

Univerzitet u Kragujvcu

Fakultet inženjerskih nauka



Naziv studijskog programa: Mašinsko inženjerstvo

Nivo studija: Master akademske studije

Modul: Energetika i procesna tehnika

Predmet: Obnovljivi izvori energije 1

Broj indeksa: 354/2010

Vladimir B. Vukomanović

**PRIMENA RETSCREEN SOFTVERA ZA ANALIZU GREJANJA I HLAĐENJA
STAMBENOG OBJEKTA UZ POMOĆ TOPLOTNIH PUMPI
master rad**

Komisija za pregled i odbranu:

1. **Dr Vanja Šušteršič, vanr.prof. - mentor**

2. _____

3. _____

Datum odbrane: _____

Ocena: _____

U okviru ovog master rada kandidat treba da opiše princip rada toplotnih pumpi sa posebnim osvrtom na geotermalne toplotne pumpe. Predviđeno je da uradi tehno-ekonomsku analizu korišćenja toplotne pumpe u kući na Zlatiboru i uz pomoć softverskog paketa RETScreen izvede finansijsku i ekološku analizu primenljivosti primene geotermalne toplotne pumpe.

Preporučena literatura:

- [1] ŠAMŠALović, S.: TOPLOTNA PUMPA, Tehnologija održive proizvodnje energije, 2009., Beograd
- [2] TODORović, B.: Projektovanje postrojenja za centralno grejanje, 2005., Beograd
- [3] RETScreen Software Online User Manual: Ground-Source Heat Pump Project Model

Kragujevac, 04.04.2012.

mentor:

dr Vanja Šušteršič

REZIME

U ovom radu opisana je primena toplotnih pumpi za grejanje i hlađenje sa posebnim osvrtom na geotermalne toplotne pumpe. Predviđeno je da se uradi tehno-ekonomska analiza korišćenja toplotne pumpe za kuću na Zlatiboru i da se uz pomoć softverskog paketa RETScreen izvede finansijska i ekološka analiza primene geotermalne toplotne pumpe.

Ključne reči: toplotne pumpe, obnovljivi izvori, RETScreen, geotermalna energija.

ABSTRACT

This paper describes the application of heat pumps for heating and cooling with a special focus on geothermal heat pumps. The plan is to do a techno-economic analysis of the use of heat pumps for home on Zlatibor, and that with the help of RETScreen software package, perform financial analysis and environmental applications of geothermal heat pumps.

Keywords: heat pumps, renewable, RETScreen, geothermal energy.

Sadržaj

1. Uvod	5
1.1. Energija oko nas	5
1.2. Definicije.....	6
1.3 Ekonomičnost.....	8
1.4 Istorijat	9
2. Geotermalna energija u Srbiji	14
3. Tehnologija grejanja i hlađenja toplotnim pumpama.....	16
3.1 Princip rada toplotne pumpe	16
3.2. Vazduh kao izvor toplote.....	17
3.3. Voda kao izvor toplote	18
3.4. Zemlja kao izvor toplote.....	19
4. Projekat ugradnje toplotne pumpe.....	27
4.1. Opšti projektni uslovi	27
4.2. Meteorološki uslovi.....	29
4.3. Proračun koeficijenta prolaza toplote.....	30
4.4. Proračun toplotnog opterećenja.....	35
5. RETScreen.....	48
5.1. Uvod	48
5.2. Radni list Start ili početna strana (Start)	49
5.3. Radni list Mreža i opterećenje (Load & Network).....	51
5.4. Radni list Energetski model (Energy Model)	53
5.5. Radni list Analiza troškova (Cost Analysis) i Alati (Tools)	54
5.6. Radni list Analiza emisije (Emission Analysis)	57
5.7. Radni list Analiza finansija (Financial Analysis)	58
6. Zaključak.....	60
7. Literatura.....	61

1. Uvod

1.1. Energija oko nas

Intenzivan razvoj društva u svetu poslednjih 200 godina baziran je na jeftinim fosilnim gorivima: uglju, nafti i zemnom gasu. U poslednje vreme proučavaju se rezerve tih goriva obzirom da su ona neobnovljiva i da je čovečanstvo ozbiljno suočeno sa porastom cena tih goriva. Stalan razvoj svetske ekonomije uticao je i na porast cena fosilnih goriva sa jedne strane kao posledica sve manjih rezervi tih goriva, a sa druge, zbog sve veće potražnje za njima. U vreme kada se mislilo da su rezerve fosilnih goriva neiscrpne, razvijane su tehnologije koje su isključivo zasnovane na korišćenju tih goriva kao jedinom energetskom izvoru. Posledica toga je naglo osiromašivanje rezervi tih goriva. Poseban problem je što u većini slučajeva nisu pronađene zamene za veći deo tih tehnologija.

Uzmimo primer auto-industrije, koja tečna goriva troši najviše. Danas, samo Severna Amerika troši 10% svetske proizvodnje nafte na pogon automobila, dok ukupna potrošnja nafte u Africi iznosi 3,4%.

Severna Amerika i Evropa su odavno počele da racionalizuju potrošnju fosilnih goriva, međutim nagli razvoj jednoga dela sveta, posebno Kine i Indije, ugrožava stabilizaciju potrošnje, pre svega nafte. Ove zemlje beleže veliku potražnju za automobilima, a time i za naftom, što se ne može lako zaustaviti.

U nekim zemljama, posebno u onim nerazvijenim, fosilna goriva se neracionalno koriste. Nafta se često koristi za proizvodnju elektroenergije čak i u zemljama koje raspolažu znatnim potencijalom hidroenergije. Globalno posmatrano, potražnja za energijom je sve veća, pa je logično pitanje kako zadovoljiti sve te potrebe.

Rezerve nafte, kao najtraženijeg oblika fosilnih goriva, ugrožene su zbog njene neracionalne potrošnje. Nafta se koristi u proizvodnji i transportu hrane, proizvodnji veštačkih đubriva, plastičnih masa itd., i za sada je u tom delu potrošnje nezamenljiva. Dosada je eksploatacija nafte bila laka i jeftina jer se pod pritiskom transportovala sa malim troškovima. Međutim, danas je zbog smanjivanja rezervi potrebno u bušotine ubacivati vodu, paru ili gas da bi se pritisak povisio, što povećava troškove eksploatacije.

Prošle godine je procenjeno da zalihe fosilnih goriva iznose 46 CMO¹ (cubic mile of oil - kubnih milja ulja) nafte, 42 ekvivalentne CMO zemnog gasa i 121 ekvivalentna CMO uglja. Ove količine mogu se korigovati korišćenjem uljnih škriljaca. Rezerve nafte po zemljama su različite - od 10 godina u SAD, do 50 godina u Iraku. Vrhunac proizvodnje nafte bio je 2006. godine. Od te godine potrošnja nafte postaje luksuz.

Prirodni gas može da zameni naftu, što se već u velikoj meri i dešava, ali se ona sve manje zamenjuje gasom s obzirom na tendenciju rasta cena gasa, a problematika je ista kao i sa naftom samo fazno pomerena.

Računa se da će se u proizvodnji elektroenergije najviše trošiti ugalj. A pošto ta potrošnja utiče na povećanje globalnog zagrevanje Zemlje i istovremeno povećanje emisije CO₂, ugalj se

¹ CMO=1.6·10²⁰ J

može koristiti samo ukoliko se nađu tehnološka rešenja koja će smanjiti emisiju CO₂ i smanjiti globalno zagrevanje.

Pored uglja koristi se i nuklearna energija i biogorivo, a kao najstariji i u praksi odomaćen izvor energije je hidroenergija, koja se najviše koristi za proizvodnju elektroenergije. Energija dobijena iz hidropotencijala trenutno iznosi oko 400 miliona tona ekvivalentne nafte.

Nemoguće je potpuno zameniti fosilna goriva, pa zato racionalno korišćenje obnovljivih izvora energije i prelazak na obnovljive izvore energije predstavljaju pravi put. Oba ova prilaza mogu znatno da utiču na smanjenje potrošnje fosilnih goriva posebno u domenu niskotemperaturnih potreba. Na niskotemperaturnu energiju za grejanje i hlađenje objekata i grejanje potrošne vode troši se oko 35% ukupne potrošnje. U industrijskim procesima, racionalizacija potrošnje energije i niskotemperaturna energija iz obnovljivih izvora mogu znatno uticati na supstituciju fosilnih goriva.

Današnji svet je sve više upućen na korišćenje obnovljivih izvora energije - one koja je neiscrpna i čija potrošnja ne utiče na raspoložive rezerve.

Obnovljivi izvori energije se nalaze oko nas, besplatni su i neiscrpni, vremenom se prirodnim putem obnavljaju i njihova eksploatacija je skoro neiscrpna. Danas u svetu u proseku oko 13% potrošnje primarne energije potiče od obnovljivih izvora, mada su tehnološki kapaciteti značajno veći i mogu se eksploatisati milionima godina.

Direktiva o obnovljivim izvorima je u Evropskom parlamentu 17. decembra 2008. ustanovila zajednički okvir za unapređenje energije iz obnovljivih izvora, određujući obavezne nacionalne udele obnovljive energije u ukupnoj potrošnji energije kao i udeo energije iz obnovljivih izvora u transportu.

Ukupna potrošnja energije za grejanje i hlađenje iz obnovljivih izvora izračunava se kao količina energije za daljinsko grejanje i hlađenje proizvedena u državi članici iz obnovljivih izvora, plus potrošnja druge energije iz obnovljivih izvora u industriji, domaćinstvima, uslugama, poljoprivredi, šumarstvu i ribarstvu za grejanje, hlađenje i u procesne svrhe.

Evropska unija imala je strategiju udvostručavanja upotrebe obnovljivih izvora energije do 2010. godine (12%) u odnosu na 2003. godinu. Udeo obnovljivih izvora energije u ukupnoj potrošnji do 2020. godine u Evropi treba da bude 20%. U 2005. godini najveći udeo obnovljivih izvora energije u ukupnoj potrošnji energije imala je Švedska, od 39,8%, dok usvojeni plan do 2020. godine predviđa 49%.

Značajnu ulogu u prelasku na obnovljive izvore energije ima toplotna pumpa, koja obezbeđuje efikasnije iskorišćenje obnovljivih izvora energije kao i otpadne toplote. [1]

1.2. Definicije

Po definiciji, toplotna pumpa je uređaj koji toplotnu energiju podiže sa nižeg (toplotni izvor) na viši temperaturni nivo (toplotni ponor), trošeći pri tome rad. Korišćenje toplotne pumpe podrazumeva postojanje potrebe za toplotnom energijom više temperature. Termodinamički ciklus toplotne pumpe je istovetan sa rashladnim ciklusom, dok u konstrukcionim rešenjima celog sistema ili pojedinih njegovih elemenata postoji razlika.

Toplotna pumpa se koristi tamo gde se kao toplotni izvor može upotrebiti obnovljiva energija ili otpadna toplota, da bi se dobila korisna toplotna energija višeg temperaturnog nivoa. Obnovljivi izvori energije nalaze se u našoj okolini, besplatni su i neiscrpn. Vremenom se prirodnim putem obnavljaju, ali je njihova eksploatacija skoro neiscrpna.

Obnovljivi energetske izvori i toplotne pumpe čine optimalnu spregu koja omogućuje dobijanje toplotne energije širokog spektra primene. Sprega niskotemperaturnih obnovljivih energetskih izvora (sunce, površinske vode ili zemlja) - prirodnih izvora sa toplotnim pumpama, omogućava dobijanje toplotne energije viših temperatura, pogodne pre svega za grejanje stambenih i poslovnih prostora.

U sistemima gde pri odvijanju nekog tehnološkog procesa nastaje otpadna toplota - veštački izvori i kao takvi odvođe je u okolinu, toplotnom pumpom deo te toplote može da se vrati u sistem i tako ostvari dvostruka korist: izbegava se termičko zagađenje okoline, tako što se veći deo energije vraća u proces ili drugi sistem, izbegavajući potrošnju fosilnih goriva. U oba ova slučaja radi se o ulozi toplotnih pumpi, ali sa dva različita cilja. Prvi je cilj dobijanje jeftine toplotne energije iz besplatnih obnovljivih izvora energije, uz utrošak pogonske energije, i stalna, kvalitetna kontrola dobijene toplotne energije. Drugi cilj je zaštita čovekove okoline i maksimalno iskorišćenje toplote.

Toplotne pumpe se koriste samo za grejanje, ili za grejanje i hlađenje. U oba slučaja je jednom toplotni izvor u kontaktu sa isparivačem toplotne pumpe (funkcija grejanja), ili u kontaktu sa kondenzatorom (funkcija hlađenja).

Primena toplotne pumpe u klimatizaciji nije ograničena samo na povraćaj otpadne toplote u objekat, već se primenjuje i u obezbeđivanju potrebne toplote iz okoline.

Na primer, toplotna pumpa je uređaj kojim se otpadna toplota iz neke fabričke kule za hlađenje vode, kao toplotnog izvora, može nakon podizanja temperaturnog nivoa koristiti za grejanje fabrike ili drugih objekata. Međutim, toplotnom pumpom se ne može smatrati uređaj u kome sistem za hlađenje namirnica preko kondenzatora predaje toplotu okolini, jer je rashladni uređaj projektovan prvenstveno da bi hladio. Jednom rečju, toplotna pumpa je uređaj kojim dobijamo i kontrolišemo toplotnu energiju više temperature, bez obzira da li se toplota od okoline oduzima kontrolisano ili nekontrolisano.

Postrojenje koje u hladnjači hladi prehrambene proizvode i istovremeno toplotu kondenzacije koristi za grejanje radnih prostorija zimi, jeste rashladno postrojenje u ulozi toplotne pumpe sa ulogom iskorišćavanja otpadne toplote.

Vitalne komponente toplotne pumpe su razmenjivači toplote, preko kojih se toplota oduzima od izvora i predaje kao korisna toplota ponoru, kao i komponente koje niskotemperaturnu energiju „pumpaju“ na visokotemperaturni nivo. Ovo „pumpanje“ se obavlja kompresorima, hemijskom apsorpcijom, termoelektričnom metodom i na druge načine.

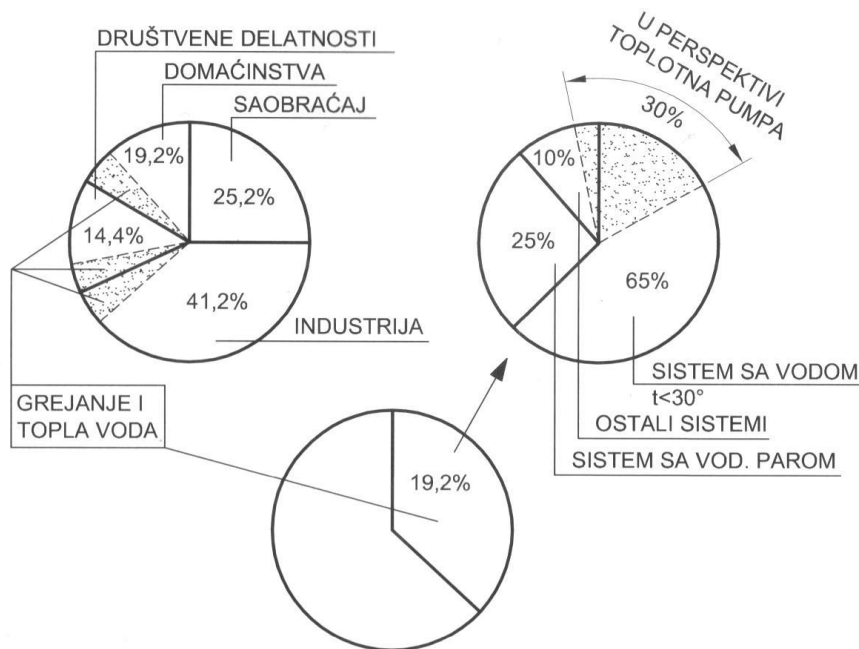
Najvažnija karakteristika toplotne pumpe je odnos dobijene i utrošene energije koji određuje i ekonomičnost uređaja. Ova karakteristika je poznata pod nazivom koeficijent karakteristike, ili energetske koeficijent, koeficijent grejanja, recipročna termička efikasnost itd. U stranoj literaturi se taj koeficijent obeležava sa „COP“ (Coefficient of Performance). Da bi toplotna pumpa bila što efikasnija, treba težiti većem koeficijentu grejanja, koji, u teoretskom smislu, ne može biti manji od jedinice. [1]

1.3 Ekonomičnost

Toplotna pumpa je u svetu već dugo poznata, ali je korišćena u ograničenom obimu, osim manjih jedinica, u klimatizaciji (sobni klimatizeri). Međutim, nakon energetske krize sedamdesetih godina prošlog veka, toplotna pumpa se sve masovnije koristi, iako je do tada njena primena bila ograničena njenom cenom. Ona postaje sve značajnija zahvaljujući korišćenju niskotemperaturnih izvora toplote, čiji je kapacitet praktično neograničen, trošeći pri tome relativno male količine primarne pogonske energije.

U odnosu na klasične uređaje za dobijanje toplotne energije, toplotna pumpa omogućava ekonomičniji rad, pogotovo ako se za proizvodnju električne energije koriste niskokalorični ugljevi, čiji su troškovi transporta visoki u odnosu na toplotnu moć. Može se smatrati da stepen iskorišćenja energetskih sirovina (ugalj, mazut, gas) u procesu dobijanja električne energije, od ulaza goriva u termocentralu pa preko prenosa, transformacije i distribucije do potrošača, iznosi oko 20-30%. Međutim, uz pomoć toplotne pumpe sa električnim pogonom, koeficijent iskorišćenja primarne energije (na primer niskokaloričnog uglja) može biti i trostruko veći, pa je stepen iskorišćenja čitavog makrosistema, od dobijanja uglja do toplotne energije, primenom toplotne pumpe veći od 90%.

Potrošnja toplotne energije temperaturnog nivoa do 100°C čini u našoj zemlji oko trećinu ukupno utrošene energije, pa je toplotna pumpa, čak i na sadašnjem nivou praktičnih rešenja, jedan od načina uštede energije. Na slici 1 je prikazano učešće vidova potrošnje energije u svim oblastima čovečje aktivnosti. Na slici se vidi da učešće energije za grejanje i zagrevanje vode u domaćinstvima, društvenim delatnostima i industriji, iznosi u ukupnoj potrošnji energije 32,8%, od čega se jedna trećina može obezbediti primenom toplotne pumpe.



Slika 1. Potrošnja primarne energije u industrijski razvijenim zemljama

Dakle, toplotna pumpa je u svakom pogledu efikasan uređaj za dobijanje energije, ali se ipak ne nalazi u širokoj upotrebi.

Glavni razlog je visoka cena toplotne pumpe u odnosu na dosadašnje uređaje koji troše obnovljive izvore energije. Sadašnja cena klasičnih goriva i njen stalni porast, doveli su do

uvođenja toplotnih pumpi u primenu, zbog manjih pogonskih troškova od onih koje imaju uređaji sa klasičnim pogonom.

Za postojeće sisteme za dobijanje toplotne energije potrebna su manja ulaganja, njima se lakše rukuje, inženjersko-tehničarskom kadru su poznatiji, a krajnji korisnik često ne raspolaže dovoljno obimnim i potpunim informacijama pri odlučivanju o izboru novih rešenja. Pri izboru toplotne pumpe stroži smo u procenjivanju njihove ekonomičnosti, nego klasičnih sistema, gde se ta ekonomičnost ne ocenjuje uvek. Međutim, pri primeni toplotnih pumpi, kao uostalom i drugih novih tehničkih rešenja, zahtevaju se vrlo detaljne analize. Kada bismo i klasične sisteme vrednovali po istim kriterijumima, pitanje je da li bi oni uvek bili bolji od sistema sa obnovljivim izvorima energije.

Pošto se ekonomski odnosi u sferi proizvodnje energije ipak menjaju, treba očekivati primenu toplotnih pumpi u raznim varijantama i kombinacijama, kao, uostalom, i drugih sistema koji koriste nekonvencionalne izvore energije. Toplotne pumpe, kao izvor toplote treba porediti sa drugim klasičnim rešenjima na dva načina. Ako sistemi distribucije i predaje toplote ne utiču na izvor, onda se poređenje izvora može vršiti nezavisno. Ali ako izvor utiče na celokupan sistem, onda se mora uzeti u obzir tehničko rešenje sa primenom toplotne pumpe. [1]

1.4 Istorijat

Porastom interesovanja za fizičke procese, u 19. veku je povećan i interes za „pumpanjem“ toplotne energije na više temperature. Džul (Joule) je demonstrirao principe promene temperature gasa promenom pritiska, a profesor Pjaci Smit je verovatno bio prvi koji je upotrebio rashladnu mašinu koristeći ovaj princip. Profesor Tomson (Thomson), koji je kasnije postao lord Kelvin, prvi je primenio toplotnu pumpu. Tomson je 1852. godine izdao knjigu u kojoj je opisao sistem sa spojenim kompresorom i ekspanderom, u kome se vazduh kretao od rezervoara i do njega istovremeno delujući kao razmenjivač toplote. Ovaj otvoreni ciklus koristio se i za hlađenje i za grejanje. U toj knjizi je Tomson predvideo kompresionu parnu mašinu sa zatvorenim ciklusom, kao preteču današnje toplotne pumpe.

Holden (Velika Britanija) je 1891. godine analizirao neke rashladne instalacije i izradio dijagrame koeficijenata grejanja u odnosu na temperature toplotnog ponora i utvrdio da se koeficijenti grejanja kreću u granicama od jedne trećine do jedne polovine teoretskog koeficijenta Karnoovog (Carnot) ciklusa. Na osnovu ovih rezultata, Holden je preporučio primenu rashladnih sistema i za hlađenje i za grejanje i ukazao na ekonomičnost primene ovakvog postrojenja u obema primenama. Holden je sredinom 1920. godine konstruisao eksperimentalnu toplotnu pumpu koja je dobro služila za grejanje prostora i tople vode u Škotskoj. Pumpa je koristila spoljni vazduh i vodovodnu vodu kao toplotni izvor, niskotemperaturni sistem grejanja radiatorima i kompresor gonjen elektromotorom. Rashladni fluid je bio amonijak. Tehničke karakteristike ove toplotne pumpe nisu bile tako dobre, kao što su ih imale tadašnje rashladne mašine, ali je zato koeficijent grejanja bio vredan pažnje. Holden je rezultate ovog istraživanja obradio za temperature toplotnog izvora od 4,4°C i temperature isparavanja od -6,7°C.

Prva velika toplotna pumpa je puštena u rad verovatno 1930/31. godine u Los Anđelesu (SAD). Bila je vlasništvo kompanije za elektrodistribuciju i činio ju je rashladni sistem učinka 1,6 MW za hlađenje komora. Četvrtina njenog toplotnog učinka je korišćena za grejanje poslovnog prostora. Ista kompanija je, između 1937. i 1940. postavila još četiri toplotne pumpe u četiri objekta. Koeficijent grejanja je bio od 1,45 do 1,98, mada su projektanti smatrali da bi trebalo da bude 2,32. Druga slična kompanija je, u istočnom delu SAD, opremila osam objekata toplotnim

pumpama od 60 kW do 1,2 MW, u periodu između 1934. i 1940. godine. Posle 1936, toplotne pumpe se sve više ugrađuju.

Godine 1940. „Vestinghaus“ („Westinghouse“) proizvodi prvu agregatiranu toplotnu pumpu, pogodnu za grejanje i hlađenje prostorija, sa instalisanom snagom od 770 W i koeficijentom grejanja od 2,37, pri spoljnoj temperaturi vazduha od +5°C. Ona je bila preteča današnjih klimatizera koji se ugrađuju u prozore. Spoljni vazduh je bio toplotni izvor, a otapanje je vršeno promenom ciklusa, što je prvi put primenjeno u masovnoj proizvodnji.

U Evropi je do razvoja toplotnih pumpi došlo oko 1930. godine, da bi ih već 1943. bilo dosta u primeni. Te godine je engleski časopis „Electrical Service“ štampao specijalni dodatak posvećen mogućnostima toplotnih pumpi. Taj tekst je pružio široj javnosti podatke o vrednostima primene latentne toplote iz procesa kondenzacije, industrijske otpadne toplote, vazduha i vode, kao toplotnih izvora grejanja. U primeni toplotnih pumpi je prednjačila Švajcarska, jer je zemlji, siromašnoj fosilnim gorivima a bogatoj hidroenergijom, odgovarala primena toplotnih pumpi. Između 1939. i 1940. godine u Švajcarskoj je instalisano 35 toplotnih pumpi, pretežno proizvedenih u firmama „Sulzer“ („Sulzer“) i „Ešer Vis“ („Escher Wyss“).

Vredno je istaći da toplotna pumpa, postavljena 1938. u ciriškoj većnici, u neposrednoj blizini jezera, i danas radi. Snaga joj je 190 kW, a radi sa rashladnim fluidom R12 i jezerskom vodom kao toplotnim izvorom. Godine 1939. izrađena je toplotna pumpa snage 1,5 MW (NH₃) za grejanje prostorija, bazena i vode, a toplotni izvori su joj je bili jezerska voda, otpadna voda kao i spoljni vazduh. Obe ove toplotne pumpe proizvela je današnja firma „Sulzer Escher Wyss“.

Za vreme Drugog svetskog rata došlo je do zastoja u proizvodnji i razvoju toplotnih pumpi za civilne potrebe. Međutim, u ovom periodu, pumpa se koristi za dobijanje pitke vode. U SAD je tih godina izrađeno oko 10 000 toplotnih pumpi za dobijanje pitke vode za preko milion ljudi. U Nemačkoj je u to vreme instalisana toplotna pumpa za grejanje i odvlaživanje u podmornici, tipa „XXI“, koju su kasnije kopirali Britanci. Nemačka podmornica „U-570“ je imala mali destilacioni uređaj, čiji je učinak bio 10 litara na čas, koji je kasnije razvijen za podmornice, od 60 l/čas i 25 t/h za brodove sa dizel pogonom.

Posle Drugog svetskog rata, u SAD počinje nagli razvoj opreme za grejanje, hlađenje i klimatizaciju, pa samim tim i toplotne pumpe. Program istraživanja primene toplotne pumpe je postavljen još pre 1945. godine, sa ciljem povećanja potrošnje električne energije i izjednačavanja vršnih opterećenja. Glavni zagovornici ove ideje su bile firme „Southern California Edison Company“ i „The American Gas and Electric Company“.

Godine 1947. je formiran Komitet za toplotne pumpe AFIC-EFI, koji su sačinjavali proizvođači električne energije (Association of Edison Illuminating Companies) i Edisonov institut (Edison Electric Institute). U tesnoj saradnji sa proizvođačima, Komitet pomaže tehnički razvoj istraživačkim projektima. Na bazi tih istraživanja razvijaju se toplotne pumpe koje kao toplotne izvore koriste podzemne vode i zemlju. Firma „Munic Gear Works“ lansirala toplotnu pumpu tipa „marvair“, koja se sastoji iz dva dela: osnovni deo čine kompresor, isparivač za vodu i vazdušni grejač, a drugi je sa ventilatorom za izbacivanje vazduha i vazdušnim filtrom. Toplota se iz zemlje odvodila preko zatvorenog cirkulacionog kruga, u kome je bila voda ili rasolina. Nekako u isto vreme firma „Drayer Hanson“ iz Los Anđelesa je proizvela toplotnu pumpu tipa „airtopics“, koja je kao toplotni izvor koristila spoljni vazduh.

Vazduh iz prostora koji se grejao u toplotnoj pumpi je cirkulisao, filtrirao se, hladio ili grejao i delimično mešao sa svežim prethodno zagrejanim vazduhom. Prelazak sa režima na režim, tj. sa

grejanja na hlađenje i obratno, vršio se trokrakim ventilom. U ovom uređaju su bili ugrađeni po dva kondenzatora i isparivača, što je bio nepotreban trošak.

„General Engineering and Manufacturing Company“ je proizvela za agregate toplotnih pumpi dva kompresora od po 2 kW-3,5 kW, koji su se odlikovali lakom konstrukcijom. Ugrađivani su u agregate koji umnogome podsećaju na današnje konstrukcije. To je bio prvi značajniji napor da se proizvedu kompresori specijalno za toplotne pumpe.

U SAD se od 1948. godine razvijaju manje jedinice toplotnih pumpi, pre svega klimatizeri za individualne korisnike, koji omogućavaju grejanje i hlađenje. Proizvodnja ovih pumpi, učinka od 10 do 30 kW, počela je vrlo brzo da raste. Broj proizvedenih jedinica se kretao od 2 000 (1951) do 76 000 komada (1963), da bi 1972. dostigao 300 000 jedinica. U toj zemlji je 1976. godine proizvedeno 1,6 miliona toplotnih pumpi.

Do 1950. godine toplotne pumpe se uglavnom koriste za grejanje kuća (50%), a u industrijske svrhe svega 5%. Vodu kao toplotni izvor koristilo je 53%, vazduh 36%, a samo 7% toplotnih pumpi zemlju. (Ovakvo stanje je bilo u SR Nemačkoj 1975. godine.) Između 1950. i 1954. toplotne pumpe se uvode na tržište. Pojavljuju se mnoga odlična rešenja, koja zadovoljavaju sve strože tehničke i ekonomske zahteve. Tako firma „General Electric“ oktobra 1951. iznosi na tržište toplotnu pumpu čiji je toplotni izvor vazduh i koja se automatski prebacuje sa grejanja na hlađenje, prema potrebi. Uređaj je proizveden kao „split“ sistem, čije se jedinice mogu postaviti jedna iznad druge, ili jedna pored druge. Vršna opterećenja se pokrivaju trostepenim električnim grejačem. Na tržištu je reklamiran kao uređaj koji se može koristiti preko cele godine, jer je zasnovan na konceptu toplotne pumpe za klimatizaciju.

Od 1955. do 1968. u SAD je formirano 129 kompanija koje su proizvodile toplotne pumpe. Njihov poslovni uspeh je bio različit i zavisio je pre svega od sposobnosti ljudi koji su prodavali pumpe. U svakom slučaju, u to vreme se plasman toplotnih pumpi udvostručavao iz godine u godinu.

Nagla ekspanzija ovog tržišta dovela je pojedine firme u raskorak između mogućnosti plasmana i organizaciono-tehnoloških sposobnosti proizvodnje. Tako, na primer, nestručna propaganda, pogrešno dimenzionisanje uređaja, loš izbor toplotnog izvora itd., doveli su do brojnih reklamacija. Pojedine firme nisu mogle da izađu na kraj sa sve većim brojem intervencija, što je dovelo do obustavljanja proizvodnje toplotnih pumpi. Najveći broj primedbi i intervencija odnosio se na kompresore sa R22. Međutim, prelaskom na rashladni fluid R502, broj intervencija se znatno smanjio.

U međuvremenu, na Zapadu su projektanti objekata i instalacija shvatili prednost toplotnih pumpi i počeli sa više pažnje razmišljati o njihovoj primeni. Na televiziji se pojavljuju obrazovne emisije o toplotnim pumpama, namenjene potencijalnim kupcima. Veliki broj državnih i strukovnih institucija izdaje standarde i propise koji sve preciznije određuju karakteristike ovih uređaja.

I sigurnosti u radu toplotnih pumpi poklanja se sve veća pažnja. SAD su među prvim zemljama izdale standard za sigurnost i kvalitet („Underwriters Laboratory“ i ARI - Air-conditioning and Refrigeration Institute). Vladina organizacija, Federal Housing Administration, izdala je pravila o konstruisanju toplotnih pumpi.

Poslednjih nekoliko godina potražnja toplotnih pumpi u SAD stagnira, iako se kupcima nude znatno duže garancije (npr. za kompresore 5 i 10 godina).

Oko 1950. godine, u Velikoj Britaniji su izrađene toplotne pumpe koje su kao toplotni izvor koristile zemlju, sa akumulacijom toplote i antrifrizom u cevima; imale su koeficijent grejanja preko 3 i to pri najnepovoljnijim vremenskim uslovima.

Prva velika toplotna pumpa u Velikoj Britaniji postavljena je kao eksperimentalna mašina za grejanje bloka opštinskih zgrada. Čitav sistem za grejanje je pušten u rad 1954. godine, a uklonjen nakon pet godina eksploatacije. Instalirana snaga ove toplotne pumpe je bila 240 kW, sa rashladnim fluidom SO₂, i rečnom vodom kao toplotnim izvorom. Imala je koeficijent grejanja 3 odnosno 4. Nešto kasnije, 1951, kada je prva toplotna pumpa prestala da radi, puštena je u rad toplotna pumpa za „Festival Hall“ u Londonu. Kao toplotni izvor je koristila vodu iz Temze, a gradski gas kao pogonsku energiju. Ukupna snaga joj je bila 2,3-2,6 MW, sa rashladnim fluidom R12 i koeficijentom grejanja od 2,5 do 3. Sistem je zagrevao vodu do 82°C, pri temperaturi rečne vode nešto višoj od ±0°C. Toplotna pumpa je imala centrifugalne kompresore, sa dvostepenim rashladnim ciklusom.

Godine 1954. u Velikoj Britaniji je razvijena toplotna pumpa za domaćinstvo, obezbeđujući toplu vodu hlađenjem skladišta za namirnice. Dobijena toplotna energija je leti iznosila 1,2 kW, a zimi 0,7 kW. Ovakve male mašine su mnogo korišćene za proizvodnju sladoleda, gde je toplota odvedena smravanjem korišćena za grejanje tople vode.

U Švedskoj, Francuskoj i Nemačkoj, u periodu od 1960. do 1970. godine, dolazi do nagle potražnje toplotnih pumpi, koje kao toplotni izvor koriste vazduh.

Nakon prve energetske krize, početkom sedamdesetih godina, primena toplotnih pumpi postaje sve značajnija, čak i tamo gde nije postojala potreba za hlađenjem. Nacionalni komiteti za energetiku, npr. u Švedskoj i Velikoj Britaniji, pokazuju veliko interesovanje za korišćenje toplotnih pumpi za dobijanje toplotne energije. Ovaj uređaj postaje jedno od strateških rešenja za obezbeđenje toplotne energije u domaćinstvima. Otprilike u isto to vreme dolazi do povećane proizvodnje ovih uređaja koji kao pogonsku energiju koriste tečno ili gasovito gorivo, obezbeđujući tako više temperature vode za grejanje. To je u postojećim sistemima za grejanje, gde je obično korišćena temperatura vode od 90/70°C, omogućilo jednostavan prelazak na korišćenje toplotne pumpe.

Mogućnost dobijanja viših temperatura pomoću toplotne pumpe je ohrabrila istraživače u Francuskoj, gde je početkom sedamdesetih godina izrađena studija o korišćenju centrifugalnih kompresora sa radnim fluidom R113 i R114 u toplotnim pumpama za dobijanje temperatura do 140°C.

Interesantan je primer toplotne pumpe u Francuskoj koja je koristila termalnu vodu kao toplotni izvor radi dobijanja viših izlaznih temperatura. Instalirana je u Krelu (Creil), sa toplotnim učinkom od 2 MW, a voda za toplotni izvor je dobijena sa dubine od 1 800 metara.

Toplotna pumpa se koristi i u poljoprivredi. Međutim, i pored toga što bi tamo velike toplotne pumpe imale bolju primenu, srećemo samo manje jedinice. U francuskom gradu Sen Loren Dezo (St. Laurent des Eaux) 1975. godine su upotrebljene toplotne pumpe u stakleniku čija je površina 3 000 m². Pumpe se koriste za sušenje graška i drugog povrća, kao i drva, sa snagom od 1 kW do 30 kW, odvajajući vlagu od 50 litara do 2 000 litara dnevno. U Francuskoj je 1976. godine bilo u upotrebi preko 1 000 takvih toplotnih pumpi. U toj zemlji je primena toplotnih pumpi naročito velika u proizvodnji mleka (temperature do 70°C), vina i drugih prehrambenih proizvoda.

Prva toplotna pumpa domaće proizvodnje u Jugoslaviji je verovatno ona u Herceg Novom, koju je projektovao profesor Sava Vujić, iz Beograda. Pumpa je izrađena 1963, sa „Jugostrojevim“ kompresorom 6 CPM (po licenci firme „J. E. Hall“). Rashladno sredstvo je bilo metilhlorid, a toplotni izvor zemlja. Zagrevala je staklenu baštu putem vazduha. Iako je dobro radila, pumpa je brzo zamenjena grejačima na naftu, koja je u to vreme bila jeftinija i pouzdanija.

Sedamdesete godine možemo smatrati vremenom kada se u Jugoslaviji sve više razmišljalo o primeni toplotnih pumpi kao svojevrsnom rešenju načina grejanja. U to vreme se radi niz prototipova i ugrađuju modeli stranih proizvođača.

Godine 1979. u splitskoj luci je ugrađena veća domaća toplotna pumpa, koju je proizveo splitski „Termofriz“, za potrebe pomorsko-putničkog terminala. Koristila je morsku vodu za toplotni izvor; imala je grejni učinak od 700 kW, sa temperaturom vode za grejanje od 45°C/40°C i rashladni učinak od 650 kW (12°C/7°C). Ova toplotna pumpa i danas radi.

Nakon ove prve toplotne pumpe u tadašnjoj Jugoslaviji počinje ugradnja toplotnih pumpi korišćenjem standardnih elemenata rashladnih instalacija. To su Slovenska plaža u Budvi (1983), Izlake (1985), Fojnice (1985), Medijske Toplice (1988), Zetra u Sarajevu („Frigostroj“) i drugi.

Paralelno sa intenzivnom proizvodnjom i montažom toplotnih pumpi, i literatura se obogaćuje knjigama, priručnicima i člancima posvećenim toplotnim pumpama. Tada izlaze „Dizalice topline“, Frane Bilića (1979), „Toplotne pumpe u primeni“, Stevana Šamšalovića i dr.

Poslednju deceniju XX veka karakteriše najezda toplotnih pumpi za individualnu upotrebu tzv. „split“ (razdvojivih) toplotnih pumpi za grejanje i hlađenje. Nakon toga masovno se primenjuju i veće jedinice i to kako sa elektropogonom kompresora, tako i sa gasnim motorima. [1]

2. Geotermalna energija u Srbiji

Geotermalna energija u Srbiji se simbolično koristi, samo sa 86 MW, iako po geotermalnom potencijalu spada u bogatije zemlje. Njeno korišćenje i eksploatacija moraju postati intenzivniji jer na to primoravaju sledeći faktori: tenzije naftno - energetske neravnoteže, neminovna tranzicija na tržišnu ekonomiju, stalni porast deficita fosilnih i nuklearnih goriva, pogoršavanje ekološke situacije i porast troškova za zaštitu okoline. Najveći značaj za Srbiju imaće direktno korišćenje geotermalne energije za grejanje i toplifikaciju ruralnih i urbanih naselja i razvoj agrara i turizma.

Geotermalne karakteristike teritorije Srbije su veoma interesantne. To je posledica povoljnog geološkog sastava terena i povoljnih hidroloških i geotermalnih karakteristika terena. Gustina geotermalnog toka je glavni parametar na osnovu kojeg se procenjuje geotermalni potencijal nekog područja. On predstavlja količinu geotermalne toplote koja svakog sekunda kroz površinu od 1 m² dolazi iz Zemljine unutrašnjosti do njene površine. Na najvećem delu teritorije Srbije gustina geotermalnog toplotnog toka je veća od njegove prosečne vrednosti za kontinentalni deo Evrope, koja iznosi oko 60 mW/m². Najveće vrednosti od preko 100 mW/m² su u Panonskom basenu, centralnom delu južne Srbije i u centralnoj Srbiji. Na teritoriji Srbije van Panonskog basena nalazi se 160 prirodnih izvora geotermalnih voda sa temperaturom većom od 15°C. Najveću temperaturu od njih imaju vode izvora u Vranjskoj Banji (96°C), zatim u Jošaničkoj Banji (78°C), Sijerinskoj Banji (72°C) itd. Ukupna izdašnost svih prirodnih geotermalnih izvora je oko 4.000 l/s. Prema sadašnjim saznanjima na teritoriji Srbije postoji 60 nalazišta geotermalnih voda sa temperaturom većom od 15°C do dubine od 3000 m.

Ukupna količina toplote koja se nalazi akumulirana u nalazištima geotermalnih voda u Srbiji do dubine od 3 km, oko dva puta je veća od ekvivalentne toplotne energije koja bi se mogla dobiti sagorevanjem svih vrsta ugljeva iz svih njihovih nalazišta u Srbiji. Izdašnost 62 veštačka geotermalna izvora, tj. geotermalne bušotine, na području Vojvodine je oko 550 l/s, a toplotna snaga oko 50 MW, a na ostalom delu Srbije iz 48 bušotina 108 MW. Na teritoriji Srbije pored povoljnih mogućnosti za eksploataciju toplotne energije i ostalih geotermalnih resursa iz geotermalnih voda, postoje i povoljne mogućnosti za eksploataciju geotermalne energije iz „suvih“ stena, tj. stena koje ne sadrže slobodnu podzemnu vodu. U tom slučaju voda se upumpava u podzemne tople stene gde se zagreva. Ispumpavanjem tako zagrejane vode ostvaren je prenos energije iz toplih stena. Eksploatacija energije iz ovog resursa neće početi u dogledno vreme kada se uzme u obzir i trenutno minimalno korišćenje prirodnih izvorišta tople i lekovite vode mada su u svetu razvijene i tehnologije za tu primenu.

U Srbiji se koristi samo geotermalna energija iz geotermalnih-mineralnih voda, uglavnom na tradicionalan način, najviše u balneološke i sportsko-rekreativne svrhe. Korišćenje geotermalne energije za grejanje i druge energetske svrhe je u početnoj fazi i veoma skromno u odnosu na potencijal geotermalnih resursa. U Vojvodini se energetska eksploatacija geotermalnih voda vrši počev od 1981. godine. Za te svrhe služe 23 bušotine. Vode iz dve bušotine koriste se za proizvodnju povrća u staklenicima. Tri bušotine koriste se u stočarstvu za grejanje farmi za uzgoj svinja, dve u fabrikama kože i tekstila u proizvodnom procesu, tri za zagrevanje poslovnih prostorija, a vode iz trinaest bušotina koriste se u banjskim i sportsko-rekreativnim i turističkim centrima. Ukupna toplotna snaga svih ovih bušotina je 24 MW. Van Panonskog basena, odnosno van Vojvodine, geotermalne vode se koriste za grejanje na nekoliko lokaliteta. Ovo korišćenje za te svrhe je započelo pre četrdeset godina u Vranjskoj Banji. Tu se geotermalnom vodom danas zagreva staklenik za proizvodnju cveća, živinarska farma, jedna industrijska tekstilna hala i prostorije banjskog rehabilitacionog centra. Veliki hotelski i rehabilitacioni centar sa plivačkim bazenom zagreva se u Kuršumlijskoj Banji. U Niškoj Banji izgrađen je sistem za grejanje hotelsko-

turističkog i rehabilitacionog centra sa toplotnim pumpama snage 5 MW, koji koristi „otpadne“ termalne vode temperature 25°C, koji je najveći u Južnoj Evropi. Na isti način, tj. sa toplotnim pumpama, koriste se geotermalne vode sa temperaturom od 30°C u Prolom Banji. Ukupna instalisana snaga na svim lokacijama gde se vrši direktno korišćenje geotermalnih - mineralnih voda je oko 74 MW, a sa toplotnim pumpama još 12 MW. Prema sadašnjem stanju poznavanja geotermalnih resursa, najbogatiji, a samim tim i najznačajniji hidrogeotermalni resursi nalaze se na području Mačve, zatim na području Vranjske Banje i Jošaničke Banje.

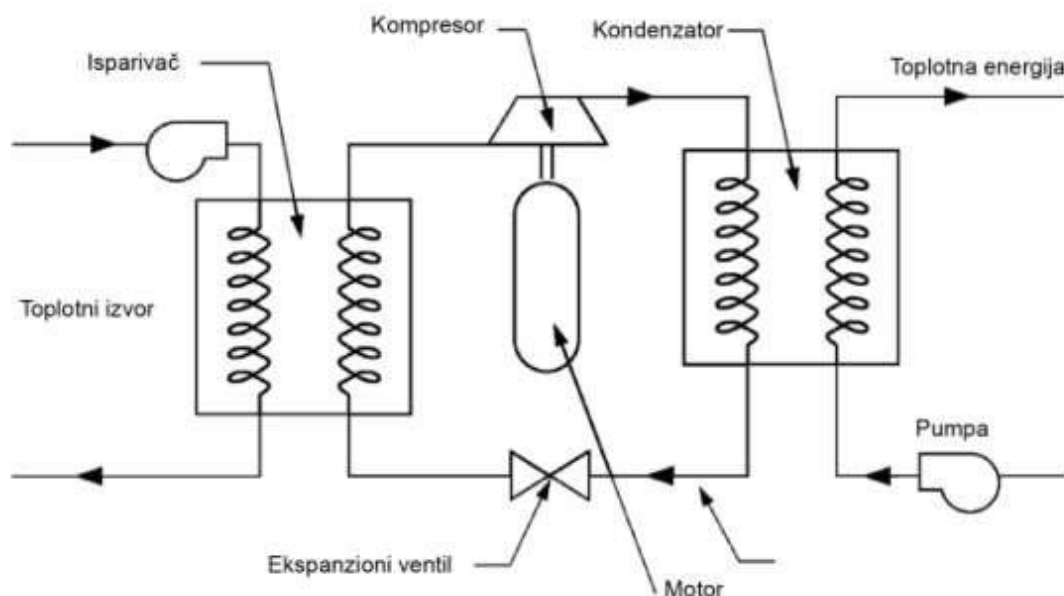
Prema rezultatima istraživanja, za intenzivno korišćenje termalnih voda najveće su mogućnosti na područjima Posavine, Srema i Mačve. Naročito su povoljne mogućnosti u Mačvi, jer je dubina rezervoara 400-600 m, a temperatura 80°C. Samo na bazi eksploatacije termalnih voda u Mačvi moguća bi bila toplifikacija većeg broja gradova, sa ukupno 150 000. Srbija je, u pogledu energije, uvezno orijentisana zemlja. Na području Mačve, iz Zemljine utrobe, sa svega 500 metara dubine, pokuljala je voda temperature od 35 do 78°C, dok u svetu vodu tolike temperature otkrivaju sa dubine od dva kilometra. [2]

3. Tehnologija grejanja i hlađenja toplotnim pumpama

3.1 Princip rada toplotne pumpe

Toplotna pumpa se sastoji od isparivača, kondenzatora, kompresora, ekspanzionog ventila i prateće opreme. Isparivač i kondenzator predstavljaju izmenjivače toplote u kojima se toplota razmenjuje sa okolinom i prostorom koji se greje.

Toplota okoline se u isparivaču predaje radnom fluidu (najčešće R407c) u toplotnoj pumpi. Radni fluid se komprimuje, pri čemu se povećavaju pritisak i temperatura. Tako zagrejan fluid ulazi u kondenzator iz koga se toplota odaje grejanom prostoru. Ohlađeni fluid prolazi kroz ekspanzioni ventil gde se prigušuje, temperatura se dodatno snižava i kao takav ulazi u isparivač (sl. 2). [3]



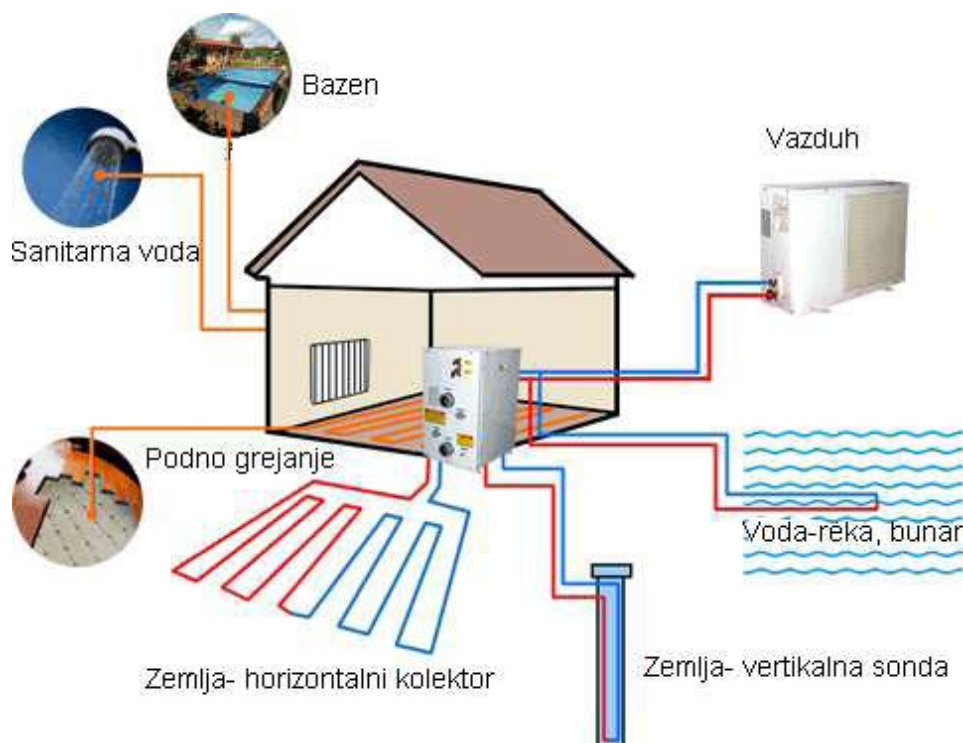
Slika 2. Shema toplotne pumpe

Na osnovu izloženog, može se zaključiti da sistem toplotne pumpe funkcioniše isključivo na osnovu temperaturnih razlika. Što su veće temperaturne razlike, brži je i delotvorniji prenos toplote. Dovoljno je prisetiti se klima uređaja koji toplotu zatvorenog prostora izbacuje u okolinu, a u hladnijim danima ne daje nikakav učinak jer nema hladnijeg medijuma kojem bi predao toplotu. Pojedini tipovi klima uređaja mogu da rade i kao toplotna pumpa koja zagreva prostor oduzimanjem toplote spoljašnjem vazduhu. No, treba znati da se u zimskim uslovima brzo postiže granica kad je spoljašnji vazduh hladniji od medijuma u isparivaču i tada mu se ne može preneti nikakvu toplotu. U ovom ograničenju se krije glavna prednost toplotnih pumpi koje toplotu izvlače iz tla ili podzemne vode s malim temperaturnim oscilacijama. Stoga su toplotne pumpe za iskorišćenje toplote vazduha bitno većih dimenzija, a imaju i mnogo jače kompresore kako bi proizvele toplotu sa dobro ohlađenim medijumom, hladnijim od zimskog vazduha. Ipak, ovi uređaji nude i jednu pogodnost, a to je delotvorno hlađenje prostorija u letnjem periodu pri čemu se toplota izbacije u okolinu.

U toplotnoj pumpi rashladni fluid se uzastopno sabija i širi, pri čemu se uzastopno zagreva i hladi prelazeći iz gasovitog u tečno stanje. Za funkcionisanje toplotne pumpe neophodan je rashladni fluid koji ovakve promene ostvaruje u odgovarajućem temperaturnom rasponu. Umesto zabranjenog freona danas se primenjuju manje štetni gasovi. Iako delotvornost toplotne pumpe

određuje snaga kompresorskog elektromotora, važno je da se na ulazu u isparivač obezbedi što veća temperaturna razlika između ohlađenog medijuma i relativno toplije okoline kojoj oduzimamo toplotu.

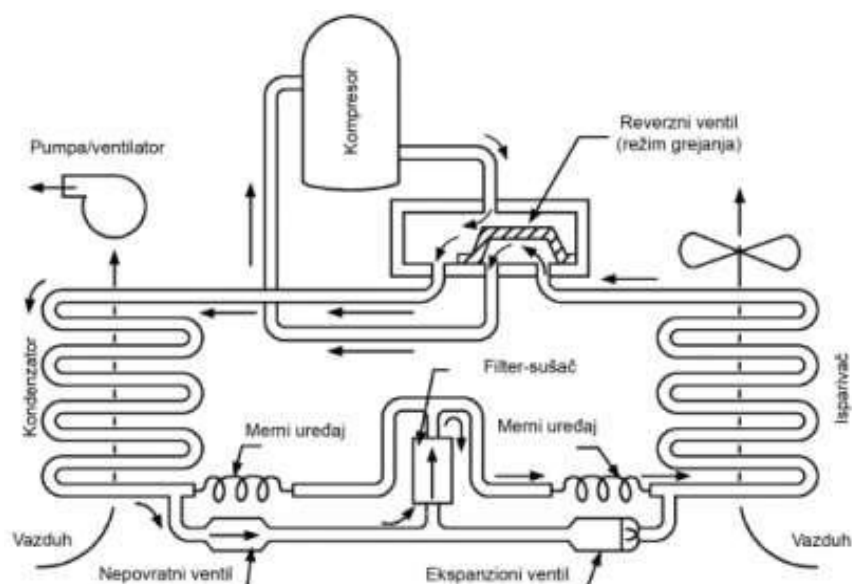
Za rad toplotne pumpe na raspolaganju su izvori toplote iz zemlje, podzemnih voda i okolni vazduh (sl. 3). Kod pojedinačnih slučajeva u zavisnosti od lokalnih uslova, vrste tla, kao i klimatskih uslova, bira se najprikladniji izvor toplote. Što je odabrani izvor toplote kvalitetniji, to će kompresor toplotne pumpe biti manje u pogonu, pa će i koeficijent iskorišćenja biti veći. [3]



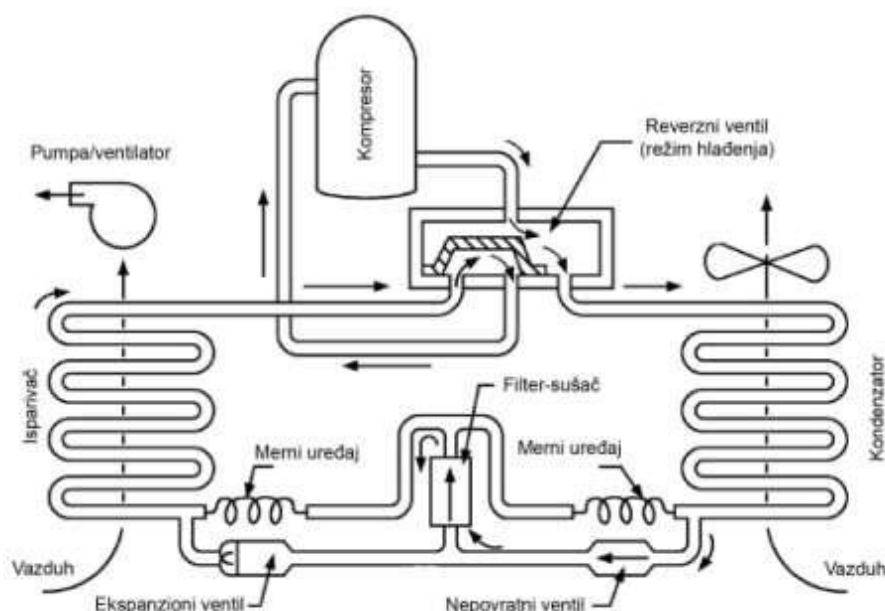
Slika 3. Primer primene toplotne pumpe

3.2. Vazduh kao izvor toplote

Vazduh se može koristiti kao izvor toplote, ali ima nedostatak da u zimskim periodima temperature padaju vrlo nisko. Iz tog razloga dolazi do zaleđivanja isparivača, a samim tim i do smanjenja razmenjene količine toplote, tj. do pada stepena iskorišćenja. Toplotne pumpe opremljene su električnim grejačem koji se koristi za odmrzavanje. Ujedno grejač služi kao pomoćni izvor u slučaju da toplotna pumpa ne može sama da zadovolji potrebe za toplotnom energijom. Zbog ovog nedostatka, predlaže se upotreba u prelaznim periodima, ili kao pomoćni vid grejanja. Nalaze svoju primenu i pri rekuperaciji toplote iz otpadnog vazduha ili izduvnih gasova u industriji. [3]



Slika 4. Shema toplotne pumpe u režimu grejanja



Slika 5. Shema toplotne pumpe u režimu hlađenja

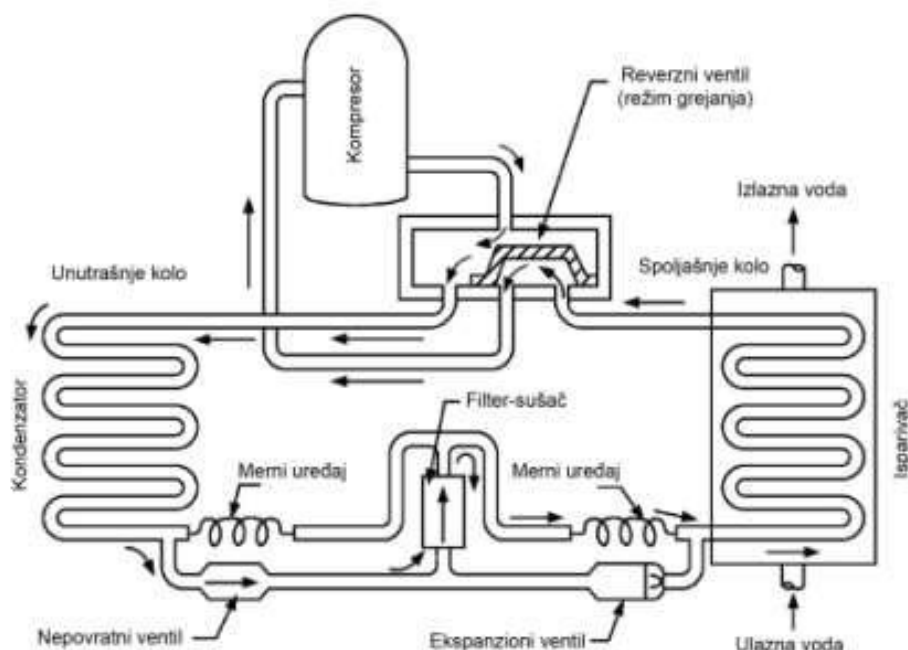
Ove toplotne pumpe mogu se koristiti za grejanje (sl. 4) i za hlađenje (sl. 5). U režimu grejanja spoljašnjem vazduhu se u isparivaču toplotne pumpe oduzima toplota, pa se nakon toga predaje grejanom prostoru preko kondenzatora. U režimu hlađenja proces je obrnut. Reverzni ventil koristi se za promenu toka fluida tj. za promenu radnog režima.

Kapacitet ovog tipa toplotnih pumpi je od 5 kW do 100 kW, mada ne postoje bilo kakva ograničenja u kapacitetu. Koriste se za grejanje kuća, poslovnih prostora i u industrijske svrhe. [3]

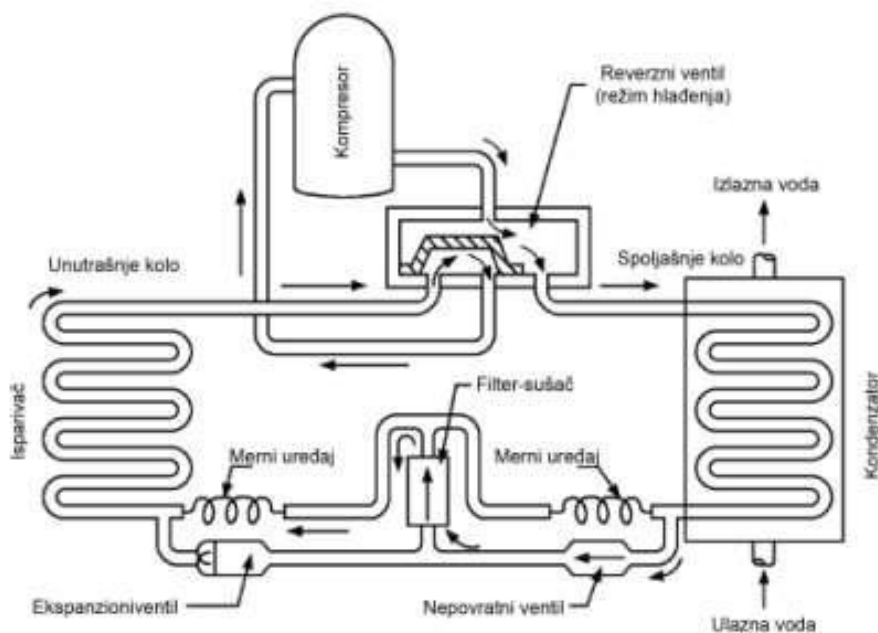
3.3. Voda kao izvor toplote

Toplotne pumpe mogu koristiti vodu kao medijum iz koga će crpeti toplotu. Voda koja se koristi može biti iz reke, jezera, mora, gradske instalacije, otpadna para i dr. Toplotne pumpe koje

koriste vodu kao izvor toplote mogu raditi u režimu grejanja (sl. 6) i hlađenja (sl. 7). Sistem u kome cirkuliše radni fluid može biti zatvoren ili otvoren. [3]



Slika 6. Shema toplotne pumpe u režimu grejanja



Slika 7. Shema toplotne pumpe u režimu hlađenja

3.4. Zemlja kao izvor toplote

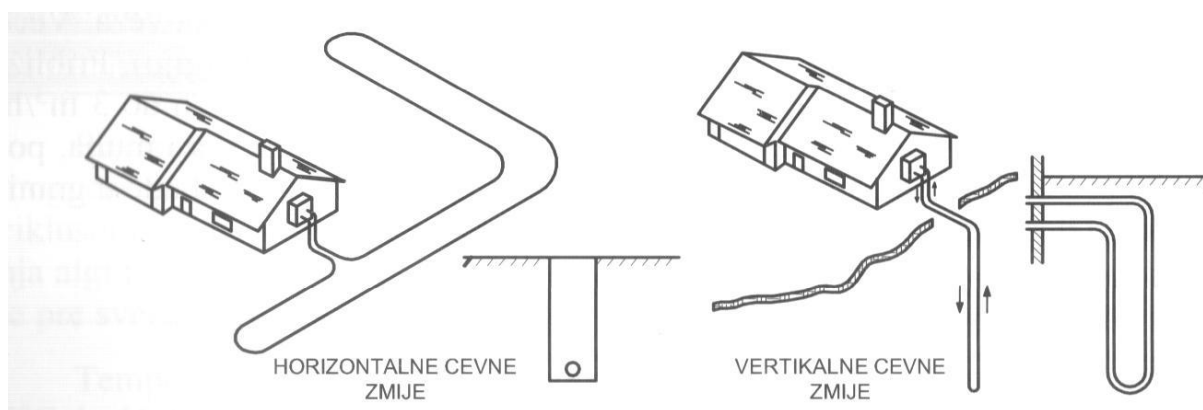
Zbog svoje relativno konstantne temperature tokom godine, zemlja je pogodna kao toplotni izvor za toplotne pumpe. Ima je u velikim količinama i u neposrednoj blizini korišćenja nisu, bar za sada, potrebne nikakve dozvole za njeno korišćenje u ovu svrhu.

Toplotna pumpa, čiji je toplotni izvor zemlja, jeste sistem koji koristi razmenjivač toplote u obliku cevne zmiје projektovan tako da od zemlje odvodi ili u zemlju dovodi toplotu. Blizak kontakt

sa zemljom obezbeđen je, obično, jednom ili više plastičnih cevni zmijs, ukopanih vertikalno ili horizontalno u zemlju. Fluid, voda, rasolina ili rashladni fluid, cirkulišu kroz cevi prenoseći toplotnu energiju do razmenjivača toplote toplotne pumpe ili od njega. U klasičnoj reverzibilnoj toplotnoj pumpi razmenjivač toplote može biti ili isparivač ili kondenzator, u zavisnosti od toga da li se toplotna pumpa koristi za grejanje ili za hlađenje.

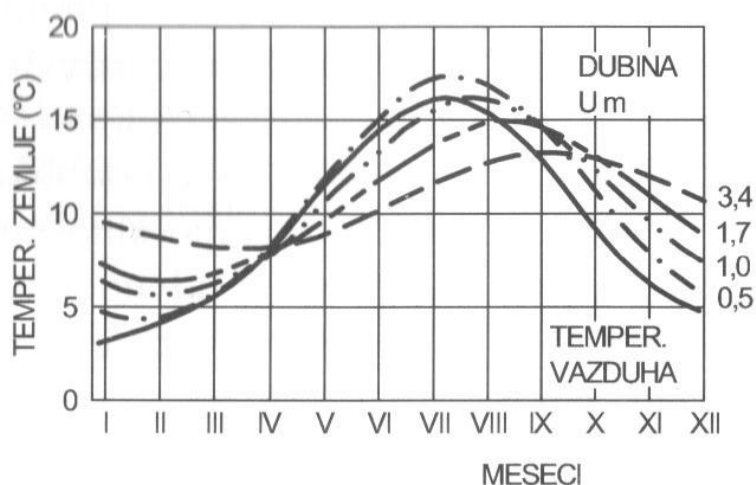
Sistemi sa zemljom kao izvorom toplote su investiciono skuplji po jedinici snage od onih kod kojih je izvor vazduh ili voda, ali su eksploatacioni troškovi relativno niži, što za neke uslove gradnje daje prednosti ovim vrstama toplotnih pumpi.

Cevne zmijs položene u zemlju, kod kojih je razmenjivač toplote u direktnom kontaktu sa zemljom, imaju konstantan protok kvalitetno obrađenog fluida (voda ili glikol), zbog čega takvi sistemi nemaju probleme koje imaju otvoreni sistemi sa vodom. Zmijs se postavljaju horizontalno ili vertikalno (sl. 8).



Slika 8. Polaganje cevne zmijs u zemlju

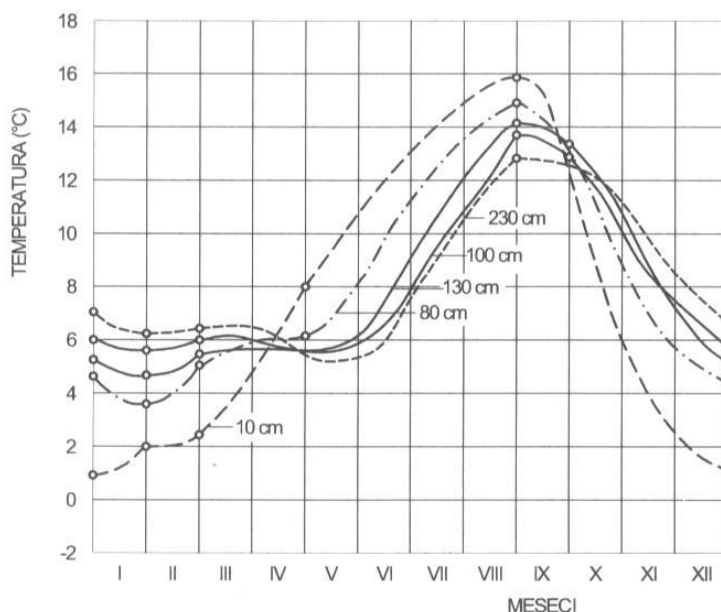
Temperatura zemlje neposredno u zoni razmenjivača toplote je presudna za određivanje koeficijenta grejanja toplotne pumpe. Na slici 9 je prikazana primena temperature zemlje na raznim dubinama, u zavisnosti od doba godine. Najmanje kolebanje temperature je na dubini od 6 m i iznosi $\pm 1,5^{\circ}\text{C}$, dok je najveće kolebanje blizu površine i prati kolebanje temperature okolnog vazduha. [1]



Slika 9. Promena temperature zemlje u zavisnosti od dubine

Na dubini od oko 1 m, 90% toplote se dobija iz okolnog vazduha i od Sunca, a senke iz okoline znatno utiču na toplotni fluks. Toplota dobijena iz dubine zemlje u ovom slučaju iznosi samo 10%. U ovakvim slučajevima (do dubine od 2 m) koriste se isključivo horizontalne cevi, koje zadovoljavaju potrebe za grejanjem manjih i srednjih objekata.

Za manje instalacije postavljaju se horizontalne cevi na dubini od 0,5 do 2 metra, sa korakom između cevi od 1 do 3 metra. U takvim uslovima specifični toplotni učinak je u intervalu od 20 do 40 W/m², ali se već pri vrednosti od 25 W/m² mogu dobiti dobri rezultati. Cevi su od metala ili plastike. Na slici 10 prikazana su merenja koja je izvršio L. Ruvel (Rouvel) na jednom sistemu manjeg učinka. Na površini od 500 m², sa 450 m cevi, ostvareno je opterećenje isparivača od 13 kW, odnosno 26 W/m². Stvaranje leda je primećeno u prečniku od 50 m od cevi isparivača, što je ukazalo na mogućnost smanjenja razmaka između cevi na 80 cm, i do povećanja specifičnog toplotnog opterećenja na 39 W/m².



Slika 10. Temperatura zemlje prema merenjima L. Ruvela

I pri korišćenju zemlje kao toplotnog izvora za veće objekte, mogu se primeniti horizontalne cevne zmije, ali to zahteva vrlo velike, slobodne površine, na kojima je obično ugrožena vegetacija. Zato te slobodne površine imaju ograničenu upotrebu.

Veliki obim zemljanih radova ima ekonomskog smisla za ovu upotrebu ukoliko se u okviru njih vrše i drugi slični zahvati.

Za vrlo velike objekte, gde postoji problem postavljanja horizontalnih cevi, koriste se vertikalni cevni registri za iskorišćenje toplotnog potencijala zemlje. U takvim slučajevima 90% potrebne toplotne energije dolazi iz zemlje, a samo 10% od Sunca i okolnog vazduha. Vertikalni razmenjivači toplote imaju ekonomskog opravdanja kada se postavljaju na dubine veće od 50 m, jer temperaturi gradijent raste sa povećanjem dubine.

U cevima postavljenim horizontalno ili vertikalno, nalazi se rashladni fluid, ili rasolina (sa tačkom mržnjenja znatno ispod 0°C). Međutim, zbog visokih ulaganja i problema održavanja, najčešće se koristi rasolina (antifriz - dvadesetprocentni etil-glikol).

Vertikalne cevne zmijske postavljaju se u vertikalne rupe uz pomoć mašina za bušenje. Oko cevi se injektira materijal koji ostvaruje bolji kontakt cevi i zemlje. Horizontalne cevi se postavljaju u jednu ili više brazdi na dubini obično od 1 do 2 m. Pad pritiska treba da je što manji, kako bi se utrošak pogonske energije celokupnog sistema toplotne pumpe sveo na što je moguće manju meru.

Posebno je važno dugoročno sagledavanje iscrpljivanja (osiromašenja) zemlje kao izvora toplote. Promena temperature zemlje u zoni cevi kontinualno se menja, izrazito kod toplotnih pumpi sa funkcijom grejanja. Pri prenosu toplote na zemlju, vlaga se od zemlje odvođa iz neposredne blizine cevi. Kada cev hladi zemlju (toplotna pumpa greje), vlaga iz zemlje se kreće prema cevima. To uslovljava sušenje zemlje i povećanje otpora prenosu toplote. Ukoliko nema kvalitetnog priliva toplote od okoline, zemlja u zoni oko cevi vremenom se zamrzava. Kada su cevi plitko ukopane (horizontalna varijanta), na problem smrzavanja zemlje utiču i temperatura spoljnog vazduha i osunčanost terena. Ukoliko se radi o vertikalno položenim cevima, značajniji je uticaj temperature okolne zemlje i priliv toplote od susednih slojeva zemlje. Što su cevi na većoj dubini, kolebanje temperature je manje.

Prvi korak pri preliminarnom projektovanju je važna procena zemlje kao toplotnog izvora. Pored termofizičkih karakteristika zemlje i lokaliteta, bitno je odabrati radni fluid (voda ili glikol, ređe rashladni fluid), odrediti toplotni učinak, sagledati frekventnost uključivanja toplotne pumpe u toku dana i sl. Da bi se došlo do pravilne odluke, potrebno je sprovesti sledeću proceduru:

- odrediti lokalne uslove (klimu i karakteristike zemlje),
- odrediti toplotne gubitke i dobitke objekta po mesecima,
- definisati način grejanja odnosno hlađenja objekta, proveriti nekoliko tipova sistema imajući u vidu režim odvođenja/dovođenja toplote zemlji,
- izabrati preliminarno rešenje za razmenu toplote sa zemljom (horizontalne ili vertikalne cevi),
- izabrati jednu ili više toplotnih pumpi imajući u vidu potrebno toplotno opterećenje po mesecima, odrediti prvo približenje srednje temperature fluida i time definisati koeficijent grejanja,
- odrediti bazni mesec pomoću preliminarnog učinka toplotne pumpe,
- za izabranu toplotnu pumpu, odrediti vrstu rashladnog fluida, temperature napojnog i povratnog fluida,
- projektovati razmenjivač toplote, definisati prečnik i materijal cevi, raspored, položaj i dubinu ukopavanja,
- proračunati termički otpor, koristeći priložene tablične vrednosti,
- odrediti dužinu cevi prema izabranom rešenju (horizontalne ili vertikalne cevi).

U fazi odlučivanja o tome da li primeniti toplotnu pumpu i koji tip pumpe, kada se radi o zemlji kao toplotnom izvoru, i pri izboru razmenjivača toplote, potrebno je analizirati nekoliko lokalnih faktora: troškove pogona toplotne pumpe, pouzdanost izabranog pogona u poređenju sa klasičnim - alternativnim energetske izvorima; pouzdanost i troškove lokalnih izvođača (za bušenje, kada je u pitanju vertikalno postavljanje cevi). U urbanim gusto naseljenim sredinama sa drvećem, žbunjem, putevima i drugim preprekama, horizontalni sistem cevi nije pogodan. To samim tim podrazumeva vertikalno postavljanje cevni snopova.

Klimatski uslovi su vrlo važni jer utiču na obnovljivost toplotnih izvora - prilikom toplotne energije od sunca kada se radi o horizontalno postavljenim cevima. To zahteva velike i relativno slobodne površine da bi se obezbedio pozitivan uticaj Sunca (pre svega za grejanje). Kada se isti slučaj primeni na dominantno hlađenje, bolje je koristiti površine u senkama. Zbog toga je važno odrediti da li je toplotna pumpa prvenstveno namenjena za grejanje ili hlađenje. U uslovima našeg podneblja, razmatraćemo samo slučaj kada je toplotna pumpa prevashodno namenjena grejanju.

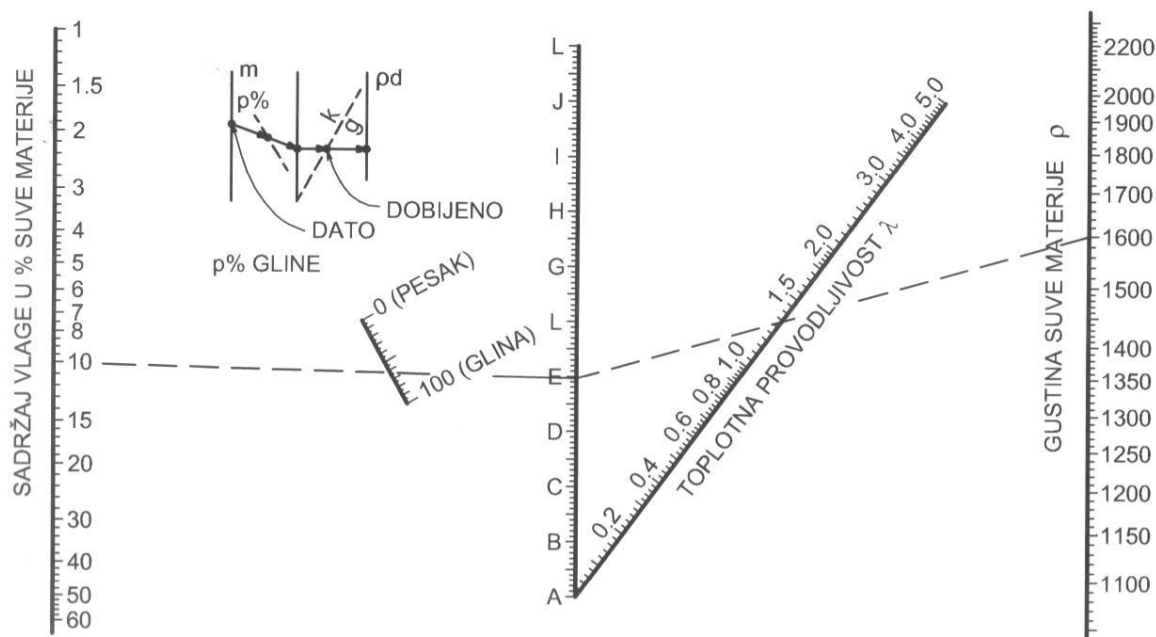
Ekonomičnost toplotne pumpe ne ogleda se samo u uštedi toplotne i električne energije i veličini razmenjivača toplote, već i u smanjenim troškovima montaže toplotne pumpe i izvođenja građevinskih radova. Ovaj momenat može znatno da poveća inicijalne troškove, zbog čega može biti ugrožena koncepcija toplotne pumpe. Zato analiza ekonomičnosti primene toplotne pumpe u poređenju sa klasičnim izvorima energije za grejanje, mora da uzme u obzir sve pripreme radnje.

Na pogodnost zemlje kao toplotnog izvora u velikoj meri utiču njene termičke karakteristike, koje se mogu utvrditi ispitivanjem ili vizuelnim opažanjem. Prirodna vlažnost zemlje mora biti poznata. Vlažnija zemlja je pogodnija kada se toplotna pumpa koristi za grejanje, jer cevna zmija pothlađuje okolne slojeve zemlje, omogućavajući tako kretanje vlage prema cevima, što povećava efekat razmene toplote (bolji koeficijent provođenja). Efektivna razmena toplote odvija se do temperature smrzavanja vlage u zemlji neposredno u blizini cevi i na cevi. Takva rešenja zahtevaju primenu mešavine glikola i vode. Kada se zemlja koristi kao toplotni ponor (hlađenje), slojevi zemlje oko cevi se suše i postoji mogućnost stvaranja pukotina oko cevi, tj. smanjuje se kontaktna površina između cevi i zemlje. U nekim slučajevima kontakt zemlje sa cevima (sistem za grejanje) više neće biti uspostavljen kao homogena celina.

Za vreme pogona, opada temperaturni gradijent zemlje, zbog čega se javlja difuzija vode prema cevima, oko kojih se stvara led. Time se povećava termički otpor. U zoni razmenjivača toplote, stvara se promenljivo polje vlage, koje menja termofizičke osobine tla. U ovakvim slučajevima, koeficijent prolaza, na primer, peska, menja se od 0,25 do 2,5 W/m·K. Hlađenjem se zemlji povećava zapremina i to najpre u zoni cevi, pa sve dalje. Stvaranje leda može smanjiti koeficijent prolaza toplote i do 10%, te se zbog toga u neposrednoj blizini cevi stavlja pesak koji i posle smrzavanja omogućava bliski kontakt mase sa cevima. U blizini cevi se, osim peska, mogu postavljati i drugi materijali, koji ispunjavaju ovaj zahtev. Naročito je interesantno rešenje sa vodonosećim materijalima. U trenutku prekida rada toplotne pumpe, zemlja počinje da se zagreva i njeni pojedini delovi se odvajaju, pa se stvaraju čitave pukotine u neposrednoj blizini cevi.

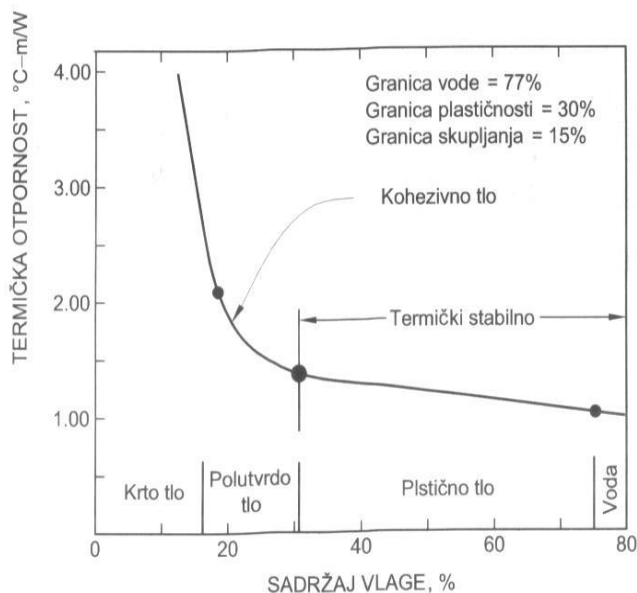
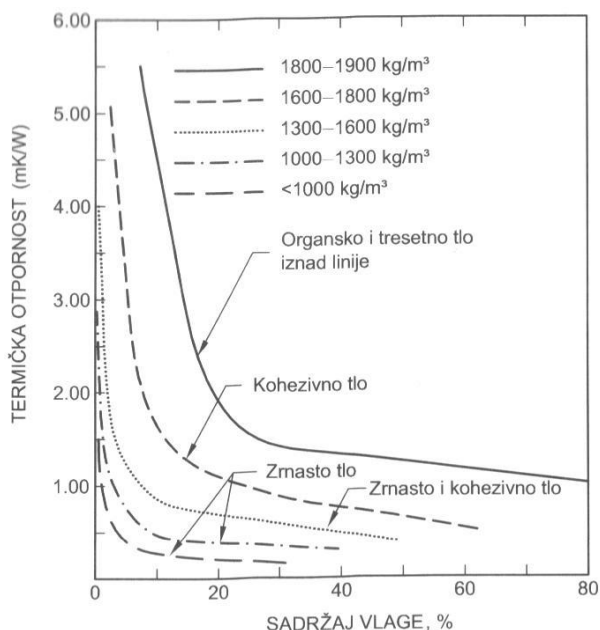
Jedna od najboljih metoda za određivanje koeficijenta toplotne provodljivosti je Kerstenova metoda kojom se prave vrednosti koeficijenta zemlje mogu proračunati pomoću gustine suve zemlje i sadržaja vlage.

Nomogram Makowskog-Mochlinskog (sl. 11) daje podatke za mešavinu gline i peska, od čiste gline do čistog peska. Potrebni podaci za ovaj nomogram su gustina suvog i vlažnog materijala i procentualni sadržaj peska ili gline u zemlji. [1]



Slika 11. Nomogram za određivanje koeficijenta toplotne provodljivosti tla

Zemlja je mešavina čvrstih čestica, vode i vazduha. Zbog toga sadržaj vlage varira od suvog do zasićenog stanja. Gustina zemlje - suve mase, bez vode, definisana je kao masa čvrstih čestica prema zapremini i koristi se za proračun koeficijenta toplotne provodljivosti. Međutim, zemlja u prirodnoj sredini sadrži vodu. Sadržaj vode (vlaga) je funkcija vrste zemlje i klime. Prilikom projektovanja mora se znati minimalni godišnji sadržaj vlage za period najintenzivnijeg odvođenja toplote za potrebe toplotne pumpe. Uticaj efekta smanjenja gustine na vrednost koeficijenta toplotnog otpora prikazan je na slici 12. Koeficijent toplotne provodljivosti je relativno konstantan do cca 30% sadržaja vlage (sl. 13). Difuzija toplote takođe utiče na promenu gustine. To je veličina koja pokazuje koliko se brzo toplota odvodi od toplotnog izvora. [1]



Slika 12. Uticaj sadržaja vlage i gustine suve materije na koeficijent toplotne provodljivosti

Slika 13. Uticaj toplotnog otpora na toplotnu stabilnost

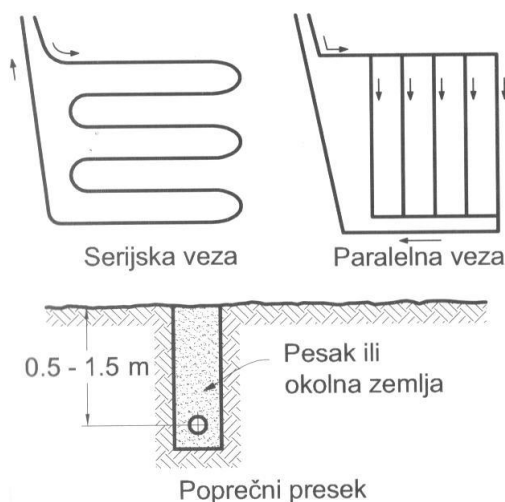
Toplotni kapacitet ($\text{kJ/m}^3 \cdot \text{K}$) materijala je proizvod specifične toplote ($\text{kJ/kg} \cdot \text{K}$) i gustine (kg/m^3). Toplotni kapacitet zemlje je suma toplotnih kapaciteta komponenata koje čine zemlju.

Termička stabilnost zemlje je definisana kao kritični sadržaj vlage. Na slici 13 definisana je termička stabilnost kao deo krive vlaga-gustina, gde male promene u sadržaju vlage dovode do malih promena termičke stabilnosti zemlje.

Pri projektovanju je važno obratiti pažnju na troškove izrade razmenjivača toplote, smanjenje potrebne površine za smeštaj cevni zmijs, jednostavnu montažu i održavanje i dug eksploatacioni vek.

Vertikalno postavljene cevi imaju prednost u odnosu na horizontalne, jer je veći deo cevi u zoni zemlje sa većim sadržajem vlage, što je obično posledica kretanja podzemnih voda. Sa druge strane, kod vertikalnih cevi gde su najčešće dovodna i povratna cev u bliskom kontaktu, smanjuje se efekat razmene toplote sa zemljom. To se delimično koriguje većim dužinama cevi.

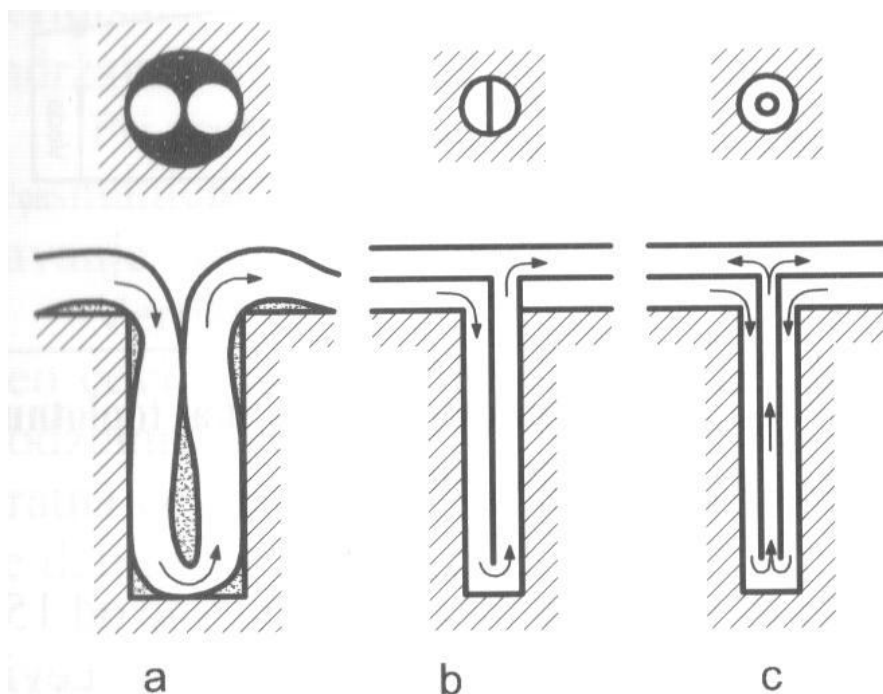
Kod horizontalnih cevi bolji prenos toplote ostvaruje se zbog kiše, snega i drugih faktora. Horizontalne cevi postavljene jedna iznad druge smanjuju razmenu toplote sa zemljom u odnosu na jedan red cevi. Ista pojava je i pri relativno malom rastojanju između cevi. Raspored cevi u horizontalnom sistemu može biti na dva načina (sl. 14). Cevi se postavljaju u posebno iskopane rovove u koje se najčešće sipa pesak, ili se cevi polažu na celu slobodnu površinu u širokom otkopu, a zatim pokrivaju zemljom..



Slika 14. Način postavljanja horizontalnih cevi

Iskustva su pokazala da je optimalno polaganje horizontalnih cevi u jednom redu, prečnika od 20 do 40 mm, na dubini od 0,5 do 2,5 m sa razmakom između cevi 0,5 do 2,5 m. Najveća dužina ovako organizovane cevne zmijs je 750 m za prečnik cevi 50 mm i protok od $3,5 \text{ m}^3/\text{h}$ ($v = 0,6 \text{ m/s}$), što odgovara toplotnoj pumpi snage 18 kW.

Kada su cevi vertikalno postavljene, prečnici su od 20 do 50 mm za dužine od 15 do 200 m, što zavisi od pada pritiska i termičkih karakteristika. Konstrukcija U cevi (sl. 15) je takva da se na mesto polaganja dopremaju već formirane u potrebnom obliku i dužini. U pojedinim slučajevima, dva do četiri vertikalna snopa se mogu postaviti u jedan otvor. [1]



Slika 15. Postavljanje vertikalnih cevi u zemlju:
a – „U” cevi, b – podeljena cev i c – koncentrična cev

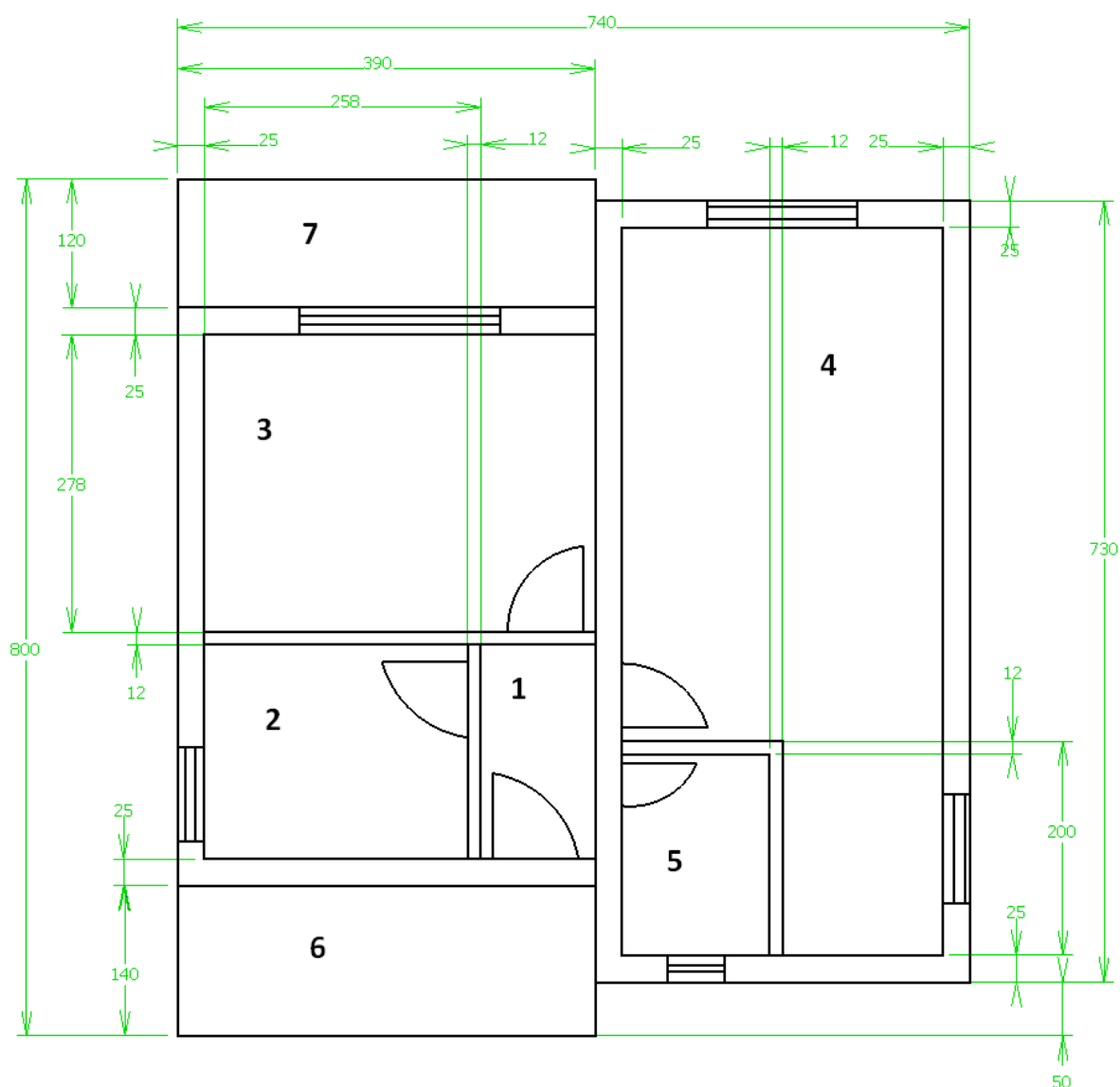
4. Projekat ugradnje toplotne pumpe

4.1. Opšti projektni uslovi

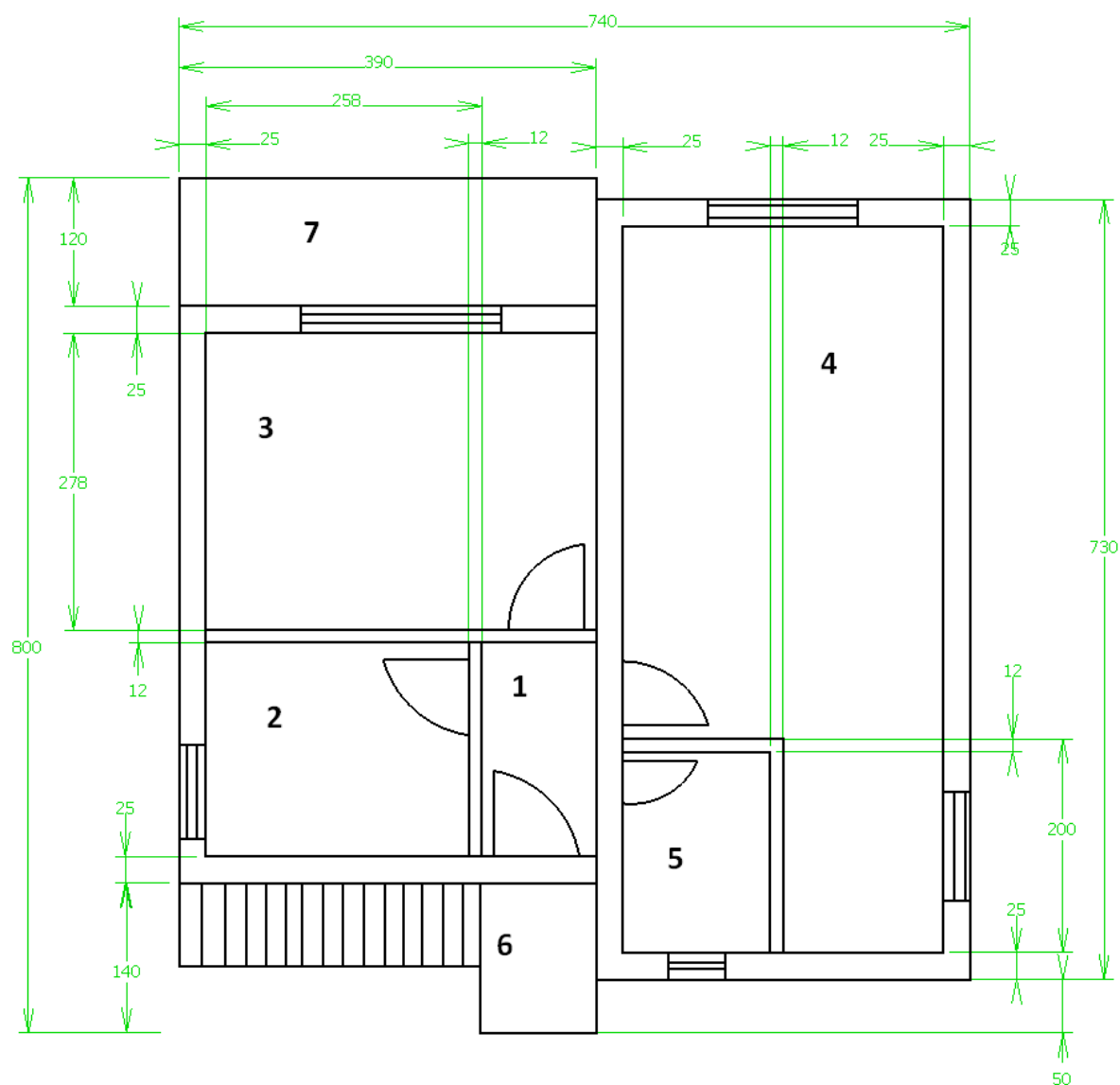
U okviru ovog dela rada urađena je tehno-ekonomska analiza ugradnje geotermalne toplotne pumpe u objekat u kome već postoji centralno grejanje pomoću kotla na električnu energiju, a radi uštede energije.

Objekat se nalazi na Zlatiboru i sastoji se iz dve etaže. Prva etaža ima površinu 50 m² (prizemlje) i druga 50 m² (sprat).

Predviđeno je da toplotna pumpa radi sve do spoljašnje temperature od -20°C.



Slika 16. Osnova prizemlja



Slika 17. Osnova sprata

Na slikama 16 i 17 prikazani su:

1. Predsooblje
2. Mala soba
3. Spavaća soba
4. Dnevna soba
5. Kupatilo
6. Ulaz
7. Balkon

4.2. Meteorološki uslovi

Klima na Zlatiboru je alpska i subalpska sa karakterističnim obeležjima. Leta su prijatno topla sa svežim noćima, a zime dosta duge, relativno jake sa obiljem padavina. Mart je najsuvlji u godini, a najobilnije padavine su u maju i oktobru. Letnje padavine su ponekad praćene jakim pljuskovima ili gradom, a često ih najavljuju duga i jaka grmljavina i olujni vetrovi. Sneg pada od oktobra do maja, nekad sa kraćim, a nekad sa dužim prekidima, i zadržava se na tlu u proseku 100 dana.

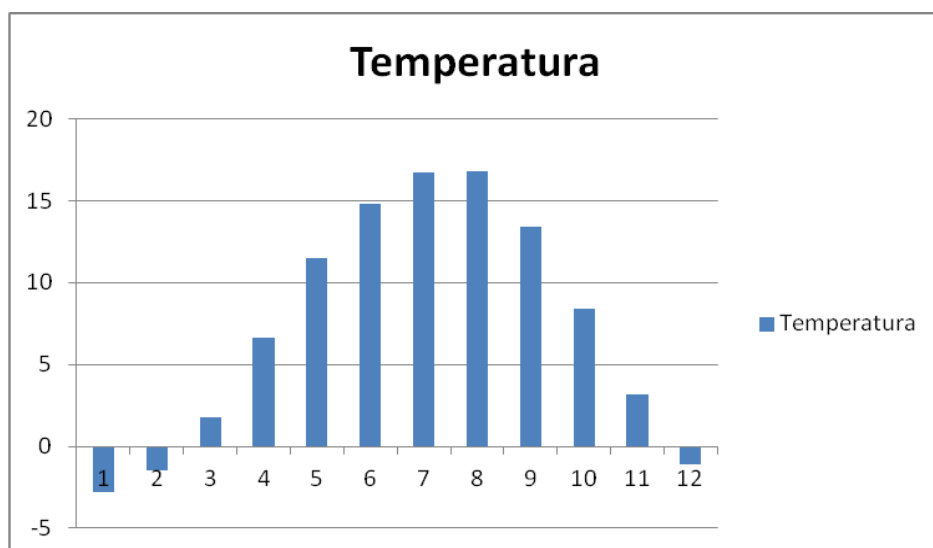
Iako letnje temperature znaju da pređu 30 stepeni Celzijusa podnošljive su zbog prisustva vetrova koji se nad planinom ukrštaju u čuvenu "ružu vetrova", koja sa produktima četinarskih iglica blagotvorno deluje na ljudsku organizam.

Vetrovi koji na Zlatiboru dolaze sa jugozapada i severozapada su najbrži, a severoistočni najjači tokom cele godine i u svim godišnjim dobima snižava temperaturu vazduha. Jugozapadni i južni vetrovi javljaju se od jeseni do proleća i sa sobom donose toplije vazdušne struje. Zlatibor nema mnogo vetrovitih dana i zabeležen je prosek od 56 dana u godini. Takozvani lokalni planinaki vetrovi duvaju u rano proleće, kasnu jesen, a preko leta u jutarnjim satima.

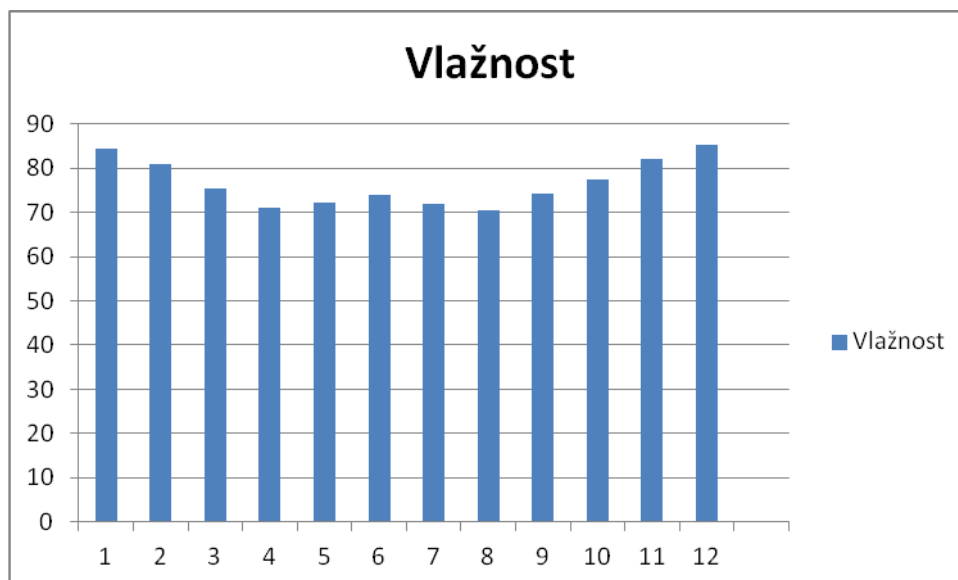
U nekim predelima Zlatibora javljaju se vetrovi "noćnici", a njih stvaraju velike temperaturne razlike između dolina i planinskih vetrova. Vlažnost vazduha varira zavisno od padavina, a merenja su pokazala da ona tokom dana maksimalnu vrednost dostiže oko 7, a minimalnu oko 14 časova. Prirodno je da vlažnost, sama po sebi, na planini veća na mestima sa manjom nadmorskom visinom, tako da na Zlatiboru ona iznosi u proseku do 60%. Klima Zlatibora se izučava na osnovu podataka meteorološke stanice na Palisadu osnovane 1950. godine.

Klimatski uslovi na Zlatiboru se manifestuju kao umereno brdsko-planinsko podneblje modificiranog subalpskog obeležja sa svojim poznatim karakteristikama, relativno toplim letima i ne preterano ostrim zimama.

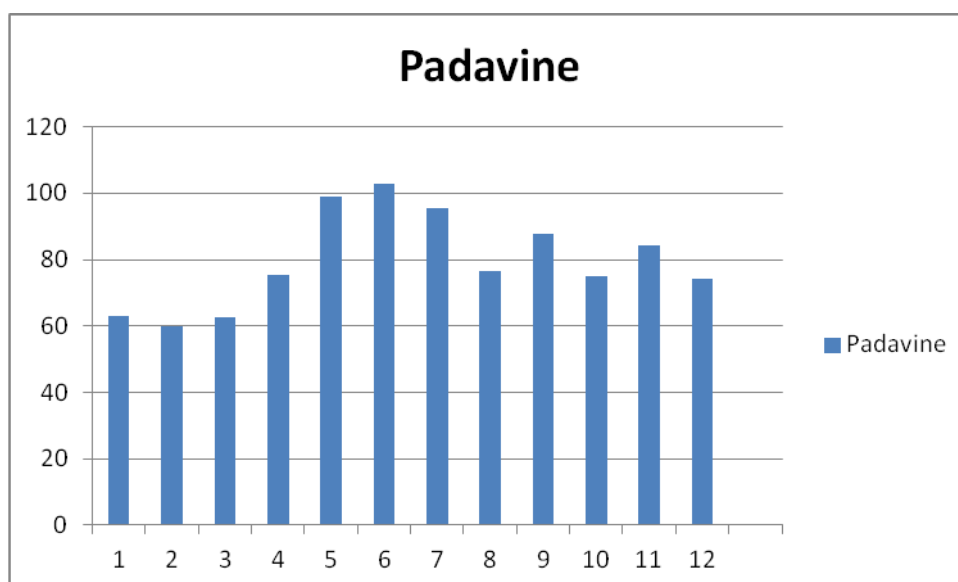
Na sledećim slikama date su srednje vrednosti temperature, relativne vlažnosti i padavina za period od 1950-2005. godine. [4]



Slika 18. Temperatura



Slika 19. Vlažnost



Slika 20. Padavine

4.3. Proračun koeficijenta prolaza toplote

Koeficijent prolaza toplote se određuje prema standardima JUS.U.J5.510; JUS.U.J5.520; JUS.U.J5.530; JUS.U.J5.600; JUS.U.J5.001;

Standardi propisuju osnovne tehničke zahteve koji moraju biti zadovoljeni u pogledu toplotne zaštite, racionalne potrošnje energije i higijene u objektima, namenjenim za život i rad ljudi. Prema zakonu, objekti za rad i boravak ljudi moraju biti projektovani tako da zadovoljavaju kriterijume propisane standardima.

Konstrukcije od kojih se sastoji građevina moraju ponaosob da budu takvog sastava da im koeficijent prolaza toplote K (W/m^2K), proračun difuzije vodene pare (količina kondenzovane vlage u konstrukciji, vreme isušivanja i pojava kondenzacije na unutrašnjoj strani zida) i proračun toplotne stabilnosti (faktor prigušenja amplitude oscilacije temperature i kašnjenje oscilacije temperature) budu u okvirima koje propisuje standard. [5]

Ukupni koeficijent prolaza toplote se računa kao:

$$K = \frac{1}{R_k} \left[\frac{W}{m^2 K} \right]$$

Ukupni otpor prolazu toplote predstavlja:

$$R_k = R_i + R + R_e \left[\frac{m^2 K}{W} \right]$$

R – Otpor koji pruža konstrukcija pri prolasku toplote,

R_i – Otpor prelasku toplote sa spoljašnjeg vazduha na zid,

R_e – Otpor prelasku toplote sa unutrašnjeg vazduha na zid.

Otpor koji pruža konstrukcija pri prolasku toplote kroz nju je:

$$R = \frac{d_1}{\lambda_1} + \frac{d_2}{\lambda_2} + \dots + \frac{d_n}{\lambda_n} \left[\frac{m^2 K}{W} \right]$$

$R_e = 1/\alpha_i = 0.125$ – za zidove

$R_e = 1/\alpha_e = 0.167$ – za pod i tavanicu

$\alpha_e = 8, \alpha_e = 6$

$R_i = 1/\alpha_i = 0.04$ – spoljni koeficijent prelaza pri srednjoj brzini vetra od 25 m/s

$\alpha_i = 25$

Tabela 1. Spoljašni fasadni zid 1

Građevinski materijal	Debljina	Koeficijent prolaza	Toplotni otpor
	m	W/mK	m ² K/W
Strukturni malter	0.02	1.4	0.014
Styrodur	0.08	0.041	1.951
Giter blok	0.25	0.6	0.417
Produžni malter	0.02	0.99	0.02
Disperzivna boja	0	1.28	0

$R_k = 2.567, K=0.37 \Rightarrow K=0.4$

Tabela 2. Spoljašni fasadni zid 2

Građevinski materijal	Debljina	Koeficijent prolaza	Toplotni otpor
	m	W/mK	m ² K/W
Strukturni malter	0.02	1.4	0.0014
Styrodur	0.08	0.041	1.951
Giter blok	0.25	0.6	0.417
Produžni malter	0.02	0.99	0.02
Keramicke pločice	0.01	1.05	0.009

$$R_k = 2.577, K=0.388 \Rightarrow K=0.4$$

Tabela 3. Unutrašnji zid 1

Građevinski materijal	Debljina	Koeficijent prolaza	Toplotni otpor
	m	W/mK	m ² K/W
Disperzivna boja	0	1.28	0
Produžni malter	0.02	0.99	0.016
Šuplja opeka	0.12	0.61	0.197
Produžni malter	0.02	0.99	0.02
Disperzivna boja	0	1.28	0

$$R_k = 0.402, K=2.486 \Rightarrow K=2.5$$

Tabela 4. Unutrašnji zid 2

Građevinski materijal	Debljina	Koeficijent prolaza	Toplotni otpor
	m	W/mK	m ² K/W
Disperzivna boja	0	1.28	0
Šuplja opeka	0.12	0.61	0.197
Produžni malter	0.02	0.99	0.02
Keramičke pločice	0.01	1.05	0.009

$$R_k = 0.391, K = 2.55 \Rightarrow K = 2.5$$

Tabela 5. Unutrašnji zid 3

Građevinski materijal	Debljina	Koeficijent prolaza	Toplotni otpor
	m	W/mK	m ² K/W
Disperzivna boja	0	1.28	0
Produžni malter	0.02	0.99	0.026
Šuplja opeka	0.12	0.61	0.197
Produžni malter	0.02	0.99	0.02
Keramičke pločice	0.01	1.05	0.009

$$R_k = 0.411, K=2.429 \Rightarrow K=2.5$$

Tabela 6. Unutrašnji zid 4

Građevinski materijal	Debljina	Koeficijent prolaza	Toplotni otpor
	m	W/mK	m ² K/W
Disperzivna boja	0	1.28	0
Produžni malter	0.02	0.99	0.02
Šuplja opeka	0.2	0.61	0.327
Produžni malter	0.02	0.99	0.02
Disperzivna boja	0	1.28	0

$$R_k = 0.533, K=1.87 \Rightarrow K=2$$

Tabela 7. Međuspratana konstrukcija 1

Građevinski materijal	Debljina	Koeficijent prolaza	Toplotni otpor
	m	W/mK	m ² K/W
Keramičke pločice	0.015	1.05	0.014
Cementna košuljica	0.05	1.4	0.036
Armirana betonska ploča	0.15	1.8	0.083
Styrodur	0.08	0.041	1.951
Produžni malter	0.02	0.99	0.02

$$R_k = 2.269, K=0.44 \Rightarrow K=0.5$$

Tabela 8. Međuspratna konstrukcija 2

Građevinski materijal	Debljina	Koeficijent prolaza	Toplotni otpor
	m	W/mK	m ² K/W
Keramičke pločice	0.015	1.05	0.014
Cementna košuljica	0.05	1.4	0.036
Fert gredica	0.2	0.8	0.25
Produžni malter	0.02	0.99	0.02

$$R_k = 0.48, K=2.06 \Rightarrow K=2$$

Tabela 9. Tavan

Građevinski materijal	Debljina	Koeficijent prolaza	Toplotni otpor
	m	W/mK	m ² K/W
Cementna košuljica	0.05	1.28	0.039
Styrodur	0.08	0.041	1.951
Fert gredica	0.2	0.8	0.25
Produžni malter	0.02	0.99	0.02

$$R_k = 2.422, K=0.413 \Rightarrow K=0.5$$

Tabela 10. Krov

Građevinski materijal	Debljina	Koeficijent prolaza	Toplotni otpor
	m	W/mK	m ² K/W
Crep	0.03	11.6	0.002
Daska	0.02	0.14	0.143
Vazdušni sloj	0.05	0.21	2.957
Termo izolacija	0.12	0.041	2.927

$$R_k = 6.23, K=0.16 \Rightarrow K=0.16$$

Negrejana temperatura podruma je 3°C.

Spoljna projektovana temperatura je -20°C.

Temperatura tavana -13°C.

Za prozor usvajamo termoizlaciono staklo $K=1.5$.

Unutrašnja vrata $K= 2.3$.

4.4. Proračun toplotnog opterećenja

Kako bi se obezbedila dovoljna količina energije za grejanje, projektovanje se vrši za najnepovoljnije uslove, tj. pri najvećim gubicima toplote. Gubici toplote zavise od spoljašnjih meteoroloških i klimatskih uslova i od same konstrukcije objekta.

Gubitak toplote usled prolaza kroz pregrade:

$$Q_g = K \cdot A \cdot \Delta t$$

gde je:

K – koeficijent prolaza toplote,

A – površina pregrade,

Δt – razlika temperatura.

Dodatak usled prekida grejanja:

$$Q_p \approx 0.2 \cdot Q_g$$

Ukupno toplotno opterećenje:

$$Q = Q_p + Q$$

Prostorija: **Hodnik 1.1**

$t_u = 18\text{ }^{\circ}\text{C}$

Površina prostorije: 2.4 m^2

Zapremina prostorije: 6.24 m^3

Oznaka	Dužina	Širina	P	Broj	Odbici	P	K	Δt	Gubici
	m	m	m^2	-	m^2	m^2	$\text{W}/\text{m}^2\text{K}$	$^{\circ}\text{C}$	W
VS	1.1	2.1	2.31	1		2.31	2.3	38	201
ZS	1.2	2.6	3.12	1	2.31	0.81	0.4	38	12
VU	0.8	2.1	1.68	2		1.68	2.3	-2	-7
ZU	3.2	2.6	8.32	2	3.36	4.96	2.5	-2	-24
VU	0.8	2.1	1.68	1		1.68	2.3	-2	-7
ZU	1.4	2.6	3.64	1	1.68	1.96	2	-2	-7
VU	0.6	2.1	1.26	1		1.26	2.3	-4	-11
ZU	0.8	2.6	2.08	1	1.26	0.82	2.5	-4	-8
P	1.2	2	2.4	1		2.4	0.5	15	18
Ukupni gubici									167
Dodatak zbog prekida grejanja									34
Toplotno opterećenje									201

Prostorija: **Mala soba 1.2**

$t_u = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$

Površina prostorije: 5.4 m^2

Zapremina prostorije: 14.04 m^3

Oznaka	Dužina	Širina	P	Broj	Odbici	P	K	Δt	Gubici
	m	m	m^2	-	m^2	m^2	$\text{W}/\text{m}^2\text{K}$	$^{\circ}\text{C}$	W
PS	1	1.2	1.2	1		1.2	1.5	40	72
ZS	4.58	2.6	11.908	2	1.2	10.708	0.4	40	171
VU	0.8	2.1	1.68	1		1.68	2.3	2	8
ZU	4.58	2.6	11.908	2	1.68	10.228	2.5	2	50
P	2.58	2	5.16	1		5.16	0.5	17	44
Ukupni gubici									345
Dodatak zbog prekida grejanja									69
Toplotno opterećenje									414

Prostorija: **Spavaća soba 1.3**

$t_u = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$

Površina prostorije: 10.84 m^2

Zapremina prostorije: 28.184 m^3

Oznaka	Dužina	Širina	P	Broj	Odbici	P	K	Δt	Gubici
	m	m	m^2	-	m^2	m^2	$\text{W}/\text{m}^2\text{K}$	$^{\circ}\text{C}$	W
PS	1.8	2.1	3.78	1		3.78	1.5	40	227
ZS	6.68	2.6	17.368	2	3.78	13.588	0.4	40	217
ZU	2.78	2.6	7.228	1		7.228	2	0	0
VU	0.8	2.1	1.68	1		1.68	2.3	2	8
ZU	3.9	2.6	10.14	1	1.68	8.46	2.5	0	0
P	3.9	2.78	10.842			10.842	0.5	17	92
Ukupni gubici									544
Dodatak zbog prekida grejanja									109
Toplotno opterećenje									653

Prostorija: **Dnevna soba 1.4**

$t_u = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$

Površina prostorije: 19.14 m^2

Zapremina prostorije: 49.764 m^3

Oznaka	Dužina	Širina	P	Broj	Odbici	P	K	Δt	Gubici
	m	m	m^2	-	m^2	m^2	$\text{W}/\text{m}^2\text{K}$	$^{\circ}\text{C}$	W
PS	1.4	1.2	1.68	1		1.68	1.5	40	101
PS	1	1.2	1.2	1		1.2	1.5	40	72
ZS	13.55	2.6	35.23	4	2.88	32.35	0.4	40	518
VU	0.8	2.1	1.68	1		1.68	2.3	2	8
ZU	4.18	2.6	10.868	1	1.68	9.188	2	0	0
ZU	3.38	2.6	8.788	2		8.788	2.5	-2	-40
P						17.04	0.5	17	145
Ukupni gubici									804
Dodatak zbog prekida grejanja									161
Toplotno opterećenje									965

Prostorija: **Kupatilo 1.5**

$t_u = 22\text{ }^{\circ}\text{C}$

Površina prostorije: 2.76 m^2

Zapremina prostorije: 7.176 m^3

Oznaka	Dužina	Širina	P	Broj	Odbici	P	K	Δt	Gubici
	m	m	m^2	-	m^2	m^2	$\text{W}/\text{m}^2\text{K}$	$^{\circ}\text{C}$	W
PS	0.6	0.8	0.48	1		0.48	1.5	42	30
ZS	2.58	2.6	6.708	2	0.48	6.228	0.4	42	105
VU	0.6	2.1	1.26	1		1.26	2.3	4	11
ZU	1.4	2.6	3.64	1	1.26	2.38	2.5	4	23
ZU	3.38	2.6	8.788	2		8.788	2.5	2	44
P	1.38	2	2.76			2.76	0.5	19	26
Ukupni gubici									239
Dodatak zbog prekida grejanja									48
Toplotno opterećenje									287

Prostorija: **Hodnik 2.1**

$t_u = 18\text{ }^{\circ}\text{C}$

Površina prostorije : 2.4 m^2

Zapremina prostorije : 6.24 m^3

Oznaka	Dužina	Širina	P	Broj	Odbici	P	K	Δt	Gubici
	m	m	m^2	-	m^2	m^2	$\text{W/m}^2\text{K}$	$^{\circ}\text{C}$	W
VS	1.1	2.1	2.31	1		2.31	2.3	38	201
ZS	1.2	2.6	3.12	1	2.31	0.81	0.4	38	12
VU	0.8	2.1	1.68	2		1.68	2.3	-2	-7
ZU	3.2	2.6	8.32	2	3.36	4.96	2.5	-2	-24
VU	0.8	2.1	1.68	1		1.68	2.3	-2	-7
ZU	1.4	2.6	3.64	1	1.68	1.96	2	-2	-7
VU	0.6	2.1	1.26	1		1.26	2.3	-4	-11
ZU	0.8	2.6	2.08	1	1.26	0.82	2.5	-4	-8
P	1.2	2	2.4	1		2.4	0.5	0	0
T	1.2	2	2.4			2.4	0.5	31	37
Ukupni gubici									204
Dodatak zbog prekida grejanja									40
Toplotno opterećenje									244

Prostorija: **Mala soba 2.2**

$t_u = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$

Površina prostorije : 5.4 m^2

Zapremina prostorije : 14.04 m^3

Oznaka	Dužina	Širina	P	Broj	Odbici	P	K	Δt	Gubici
	m	m	m^2	-	m^2	m^2	$\text{W}/\text{m}^2\text{K}$	$^{\circ}\text{C}$	W
PS	1	1.2	1.2	1		1.2	1.5	40	72
ZS	4.58	2.6	11.908	2	1.2	10.708	0.4	40	171
VU	0.8	2.1	1.68	1		1.68	2.3	2	8
ZU	4.58	2.6	11.908	2	1.68	10.228	2.5	2	50
P	2.58	2	5.16	1		5.16	0.5	0	0
T	2.58	2	5.16	1		5.16	0.5	33	85
Ukupni gubici									386
Dodatak zbog prekida grejanja									77
Toplotno opterećenje									463

Prostorija: **Spavaća soba 2.3**

$t_u = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$

Površina prostorije: 10.84 m^2

Zapremina prostorije: 28.184 m^3

Oznaka	Dužina	Širina	P	Broj	Odbici	P	K	Δt	Gubici
	m	m	m^2	-	m^2	m^2	$\text{W}/\text{m}^2\text{K}$	$^{\circ}\text{C}$	W
PS	1.8	2.1	3.78	1		3.78	1.5	40	227
ZS	6.68	2.6	17.368	2	3.78	13.588	0.4	40	217
ZU	2.78	2.6	7.228	1		7.228	2	0	0
VU	0.8	2.1	1.68	1		1.68	2.3	2	8
ZU	3.9	2.6	10.14	1	1.68	8.46	2.5	0	0
P	3.9	2.78	10.842			10.842	0.5	0	0
T	3.9	2.78	10.842			10.842	0.5	33	165
Ukupni gubici									617
Dodatak zbog prekida grejanja									123
Toplotno opterećenje									740

Prostorija: **Dnevna soba 2.4**

$t_u = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$

Površina prostorije: 19.14 m^2

Zapremina prostorije: 49.764 m^3

Oznaka	Dužina	Širina	P	Broj	Odbici	P	K	Δt	Gubici
	m	m	m^2	-	m^2	m^2	$\text{W}/\text{m}^2\text{K}$	$^{\circ}\text{C}$	W
PS	1.4	1.2	1.68	1		1.68	1.5	40	101
PS	1	1.2	1.2	1		1.2	1.5	40	72
ZS	13.55	2.6	35.23	4	2.88	32.35	0.4	40	518
VU	0.8	2.1	1.68	1		1.68	2.3	2	8
ZU	4.18	2.6	10.868	1	1.68	9.188	2	0	0
ZU	3.38	2.6	8.788	2		8.788	2.5	-2	-40
P						17.04	0.5	0	0
T						17.04	0.5	33	281
Ukupni gubici									940
Dodatak zbog prekida grejanja									188
Toplotno opterećenje									1128

Prostorija: **Kupatilo 2.5**

$t_u = 22\text{ }^{\circ}\text{C}$

Površina prostorije: 2.76 m^2

Zapremina prostorije: 7.176 m^3

Oznaka	Dužina	Širina	P	Broj	Odbici	P	K	Δt	Gubici
	m	m	m^2	-	m^2	m^2	$\text{W}/\text{m}^2\text{K}$	$^{\circ}\text{C}$	W
PS	0.6	0.8	0.48	1		0.48	1.5	42	30
ZS	2.58	2.6	6.708	2	0.48	6.228	0.4	42	105
VU	0.6	2.1	1.26	1		1.26	2.3	4	11
ZU	1.4	2.6	3.64	1	1.26	2.38	2.5	4	23
ZU	3.38	2.6	8.788	2		8.788	2.5	2	44
P	1.38	2	2.76			2.76	0.5	0	0
T	1.38	2	2.76	1		2.76	0.5	35	48
Ukupni gubici									261
Dodatak zbog prekida grejanja									52
Toplotno opterećenje									313

Prostorija	Gubici
	W
Hodnik 1.1	201
Mala soba 1.2	414
Spavaća soba 1.3	653
Dnevna soba 1.4	965
Kupatilo 1.5	287
Hodnik 2.1	244
Mala soba 2.2	563
Spavaća soba 2.3	740
Dnevna soba 2.4	1128
Kupatilo 2.5	313
UKUPNO	5508

Usvojeno toplotno opterećenje za odabir toplotne pumpe je:

$$Q = 6000 \text{ W.}$$

Izbor toplotne pumpe:

Prema preporuci proizvođača toplotnih pumpi za ugradjenih 2 kom geotermalnih sonde na dubinu od 50 m odgovara ugradnja 1 kom toplotnih pumpi tip: GEO 7 CC (sl. 21).

REHAU GEO 5 - 15 CC GREJANJE / HLAĐENJE

Reverzibilna toplotna pumpa u kompaktnoj verziji, za grejanje i zagrevanje sanitarne vode sa maksimalnom temperaturom polaznog voda od 55°C, sastoji se od visokokvalitetnih komponenti kao što su Scroll-Kompresor, komforno dimenzionisan, bakarno lemljeni pločasti izmenjivač toplote od plemenitog čelika za kondenzator i isparivač, termostatski ekspanzioni ventil, kontrolno staklo rashladnog medijuma, sakupljač rashladnog medijuma, odvajač vlage i dodatni izmenjivač toplote sa usisne gasne strane, električno ožičenje sa svim neophodnim prekidačima, regulacija i sigurnosni elementi, naročito za kontrolu visokog i niskog pritiska sa senzorima pritiska, integrisan uređaj za Soft Start i integrisana regulacija REHAU toplotne pumpe sa posebnim polugrafičkim displejom i i mogućnošću opcionog korišćenja modula za daljinsko upravljanje. U opciji isporuke su toplotna i zvučna izolacija sa 4 fleksibilna priključna creva, spoljni senzor, senzor akumulacionog bojlera i senzor tem. polaznog voda. Pumpa je napunjena sa rashladnim fluidom R 407 C bez prisustva hlora i funkcionalno ispitana; Napon napajanja 3 x 400 V / 50 Hz.

Patentirano automatsko prebacivanje između režima grejanja i hlađenja.

Namenjena za korišćenje do 3 REHAU modula za proširenje (vidi. poglavlje 4.3, strana 4.28).



Neophodan motor mešnog ventila za REHAU toplotne pumpe: 0-10VAC upravljački signal (priključni napon:

24VAC)

- | | | |
|---|---|---|
| ☒ Grejanje | ☒ Aktivno hlađenje | ☒ Integrisana pumpa kruga rasoline |
| ☒ Priprema sanitarne vode | ☒ Pasivno hlađenje (samo uz pribor) | ☒ Integrisana pumpa akumulacionog bojlera |
| ☒ Integrisana regulacija toplotne pumpe | | |

Kućiste: Stabilno aluminijumsko kućiste modernog dizajna, sa plastificiranim limenim pokrivnim delovima

Pakovanje: Pojedinačno pakovanje na paleti

Br. artikla	Naziv REHAU toplotne pumpe	Učinak grejanja [kW] ¹⁾	COP Grejanja ³⁾	Rash. učinak [kW] ²⁾	EER Hlađenja ³⁾	Dimenzije (B x T x H) u mm	Težina [kg/kom.]	Jedinica isporuke	€/kom
350619-901	GEO 5 CC	5,4 kW	4,1	6,45	4,79	555x755x1274	135	1 kom	7220
350622-901	GEO 7 CC	6,8 kW	4,1	8,40	4,88	555x755x1274	137	1 kom	7250
350623-901	GEO 8 CC	8,3 kW	4,2	9,95	4,93	555x755x1274	150	1 kom	7290
350624-901	GEO 10 CC	9,6 kW	4,1	11,70	4,91	555x755x1274	152	1 kom	7790
350625-901	GEO 12 CC	11,9 kW	4,2	14,45	4,93	555x755x1274	154	1 kom	7860
350626-901	GEO 15 CC	14,8 kW	4,3	18,00	4,90	555x755x1274	161	1 kom	8080

U cenu REHAU toplotne pumpe je uključeno i njeno obavezno puštanje u rad.

Slika 21. Izbor pumpe

5. RETScreen

5.1. Uvod

RETScreen je vodeći svetski softver za podršku pri donošenju odluka u oblasti čiste energije. Obezbeđen je od vlade države Kanade potpuno besplatno kao deo kanadskog programa kojim se prepoznaje potreba preduzimanja naprednog i integrisanog pristupa rešavanju raznovrsnih problema odnosno on je svetski priznat i afirmisan paket koji omogućava razvijanje projekata čiste energije. Razvojni proces softvera ovoga tipa predstavlja pravi primer uspešne međunarodne saradnje. Kao što je već pomenuto RETScreen se razvija i održava pod pokroviteljstvom vlade države Kanade preko Naučnog instituta za istraživanje prirodnih resursa Kanade „CanmetENERGY“ u gradu Varen u oblasti Kvebek, a podršku mu pruža međunarodna mreža stručnjaka iz oblasti industrije kao i vladinih i akademskih institucija. Glavni partneri ovog softvrskog modela su „NASA“ (Državna uprava za aeronautiku i svemir), „REEEP“ (Udruženje za obnovljivu energiju i efikasnost energije), „UNEP“ (UN Program za zaštitu životne sredine) i „GEF“ (Fond za globalnu zaštitu životne sredine).

Treba znati da softver značajno može da smanji troškove (u pogledu vremena i novca) koji se odnose na identifikovanje i procenu potencijalnih energetske projekata. Ovi troškovi se javljaju u fazama predinvesticione studije, studije izvodljivosti, razvoja i inženjeringa, a naravno mogu da budu ozbiljna prepreka implementaciji tehnologija obnovljive energije i energetske efikasnosti. Softverski paket omogućava donosiocima odluka i stručnjacima da utvrde finansijsku isplativost projekta iz oblasti obnovljive energije, energetske efikasnosti ili kogeneracije. Takođe može pružiti značajnu pomoć donosiocima odluka da brzo, pouzdano, jednostavno i relativno jeftino procene održivost nekog projekta.

Na svetskom nivou, ovaj programski alat je zadužen za korisničke uštede u vrednosti od preko 5 milijardi dolara, a procenjuje se da će do 2013. godine ova cifra porasti na preko 8 milijardi dolara. Obezbeđivanjem čiste energije softverski model doprinosi smanjenju emisije štetnih gasova, a procenjena vrednost redukcije do 2013. godine iznosi oko 20 miliona tona godišnje. Takođe vezano za ovu godinu, procena je da će u celom svetu ovaj softverski paket pomoći i podstaći postavljanje najmanje 24 GW kapaciteta čiste energije čija je vrednost otprilike 41 milijarda dolara.

Međutim, za RETScreen se takođe može reći da je najsveobuhvatniji program odnosno softver ove vrste koji omogućava inženjerima, arhitektama kao i finansijskim stručnjacima da uređuju i analiziraju sve vrste projekata koji se tiču čiste energije. Pomenuti donosioci odluka mogu sprovesti standardizovanu analizu datim softverom u pet osnovnih faza koje se pre svega tiču: analize energije, analize troškova, analize emisije, finansijske analize i analize osetljivosti i rizika. Tehnologije kojima se bavi odnosno koje ulaze u projektni model RETScreen su sveobuhvatne, odnosno uključuju tradicionalne i netradicionalne izvore čiste energije kao i konvencionalne tehnologije i izvore energije. Kao primere ovih projektnih modela mogu se navesti: energetska efikasnost (od velikih industrijskih postrojenja pa do individualnih stambenih objekata), grejanje i hlađenje (na primer biomasa, grejne pumpe i solarno grejanje vazduh/voda), energetska snaga (obnovljivi izvor energije kao što su solarni, vetar, talasi, hidro, geotermalni itd. ali i konvencionalne tehnologije kao što su gasne ili parne turbine i recipročni motori) kao i koproizvodnja toplote i energije (tzv. kogeneracija).

Pored ostalog, u ovaj softverski model su integrisane baze podataka o proizvodu, projektu, hidrologiji i klimi (naravno uz pomoć 4.700 stanica odnosno lokacija u svetu kao i satelitskih

podataka od agencija „NASA“ koja pokriva prostor cele planete) kao i veze sa svim svetskim mapama energetskih izvora. Takođe, pored ostalog, softverski model sadrži i veliku bazu generičnih obrazaca koji se tiču čiste energije i čime se korisnicima znatno olakšava analiza i ubrzava postupak. [12]

Sam softver se sastoji od sedam radnih listova prikazanih, a to su:

- Start ili početna strana (Start),
- Mreža i opterćenje (Load & Network),
- Energetski model (Energy Model),
- Analiza troškova (Cost Analysis),
- Analiza emisije (Emission Analysis),
- Analiza finansija (Financial Analysis),
- Alati (Tools).

5.2. Radni list Start ili početna strana (Start)

Radni list start ili početna strana u suštini je informativni list odnosno radni list na kome se nalaze uopštene informacije o samom projektu odnosno modelu. Na prvom delu radnog lista korisnik unosi svoje lične podatke kao i podatke vezane za sam projekat. Pored ostalog ovaj deo radnog lista služi za odabir tipa projekta, tehnologije koja se koristi. Sledeće polje se odnosi na odabir metode kojom će projekat biti obrađen, u ovom slučaju drugom odnosno opširnijom metodom koja pruža više mogućnosti (odnosno sadrži radne listove koji se tiču analize troškova, finansijske analize, emisije gasova i analize rizika i osetljivosti). Konkretno u ovom primeru početna strana softverskog modela je prikazana na slici 22. [13]

Project information		See project database
Project name	Kuca	
Project location	Zlatibor	
Prepared for	Dr Vanja Šušteršič	
Prepared by	Vladimir Vukomanović	
Project type	Combined heating & cooling	
Analysis type	Method 2	
Heating value reference	Higher heating value (HHV)	
Show settings	☒	
Language - Langue	English - Anglais	
User manual	English - Anglais	
Currency	Euro	
Units	Metric units	

Slika 22. Početna strana RETScreena

Međutim, što se tiče same lokacije projekta ova strana tj. radni list sadrži još i bazu sa klimatskim podacima za već prethodno izabranu lokaciju gde prilikom odabira opcije „select climate data location“ otvara se prozor sa potrebnim informacijama o klimatskom području koji je prikazan na slici 23. Ovaj prozor sadrži potrebne informacije po mesecima za celu godinu koje se odnose na temperaturu vazduha, relativnu vlažnost, dnevno zračenje sunca, atmosferski pritisak, brzinu vetra, temperaturu zemlje, stepene grejanja i hlađenja po danima itd.

RETScreen

Country - region: Serbia

Province / State: n/a

Climate data location: Zlatibor Mtn Range

Latitude: °N 43,7

Longitude: °E 19,7

Elevation: m 1.029

Heating design temperature: °C -11,5

Cooling design temperature: °C 26,4

Earth temperature amplitude: °C 20,2

Source: Ground, Ground, Ground, Ground, NASA

	Air temperature °C	Relative humidity %	Daily solar radiation - horizontal kWh/m ² /d	Atmospheric pressure kPa	Wind speed m/s	Earth temperature °C	Heating degree-days °C-d	Cooling degree-days °C-d
Jan	-2,2	82,9%	1,68	93,7	2,3	-1,8	626	0
Feb	-1,0	77,8%	2,48	93,6	2,3	-0,4	532	0
Mar	2,7	72,4%	3,49	93,5	2,3	4,4	474	0
Apr	6,9	71,1%	4,40	93,2	2,4	9,3	333	0
May	12,1	71,2%	5,29	93,4	2,1	14,8	183	65
Jun	15,6	72,8%	5,79	93,5	1,9	18,8	72	168
Jul	17,8	70,9%	6,00	93,5	1,8	21,6	6	242
Aug	17,7	70,0%	5,42	93,5	1,8	21,5	9	239
Sep	13,0	76,6%	4,22	93,6	2,0	16,2	150	90
Oct	9,1	78,1%	3,04	93,8	2,1	10,6	276	0
Nov	3,3	80,7%	1,88	93,7	2,4	4,2	441	0
Dec	-1,5	85,3%	1,39	93,7	2,5	-0,8	605	0
Annual	7,8	75,8%	3,76	93,6	2,2	9,9	3.707	804
Source	Ground	Ground	Ground	NASA	Ground	NASA	Ground	Ground

Measured at: m 10 0

Buttons: [OK] [Cancel] [Print] [Help]

Slika 23. Prozor sa klimatskim podacima za odabranu lokaciju

Pored već navedenog na kraju ove strane se nalazi opcija „show data“ čijim odabirom će se informacije sa prethodne slike 23 naći na samoj početnoj strani kao što se može videti na slici 24.

Site reference conditions Select climate data location

Climate data location Zlatibor Mtn Range

Show data ☒

	Unit	Climate data location	Project location
Latitude	°N	43.7	43.7
Longitude	°E	19.7	19.7
Elevation	m	1.029	1.029
Heating design temperature	°C	-20.0	
Cooling design temperature	°C	26.4	
Earth temperature amplitude	°C	20.2	

Month	Air temperature °C	Relative humidity %	Daily solar radiation - horizontal kWh/m²/d	Atmospheric pressure kPa	Wind speed m/s	Earth temperature °C	Heating degree-days °C-d	Cooling degree-days °C-d
January	-2.2	82.9%	1.68	93.7	2.3	-1.8	626	0
February	-1.0	77.8%	2.48	93.6	2.3	-0.4	532	0
March	2.7	72.4%	3.49	93.5	2.3	4.4	474	0
April	6.9	71.1%	4.40	93.2	2.4	9.3	333	0
May	12.1	71.2%	5.29	93.4	2.1	14.8	183	65
June	15.6	72.8%	5.79	93.5	1.9	18.8	72	168
July	17.8	70.9%	6.00	93.5	1.8	21.6	6	242
August	17.7	70.0%	5.42	93.5	1.8	21.5	9	239
September	13.0	76.6%	4.22	93.6	2.0	16.2	150	90
October	9.1	78.1%	3.04	93.8	2.1	10.6	276	0
November	3.3	80.7%	1.88	93.7	2.4	4.2	441	0
December	-1.5	85.3%	1.39	93.7	2.5	-0.8	605	0
Annual	7.8	75.8%	3.76	93.6	2.2	9.9	3.707	804
Measured at	m				10.0	0.0		

Slika 24. Informacije o klimatskom području za izabranu lokaciju

5.3. Radni list Mreža i opterećenje (Load & Network)

Radni list mreža i opterećenje se koristi za procenu grejanja, hlađenja i / ili snaga opterećenja za osnovnu slučaj i slučaj predloženih sistema. On se odnosi na trenutne uslove i stanje objekata za koje ćemo vršiti optimizaciju. Sastoji se iz: projekta grejanja i projekta hlađenja. [13]

Što se projekta grejanja tiče, tu biramo tip grejanja iz padajuće liste, unosimo podatke o tome koliko zgrada ima, kolika je površina grejanog prostora, vrstu i cenu goriva itd. (sl. 25).

Base case heating system Single building - multiple zones - space heating

			Building zones	
			1	2
Heated floor area per building zone	m²	100	50	50
Fuel type			Electricity	Electricity
Seasonal efficiency	%	-	100%	100%
Heating load calculation				
Heating load for building zone	W/m²	-	50.4	59.76
Domestic hot water heating base demand	%	15%		
Total heating	MWh	12	5	6
Total peak heating load	kW	6	3	3
Fuel consumption - unit		-	MWh	MWh
Fuel consumption - annual		-	5	6
Fuel rate - unit		-	€/kWh	€/kWh
Fuel rate		-	0.150	0.150
Fuel cost	€	1.730	€ 791	€ 938
Proposed case energy efficiency measures				
End-use energy efficiency measures	%	0%	0%	0%
Net peak heating load	kW	6	3	3
Net heating	MWh	12	5	6

Slika 25. Projekat grejanja

Kao što je prikazano na slici uzeli smo kuću koja ima 2 etaže. Ukupna površina kuće je 100 m² a po spratu 50 m². Za gorivo smo uzeli električnu energiju čija je cena 0.15 €/kWh. Ovde

unosimo još opterećenje za zonu kuće koja je za prizemlje 50.4 W/m^2 , a za sprat 59.76 W/m^2 , osnovnu potrebu domaćinstva za potrošnom toplom vodom koja iznosi 15%.

Što se projekta hlađenja tiče pošto ne koristimo nikakvo dodatno hlađenje sem prirodnog sa tim na umu nismo delili kuću na 2 etaže kao što smo radili kod grejanja. Kod hlađenja smo uneli osnovno opterećenje hlađenja tokom letenjeg perioda za Zlatibor koji je 40 W/m^2 (sl. 26).

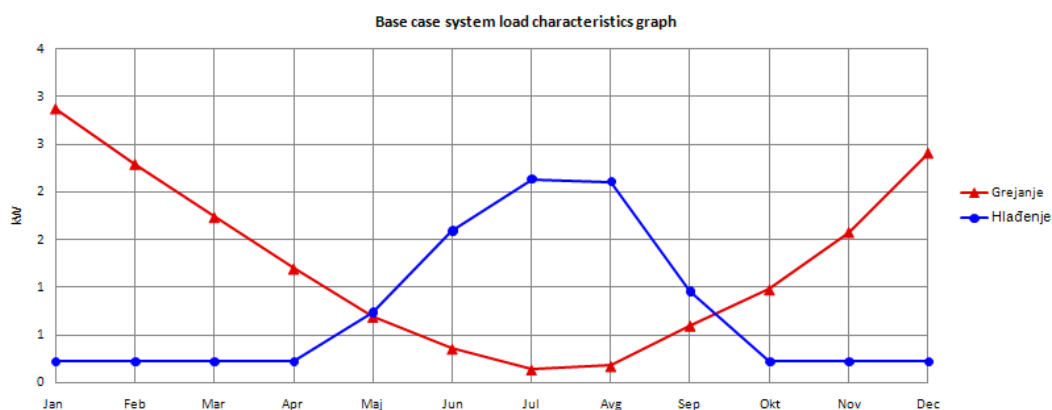
Base case cooling system		Single building - space cooling	
Cooled floor area for building		m ²	100
Fuel type			User-defined fuel
Coefficient of performance - seasonal			
Cooling load calculation			
Cooling load for building		W/m ²	40,0
Non-weather dependant cooling		%	30%
Total cooling		MWh	7
Total peak cooling load		kW	4,0
Fuel consumption - annual		m ³	0
Fuel rate		€/m ³	0,000
Fuel cost		€	-
Proposed case energy efficiency measures			
End-use energy efficiency measures		%	0%
Net peak cooling load		kW	4,0
Net cooling		MWh	7

Slika 26. Projekat hlađenja

Posle unetih podataka za projekat grejanja i hlađenja dobijamo tabelu i dijagram karakteristika opterećenja za naš slučaj (sl. 27).

Karakteristike opterećenja osnovnog slučaja

Mesec	Hlađenje srednje opterećenje kW	Grejanje srednje opterećenje kW
Januar	0	3
Februar	0	2
Mart	0	2
April	0	1
Maj	1	1
Jun	2	0
Jul	2	0
Avgust	2	0
Septembar	1	1
Oktobar	0	1
Novembar	0	2
Decembar	0	2
Pik opterećenje - godišnje	4	6



Slika 27. Karakteristike opterećenja osnovnog slučaja

5.4. Radni list Energetski model (Energy Model)

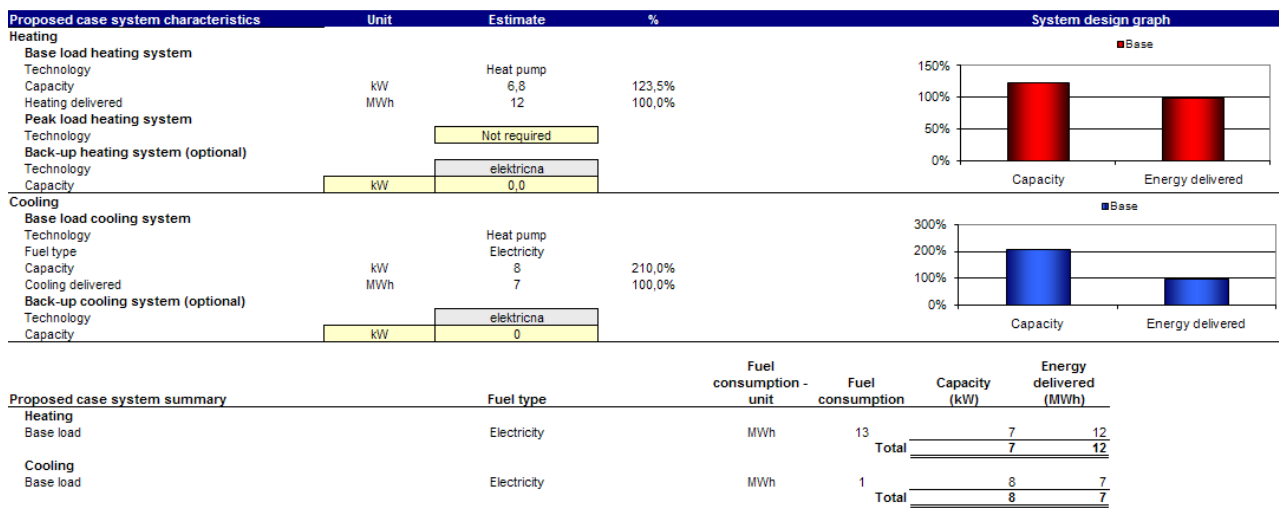
Radni list energetski model ima 2 slučaja: predloženi slučaj za grejanje i predloženi slučaj za hlađenje. Počinje se odabirom tehnologije, gde se iz padajućeg menija vrši odabir toplotne pumpe. Nakon toga sledeći prozor se odnosi na odabir goriva koje pokreće toplotnu pumpu, u ovom slučaju se iz padajućeg menija vrši odabir električne energije i unošenje njene cene. Nastavak radnog lista se odnosi na unos podataka koji se tiču toplotne pumpe, kao što su kapacitet, COP, proizvođač. Imamo mogućnost izbora toplotnih pumpi u bazi podataka pritiskom na polje „see product database“, ali su za sada u bazi podataka samo proizvođači koji se nalaze na američkom i kanadskom tržištu. Na osnovu unetih vrednosti program sam proračunava dostavljenu toplotu i hlađenje (sl. 28). [13]

Proposed case cooling system				
Base load cooling system				
Technology	Heat pump			
Fuel type	Electricity			
Fuel rate	€/MWh	0,150		
Capacity	kW	8,4	210,0%	
Coefficient of performance - seasonal		4,88		
Manufacturer	REHAU			
Model	GEO 7 CC			
Cooling delivered	MWh	7	100,0%	1 unit(s)
Peak load cooling system				
Technology	Not required			
Proposed case heating system				
System selection	Base load system			
Base load heating system				
Technology	Heat pump			
Fuel selection method	Single fuel			
Fuel type	Electricity			
Fuel rate	€/MWh	0,150		
Heat pump				
Capacity	kW	6,8	123,5%	
Heating delivered	MWh	12	100,0%	
Manufacturer	REHAU			
Model	GEO 7 CC			
Seasonal efficiency	%	90%		1 unit(s)
Fuel required	GJ/h	0,0		

Slika 28. Predloženi slučaj grejanja i hlađenja

Izabrali smo toplotnu pumpu kapaciteta 6.8 kW za grejanje i 8.4 kW za hlađenje. COP toplotne pumpe grejanja je 4.1, a hlađenja 4.88. Sezonska efikasnost za toplotnu pumpu je 90%.

Na osnovu unetih vrednosti dobijamo sistemske karakteristike predloženog slučaja (sl. 29.).



Slika 29. Sistemske karakteristike predloženog slučaja

5.5. Radni list Analiza troškova (Cost Analysis) i Alati (Tools)

Radni list analiza troškova počinje podešavanjem, gde su u ponudi dve metode. Za ovaj radni list biće odabrana druga metoda jer sadrži sve potrebne podatke koji ulaze u cenu projekta. Glavnu ulogu pri popunjavanju ovog radnog lista ima ravnoteža sistema i ostalo (nalazi na na radnom listu alati i biće kasnije bolje objašnjena), a koja na osnovu zadatih vrednosti za izabranu lokaciju kao i potrebnih i izvršenih radova na toj lokaciji daje približne cene troškova studije izvodljivosti, istraživanja, inženjeringa, mašinske i elektro opreme, rezervnih delova, transporta itd. Pomenuti troškovi spadaju u takozvane inicijalne ili početne troškove, a naravno pored njih postoje i godišnji kao i periodični troškovi. Izgled radnoga lista sa unetim cenama i potrebnim troškovima za ovaj projekat se nalazi na slici 30. Ovaj radni list će biti prikazan na srpskom jeziku radi lakšeg razumevanja. [13]

Početni troškovi (kredit)	Jedinica	Količina	Troškovi jedinice	Količina	Relativni troškovi
Studija izvodljivosti					
Ispitivanje zemljišta	p-d		€	-	
Procena resursa	projekat		€	-	
Procena uticaja na okolinu	p-d		€	-	
Preliminarni projekat	p-d		€	-	
Detaljna procena troškova	p-d		€	-	
Osnovna studija gasova staklene bašte(GHG) i kontrolni plan (I)	projekat		€	-	
Priprema izveštaja	p-d		€	-	
Upravljanje projektom	p-d		€	-	
Putovanje i smeštaj	p-trip		€	-	
Korisnički definisano	trošak		€	-	
Podzbir:			€	-	0,0%
Razvoj					
Pregovor o ugovoru	p-d		€	-	
Dozvole i odobrenja	p-d	1	€ 10	10	
Ispitivanje lokacije i vlasništva nad zemljom	p-d	1	€ 9	9	
GHG validacija i registracija	projekat		€	-	
Projektno finansiranje	p-d		€	-	
Pravni odeljenje i računovodstvo	p-d		€	-	
Upravljanje projektom	p-d		€	-	
Putovanje i smeštaj	p-trip		€	-	
Korisnički definisano	trošak		€	-	
Podzbir:			€	19	0,2%
Inženjering					
Dizajn lokacije i građevine	p-d		€	-	
Mehanički dizajn	p-d		€	-	
Električna konstrukcija	p-d		€	-	
Arhitektura	p-d		€	-	
Tenderi i ugovaranje	p-d		€	-	
Nadzor izgradnje	p-d		€	-	
Korisnički definisano	trošak		€	-	
Podzbir:			€	-	0,0%
Grejni sistem					
Osnovno opterećenje - Grejna pumpa	kW	6,8	€	-	
Mere energetske efikasnosti	projekat		€	-	
REHAU GEO 7 CC	trošak	1	€ 7.250	7.250	
Podzbir:			€	7.250	61,8%
Sistem za hlađenje					
Osnovno opterećenje - Grejna pumpa	kW	8,4	€	-	
Mere energetske efikasnosti	projekat		€	-	
Korisnički definisano	trošak		€	-	
Podzbir:			€	-	0,0%
Ravnoteža sistema i ostalo					
Specifični troškovi projekta	Uzemljeni grejni izmenjivač				
Cirkulaciona pumpa	kW	0,2	€ 700	112	
Pokretni fluid	m³	0,05	€ 2.600	137	
Bušenje i malterisanje	m	298	€ 6	1.787	
Cevna petlja	m	596	€ 2	1.191	
Armatura i ventili	kW	9,4	€ 18	165	
Izgradnja gradilišta i građevine	m²		€	-	
Rezervni delovi	%		€ 290	-	
Transport	projekat		€	-	
Edukacija i ovlašćivanje	p-d		€	-	
Korisnički definisano	trošak		€	-	
Nepredviđeni troškovi	%	10,0%	€ 10.661	1.066	
Kamata tokom izgradnje			€ 11.727	-	
Podzbir:		Uneti broj meseci	€	4.458	38,0%
Ukupni početni troškovi			€	11.727	100,0%

Slika 30. Kompletan izgled radnog lista analize troškova

Kod studije izvodljivosti nije potrebno nikakvo ubacivanje podataka jer je zemljište u privatnom posedu. Kod dozvola i odobrenja potrebna je samo dozvola za bušenje koja se odnosi na dubine preko 30 m. Takođe je potrebno ispitivanje vlasništva nad zemljom. Kod grejnog sistema upisujemo samo cenu toplotne pumpe. Za ravnotežu sistema i ostalo potrebno je popuniti radni list alati.

Početak radnog lista alati sadrži veliki broj mogućih metoda za rešavanje različitih problema koji se mogu odnositi recimo na mere energetske efikasnosti omotača zgrada, GHG ekvivalenata, protok toplote, konverzije jedinica itd. U ovom izabrana je opcija izmenjivač toplote koji je postavljen u zemlju, na osnovu koje je i urađena analiza troškova. Podešavanja radnog lista su prikazana na narednoj slici 31. [13]

Settings			
☐ As fired fuel	☒ Ground heat exchanger	☐ User-defined fuel - gas	
☐ Biogas	☐ Heat rate	☐ User-defined fuel - solid	
☐ Building envelope properties	☐ Heating value & fuel rate	☐ Water & steam	
☐ Appliances & equipment	☐ Hydro formula costing method	☐ Water pumping	
☐ Electricity rate - monthly	☐ Landfill gas	☐ Window properties	
☐ Electricity rate - time of use	☐ Unit conversion	☐ Custom 1	
☐ GHG equivalence	☐ User-defined fuel	☐ Custom 2	

Ground heat exchanger			
Heat pump	Unit	Heating	Cooling
Capacity	kW	6,8	8,4
Average load	kW	3,0	4,0
Manufacturer	REHAU		
Model	GEO 7 CC		
Efficiency	High		
Coefficient of performance - design		4,0	5,5

Site conditions	Unit	Project location	Climate data location
Soil type		Light soil - damp	
Earth temperature	°C	10,0	9,9
Earth temperature amplitude	°C	21,0	20,2
Measured at	m	10,0	0,0

Ground heat exchanger		
Type	Vertical closed-loop	
Design criteria	Heating	
Land area	m²	60
Layout	Standard	58
Borehole length	m	298

Specific project costs		Quantity	Unit cost	Amount
			€	€
Circulating pump	kW	0,2	700	112
Circulating fluid	m³	0,05	2.600	137
Drilling & grouting	m	298	6	1.787
Loop pipe	m	596	2	1.191
Fittings & valves	kW	9,4	18	165
Total				3.392

Slika 31. Radni list uzemljenog izmenjivača toplote

Radni list automatski povlači sa ostalih listova podatke za toplotnu pumpu. Nakon toga upisujemo srednju vrednost za toplotnu pumpu i biramo efikasnost koja je u ovom slučaju stavljena na visoku. Posle toga biramo tip zemljišta i program sam ubacuje temperature za to zemljište. Zatim biramo tip razmenjivača toplote, u ovom slučaju izabrana je vertikalno zatvorena petlja. Nakon toga biramo kriterijum za projektovanje gde smo izabrali grejanje. Na kraju kad je program proračunao sve podatke treba upisati cene za cirkulacionu pumpu, radni fluid, bušenje i malterisanje, cevnu petlju, armaturu i ventile.

5.6. Radni list Analiza emisije (Emission Analysis)

Radni list analiza emisije počinje podešavanjem, gde su u ponudi tri metode. Za ovaj radni list biće odabrana druga metoda. Prvo popunjavamo osnovni slučaj elektro energetskeg sistema koji je polazna linija za električnu energiju tj. njeno dobijanje iz uglja i hidroenergije. Izgled radnog lista analiza emisije je prikazan na slici 32. [13]

☒ Emission Analysis

☐ Method 1
☒ Method 2
☐ Method 3

Global warming potential of GHG
 25 tonnes CO₂ = 1 tonne CH₄ (IPCC 2007)
 298 tonnes CO₂ = 1 tonne N₂O (IPCC 2007)

Base case electricity system (Baseline)

Fuel type	Fuel mix %	CO ₂ emission factor kg/GJ	CH ₄ emission factor kg/GJ	N ₂ O emission factor kg/GJ	Electricity generation efficiency %	T&D losses %	GHG emission factor tCO ₂ /MWh
Coal	80,0%	92,7	0,0145	0,0029	33,8%	17,0%	1,203
Hydro	20,0%	0,0	0,0000	0,0000	100,0%	17,0%	0,000
Electricity mix	100,0%	263,9	0,0413	0,0083		17,0%	0,963

☐ Baseline changes during project life

Base case system GHG summary (Baseline)

Fuel type	Fuel mix %	CO ₂ emission factor kg/GJ	CH ₄ emission factor kg/GJ	N ₂ O emission factor kg/GJ	Fuel consumption MWh	GHG emission factor tCO ₂ /MWh	GHG emission tCO ₂
Electricity	100,0%	263,9	0,0413	0,0083	12	0,963	11,1
Total	100,0%	263,9	0,0413	0,0083	12	0,963	11,1

Proposed case system GHG summary (Combined heating & cooling project)

Fuel type	Fuel mix %	CO ₂ emission factor kg/GJ	CH ₄ emission factor kg/GJ	N ₂ O emission factor kg/GJ	Fuel consumption MWh	GHG emission factor tCO ₂ /MWh	GHG emission tCO ₂
Electricity	100,0%	263,9	0,0413	0,0083	14	0,963	13,8
Total	100,0%	263,9	0,0413	0,0083	14	0,963	13,8

GHG emission reduction summary

	Base case GHG emission tCO ₂	Proposed case GHG emission tCO ₂	Gross annual GHG emission reduction tCO ₂	GHG credits transaction fee %	Net annual GHG emission reduction tCO ₂
Combined heating & cooling project	11,1	13,8	-2,7	0%	-2,7
Net annual GHG emission reduction	-2,7	tCO ₂	is equivalent to	-0,5	Cars & light trucks not used

Slika 32. Radni list analize emisija

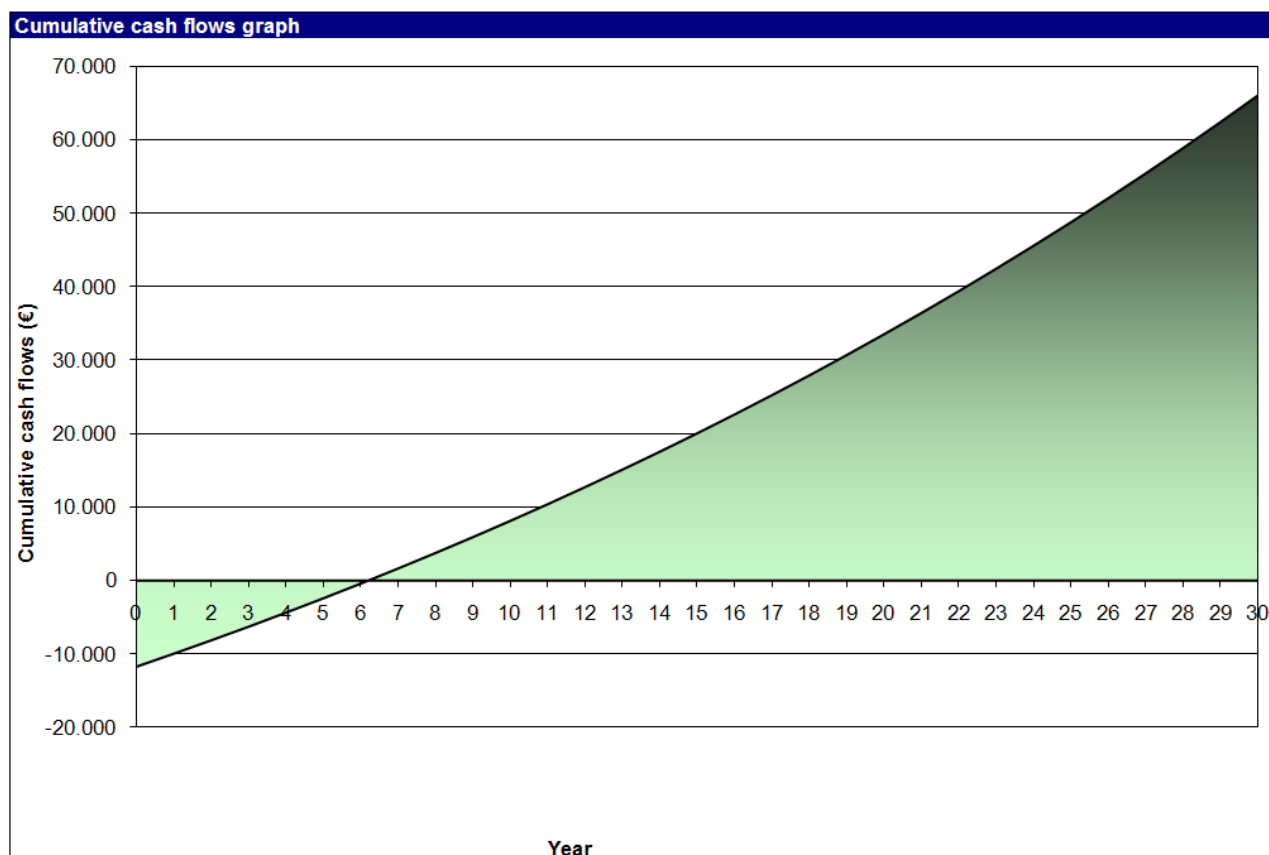
Srbija električnu energiju dobija iz ova dva izvora od toga 80% se dobija iz uglja dok 20% iz hidroenergije. Efikasnost uglja je oko 33%, a hidroenergije 100%. Nakon unošenja ovih podataka program sam računa izveštaj o gasovima staklene bašte osnovnog slučaja i predloženog slučaja.

5.7. Radni list Analiza finansija (Financial Analysis)

Radni list finansijska analiza korisniku pruža mogućnost sagledavanja ukupne isplativosti projekta. Na osnovu pethodno pomenutih i pobrojanih vrednosti (koje se odnose na kamatnu stopu, vreme otplate, zaduženosti, stope inflacije itd.) program proračunava kumulativnu krivu koja je ustvari jasan prikaz vremena otplate investicije u koju je uloženo. Na narednim slikama 33 i 34 se nalazi izgled radnog lista kao i kumulativna kriva. [13]

Financial parameters			Project costs and savings/income summary				Yearly cash flows			
General			Initial costs				Year	Pre-tax	After-tax	Cumulative
Fuel cost escalation rate	%	2,5%	Development	0,2%	€	19	#	€	€	€
Inflation rate	%	2,0%	Heating system	61,8%	€	7.250	0	-11.727	-11.727	-11.727
Discount rate	%	0,0%	Cooling system	0,0%	€	0	1	1.771	1.771	-9.956
Project life	yr	30	Balance of system & misc.	38,0%	€	4.458	2	1.815	1.815	-8.141
Finance			Total initial costs	100,0%	€	11.727	3	1.860	1.860	-6.281
Incentives and grants	€	0	Annual costs and debt payments				4	1.907	1.907	-4.374
Debt ratio	%		O&M		€	0	5	1.955	1.955	-2.419
Income tax analysis			Fuel cost - proposed case		€	2	6	2.003	2.003	-416
			Total annual costs		€	2	7	2.054	2.054	1.638
			Periodic costs (credits)				8	2.105	2.105	3.743
			Annual savings and income				9	2.158	2.158	5.900
			Fuel cost - base case		€	1.730	10	2.211	2.211	8.112
			Total annual savings and income		€	1.730	11	2.267	2.267	10.378
Annual income			Financial viability				12	2.323	2.323	12.702
Electricity export income			Pre-tax IRR - equity	%		17,3%	13	2.381	2.381	15.083
			Pre-tax IRR - assets	%		17,3%	14	2.441	2.441	17.524
			After-tax IRR - equity	%		17,3%	15	2.502	2.502	20.026
			After-tax IRR - assets	%		17,3%	16	2.565	2.565	22.591
			Simple payback	yr		6,8	17	2.629	2.629	25.220
			Equity payback	yr		6,2	18	2.694	2.694	27.914
			Net Present Value (NPV)	€		66.015	19	2.762	2.762	30.676
			Annual life cycle savings	€/yr		2.200	20	2.831	2.831	33.507
			Benefit-Cost (B-C) ratio			6,63	21	2.902	2.902	36.409
			GHG reduction cost	€/tCO2		No reduction	22	2.974	2.974	39.383
							23	3.049	3.049	42.431
							24	3.125	3.125	45.556
							25	3.203	3.203	48.759
							26	3.283	3.283	52.042
							27	3.365	3.365	55.407
							28	3.449	3.449	58.856
							29	3.535	3.535	62.391
							30	3.624	3.624	66.015

Slika 33. Radni list finansijske analize



Slika 34. Grafik isplativosti projekta

Radni list finansijska analiza popunjen je na osnovu podataka istraživanja. Podaci se odnose na stepen rasta troškova goriva 2.5%, stope inflacije od 2%, i perioda otplate i veka projekta koji je u ovom slučaju 30 godina.

Ukupni početni troškovi su 11727 €. Godišnji prihodi su 1730 €. Na osnovu svega priloženog do sada, vidimo grafik otplate, i na osnovu njega zaključujemo da je period otplate oko 6 godine, što predstavlja prilično dobar rezultat.

6. Zaključak

Budući da je procenjena totalna količina geotermalne energije koja bi se mogla iskoristiti znatno veća nego sveukupna količina energetske izvora baziranih na nafti, uglju i zemnom gasu spojenih zajedno trebalo bi geotermalnoj energiji svakako pridati veću važnost. Naročito ako se uzme u obzir da je reč o jeftinom obnovljivom izvoru energije koji je usto i ekološki prihvatljiv. Budući da geotermalna energija nije svuda lako dostupna, trebalo bi iskoristiti barem mesta na kojima je ta energija lako dostupna i tako makar malo smanjiti pritisak na fosilna goriva i time pomoći Zemlji da se oporavi od štetnih gasova staklene bašte.

Zbog nastalih promena u ekonomskim odnosima proizvodnje i potrošnje energije, danas se racionalnom korišćenju energije posvećuje sve veća pažnja. Stambene i poslovne zgrade troše preko 40% primarne energije. Takođe, na njih se odnosi preko 72% ukupne proizvodnje električne energije, 55% potrošnje prirodnog gasa i što je najvažnije, zgrade su odgovorne za više od trećine ukupne emisije CO₂. Republika Srbija već danas premašuje granične vrednosti definisane zahtevima Kjoto protokola.

Primenom geotermalne toplotne pumpe štede se svetske zalihe energije korišćenjem geotermalne energije kao obnovljivog izvora energije.

Investiranje u ovakve projekte zahteva puno ljubavi i entuzijazma prema životnoj sredini, jer ekonomska opravdanost trenutno "ne radi" u korist ove tehnologije.

7. Literatura

- [1] ŠAMŠALOVIĆ, S.: TOPLOTNA PUMPA, Tehnologija održive proizvodnje energije, 2009., Beograd
- [2] <http://www.altenergija.org/> – pristupljeno 14.5.2012.
- [3] PETROVIĆ, N.: Projektovanje bivalentnog sistema centralnog grejanja korišćenjem geotermalne toplotne pumpe i gasnog kotla, diplomski rad, 2010., Kragujevac
- [4] http://www.zapadnasrbija.org.rs/page.php?reg_id=10&pag_id=1 – pristupljeno 16.5.2012.
- [5] TODOROVIĆ, B.: Projektovanje postrojenja za centralno grejanje, 2005., Beograd
- [6] TOPIĆ, R. i G. TOPIĆ: Novi pristup i tendencije pri korišćenju toplotnih pumpi u procesu sušenja, PTEP 6, 2002.
- [7] www.etscreen.net – pristupljeno 15.3.2012.
- [8] ŠAMŠALOVIĆ, S.: Tehnoekonomske mogućnosti primene toplotnih pumpi za zagrevanje u priobalnim delovima Beograda, SMEITS KGH – Beograd
- [9] www.rehau.com/cms/servlet/segment/BA_sr/.../Toplotne_pumpe/ – pristupljeno 11.4.2012.
- [10] www.vaillant.rs/Krajnji+korisnici/Proizvodi/Toplotne+pumpe/ – pristupljeno 11.4.2012.
- [11] OCHSNER, K.: Geothermal heat pumps, 2007., London
- [12] MATOVIĆ, N.: Primena softverskog paketa RETScreen u projektovanju malih elektrana, master rad, 2010., Kragujevac
- [13] RETScreen Software Online User Manual: Ground-Source Heat Pump Project Model
- [14] Clean Energy Project Analysis Engineering & Cases Textbook, Third Edition, RETScreen
- [15] ŠUŠTERŠIĆ, V.: Geotermalna energija, 2009., Kragujevac
- [16] Priručnici proizvođača Buderus, Baxi, Junkers, Bosch, Vaillant, Rehau, Herz i dr.