA	Antifriz					
	Metanol	Ethanol	Propylene Glycol	Potassium Acetate	CMA	Urea
Vijek postrojenja	3	3	2	2	2	3
Korozija	2	2	3	2	2	1
Curenja	3	2	2	1	1	1
Zdravlje	1	2	3	3	3	3
Požar	1 ^c	1 ^c	3	3	3	3
Okolina	2	2	3	2	2	3
Buduća korišćenja	1	2	3	2	2	2

COD

- 1 - Potencijalni problemi mogući, potrebna pojačana pažnja
- 2 - Potencijalni mali problemi
- 3 - Bez potencijalnih problema ili mogući minimalni problemi

c. „Hidraulično“ zagađenje

Pod „hidrauličnim“ zagađenjem se ovdje podrazumijeva uticaj korišćenja GHP sa otvorenim sistemima na režim podzemnih voda. U slučaju da se ne vrši povrat vode nazad u podzemlje, to ispumpavanje vode iz podzemlja neizbjegno dovodi do depresije i smanjenja nivoa podzemnih voda. U slučaju da se radi o većim količinama vode to može dovesti do lokalnih problema u korišćenju vodenog resursa. Sa ove tačke gledišta, uvjek je poželjno vraćanje voda u sloj odakle je uzeta voda.

6.2 Preporuke za upotrebu GHP sisteme

U nedostatku nacionalnih propisa projektanti sistema za korišćenje GTE mogu se pridržavati preporuka koje se već negdje drugo praktikuju i koje su pretrpjele provjeru vremena. Evo nekoliko preporuka koje predstavljaju dobro rešenje.

a. Zatvoreni sistemi

Konstrukcija. Sve bušotine sa zatvorenim cirkulacionim sistemima (petljama) treba zatvoriti/ispuniti, kako bi se sprječila kontaminacija bušotine površinskim zagadjenjem. Bušotine sa zatvorenim petljama treba da su na udaljenosti ne manjoj od 65m od bunara, osim ako je bunar u privatnom posjedu i ako je isti vlasnik i bušotine i bunara. U tom slučaju bunar ne smije biti udaljen manje od 25 metara od bušotine.

Pritisak u cijevima. Radni fluid u zatvorenim petljama mora se održavati pod nadpritiskom. Oprema mora biti projektovana tako da ako dodje do curenja i pada pritiska u sistemu dolazi do automatskog isključenja. Sistem mora nakon instaliranja biti ispitati na pritisak (najmanje na 14 bar) kako bi bili sigurni da nema curenja u instalaciji.

Tečni rashladni fluid. Kroz cijevi u zemlji se pumpa voda ili mješavina vode i antifriba. Ako je u pitanju mješavina, kao antifriz treba koristiti metanol, etanol, propilen glikol, kalcijum hlorid ili etilen glikol. Ove hemikalije mogu se koristiti samo u koncentraciji od 20% ili manje.

Cijevi. Sve plastične cijevi moraju biti vodonepropusne. Svi spojevi moraju biti „zavareni“.

Napuštanje. Sve vertikalne bušotiname sa zatvorenim petljama koje su napuštene treba fizički razdvojiti od horizontalnog cjevovoda i zapečatiti betonom, bentonitom ili sl. proizvodima koji se koriste u bunarima. Sve horizontalne cijevi koje se napuštaju moraju biti uklonjene ili iz njih uklonjena rashladna tečnost i odložena na mjesto predvidjeno propisima.

Udaljenost horizontalnih cijevi u zemlji od bunara. Horizontalno postavljene cijevi u zemlji u zatvorenim petljama, ne smiju biti bliže bunarima od 8 metara.

Udaljenost do izvora zagadjenja. Bušotine sa zatvorenim petljama ne smiju biti bliže izvoru zagadjenja od 8m.

b. Otvoreni sistemi

Konstrukcija. Svi djelovi opreme koja dolazi u kontakt sa podzemnom vodom, treba da je u principu od titanijuma, nerđajućeg čelika ili nemetala, da bi se izbjegla korozija. Kao posrednika izmedju kruga podzemne vode i GHP treba koristiti razmjenjivač toplice. Obavezno u usisni dio bušotine koristiti sito-filter sa rešenjima koja će minimalizovati zapušavanje i redukciju usisa vode.

Udaljenost izmedju bušotina. Rastojanje izmedju bušotina je od 50m do 80m, zavisno od hidrološke situacije.

Broj bušotina. Broj bušotina za napajanje sistema podzemnom vodom zavisi od zahtjeva GHP instalacije, lokalne hidrološke situacije i sastava zemljišta. U principu na svaku bušotinu-izvor dolaze dvije bušotine-ponor, osim ako hidrološka ispitivanja ne pokažu da to nije neophodno.

Dubina bušotina. Dubina bušotina zavisi od hidrološke situacije, strukture zemljišta i zahtjeva. Ako je nivo podzemne vode udaljen od površine više od 30m, treba pažljivo proučiti uticaj pumpe na efikasnost GHP. Naime, 30m je neka vrsta kritične dubine gdje uticaj potrošnje električne energije za pogon popopne pumpe značajno počinje da ugrožava COP (EER) toplotne pumpe.

7. Ekonomski razlozi za korišćenje GHP

Mada GHP rade u principu isto kao i toplotne pumpe "na vazduh" (AHP čiji je izvor energije spoljašnji vazduh), GHP imaju bolju efikasnost i posebno je izraženo ako se koriste kao rashladni uredjaji. To je prije svega posledica toga što su zemlja i podzemne vode zimi topliji, a ljeti hladniji od spoljnog vazduha. Istraživanja govore da su GHP u odnosu na AHP efikasnije za oko 25% - 50%, zavisno od klimatskih uslova i režima rada. Naime efikasnost GHP se kreće od 300% do 600% i u najhladnjim zimskim noćima (režim grijanja). U odnosu na AHP, GHP su tiše, dugotrajnije, zahtijevaju manji rad na održavanju i ne zavise od temperature okolnog vazduha. U tabeli su dati orientacioni podaci o efikasnosti savremenih toplotnih pumpi danas.

Izvor toplote HP	Minimalna efikasnost	Temperatura vode na ulazu u HP
Voda (hlađenje)	3.5 EER	30 C
Podzemna voda (hlađenje)	4.2 EER	15 C
Zemlja (hlađenje)	3.9 EER	25 C
Voda (grijanje)	4.2 COP	20 C
Podzemna voda (grijanje)	3.6 COP	10 C
Zemlja (grijanje)	3.1 COP	0 C

Ako se poredi GSHP sa ASHP istog grejnog, odnosno rashladnog kapaciteta, GSHP je znatno skupljii. Međutim budući znatno efikasniji od ASHP, razlika u cijeni se kompenzuje uštedom u energiji za 5 do 10 g. Cijena GSHP sistema (uključujući HVAC) je reda veličine 1500 - 3000 Eu/kW, dok je cijena ekvivalentne ASHP instalacije 750 – 1000 Eu/kW, stim što je vijek trajanja GSHP instalacije za oko 25% duži u odnosu na ASHP varijantu. Prema sadašnjem stanju stvari, vijek mehaničkog dijela GSHP opreme je 20 do 25 g., dok je vijek dijela instalacije u zemlji 25 do 50 g.

Orientacione Cijene GSHP sistema (ne uključuje distributivni sistem-HVAC)

Tip sistema	Instalacije u zemlji Eu/kW	Toplotna pumpa Eu/kW	Ukupno Eu/kW
Horizontalni	350-500	200-300	550-800
Vertikalni	700-1100	200-300	900-1400
Otvoreni ⁺	150-200	200-300	350-500

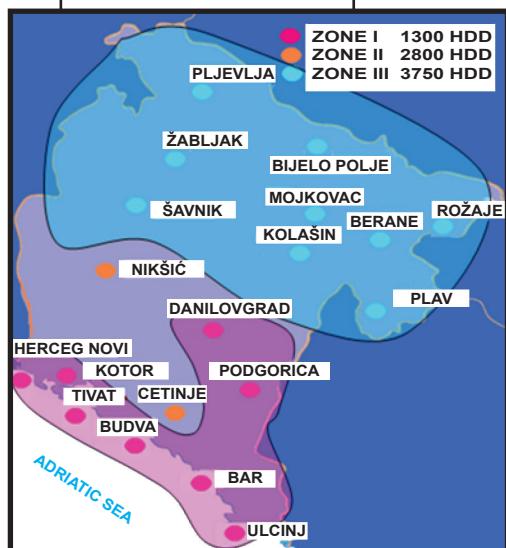
⁺ Bušotina, cijevi, potopna pumpa

Cijene date u tabeli su orijentacione jer umnogome zavise od stanja i situacije na lokalnom terenu. Kod otvorenih sistema sa buštinama, na jednu napojnu ide 1 ili 2 upojne, pa samim tim i cijena se mijenja. U CG cijena bušenja je oko 50 Eu/m, pa je očigledno kako cijene mogu biti različite.

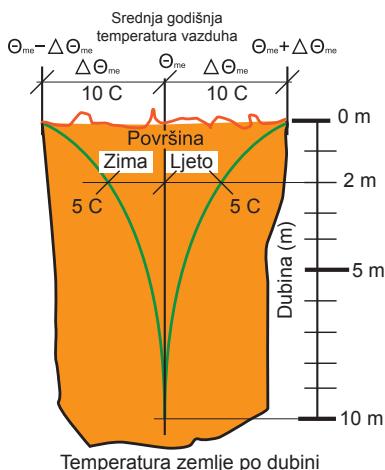
8. Klimatske podloge u MNE

Ako se poslužimo doskorašnjom važećom regulativom (JUS), klima Crne Gore se može podijeliti u 3 klimatske zone:

I Zona $\Theta_{me}=15.5\text{ C}$	II Zona $\Theta_{me}=11.5\text{ C}$	III Zona $\Theta_{me}=8\text{ C}$
$\Theta_{in,C}$ - Projektne temp.	$\Theta_{in,C}$ - Projektne temp.	$\Theta_{in,C}$ - Projektne temp.
-2 Bar -1 Budva -12 Danilovgrad -1 Herceg Novi -6 Kotor -5 Podgorica -6 Tivat -4 Ulcinj	-12 Nikšić -13 Cetinje	-18 Andrijevica -18 Berane -17 Bijelo Polje -20 Žabljak -20 Kolašin -18 Mojkovac -18 Plav -18 Plužine -19 Pljevlja -18 Rožaje -18 Šavnik



CLIMATIC ZONES OF MONTENEGRO
klimatske zone u Crnoj Gori određene prema
broju Grejnih Stepeni Dana
(Heating Degree Days, HDD)



Zona I obuhvata primorski dio CG, uključujući i Podgoricu. To je najtoplijiji dio CG u kome živi oko

53% stanovništva CG. Srednja godišnja temperatura u ovoj zoni je 15.5°C , sa srednjom godišnjom temperaturskom amplitudom od 21°C .

Zona II obuhvata centralni dio CG sa dvije opštine (Nikšić i Cetinje) sa 16% stanovnika CG. Srednja godišnja temperatura u ovoj zoni je 11.5°C , sa srednjom godišnjom temperaturskom amplitudom od 19°C .

Zona III obuhvata sjeverni dio CG sa najhladnjom klimom. U ovom dijelu CG živi 31% stanovništva CG. Srednja godišnja temperatura u ovoj zoni je 8°C , sa srednjom godišnjom temperaturskom amplitudom od 10°C .

Mada temperatursko polje u površinskom sloju zemlje u znatnoj mjeri, pored klime zavisi i od lokalnog sastava tla, u nedostatku preciznijih podataka, mogu se koristiti izneseni podaci praćeni određenim rezonima.

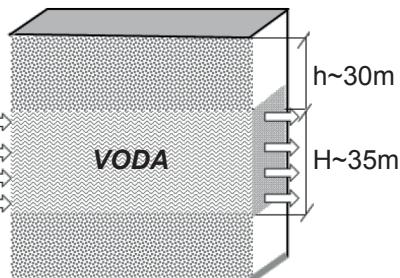
Dakle možemo smatrati da:

- * temperatuta površine tla prati temperaturu spoljnog vazduha koja osciluje oko srednje godišnje temperature vazduha $\sim \pm 10^{\circ}\text{C}$
- * na dubini od 10m temperatuta zemlje jednaka srednjoj godišnjoj temperaturi vazduha i približno je konstantna
- * na dubini oko 2m treba očekivati $\sim \pm 5^{\circ}\text{C}$ oscilacije temperature oko srednje godišnje temperature vazduha, sa faznim pomjeranjem u odnosu na okolni vazduh, zbog akumulacionog efekta zemlje
- * može se uzeti da je temperatuta podzemnih voda približno jednaka temperaturi zemlje na 10m dubine

Poseban kuriozitet predstavlja područje Podgorice, ispod koje teče prava "rijeka" kvalitetne piјaće vode, brzinom $1.5 \cdot 10^{-5} \text{ m/s}$.

Što se tiče sastava zemljišta, debljina kvartarnih sedimenata u Podgoričkoj ravnici (pjeskoviti šljunak i konglomerat) je najčešće u granicama od 50-65m. Dubina do nivoa podzemnih voda u hidrološkom minimumu iznosi:

- oko 24m u krugu Univerziteta Crne Gore;
- 18-20m u bližoj zoni vodotoka Morače između mostova "Milenijum" i "Union Bridge";
- oko 35m u bližoj zoni izvedenih bunara na Starom aerodromu;
- oko 15m na području KAP-a.



Prosječna debljina izdana u sušnom periodu godine iznosi oko 35m.

Srednja vrijednost koeficijenta filtracije, dobijena na osnovu brojnih granulometrijskih analiza i opita crpljenja iz vodnih objekata, iznosi $K= 1.5 \times 10^{-2} \text{ m/s}$.

Pravac izdanskih voda je generalno od sjevera prema jugu, pri čemu je gradijent izdanskog toka oko $i=0.0010 \text{ m/m}$.



9. Normativno okruženje u MNE

Zakonska regulativa u Crnoj Gori bavi se GTE samo na posredan način, i to kroz dokumente koji se odnose na energetsku efikasnost i korišćenje vodenih resursa.

a. U Zakonu o vodama donijetim 2007 g. članovi 122 i 134 se odnose na korišćenje podzemnih voda (otvoreni sistemi GHP). Prema ovom zakonu, koncesija za korišćenje podzemnih voda je potrebna ako se koristi javno vodno dobro i to ako se crpi više od 86 m³/dan (termički ekvivalent u sistemima GHP od oko 20 kW).

Zakon o vodama

Zakon je objavljen u "Službenom listu RCG", br. 27/2007 od 17.5.2007. godine.

Radovi za koje vodna dozvola nije potrebna

Član 122

Vodna dozvola nije potrebna za:

- korišćenje vode iz distributivnog sistema javnog vodosнabdijevanja;
 - održavanje prirodnih i vještакih vodotoka kojim se značajnije ne mijenja trasa korita i inundacionih područja za obezbeđenje propusne sposobnosti, regulacionih i zaštitnih objekata;
 - ispuštanje otpadnih voda domaćinstava i pravnih lica koja vode koriшene za piće i sanitarnе potrebe ispuštaju u sistem javne kanalizacije.
- Vlasnik, odnosno korisnik zemljišta može, bez vodne dozvole, ako time ne ugrožava prioritetnije pravo drugog, da za potrebe sopstvenog domaćinstva koristi:
- atmosfersku vodu koja se sakuplja na njegovom zemljištu;
 - vode koje izviru na tom zemljištu, ali ne otluči izvan njegove granice;
 - podzemne vode na tom zemljištu.

Predmet koncesija na javnom vodnom dobru

Član 134

Predmet koncesije na javnom vodnom dobru može biti:

- 1) korišćenje vode za potrebe javnog vodosнabdijevanja naselja većih od 200 stanovnika;
- 2) korišćenje vode za proizvodnju napitaka;
- 3) flaširanje, odnosno pakovanje vode, tankovanje inostranih plovnih objekata i dovođenje ili dopremanje vode u komercijalne svrhe;
- 4) korišćenje vodnih snaga za proizvodnju električne energije i pogon postrojenja;
- 5) korišćenje voda za tehnološke i slične potrebe pravnih lica u količini većoj od 86 m³ na dan;
- 6) crpljenje podzemnih voda u količini većoj od 86 m³ na dan;
- 7) zahvatavanje voda za navodnjavanje poljoprivrednog zemljišta u količini većoj od 175 m³ na dan;
- 8) uzgoj ribe, školjki i rakova u privredne i druge svrhe;
- 9) eksplotacija rječnih nanosa, ako je procijenjena količina nanosa na ležištu veća od 100 m³.

b. Zakon o energetskoj efikasnosti i pretaći Pravilnici koji se odnose na energetsku efikasnost zgrada, problematiku korišćenja GTE dodiruju samo posredno kroz članove u kojima se:

- * promoviše korišćenje obnovljivih izvora energije,
- * propisuje ugradnja energetske opreme (npr. toplotne pumpe) efikasnosti koja odgovara najmanje C klasi (prema EUROVENT_u),

* definiju energetske klase zgrada od A do G, odredjene na osnovu potrošnje primarne energije u zgradama, s tim što se najbolja klasa A ne može dostići bez dominantnog korišćenja obnovljivih izvora energije.

U zakonskoj regulativi CG, postoji generalna opaska prema kojoj ako ne postoje nacionalni propisi, treba koristiti EU norme. Preporuke su date u poglaviju "7. Uticaj na okolinu".

10. Geotermalna energija u Crnoj Gori

Trenutno u Crnoj Gori (Podgorici), postoji ili se gradi nekoliko objekata sa korišćenjem sistema GSHP. U momentu pisanja ovog vodiča postoje:

- 3 administrativne zgrade koje koriste podzemnu vodu kroz otvorene sisteme,
- 1 škola sa zatvorenim vertikalnim sistemom-geosondom.

Jedan od administrativnih objekata (ATLAS Centar) uključuje i rezidencijalni dio.

a. GSHP-Otvoreni sistem

Objekti EUROPOINT i ATLAS Centar su sa GSHP - otvorenim sistemima i odgovarajućom HVAC instalacijom koja služi za grijanje i hladjenje objekta. Kao grejna tijela se uglavnom koriste Fan_Coil aparati, dok se vazduh za ventilaciju priprema u klima komorama. S obzirom da imaju dobру izolaciju i relativno blage zime (klimatska Zona I), svi ovi sistemi su dimenzionisani prema režimu hladjenja.

GSHP sistemi u ovim objektima se snabdijevaju vodom iz podzemlja preko bušotina dubine 35m do 40m, prečnika oko 200mm. Nakon što prodje kroz instalaciju, voda se ispušta u plitke upojne bunare. Temperatura podzemne vode se tokom godine kreće u rasponu od 12°C do 14°C, a iz sistema izlazi sa temperaturom promijenjenom za $\pm 5^{\circ}\text{C}$ do 10°C .

Generalno, iako sa energetske tačke gledišta najekonomičniji, uticaj ovih sistema na okolinu je potencijalno problematičan. Naime, ovi sistemi troše relativno veliku količinu vode (150-200 l/h po kW), koja u konkretnom slučaju predstavlja značajan resurs pijače vode, jer se radi o vodi izvanredog kvaliteta. Veća upotreba/crpljenje podzemnih voda može dovesti do spuštanja njihovog nivoa u podzemlju i osiromašenja ovog značajnog resursa pijače vode. Trenutno važeći propisi se odnose samo na korišćenje voda koje su javno dobro. U tom slučaju prema važećim propisima, potrebno je tražiti koncesiju ako se ispumpava više od $86 \text{ m}^3/\text{dan}$ (oko 1 l/s). U slučaju privatnog vlasništva zemljišta gdje se nalazi bušotina, koncesija nije potrebna, bez obzira da li voda prelazi granice privatnog zemljišta. Međutim, logično je očekivati da

će sa eventualnim porastom korišćenja podzemnih voda doći i odgovarajuća zakonska regulativa kojom će se spriječiti “hidraulično” i termalno zagadjenje podzemnih voda.



Zgrada EUROPOINT, Podgorica



ATLAS centar, Podgorica

b. GSHP- Zatvoreni sistem

U Podgorici postoji samo 1 objekat (osnovna škola “Milan Vuković” u Vukovcima) sa GSHP. Toplotna pumpa koja služi za grijanje i hladjenje objekta je sa zemljom povezana zatvorenim vertikalnim sistemom - geosondama. U cijevima je mješavina vode i antifiriza (70% vode i 30% glikola). Podzemni razmjenjivač toplote čine dvije vertikalne bušotine sa U cijevima, dubine 70m. Električna snaga toplotne pumpe je 2kW sa koeficijentima efikasnosti EER (COP) ≈ 4 . Distribucija energije u objektu je pomoću Fan-Coil aparata.



Osnovna škola “Milan Vukotić” u Vukovcima, Podgorica

c. GSHP& Direktni sistem



U Podgorici je u završnoj fazi izgradnja objekta (ECO zgrada) koja se hlađi i zagrijava korišćenjem GTE:

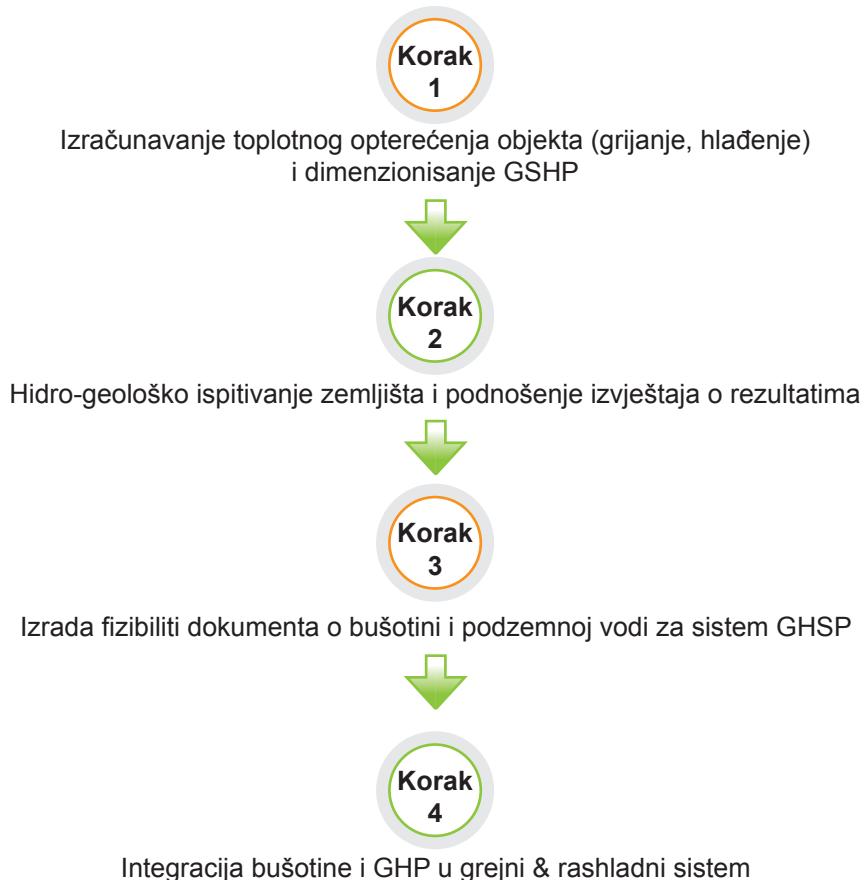
- grijе se pomoću GSHP sa otvorenom sistemom,
- hlađi se „direktnim“ sistemom preko rashladnih tavanica kroz koje se vodi podzemna voda direktno iz bušotine,
- hlađenje vazduha za ventilaciju je putem klima komora čiji se hladnjaci snabdijevaju „direktno“ hladnom vodom iz bušotine i djelimično pothlađenom vodom koja se koristi u procesu kontrole vlažnosti vazduha.

Bušotina - izvor je na dubini 30-35m, dok se kao ponor koristi plitki upojni bunar na površini. U režimu hlađenja, topotna pumpa je samo u ulozi „pomoćnog“ rashladnog uredjaja u krugu kontrole vlažnosti vazduha u objektu, sve u cilju sprečavanja kondenzacije na rashladnim tavanicama. Zimi, topotna pumpa radi u režimu GSHP i snabdijeva topotnom energijom klima komore koje omogućavaju vazdušno grijanje objekta.

11. "Korak po korak" postupak ka realizaciji GSHP sistema

Kada se radi o projektovanju GSHP sistema, sobzirom da se radi o relativno skupim instalacijama, proces mora biti izведен kroz niz sistematskih procedura i pažljivih koraka kako bi projektanta što sigurnije doveli do cilja. Na slici je prikazan jedan mogući "flow dijagram" koraka koje trebalo preuzeti u procesu projektovanja GSHP.

FAZE U REALIZACIJI GSHP SISTEMA



KORAK 1 - Izračunavanje toplotnog opterećenja objekta (grijanje/ hlađenje) i dimenzionisanje GSHP sistema

Izrada idejnog projekta GSHP sa potrebnim proračunima neophodnim za dimenzionisanje GSHP i procjenu investicionih troškova.

KORAK 2 - Hidrogeološko ispitivanje zemljišta i analiza izvještaja

Sklapanje ugovora sa profesionalnom kompanijom radi izrade probne

bušotine i potrebnih ispitivanja termalnih karakteristika tla, odnosno podzemne vode (temperatura, kapacitet, hemijski sastav vode, sastav zemljišta).

KORAK 3 - Izrada Studije izvodljivosti o tlu, bušotini i podzemnoj vodi za sistem GSHP

Nakon analize rezultata uporedjuju se podaci iz Projekta sa podacima dobijenim na terenu. Radi se studija na osnovu koje se procjenjuje ekonomska opravdanost predviđenog rešenja. U ovoj fazi je moguće izvršiti i eventualne korekcije predviđenog rešenja. Aktivnosti treba uskladiti sa eventualnom zakonskom regulativom i ugovoriti radove na zemljištu u skladu sa usvojenim rešenjem.

KORAK 4 - Izrada Glavnog projekta integrisanog GSHP & HVAC sistema Izrada tehničke dokumentacije (Glavni projekat GSHP&HVAC).

KORAK 5 - Izvođenje radova prema Glavnom projektu i povezivanje GHE sa GSHP&HVAC

Izvođenje radova prema Glavnom projektu i povezivanje Geotermalnog sistema sa razmjenjivačem toplote HP i povezivanje sa distributivnim sistemom HVAC objekta.

12. Analiza slučaja

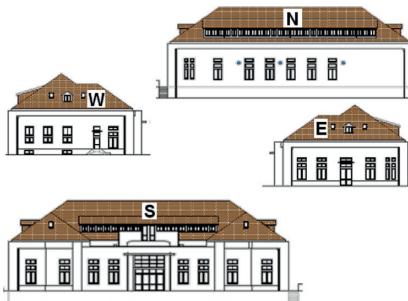
Konverzija Kulturnog centra Danilovgrad za korišćenje GSHP kao primarnog izvora energije za grijanje i hlađenje

1. Opis i definisanje parametara objekta

Postojeći Kulturni centar u Danilovgradu je objekat u vrlo lošem stanju, kako u građevinskom, tako i u pogledu instalacija. Projektom je predvidjeno da se on u potpunosti rekonstruiše, što podrazumeva:

- a. da se ugradi potrebna izolacija zidova, krova itd.
- b. da se ugrade novi prozori, vrata itd.
- c. da se obnove sve instalacije, s tim da se za grijanje i hlađenje predviđi GSHP (otvoreni sistem) sa napojnom i upojnom bušotinom.

Prema projektu, spoljni izgled objekta bi se zadržao. Na slici je prikazan izgled objekta nakon njegove rekonstrukcije (izgled fasada po orientacijama).



Objekat se nalazi u klimatskoj **ZONI I**

Mjesto	Zona I - Podgorica											
	GRIJANJE						HLAĐENJE			Projektna spoljna temperatura		
Mjesec	Jan	Feb	Mart	Apr	Maj	Jun	Jul	Avg	Sep	Okt	Nov	Dec
Srednja temperatura u °C												
	5.5	6.5	10	13,8	19.8	24.5	26.7	26.5	20.7	16	10.8	6.5
Orientation	Solarno zračenje na površine u W/m ²											
N	24	32	44	58	75	86	84	64	51	37	26	21
E	52	70	98	123	156	169	178	165	127	92	67	40
S	137	133	152	143	130	120	132	157	179	169	171	126
W	56	66	96	133	150	165	179	158	132	92	71	55
Horizont	76	102	156	210	267	293	305	272	206	139	95	65

Kako postojeće stanje nije moguće uzeti kao referentno (neregularni uslovi komfora, samo se djelovi objekta griju itd.), uzeće se kao referentno "staro" (stanje C), odnosno stanje sa sledećim karakteristikama:

Stanje C

- "novo" stanje komfora (grijanje i hlađenje)
- **"nova" arhitektura ali sa starim karakteristikama ("U_value" i Infiltracija) omotača zgrade**
- količina vazduha za ventilaciju "nova" (prema projektu rekonstrukcije)
- **izvor energije za grijanje je električna energija, dok je hlađenje pomoću ASHP**

Ovo stanje upoređićemo sa "novim" stanjem A, odnosno B.

Stanje A

- **"novo" stanje komfora (grijanje i hlađenje)**
- "nova" arhitektura sa novim karakteristikama ("U_value" i Infiltracija) omotača zgrade
- količina vazduha za ventilaciju "nova" (prema projektu rekonstrukcije)
- **izvor energije za grijanje i hlađenje GSHP**

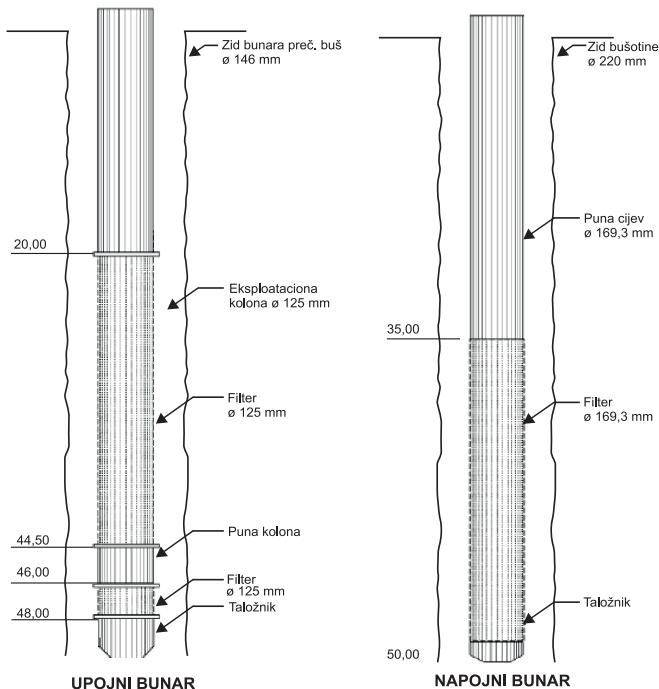
Stanje B

- “**novo**” stanje komfora (grijanje i hlađenje)
- “nova” arhitektura sa novim karakteristikama (“U_value” i infiltracija) omotača zgrade
- količina vazduha za ventilaciju “nova” (prema projektu rekonstrukcije)
- **Izvor energije za grijanje je “direktna” električna energija, dok je hlađenje pomoću ASHP.**

Objekat je administrativno-kulturnog karaktera tako da pored kancelarija ima biblioteku i bioskopsku/pozorišnu/konferencijsku salu od 24 sjedišta. Kada je u funkciji ovaj dio objekta troši znatne energetske resurse objekta, u analizama je uzeto da on efektivno radi 8 h/sedmično. Kancelarije i biblioteka imaju 7h radno vrijeme.

Kao izvor energije je predviđena podzemna voda, na dubini 25-30m, koja je radni fluid u otvorenom sistemu GSHP. Projektom su predviđene 2 bušotine-bunari: napojni (dubina 50m) i upojni bunar (dubina 35m).

Ispitani kapacitet napojne bušotine je >5 l/s. Voda iz bunara je povezana sa GSHP razmjenjivačem topline. Potopna pumpa je snage 5.5 kW, a cijena električne energije je 0.1 EUR/kWh.



Karakteristični parametri objekta u varijantama A, B i C su dati kroz tabele.

ARHITEKTURA

Ak	m2	972	Korisna površina		
Ac	m2	972	Kondicionirana površina		
Vc	m3	3418	Koridacionirana zapremina		

FASADA

	Zidovi		North	East	South	West
A	Aw	m2	188.2	93.8	162.7	89.7
	Uw	W/m ² K	0.36	0.36	0.36	0.36
	Uw	W/m ² K	0.36	0.36	0.36	0.36
C	Uw	W/m ² K	2.20	2.20	2.20	2.20

TRANSPARENTNI ELEMENTI PROZORI*

			North	East	South	West
A ⁺⁺	Awd	m2	37.9	19.2	63.4	23.3
	Uwd	W/m ² K	1.1	1.1	1.1	1.1
	Uwd	W/m ² K	1.1	1.1	1.1	1.1
C ⁺⁺⁺	Uwd	W/m ² K	5.8	5.8	5.8	5.8

*Faktor rama je 80 %, ⁺⁺Dvostruki, ⁺⁺⁺Jednostruki

KROV/POD

			Pod	Krov
A	Ap/Ak	m2	500.0	500.0
	Up/Uk	W/m ² K	0.23	0.26
	Up/Uk	W/m ² K	0.23	0.26
C	Up/Uk	W/m ² K	0.23	2.2

INSTALACIJE

VENTILACIJA

	Infiltracija iz/h	Ventilacija Tip	Prirodna V prir iz/h	Mašinska V_mas m ³ /h	Rekuperacija %
A	0.3	P+M	0.75	7500	54
	0.3	P+M	0.75	7500	54
	0.5	P+M	0.75	7500	0

RASVJETA, OPREMA, STV

	Rasvjeta W/m ²	Oprema W/m ³	Vent_Pumpe W/m ²	STV_65C l/g/m ²
A	8.7	4	0.90	86
	8.7	4	0.90	86
	12	4	0.90	86

IZVOR ENERGIJE

	Grijanje ---	SCOP --	Hlađenje ---	SEER --	STV --	COP --
A	GSHP	3.4	GSHP	4.5	EL	1
	EL	1	ASHP	2.55	EL	1
	EL	1	ASHP	2.55	EL	1

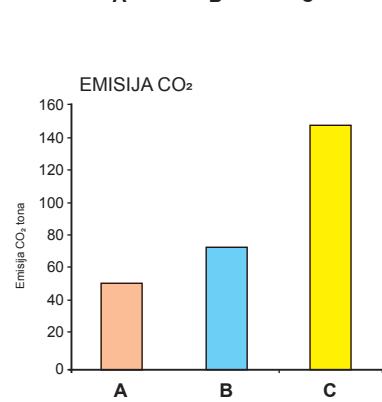
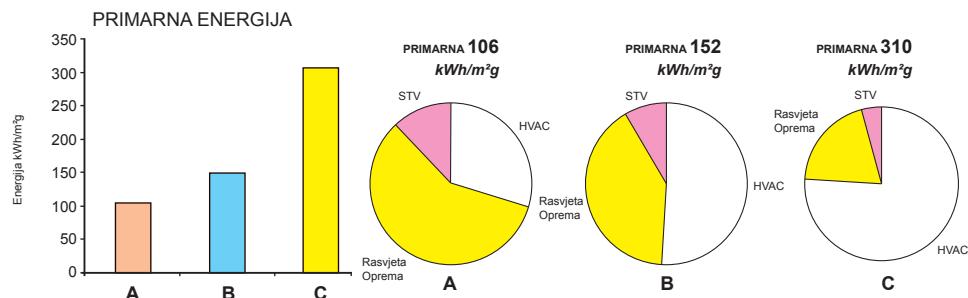
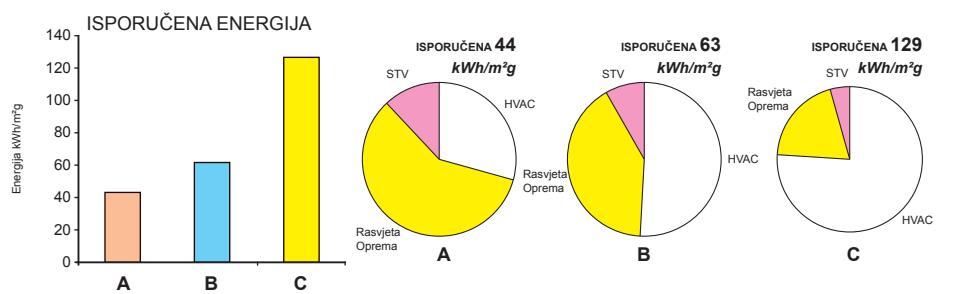
Potrošnja energije je analizirana prema EN 13790 uz korišćenje normativa propisanih crnogorskim standardima za klimatske uslove prema klimatskoj ZONI I.

Za slučajeve A, B i C izračunata je isporučena i primarna energija utrošena tokom jedne godine, kao i odgovarajuće emisije CO₂.

2. Rezultati izračunavanja

DOBIJENI REZULTATI

	Isporučena*	Primarna*	K _{CO₂}	Emisija/m ²	Ukupna Isporučena	Ukupna Primarna	CO ₂ tone/g
	kWh/m ² g	kWh/m ² g	kgCO ₂ /kWh	kgCO ₂ /m ² g	kWh/g	kWh/g	
A	44	106	0.49	52	42768	103032	50
B	63	152	0.49	74	61236	147744	72
C	129	310	0.49	152	125388	301320	148



Cijena instalacija EU					
	A	B	C		GTE A
Bunari	13000				13000
Plast. Cijevi	2000				2000
Potopna pumpa	5500				5500
TP 110kW	20000				
El. Kotao 110 kW		2000	2000		
Klima komora ASHP		18000	18000		
Pločasti Razmjenjivač	2000				
Ostalo	2000	1000	1000		1000
Suma	44500	21000	21000		21500

3. Analiza rezultata

a. Vrijeme otplate integralnog zahvata rekonstrukcije (arhitektura+instalacije)

Cijena sveukupne rekonstrukcije objekta (arhitektura+instalacije) prema projektu iznosi 521600 EUR. Prema dobijenim rezultatima razlika izmedju slučaja A i C u utrošenim kWh godišnje, iznosi:

$$(C-A)_{isp} = 125388 - 427680 = 82620 \text{ kWh/g} \sim 8260 \text{ EUR}$$

$$\text{Vrijeme otplate} = 521600 / 8260 = \underline{63.1 \text{ g.}}$$

b. Vrijeme otplate zamjene izvora energije: EL sa GSHP

Zamjena Izvora energije EL sa GSHP prema scenariju B u A, košta oko (A-B)=23500 EUR. Razlika u isporučenoj energiji je:

$$(B-A)_{isp} = 61236 - 42768 = 18468 \text{ EkWh/g} \sim 1846 \text{ EUR/g}$$

$$\text{Vrijeme otplate} = 23500 / 1846 \sim \underline{12.7 \text{ g.}}$$

d. Smanjenje emisije CO₂-

Upoređivanjem slučaja C i B sa A, vidimo da prelaskom sa scenarija C na A smanjujemo emisiju CO₂ za skoro 100 (97) tona/g, odnosno u slučaju prelaska sa B na A, smanjenje je 22 tone/g.

4. Zaključak o studiji

a. Vrijeme otplate integralne investicije rekonstrukcije KC u Danilovgradu, je više dato kao primjer koji pokazuje da se uštedama u energiji u krajnjoj liniji sve može kompenzirati, na kraći ili duži rok, nego kao podatak koji treba da istakne prednost GTE.

b. Vrijeme otplate je u analiziranom slučaju (B u A) veće od očekivanog jer je instalacija dimenzionisana prema najvećem mogućem toplotnom opterećenju (oko 100 kW), pri čemu 30% od kapaciteta odlazi na bioskopsku/ pozorišnu/konferencijsku salu. Medjutim, u analizi potrošnje energije uzeto je da je ona u upotrebi samo manji dio vremena (8h sedmično), pa je zato razlika u utrošku isporučene energije manja, odnosno manji je efekat ušteda u odnosu na investiciju.

c. O redukciji emisije CO₂ postignutoj primjenom GSHP, nije potreban nikakav dodatni komentar, jer dobijeni podaci govore sami za sebe.

13. Političke preporuke za upotrebu geotermalnih potencijala u Crnoj Gori

Sljedeće preporuke su rezultat informacija i 'liste želja' prikupljenih tokom istraživanja, ali i kao posledica nalaza istraživanja, sa fokusom na tržište i situaciju u Crnoj Gori.

1. U cilju podsticanja i finansijske pomoći od strane države:

- Regulisati **zakonodavni okvir** kojim se bliže uređuje GCHP kako bi podstakao sigurne investicije;
- Definisati **tehničke smjernice za korištenje GCHP** (potrošnja vode, takođe u odnosu na sisteme zatvorene i otvorene petlje, zagađenje otpadnih voda, i drugo);
- Osigurati **sveobuhvatne procedure** za dobijanje dozvole za GCHP koje uključuju OIE;
- Osigurati **strog o provođenje zakona i propisa** putem inspekcije i kazne;
- Omogućiti **subvencije, poreske olakšice i carinske koncesije**, na državnom i lokalnom nivou, za ugradnju GCHP: motivisati domaćinstva i preuzeća da koriste čistu i obnovljivu vrstu energije;
- Aktivno podstaci **smanjenje upotrebe uglja i gasa**, a povećanje upotrebe održivih i čistih izvora energije;
- Tržišna politika: Omogućiti **naknadu lokalnim kompanijama** za razvoj lokalne ekonomije, tako da se razvoj tržišta ne zasniva samo na uslugama i uvozu.

2. U cilju tehničkog razvoja i obrazovanja:

- **Obrazovati sve aktere**, od donosioca odluka do krajnjih korisnika, o prednostima GCHP sistema i koristi za pojedince i zajednicu;
- **Obučiti arhitekte, inžinjere, instalatere, programere, dizajnere**: mali broj dizajnera poznaju mogućnosti koje pružaju alternativni izvori energije tako da ne mogu investitorima da predlože održiva rešenja;
- **Unaprijediti obuku u tehničkim školama na svim nivoima**: najviše obuka je na univerzitetu / master nivou, tako da novi tehničari ulaze na tržište rada s malo znanja ili su potpuno nespremni;
- **Obučiti tehničke kancelarije lokalnih vlasti**: državni službenici i administratori nisu svjesni potencijala GCHP;
- **Organizovati istraživanja i stručne skupove/radionice** kroz Inženjersku komoru Crne Gore.

3. U cilju razmjene informacija i širenja svijesti:

- Putem medijske kampanje **obavijestiti javnost** o prednostima GCHP i OIE;
- Podstaći **saradnju između specijaliziranih firmi** u Jadranskom regionu i Evropi koje mogu da pruže know-how lokalnim kompanijama u cilju razvoja novog tržišta u Crnoj Gori;
- **Promocija stručnih firmi** na teritoriji Crne Gore koje imaju iskustva u GCHP instalacijama;
- **Promocija i registracija finansijskih institucija** koje daju određene pogodnosti za finansiranje GCHP / OIE.

4. U cilju daljeg istraživanja i razvoja tehnologije:

- Detaljno **istražiti odgovarajuća i ekonomski održiva područja**, i saznati potencijale za korištenje GCHP u Crnoj Gori;
- **Izraditi metodologiju** za procjenu troškova u fazi planiranja GCHP instalacija;
- **Kreirati katalog najbolje prakse** sa svim bitnim parametrima i pokazateljima;
- Naći **odgovarajuće tehničko rješenje** za odvodnjavanje izvađene vode;
- **Kreirati ili kupiti softver** koji će poslužiti kao 'alat javnosti' za dizajniranje GTHP.

Beleške

Beleške