

ZADATAK TOPLOTNE PUMPE U SISTEMU GREJANJA SA AKCENTOM NA SISTEM “ZEMLJA – VODA”

Milan Stefanović¹ Dr Slobodan Stefanović²

Apstrakt: Toplotne pumpe u sistemu grejanja igraju ključnu ulogu u modernim energetske rešenjima, naročito kada je akcenat na sistemu “zemlja – voda”. Ovaj tip toplotne pumpe koristi zemlju kao izvor toplote i vode kao medijum za prenos te toplote u objekat koji se greje. Uloga toplotne pumpe u ovom sistemu je efikasno prenošenje energije sa niskotemperaturnog izvora (zemlje) na viši temperaturni nivo, čime se omogućava grejanje objekta i priprema tople vode.

Ključne reči: toplotna pumpa, sistem grejanja, termodinamički proces.

THE ROLE OF A HEAT PUMP IN A HEATING SYSTEM WITH EMPHASIS ON THE “GROUND-TO-WATER” SYSTEM

Summary: Heat pumps in heating systems play a key role in modern energy solutions, especially when the focus is on the “ground-source heat pump” system. This type of heat pump uses the ground as a source of heat and water as the medium for transferring that heat to the building being heated. The role of the heat pump in this system is the efficient transfer of energy from a low-temperature source (the ground) to a higher temperature level, enabling heating of the building and the preparation of hot water.

Keywords: heat pump, heating system, thermodynamic process.

1. TOPLOTNA PUMPA - UVOD

Po definiciji, toplotna pumpa je uređaj koji prenosi toplotnu energiju sa nižeg temperaturnog nivoa (toplotni izvor) na viši temperaturni nivo (toplotni ponor), pri čemu troši određenu količinu rada. Njena najvažnija karakteristika je odnos dobijene i utrošene energije, koji određuje ekonomičnost rada uređaja. Ova osobina poznata je pod nazivom **koeficijent grejanja COP (Coefficient of Performance)**.

Za postizanje maksimalne efikasnosti toplotne pumpe, potrebno je težiti što većem koeficijentu grejanja, koji, u teoriji, ne može biti manji od jedinice. Sve veću primenu toplotne pumpe nalaze zahvaljujući korišćenju **niskotemperaturnih izvora toplote**, čiji je kapacitet praktično neograničen, dok istovremeno troše relativno male količine primarne energije.

U sistemima grejanja i klimatizacije, toplotne pumpe imaju ključnu ulogu jer obezbeđuju **grejanje zimi i hlađenje leti**. Njihovo projektovanje i implementacija, posebno u novim objektima, nude širok spektar mogućnosti za povećanje energetske efikasnosti. Jedno od često korišćenih rešenja u savremenim sistemima je **ugradnja akumulatora toplote**, koji omogućavaju precizniju regulaciju učinka toplotne pumpe.

Prema **Drugom principu termodinamike**, toplota se prirodno prenosi u pravcu pada temperature. Suprotan proces – premeštanje toplote sa tela niže temperature na telo više temperature – moguć je samo uz dodatni utrošak rada.

Sistemi koji imaju zadatak da podignu temperaturni nivo određene količine toplote, pri čemu za taj proces troše energiju, nazivaju se **toplotne pumpe**. U svojoj osnovnoj konstrukciji, toplotna pumpa se **ne razlikuje značajno od kompresorske parne rashladne mašine**, jer oba sistema koriste isti princip rada.

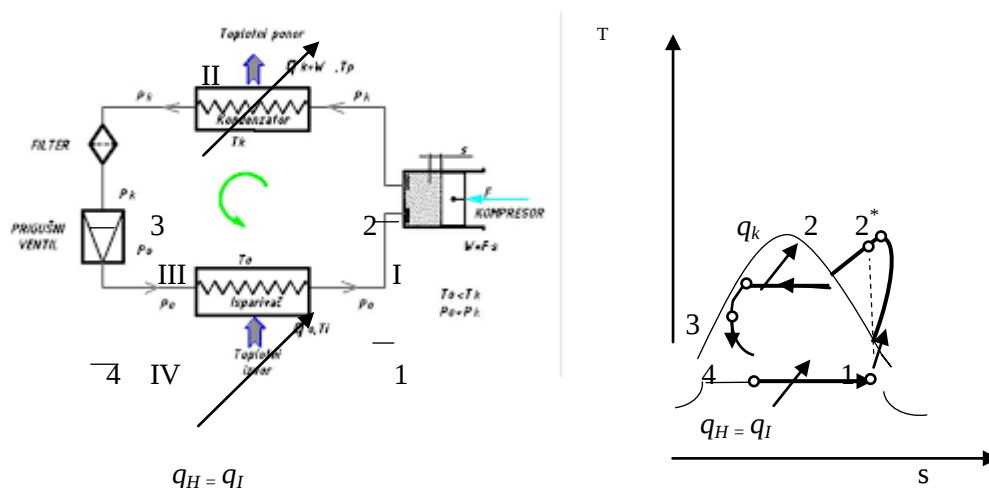
¹ Faculty of Applied Sciences, Niš; milanstefanovic0705@gmail.com

² Academy of Technical Educational Vocational Studies, Niš; slobodanstef@gmail.com

2. TERMODINAMIČKI PROCES TOPLOTNE PUMPE

Radno telo je bilo koji fluid koji se koristi u rashladnim sistemima. U toplotnoj pumpi, radno telo (rashladni fluid) prolazi kroz nekoliko ključnih faza. Prva faza se dešava u **kompresoru (I)**, gde se usisava suva ili pregrejana para kako bi se izbegao tečni udar. Ovaj proces dovodi radno telo od stanja 1 (nizak pritisak i temperatura) do stanja 2 (suvo zasićena ili pregrejana para), čime se povećava pritisak i temperatura fluida. Tom procesu odgovara **izentropna promena (1-2)** idealnog ciklusa.

Nakon kompresije, sabijena para prelazi u **kondenzator (II)**, gde se hladi i kondenzuje. Tokom ovog procesa, radno telo predaje toplotu okolnoj sredini (vazduhu, vodi ili zemlji), što dovodi do smanjenja njegove temperature i prelaska u tečno stanje.



Slika 1 - Šematski prikaz termodinamičkog ciklusa toplotne pumpe

Ta **toplota kondenzacije** koristi se za korisne svrhe, kao što je zagrevanje objekata ili zatvorenih plivačkih bazena. Zbog toga, temperatura kondenzacije (odnosno pritisak) mora biti dovoljno visoka da bi se ta toplota mogla iskoristiti. Najčešće se temperatura kondenzacije kreće između **60-70°C**. Proces kondenzacije u kondenzatoru odgovara liniji 2-3 u termodinamičkom ciklusu.

Nakon kondenzacije, radno telo prelazi u **prigušni ventil (III)**, gde se dalje kondenzovani radni fluid **podhladjuje** za oko 5°C, što znači da se temperatura fluida smanjuje pre nego što nastavi ciklus.

Nakon toga, radno telo odlazi u **isparivač (IV)**, gde apsorbira toplotu od spoljne okoline koja ima niži temperaturni nivo (na primer, voda ili okolni vazduh). U isparivaču, radni fluid isparava, a procesu isparavanja odgovara linija 4-1 u ciklusu.

Iz isparivača, kompresor ponovo usisava paru, i ciklus se ponavlja.

Efikasnost toplotnih pumpi ocenjuje se **koeficijentom grejanja (COP)** ili **koeficijentom transformacije toplote (ϕ)**, koji predstavlja odnos količine toplote $q_1 = q_k$ koju 1 kg radnog tela preda u kondenzatoru u odnosu na rad utrošen za obavljanje ciklusa. To se matematički može izraziti kao:

$$\phi = \frac{q_1}{W} = \frac{q_k}{W} = \frac{q_1}{q_1 - q_2} = \frac{q_k}{q_k - q_i} \quad (1)$$

gde je: $q_2 = q_i = q_h$ - količina toplote koju 1 kg radnog tela oduzme isparivačem od spoljne okoline, W - rad potreban za kompresiju i obavljanje ciklusa (u kJ).

Imajući u vidu da je, zbog prirode procesa prigušivanja $i_3 = i_4$ može se napisati izraz za koeficijent grejanja:

$$\varphi = \frac{q_1}{W} = \frac{q_1}{q_1 - q_2} = \frac{i_2 - i_3}{(i_2 - i_3) - (i_1 - i_3)} = \frac{i_2 - i_3}{i_2 - i_1} \quad (2)$$

Vrednost entalpije i_2 , koju radni fluid ima posle sabijanja u stvarnom kompresoru, može se odrediti na osnovu izraza za indikatorski stepen iskorišćenja kompresora:

$$\eta_k = \frac{W_t}{W_s} = \frac{i_2 - i_1}{i_{2'} - i_1} \quad (3)$$

Količina toplote odvedena u kondenzatoru je tada:

$$q_1 = q_k = i_{2'} - i_3 \quad (4)$$

a koeficijent grejanja:

$$\varphi = \frac{i_{2'} - i_3}{i_{2'} - i_1} \quad (5)$$

Pomoću **toplotne pumpe**, na svaku jedinicu utrošene mehaničke energije (ili električne energije, ako se koristi elektromotor za pogon kompresora), može se dobiti **4 jedinice** (ili ponekad i više) toplotne energije. Ovaj odnos efikasnosti pokazuje da se sa toplotnim pumpama za dobijanje iste količine toplote troši **četiri puta manje električne energije** nego kod direktnog grejanja električnom energijom. Ovaj aspekt je vrlo važan kada se električna energija koristi za zagrevanje, jer primena toplotnih pumpi može značajno smanjiti potrošnju energije.

Što je još značajnije, primena toplotne pumpe u **sistemima za solarno grejanje** ima veliku ulogu jer omogućava korišćenje većih **akumulatora toplote** sa nižim temperaturama kada je režim rada solarnih sistema najpovoljniji. U tim uslovima, toplotna pumpa podiže temperaturu u akumulatoru toplote na nivo koji je potreban za efikasno funkcionisanje grejnih sistema.

Kao izvori toplote za toplotne pumpe koriste se:

- **Prirodni izvori:** Jezera i reke, Morska voda, Podzemne vode, Termalne vode, Atmosferski vazduh, Zemlja, Sunčeva energija.
- **Veštački izvori:** Otpadni vazduh iz ventilacionih i klimatizacionih sistema, Industrijski procesi, Produkti sagorevanja, Otpadne vode, i drugi.

Toplotne pumpe imaju široku primenu za **zagrevanje objekata** poput stanova, hotela, staklenika, bazena, sportskih dvorana i drugih objekata, posebno u zimskom periodu. **Koeficijent grejanja (COP)**, a samim tim i **ekonomska efikasnost** toplotnih pumpi, veći je kada je temperatura kondenzacije niža.

Zbog toga, kod primene toplotnih pumpi, najčešće se koriste **podno grejanje** ili **vazdušno grejanje**, koji zahtevaju niže temperature grejnog fluida. Ako se koristi **radijatorsko grejanje**, postrojenje se projektuje tako da toplotna pumpa zagreva vodu do **oko 60°C** (što odgovara spoljnim temperaturama oko **0°C**). Kada spoljna temperatura padne ispod 0°C (na primer, na -5°C), koristi se dodatno **dogrevanje vode** pomoću nekog dodatnog energenta, kao što su **solarnih kolektori**.

Često, i u slučaju **podnog** ili **vazdušnog grejanja**, toplotna pumpa se projektuje da omogući grejanje do spoljne temperature od **-5°C**, a za niže spoljne temperature voda se posebno dogreva. Ovakav pristup omogućava postizanje višeg koeficijenta grejanja, smanjuje potreban kapacitet sistema, što automatski dovodi do niže cene same toplotne pumpe.

Važno je napomenuti da bez obzira na to da li je izvor energije neposredno ispod tla, duboko u zemlji, ili u vazduhu, toplotna pumpa može efikasno koristiti sve ove izvore.

Izbor prave **toplotne pumpe** zavisi od mnogih faktora, od kojih su najvažniji **geološki uslovi** na lokaciji objekta i **veličina slobodnog prostora** u okolini objekta. Na osnovu tih faktora, kao i drugih specifičnih zahteva (kao što su vrsta objekta, način grejanja, potrebni kapacitet, i sl.), odabira se odgovarajući tip toplotne pumpe.

2.1. Načini izvođenja toplotnih pumpi:

1. Toplotne pumpe “zemlja – voda”

Izvori toplote: Kolektori ili **dubinske sonde** postavljene u zemlji. Ovaj sistem koristi toplinu koja je akumulirana u zemlji, a temperaturna stabilnost zemlje omogućava efikasan rad tokom cele godine.

2. Toplotne pumpe “voda – voda”

Izvori toplote: Geotermalne vode, bunarske vode, podzemne vode, kao i **vode reka, jezera**, itd. Ovaj sistem koristi vodene izvore kao izvor toplote, koji mogu imati stabilnu temperaturu tokom godine, što čini ovaj tip pumpe efikasnim.

3. Toplotne pumpe “vazduh – voda”

Izvor toplote: Vazduh iz okoline. Ovaj tip toplotnih pumpi koristi vazduh kao izvor toplote, što je praktično rešenje jer ne zahteva dodatne bušenje ili kopanje, ali je efikasnost zavisna od spoljne temperature.

4. Toplotne pumpe “vazduh – vazduh”

Izvori toplote: Spoljni vazduh. Ovaj sistem koristi spoljašnji vazduh za grejanje i klimatizaciju prostora, a obično se koristi u manjim objektima ili za specifične primene poput **grejanja i hlađenja manjih prostora**.

Izbor između ovih tipova zavisi od konkretnih potreba, uslova lokacije i prednosti koje svaka vrsta sistema pruža.

3. TOPLOTNE PUMPE “ZEMLJA – VODA”

Preuzimanje energije iz zemlje je osnovni princip rada toplotnih pumpi tipa “**zemlja – voda**”. Sistemi koji koriste zemlju kao izvor toplote obično imaju **višu početnu investiciju** po jedinici snage u poređenju sa sistemima koji koriste vazduh ili vodu, ali njihovi **eksploatacioni troškovi** su relativno niži. Zbog toga, u određenim uslovima gradnje, toplotne pumpe sa zemljom kao izvorom toplote mogu biti isplativije na duže staze.

Na dubini od **oko 1 metra**, značajan deo toplote dolazi iz **okolnog vazduha** i od **sunčevog zračenja**, dok senke i okolni objekti mogu značajno uticati na toplotni fluks. U ovom slučaju, **toplota dobijena iz dubine zemlje** čini samo **10%** ukupne toplotne energije.

Za dubine do **2 metra**, najčešće se koriste **horizontalne cevi**, koje su efikasne za grejanje **manjih i srednjih objekata**. Ove horizontalne cevi se postavljaju na dubinama između **0,5 i 2 metra**, sa razmakom između cevi od **1 do 3 metra**.

U tim uslovima, **specifični toplotni učinak** je obično u intervalu od **20 do 40 W/m²**, ali već pri vrednosti od **25 W/m²** mogu se postići dobri rezultati za grejanje objekta.

S obzirom na to da je najveći deo toplote u ovoj dubini apsorbovan od sunčevog zračenja, važno je osmisлити način kako da se **maksimalno iskoristi** ova **apsorbovana energija**, što se postiže postavljanjem horizontalnih cevi i pažljivim odabirom rasporeda i dubine.



Slika 2 - Polaganje cevne zmijs u zemlju (horizontalni i vertikalni razvod)

Cevi koje se koriste u sistemima za preuzimanje toplote iz zemlje obično su od **metala** ili **plastike**, a izbor materijala zavisi od specifičnih zahteva sistema i trajnosti.

Za **veće objekte**, moguće je koristiti **horizontalne cevne zmijs**, ali ovaj sistem zahteva **velike slobodne površine** koje mogu uticati na **vegetaciju** i okolinu. Zato, u slučajevima kada postoji problem sa prostorom za postavljanje horizontalnih cevi, koriste se **vertikalni cevni registri**. Ovi vertikalni sistemi omogućavaju **iskorišćenje toplotnog potencijala zemlje** čak i kada je dostupno manje prostora za instalaciju.

U **vertikalnim sistemima**, čak **90% potrebne toplotne energije** dolazi direktno iz zemlje, dok se samo **10%** toplote dobija od **sunca** i **okolnog vazduha**. Ovi sistemi su naročito efikasni jer se postavljaju na **veće dubine**, obično veće od **50 metara**, čime se povećava **temperaturni gradijent** sa dubljim slojevima zemlje. Na tim dubinama, zemlja zadržava stabilniju temperaturu tokom godine, što omogućava bolju efikasnost sistema.

Vertikalni razmenjivači toplote imaju **ekonomsko opravdanje** kada su postavljeni na većim dubinama jer se u tom slučaju postiže veća energetska efikasnost, a ukupni troškovi instalacije mogu biti niži u poređenju sa horizontalnim sistemima, posebno u područjima sa ograničenim prostorom.

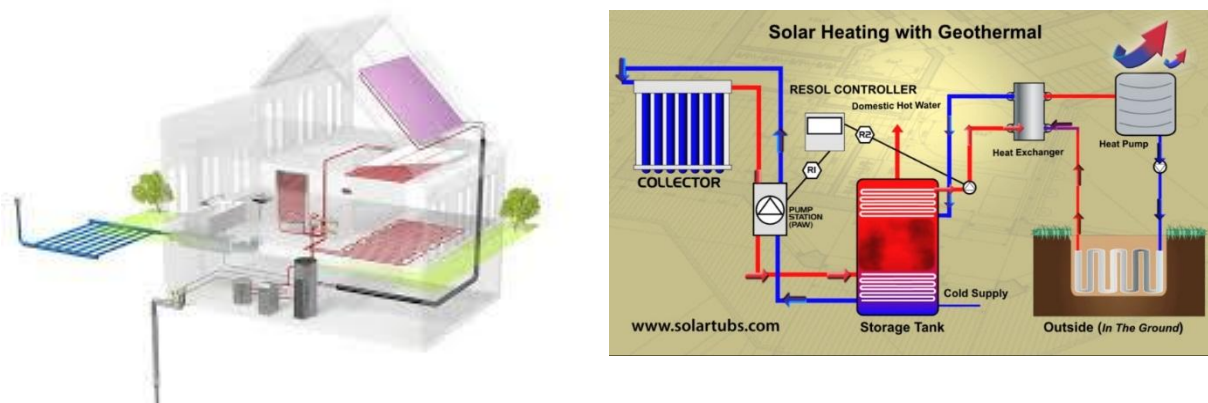
3.1. Prednosti toplotnih pumpi:

- **Premeštanje već postojeće toplote**, umesto stvaranja nove toplote, što čini sistem energetski efikasnim.
- **Manje pokretnih delova** u sistemu, što znači **manje problema sa održavanjem** i niže operativne troškove.
- **Tehnologija geotermalne energije** nastavlja da se razvija i poboljšava efikasnost, što znači da će sistemi postajati sve efikasniji tokom vremena.

3.2. Nedostaci toplotnih pumpi:

- **Za rad toplotnih pumpi i dalje je potrebna struja**, što može biti značajan trošak u određenim uslovima, naročito ako je cena električne energije visoka.
- **Instalacija može biti skupa**, naročito ako se odlučimo za duboke bušotine, jer zahteva **velike građevinske radove i iskopavanje**. Ovo može biti značajan trošak, posebno u slučajevima kada se radi o velikim objektima.
- **Skupi popravci u slučaju havarije**, jer su vertikalni sistemi posebno složeni i njihova popravka može biti zahtevna i skupa.

Kakav bi onda sistem činila sprega toplotne pumpe tip zemlja-voda i solarnih kolektora, može se videti na slici 3.



Slika 3 - Sprega toplotne pumpe tip zemlja-voda i solarnih kolektora

Kombinacija **toplotne pumpe tipa zemlja-voda** i **solarnih kolektora** može se smatrati vrlo efikasnim sistemom za **grejanje i pripremu tople vode**. Ovaj sistem koristi prednosti oba izvora energije – zemlju kao stabilan izvor toplote i sunčevu energiju koja je besplatna i ekološki prihvatljiva.

3.3. Princip rada sistema:

1. **Toplotna pumpa (zemlja-voda)** uzima toplotu iz zemlje putem cevnih sistema postavljenih u zemlji. Ovaj sistem omogućava **kontinuirani rad** tokom godine, jer zemlja ima relativno stabilnu temperaturu na određenim dubinama.
2. **Solarni kolektori** prikupljaju sunčevu energiju tokom sunčanih meseci, čime dodatno povećavaju **energetsku efikasnost** sistema. Solarni kolektori mogu obezbediti potrebnu toplotu za zagrevanje vode i može pomoći u smanjenju opterećenja toplotne pumpe tokom leta.
3. **Sinergija između sistema:** Solarni kolektori mogu preuzeti deo opterećenja tokom letnjih meseci, dok zimi toplotna pumpa koristi energiju zemlje za grejanje, smanjujući potrošnju električne energije.

3.4. Prednosti ovakvog sistema:

- **Kombinovanjem sunčeve energije i toplotne pumpe** smanjuje se ukupna potrošnja električne energije potrebne za grejanje i pripremu tople vode.
- **Ekološka efikasnost:** Smanjenje emisije CO₂ jer se koristi obnovljiva energija sa niskim uticajem na okolinu.
- **Manji troškovi energije** tokom godine, jer solarni kolektori mogu smanjiti potrebu za električnom energijom tokom letnjih meseci.
- **Povećana efikasnost** i postizanje stabilne temperature u prostorijama kroz sve godine.

Ako imate sliku koja prikazuje ovu kombinaciju, možemo je detaljnije analizirati kako bi se precizno opisao rad takvog sistema i njegovih komponenti.

Kod **toplotnih pumpi tipa zemlja-voda**, postoji mogućnost preuzimanja toplote sa zemlje pomoću **geotermalnih kolektora** ili **geotermalnih sondi**, zavisno od uslova i zahteva objekta.

3.5. Opcije za preuzimanje toplote sa zemlje:

1. Geotermalni kolektori (razmenjivači toplote):

- Ovi kolektori se postavljaju **horizontalno** ili **vertikalno** na dubini od **1,2 do 1,5 metara** ispod površine zemlje, u dvorištu objekta ili drugom dostupnom prostoru.
- Kolektori preuzimaju toplotu akumuliranu u sloju zemlje neposredno ispod površine, koja je rezultat **sunčevog zračenja**.
- **Prednost:** Ova opcija je jednostavnija i jeftinija za instalaciju, naročito u manjim ili srednje velikim objektima, jer ne zahteva duboko bušenje.
- **Uslov:** Potrebno je imati dovoljno prostora za horizontalne kolektore ili, ako nije moguće, vertikalno postavljanje.

2. Geotermalne (dubinske) sonde:

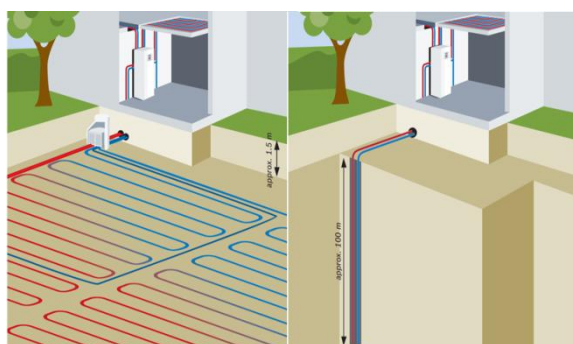
- Za **veće objekte** ili za uslove kada je potrebno dublje preuzimanje toplote, koriste se **geotermalne sonde** koje se postavljaju **duboko u zemlju** (i do **50 metara ili više**).
- **Prednost:** Ova metoda omogućava veću efikasnost u preuzimanju toplote, jer se dublje u zemlji temperatura ostaje stabilnija i viša tokom godine.
- **Uslov:** Ovo je skuplja opcija koja zahteva specijalizovanu opremu i dodatne radove na bušenju.

3.6. Kako funkcioniše sistem:

- Geotermalni kolektori (ili sonde) sakupljaju toplotu sa zemlje i prenose je na **toplotnu pumpu** koja se nalazi u objektu. U toplotnoj pumpi, ovaj toplotni izvor se koristi za **zagrijavanje vode** koja se koristi za **grejanje objekta** ili **pripremu tople vode**.
- **Kolektori** preuzimaju toplotu i transportuju je ka **isparivaču toplotne pumpe**, gde dolazi do prenosa toplote i povećanja temperature.

3.7. Ključne prednosti:

- **Geotermalni kolektori** pružaju **pristupačniji** način preuzimanja energije sa površine zemlje, dok **geotermalne sonde** omogućavaju veću **dubinsku efikasnost** i stabilnost, posebno u hladnijim klimama.
- Ovaj sistem je **održiv** i koristi obnovljive izvore energije, smanjujući tako emisije CO₂ i zavisnost od fosilnih goriva.

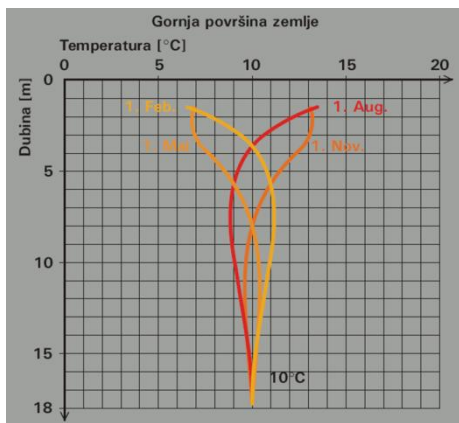


Slika 4 - Dve opcije (pomoću geotermalnih kolektora ili pomoću dubinskih sondi) toplotnih pumpi zemlja – voda

Takođe, ono što je važno jeste da stepen akumulacije i predaje toplote zavisi od vrste zemljišta. Utoliko je veći, što je tlo vlažnije, više obogaćeno mineralima i što je manje porozno.

Zemlja je dobar akumulator toplote, sa obzirom da su temperature unutar zemlje tokom čitave godine uravnotežene, od 7 do 12 °C (već na dubini od 2 m).

Na sledecoj slici 5. prikazan je profil temperature u zemlji tokom godine.



Slika 5 - Profil temperature (vrednosti temperature o odnosu na dubinu) u zemlji tokom godine

Toplotna pumpa **zemlja – voda** preuzima i predaje toplotu iz tla preko tri međusobno koordinisana grejna kruga:

1. Prvi krug – Zemlja

Rastvor mešavine vode i antifrizu bezopasnog za okolinu, cirkuliše u dugim plastičnim cevima koje su spuštene u bušotine duboko u zemlji. Toplota generisana u zemlji (tlu) se predaje rastvoru koji cirkuliše.

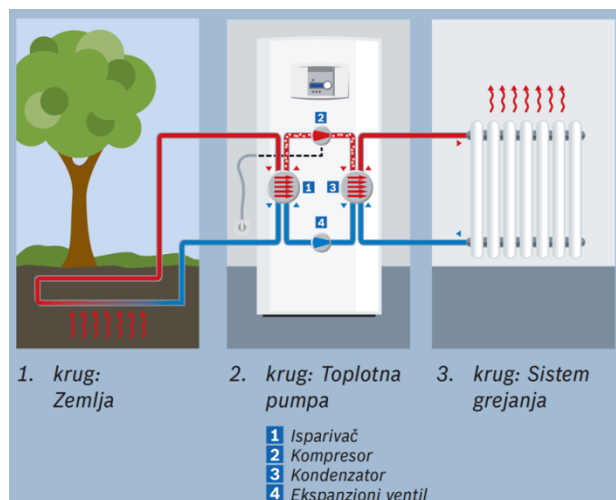
2. Drugi krug – Toplotna pumpa

Drugi krug započinje na ulazu u isparivač, gde rastvor iz prvog kruga predaje toplotu freonu koji protiče kroz drugi krug u toplotnoj pumpi. U isparivaču freon isparava preuzimajući toplotu iz prvog kruga, i tako u parnom stanju odlazi u kompresor. U kompresoru freon ostaje u gasnom stanju ali mu se pritisak podiže do 23.5 bar-a kao i temperatura koja dostiže višu vrednost od temperature potrebne za kućni sistem grejanja i pripremu sanitarne vode. Takođe energija rada kompresora se pretvara u toplotu i predaje freonu.

3. Treći krug – Sistem grejanja

U kondenzatoru (izmešivaču toplote) freon u parnom stanju visokog pritiska i temperature se kondenzuje i predaje svu preuzetu toplotu vodi koja teče u trećem krugu – sistemu grejanja. Topla voda iz sistema grejanja teče kroz grejna tela i zagreva objekat ili se usmerava ka akumulacionom bojleru za pripremu sanitarne vode.

Krug je završen Freon u tečnom stanju napušta kondenzator i teče kroz ekspanzioni ventil gde mu pritisak opada na vrednost 2.8 bar-a odakle nastavlja ka isparivaču. U isparivaču ulazi u istom stanju kao i na početku prethodnog ciklusa čime je krug završen.



Slika 6 - Tri međusobno koordinisana grejna kruga u sistemu grejanja "zemlja – voda"

Prosečne vrednosti količina toplote koju je moguće uzeti iz zemlje (što je zapravo jednako rashladnom kapacitetu) iznose: Suvo peščano tlo $q = 10 \div 15 \text{ W/m}^2$; Mokro peščano tlo $q = 15 \div 20 \text{ W/m}^2$; Suvo glinasto tlo $q = 20 \div 25 \text{ W/m}^2$; Mokro glinasto tlo $q = 25 \div 30 \text{ W/m}^2$; Tlo sa podzemnom vodom $q = 30 \div 35 \text{ W/m}^2$.

Za orijentacione proračune može se uzeti: $q = 25 \text{ W/m}^2$

Kao što znamo obnovljivi izvori energije predstavljaju neiscrpne izvore energije iz prirode, koji se obnavljaju u određenom vremenskom intervalu, u celosti ili delimično. Oni se eksploatišu sa ciljem proizvodnje električne, toplotne i mehaničke energije, a njihova održiva karakteristika je neškodljivost po okolinu, sa smanjenom ili redukovanom emisijom CO₂. Apropos navedenog, sistemi koji bi tu spadali bi svakako bili solarni kolektori i toplotna pumpa.

4. ZAKLJUČAK

Uzevši u obzir naša dugogodišnja iskustva i praksu u primeni solarne energije, u zimskom periodu kada je ukupno energetske dejstvo sunčevog zračenja mnogo slabije od letnjeg, može biti veoma značajno za korišćenje solarne toplotne energije za solarno dogrevanje kuće kao podrška i ispomoć toplotnoj pumpi ili nekoj drugoj konvencionalnoj energiji na centralnom sistemu grejanja gde se može pokriti i do 40% besplatne toplotne energije za dogrevanje kuće, 70% za grejanje sanitarne vode i 100% za grejanje bazena.

Kao i kod svake tehnologije, **toplotne pumpe imaju svoje prednosti i mane**. Međutim, **kombinovanjem različitih sistema** (kao što su **zemlja-voda**, **vazduh-voda**, i drugi), moguće je optimizovati troškove i **povećati efikasnost** sistema. Korišćenje određenih tehnologija u skladu sa specifičnim uslovima objekta, kao što su vrsta grejanja i dostupnost prostora, može doneti **veće uštede** i bolji učinak.

Na kraju, **izbor najisplativijeg rešenja** zavisi od **individualnih okolnosti** i specifičnih potreba korisnika, koji će odabrati sistem koji najviše odgovara njihovim **finansijskim mogućnostima** i **uslovima**.

5. LITERATURA

- [1] Smart Home, Smart HEMS, Smart heating: An Overview of the Latest Products and Trends, https://www.researchgate.net/publication/320083433_Smart_Home_Smart_HEMS_Smart_heating_An_Overview_of_the_Latest_Products_and_Trends (25.01.2023).

- [2] Radonjić A; *“Pametni sistemi grejanja, pregled, istraživanja u svetu”*, SeminarSKI rad, MF Niš, 2023.
- [3] Milovanović Z., Ljubiša Papić Lj.. ODRŽIVO PLANIRANJE ENERGIJE: TEHNOLOGIJE I ENERGETSKA EFIKASNOST, Čačak.
- [4] Stefanović M., Primena geotermalne energije u sistemima grejanja – DiplomSKI rad, Fakultet primenjenih nauka, Niš, 2025.
- [5] <http://arhiva.mre.gov.rs/doc/efikasnost-izvori/Thermo%20Solar%20Plants%20-%20Detailed%20Guide.pdf>
- [6] <https://grejanje.com/>