

Ekonomsko-tehnički aspekti geotermalnih dizalica topline

Jurič, Tena

Master's thesis / Diplomski rad

2017

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Chemical Engineering and Technology / Sveučilište u Zagrebu, Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:149:165566>

Rights / Prava: [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2025-01-02**



Repository / Repozitorij:

[Repository of Faculty of Chemical Engineering and Technology University of Zagreb](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET KEMIJSKOG INŽENJERSTVA I TEHNOLOGIJE
SVEUČILIŠNI DIPLOMSKI STUDIJ

Tena Jurič

**EKONOMSKO-TEHNIČKI ASPEKTI GEOTERMALNIH DIZALICA
TOPLINE**

DIPLOMSKI RAD

Voditelj rada: izv.prof. dr. sc. Zvonimir Glasnović

Članovi ispitnog povjerenstva:

izv.prof. dr. sc. Zvonimir Glasnović

Prof.dr.sc. Ante Jukić

Dr.sc. Karmen Margeta

Zagreb, prosinac 2017.

Zahvaljujem se svom mentoru, izv.prof.dr.sc. Zvonimiru Glasnoviću i dr. sc. Karmen Margeta na stručnim savjetima i ustupljenom vremenu tijekom izrade ovog rada.

Hvala svim mojim prijateljima, rodbini i dragim ljudima koji su mi uljepšali godine studiranja.

Veliko hvala dedi i baki na iznimnoj potpori.

Najviše se zahvaljujem svojim roditeljima, sestri i zaručniku na beskonačnom strpljenju, razumijevanju i ljubavi.

Tena Jurič

SAŽETAK

U radu su prikazani svi relevantni parametri tehnologije geotermalnih dizalica topline koja predstavlja značajni doprinos u postizanju energetske učinkoviti građevina. Sustav počiva na lijevokretnom Clausius-Rankineovom ciklusu u kojem se toplina preuzima iz tla i predaje isparivaču. Sustav geotermalne dizalice topline sastoji od tri kruga: kruga izvora topline, kruga radnog medija i kruga ponora topline. U krugu izvora topline, radni medij izmjenjuje toplinu s optočnim medijem (voda, glikolna smjesa, i dr.) koji cirkulira kroz cijevi, pri čemu se optočni medij hladi. Posebna pažnja je posvećena optočnom mediju, kojem je potrebno dodati sredstvo protiv zamrzavanja (antifriz) kako ne bi došlo do stvaranje leda na vodenoj strani izmjenjivača. U krugu ponora topline, radnom mediju se odvodi toplina. Optočni medij je najčešće voda, a dodatak antifrizu nije potreban budući da ovdje ne postoji opasnost od zamrzavanja. Osnovne komponente sustava su isparivač, kompresor, kondenzator i ekspanzijski ventil. U isparivaču se radnom mediju predaje toplina iz okoliša, pri čemu se on zagrijava i prelazi u plinovito stanje. U kompresoru se odvija povećanje temperature i tlaka radnog medija. Pri izlasku iz kompresora radni medij predaje toplinu optočnom mediju, nakon čega prolazi kroz ekspanzijski ventil. Radni medij niske temperature pri izlasku iz ekspanzijskog ventila protječe do isparivača, čime je završen jedan ciklus. Analizirane su ekonomsko-tehničke karakteristike sustava geotermalne dizalice topline. Sustav koji je analiziran je ugrađen u stambenoj zgradi „Agria“ koja je izgrađena 2009. g. na lokaciji Reisnerova 64, Osijek. Na kraju je dana analiza isplativosti primjene geotermalnih dizalica topline s tлом za grijanje poslovno-stambene zgrade „Agria“ u odnosu na konvencionalne sustave grijanja s kotlovima na tekuće i plinovito gorivo.

Ključne riječi:

Geotermalna dizalica topline, energetska učinkovitost, zgradarstvo, analiza isplativosti, radni medij

ABSTRACT

The main objectives of this study are all the relevant parameters of the geothermal heat pump technology, that represents a significant contribution to the achievement of an energy efficient building. The system rests on the left-handed Clausius-Rankine circular cycle in which the heat is taken from the soil and delivered to the evaporator. The geothermal heat pump unit consists of three circuits: the heat source circuit, the working medium circuit, and the heat pumps circuit. In the heat source circuit, the working medium exchanges heat with the circulating medium (water, glycol mixture etc.), whereby the circulating medium is cooled. Particular attention is paid to the circulating medium, which requires the addition of an antifreeze to prevent ice formation on the water side of the exchanger. In the heat pump circuit, heat is extracted from the working medium. The circulating medium is most commonly water, and antifreeze additive is not needed since there is no risk of freezing. The basic components of the system are evaporator, compressor, condenser and expansion valve. In the evaporator, the working medium is fed by the heat from the environment, where it is heated and passed into the gaseous state. Compressor is used to increase the temperature and pressure of the working medium. At the output from the compressor, the working medium transmits the heat to the circulating medium, after which it passes through the expansion valve. The low temperature working medium at the output from the expansion valve flows to the evaporator, which completes a cycle. The economic and technical characteristics of the geothermal heat pumps system were analyzed. The system analyzed was built in a residential building "Agria", which was built in 2009 at Reisnerova 64, Osijek. Cost-benefit analysis of the application of ground source heat pump systems for business-residential building "Agria" is given by comparing costs of such systems with those of conventional heating systems.

Key words:

Geothermal heat pumps, energy efficiency, building, cost-benefit analysis, working medium

SADRŽAJ

1. UVOD	1
2. OPĆENITO O DIZALICAMA TOPLINE	5
2.1 Termodinamičke osnove geotermalnih dizalica topline	5
2.2. Klasifikacija i prikaz načina rada dizalica topline	6
2.3. Kompresijske dizalice topline – osnovni dijelovi	8
2.4. Učinkovitost rada dizalica topline	11
2.4.1. Faktori koji utječu na vrijednost koeficijenta učinkovitosti grijanja i hlađenja	13
3. RADNI MEDIJ GEOTERMALNIH DIZALICA TOPLINE.....	16
3.1. Karakteristike radnog medija.....	17
3.2. Označavanje radnih medija	17
3.3. Utjecaj na okoliš	20
3.4. Istraživanja o karakteristikama radnih medija	21
4. DIZALICE TOPLINE S TLOM KAO TOPLINSKIM IZVOROM.....	24
4.1. Značajke tla kao toplinskog izvora	24
4.2. Termotehnički sustavi izmjenjivača topline	26
4.2.1. Sustav sa zatvorenim krugom	26
4.2.2. Sustav s otvorenim krugom	30
4.3. Režimi rada dizalice topline.....	32
5. ANALIZA ISPLATIVOSTI PRIMJENE DIZALICA TOPLINE S TLOM U TERMOTEHNIČKIM SUSTAVIMA.....	35
5.1. Polazne postavke analize	35
5.2. Shema izmjenjivača topline	36
5.3. Izračun ekonomskih pokazatelja isplativosti primjene geotermalne dizalica topline	39
6. REZULTATI I RASPRAVA.....	41
7. ZAKLJUČAK.....	47
8. LITERATURA.....	49

1. UVOD

U posljednjih nekoliko desetljeća obnovljivi izvori energije (sunce, vjetar, geotermalni izvori i dr.) imaju sve veću ulogu u svjetskoj proizvodnji energije.

Cilj korištenja geotermalne energije, kao i ostalih obnovljivih izvora, jest smanjenje ovisnosti o fosilnim gorivima te smanjenje emisija stakleničkih plinova. Razvoj dizalica topline započelo je u doba velike naftne krize, sedamdesetih godina, kada su mnogi proizvođači tražili rješenja za zamjenu fosilnih goriva drugim izvorima energije. Jedno od rješenja bila je uporaba topline okoline. Tadašnja tehnička rješenja i izvedbe dizalica topline nisu uspjela ostvariti rezultate u pogledu iskoristivosti te su završetkom naftne krize zaboravljeni. Razvojem novih tehnologija, poboljšanjem stupnja iskoristivosti te smanjenjem dimenzija i masa, primjena dizalice topline u prvom desetljeću 21. stoljeća sve je veća [1].

U poslovno-stambenim objektima grijanje prostora i priprema potrošne tople vode su, uz klimatizaciju i rasvjetu, najveći potrošači energije. Obzirom da je energija iskorištena za grijanje prostora u EU gotovo polovica finalne energetske potrošnje, obnovljivi izvori energije imaju visok potencijal rasta u ukupnoj potrošnji.

Geotermalna dizalica topline (slika 1) prenosi toplinu s niže temperature na višu temperaturu uz dovedeni vanjski rad, odnosno energiju, te bilježi jedan od najbržih porasta primjene obnovljivih izvora energije. Geotermalne dizalice topline koriste obnovljivu energiju pohranjenu u tlu, pružajući jedan od energetski najučinkovitijih načina grijanja zgrada. Prikladne su za širok raspon vrsta gradnje. Obzirom da u ovim sustavima ne dolazi do sagorijevanja, već samo do prijenosa topline iz tla, geotermalne dizalice topline su osobito pogodne za projekte jer imaju minimalan utjecaj na okoliš [2].



Slika 1. Prikaz geotermalne dizalice topline [3].

Većina stambenih objekata koristi fosilna goriva ili električnu energiju za grijanje i/ili pripremu potrošne tople vode. Konvencionalni sustavi grijanja su jednostavni za ugradnju i korištenje, no njihova ukupna učinkovitost u pretvaranju potencijalne energije fosilnih goriva u električnu energiju, a zatim u toplinsku energiju je prilično niska. Na primjer, ako se za pripremu potrošne tople vode (PTV) koristi električna energija, odnosno električni kotao ili grijač vode, ugradnjom dizalice topline potrošnja se može smanjiti za dvije trećine u odnosu na električnu energiju. Također, geotermalne dizalice topline imaju vrlo niske troškove održavanja, te su pouzdano i ekološki prihvatljivo rješenje za grijanje u periodu od 20 godina.

Prednost takvih sustava u odnosu na konvencionalne sustave grijanja i hlađenja je uporaba tla kao izvora topline i po zimi i po ljeti (ljeti tlo predstavlja rashladni spremnik). Mogu se ugraditi u većini svjetskih regija, pomoću bušotina ili plitkih rovova, ili pak rjeđe, iskorištavanjem topline iz potoka ili rijeka. Čak i na temperaturama koje mi smatramo hladnima, zrak, tlo i voda sadrže korisnu toplinu koju Sunce kontinuirano obnavlja. Upotrebom dodatnog izvora energije (npr. plinski kotao ili kotao na loživo ulje) geotermalna dizalica topline može podići temperaturu na potrebnu razinu.

Geotermalne dizalice topline pokazuju veću učinkovitost u usporedbi sa sustavima grijanja u kojima se koriste električni kotao, plin ili lož ulje. Isto tako, pokazuju veću učinkovitost u usporedbi s dizalicama topline koje koriste zrak kao toplinski izvor. Naime, zrak je općenito hladniji zimi i topliji ljeti, što rezultira manje učinkovitim prijenosom topline, dok je Zemlja umjerene temperature tijekom cijele godine.

Primjena dizalica topline je raznolika. Najčešće se koriste kao izvor topline u sustavima grijanja i za pripremu potrošne tople vode u stanovima, obiteljskim kućama, poslovnim te javnim objektima. Dvije su osnovne podjele područja primjene dizalica topline, a to su primjena u stambenim i poslovnim objektima, te primjena u industrijske svrhe.

U stambenim i poslovnim objektima dizalica topline služi: samo za pripremu potrošne tople vode, za grijanje prostora i/ili potrošne tople vode, za grijanje i hlađenje prostora ili za grijanje i hlađenje prostora i pripremu potrošne tople vode.

S druge strane, u industriji služi za: grijanje industrijskih pogona i staklenika, zagrijavanje industrijske vode, proizvodnju vodene pare, sušenje i ovlaživanje. [4]

Osnovni uvjet za uspješnu primjenu dizalice topline je dostupnost pouzdanih toplinskih izvora kao što su tlo, vode i zrak. Također, postoji i mogućnost spajanja solarnog sustava kao dodatnog izvora topline. Dizalice topline se uspoređuju pomoću koeficijenta učinkovitosti (Coefficient of Performance - COP) kada se koriste za grijanje. Koeficijent učinkovitosti dizalice topline, COP je osnovni pokazatelj učinkovitosti rada dizalice topline.

Europska unija vodeća je u svijetu po razvoju i broju instaliranih jedinica geotermalnih dizalica topline. Krajem 2013. godine broj instaliranih jedinica u EU iznosio je oko 21 606 700, a iste godine prodano je oko 770 000 jedinica što je porast od 3% u odnosu na godinu ranije. Najveći porast primjene dogodio se u razdoblju od 2003. do 2007. godine kao direktna posljedica naglog rasta cijena sirove nafte uslijed političkih zbivanja u svijetu. U to vrijeme Europska Unija donijela je i niz direktiva vezanih uz promoviranje i povećanje udjela obnovljivih izvora u općoj energetskej potrošnji, a kako bi se smanjila ovisnost o plinu iz Rusije i uvoznjoj nafti iz nestabilnih političkih područja. Od početka ovog naglog porasta tijekom 2003. godine do 2007. godine broj instaliranih jedinica je više nego udvostručen s 310 000 na 720 000 jedinica [5].

Od 50-tih godina provedena su mnoga istraživanja o geotermalnim dizalicama topline, uključujući analize strukture, radnog medija koji se koristi, termoanalize, matematičke i ekonomske analize. Krajnji cilj istraživanja je analiza tehnoekonomskih pokazatelja u odnosu na korištenje postojećih konvencionalnih sustava.

S obzirom da je trošak ugradnje sustava geotermalnih dizalica topline veći od troškova ugradnje konvencionalnog sustava grijanja i hlađenja, važno je napraviti kompromis između visine početne investicije te perioda povrata investicije.

2. OPĆENITO O DIZALICAMA TOPLINE

2.1 Termodinamičke osnove geotermalnih dizalica topline

Za procjenu i analizu učinkovitosti geotermalnih dizalica topline ključno je razumijevanje rada jednog takvog sustava.

Princip rada geotermalnih dizalica topline zasniva se na kružnom procesu. Rezultat kružnog procesa je prijenos topline ili obavljanje rada. Ovisno o prikazu odvijanja promjena na dijagramima, kružni procesi mogu biti lijevokretni ili desnokretni. Desnokretnim kružnim procesima se rad dobiva, odnosno dolazi do pretvorbe jednog dijela toplinske u mehaničku energiju. Primjer za desnokretne kružne procese su motori s unutrašnjim izgaranjem.

S druge strane, cilj lijevokretnih kružnih procesa je izmjena topline između dva toplinska spremnika. Kod geotermalnih dizalica topline koristi se na lijevokretnom Clausius-Rankineovom procesu. Ljevokretni kružni proces sastoji se od 4 potprocesa: izentropske kompresije, izotermne kompresije, izentropske ekspanzije i izotermne ekspanzije [6].

Tu treba napomenuti da za prijenos topline od toplinskog spremnika na nižoj do toplinskog spremnika na višoj temperaturnoj razini treba dovesti kompenzacijsku energiju (najčešće mehanički rad kompresora). Ta činjenica proizlazi iz drugog zakona termodinamike kojeg je znanstvenik Rudolf Clausius 1850. g. formulirao [7], a glasi:

"Toplina ne može sama od sebe prelaziti s hladnijeg tijela na toplije, odnosno nije moguć proces čiji jedini rezultat bi bio spontan prelazak topline s hladnijeg tijela na toplije".

Prilikom rada geotermalne dizalice topline kružni proces se odvija između dvaju toplinskih spremnika, a radni medij vraća se u svoje početno stanje nakon niza termodinamičkih procesa, što predstavlja jedan ciklus. Zrak objekta koji se grije, i/ili potrošna voda predstavljaju unutrašnji spremnik, dok vanjski toplinski spremnik može

biti zrak, tlo, voda ili otpadna toplina nekog drugog procesa. Kao što je prethodno navedeno, dizalica topline može raditi i kao ogrjevni i kao rashladni uređaj, pri čemu se uloge toplinskih spremnika i komponenti sustava mijenjaju. Zimi, vanjski toplinski spremnik služi kao ogrjevni toplinski spremnik, a unutarnji kao rashladni, dok je ljeti situacija obrnuta.

Kod rashladnog uređaja toplinski spremnik na višoj temperaturnoj razini (onaj kojem se toplina dovodi) je neposredna okolica uređaja, dok je spremnik na nižoj temperaturnoj razini (onaj kojem se toplina odvodi) prostor ili medij koji treba ohladiti. S druge strane, kod dizalice topline je toplinski spremnik na višoj temperaturnoj razini prostor ili medij koji treba zagrijati, a spremnik na nižoj temperaturnoj razini neposredna okolica (tlo, zrak ili voda).

Za stambene namjene dovoljna je jedna dizalica topline, dok je za industrijske sustave potrebno više jedinica dizalica topline. Dizalica topline koristi kompresiju i ekspanziju radnog medija za pokretanje toplinskih tokova između unutrašnjosti zgrade i tla. U određeno doba godine, temperatura tla će biti takva da će toplina prolaziti u željenom smjeru. No, dizalica topline mora raditi kako bi se osigurao dovoljan protok topline. Protok toplinske energije ovisi o temperaturnoj razlici između geotermalne dizalice topline i tla.

2.2. Klasifikacija i prikaz načina rada dizalica topline

Jedna od mogućih klasifikacija dizalica topline je podjela s obzirom na izvor dodatne energije za ostvarivanje kružnog procesa. Tako prema [4] razlikujemo :

- Kompresijske – kompenzacijska energija je mehanički rad dobiven pomoću kompresora;
- Sorpcijske (adsorpcijske i apsorpcijske) - kompenzacijska energija je toplinska energija.

Sustav geotermalne dizalice topline sastoji se najčešće od sljedećih komponenti: isparivača, kompresora, kondenzatora i ekspanzijskog ventila (Slika 1). Također, različite manje komponente kao što su ventilatori, cjevovodi i kontrolni sustavi pomažu radu sustava geotermalne dizalice topline.

Način rada ovog sustava, kada se koristi za grijanje, prema [2] se može opisati na sljedeći način:

- Toplinska energija iz izvora topline (tla) dolazi do izmjenjivača topline – isparivača u kojem se nalazi optočni medij. S druge strane izmjenjivača topline je radni medij niske temperature uglavnom u tekućem stanju;
- Radni medij je hladniji od optočnog medija (voda, otopina natrijevih ili kalcijevih soli u vodi (rasolina), glikolna smjesa, zrak), tako da se prijelaz topline odvija u smjeru radnoj medija. Prilikom prijelaza topline dolazi do isparavanja radnog medija, pri čemu se temperatura radnog medija ne povećava u znatnoj mjeri;
- Radni medij, u plinovitom agregatnom stanju, niskog tlaka i niske temperature zatim prolazi u kompresor. U kompresoru se radnom mediju povećava tlak, a posljedično i njegova temperatura;
- Radni medij, sada visokog tlaka i temperature, izlazi iz kompresora i ulazi u drugi izmjenjivač topline, kondenzator;
- Budući da je radni medij topliji od zraka ili vode, prenosi toplinu na nju. Kako radni medij gubi toplinu, temperatura mu pada te se kondenzira;
- Radni medij, sada visoke temperature prolazi kroz ekspanzijski ventil, gdje mu se smanjuje tlak i kao posljedica, njegova temperatura značajno pada;
- Nakon toga, radni medij niske temperature protječe do isparivača i ciklus počinje ponovo.



Slika 1. Osnovne komponente geotermalne dizalice topline [8].

2.3. Kompresijske dizalice topline – osnovni dijelovi

Kompresijske dizalice topline su najčešće korištene od navedene tri vrste izvedbe dizalica topline.

ISPARIVAČ

Isparivač je izmjenjivač topline u kojem dolazi do potpunog isparavanja radnog medija, pomoću topline dovedene iz okoline. Dakle, u krugu izvora topline on izmjenjuje toplinu s optočnim medijem (vodom, rasolinom, glikolnom smjesom, zrakom), pri čemu se optočni medij hladi [1]. Rashladni učin isparivača ovisi o ukupnoj površini za izmjenu topline, koeficijentu prolaza topline izmjenjivača i razlici temperatura optočinog medija i radnog medija koji isparava. Što je razlika u temperaturi manja to je tlak isparavanja veći. Poželjne karakteristike isparivača su male dimenzije, mali pad tlaka na strani optočinog i radnog medija i što veća gustoća toka pri izmjeni topline.

Podjela isparivača prema [4], temelji se na vrsti toplinskog izvora koji se koristi:

- 1) Isparivači za dizalice topline s tlom kao toplinskim izvorom – pločasti, s cijevnim snopom, s dvostrukom koaksijalnom cijevi;
- 2) Isparivači za dizalice topline s podzemnom vodom kao toplinskim izvorom- pločasti, s dvostrukom koaksijalnom cijevi;
- 3) Isparivači za dizalice topline s tlom kao toplinskim izvorom i izravnim isparavanjem- pločasti;
- 4) Isparivači za dizalice topline s površinskom vodom kao toplinskim izvorom;
- 5) Isparivači za dizalice topline sa zrakom kao toplinskim izvorom - lamelasti, s cijevnom zmijom.

KOMPRESOR

U kompresoru dolazi do povećanje temperature i tlaka radnog medija [9]. Ovim povećanjem se omogućava kruženje radnog medija kroz sustav dizalice topline. Kompresori se dijele na klipne, vijčane i spiralne. U dizalicama topline najčešće se koriste klipni kompresori zbog njihove niske cijene. Mana im je bučan rad, te pulsirajući pogon.

KONDENZATOR

Kondenzator je izmjenjivač topline u kojem se radnom mediju odvodi toplina krugom ponora topline. U krugu ponora topline zagrijava se optočni medij, najčešće voda. Dodatak antifrizu nije potreban budući da ovdje ne postoji opasnost od zamrzavanja, a i ne postoji potreba korištenja drugog medija koji bi svojim propuštanjem mogao dovesti u opasnost zdravlje ljudi ili zagađiti okoliš.

Istovremeno, radni medij se hladi pri konstantnom tlaku i temperaturi, te dolazi do njegove kondenzacije ili ukapljivanja. U kondenzatoru se prvo odvija hlađenje pregrijane pare, zatim kondenzacija mokre pare i na kraju pothlađivanje kapljevine.

Toplinska vodljivost između radnog medija i zraka povećava se pomoću velikog broja cijevi i lamela za pričvršćivanje. Toplinski učinak kondenzatora ovisi u ukupnoj površini za izmjenu topline, koeficijentu prijelaza topline te razlici temperatura radnog medija i optočnog medija kruga ponora topline. Kondenzatori su najčešće izrađeni od nehrđajućeg čelika ili legure bakra i nikla.

EKSPANZIJSKI VENTIL (PRIGUŠNI)

Ekspanzijski, odnosno prigušni ventil je dio sustava u kojem se radnom mediju, koji je u kapljevitom stanju, snižavaju temperatura i tlak do onih vrijednosti na kojima dolazi do isparavanja. Radni medij se prvotno nalazi u pothlađenom stanju, te u ekspanzijskom ventilu ekspandira, pri čemu mu se snižavaju tlak i temperatura do vrijednosti isparavanja s kojima ulazi u isparivač. Pri tom ne dolazi do promjene entalpije.

Kako u ventilu nema promjene entalpije procesa, nije nužno uključivati ga u model prilikom traženja optimalne radne točke, nego se smatra da se željeni tlakovi mogu podesiti direktno. Postoje tri vrste ekspanzijskih ventila, a to su: jednostavna kapilarna cijev, termostatski ekspanzijski ventili te ekspanzijski ventili s elektroničkim upravljanjem.

2.4. Učinkovitost rada dizalica topline

Učinkovitost rada sustava te isplativost procesa, ključni su pri odabiru dizalice topline. Kako bi se mogli usporediti različiti procesi, prema [10] koriste se:

- a) Koeficijent učinkovitosti grijanja (Coefficient Of Performance – COP) ;
- b) Koeficijent učinkovitosti hlađenja (Energy Efficiency Ratio – EER);
- c) Prosječni godišnji koeficijent učinkovitosti (Seasonal performance factor – SPF).

Ovi koeficijenti predstavljaju omjer grijanja ili hlađenja koje isporučuje jedinica u odnosu na količinu električne energije potrebne za stvaranje te energije grijanja/hlađenja. Na primjer, ukoliko uređaj proizvodi 5 kWh topline iz 1 kWh ulazne električne energije, njegov COP iznosi 5.0. Sukladno tome, ako uređaj proizvodi 5 kWh hladnog zraka iz 1 kWh ulazne električne energije, njegov EER iznosi 5.0. Što je veći COP ili EER, to je veća energetska učinkovitost dizalice topline.

Koeficijent učinkovitosti grijanja, COP

Koeficijent učinkovitosti grijanja, COP računa se kao omjer topline grijanja, Q_{dov} i uloženog, odnosno električne energije W_{el} :

$$COP = \frac{Q_{dov}}{W_{el}}$$

Najveća vrijednost koeficijenta učinkovitosti grijanja je pri idealnom, teorijskom Carnotovom lijevokretnom kružnom procesu.

U slučaju niskotemperaturnog sustava grijanja, geotermalne dizalice topline pri temperaturi tla od 10 °C postižu sljedeće vrijednosti COP navedene u tablici 1. zajedno s vrijednostima za Carnotov lijevokretni kružni proces. [11]

Tablica 1. Koeficijenti učinkovitosti grijanja koje danas postižu geotermalne dizalice topline različitih izvedbi [12]

IZVEDBA DIZALICE TOPLINE I NJEZIN TOPLINSKI IZVOR	PROMJENA VRIJEDNOSTI KOEFICIJENTA GRIJANJA, COP U OVISNOSTI O TEMPERATURI TOPLINSKOG PONORA					
	35°	45°	55°	65°	75°	85°
Dizalica topline sa tlom kao toplinskim izvorom. Temperatura tla je 10 °C	7.2	5.0	3.7	2.9	2.4	–
Idealni Carnotov ljevokretni kružni proces. Temperatura toplinskog izvora je 10°C	12.3	9.1	7.3	6.1	5.4	4.8

Koeficijent učinkovitosti hlađenja, EER

Koeficijent učinkovitosti hlađenja, EER predstavlja odnos između količine hlađenja (BTU/h) i potrošene električne energije (W).

Prosječni godišnji koeficijent učinkovitosti, SPF je veličina koja predstavlja omjer ukupne toplinske energije predane nekom objektu i ukupno uložene energije tijekom perioda od jedne godine. Godišnji koeficijent učinkovitosti najčešće se koristi za usporedbu sa uobičajenim sustavima grijanja sa svrhom procjene uštede te smanjena emisija CO₂. Godišnji koeficijent učinkovitosti računa se prema:

$$SPF > \frac{1.15}{\eta_{EL}}$$

Pri čemu je η_{EL} - omjer između ukupne bruto proizvodnje električne energije i potrošnje primarne energije za proizvodnju električne energije. [11]

2.4.1. Faktori koji utječu na vrijednost koeficijenata učinkovitosti grijanja i hlađenja

Koeficijent učinkovitosti grijanja dizalica topline ovisi o temperaturnoj razlici između izvora topline i radnog medija– posrednika u prijenosu topline. Prema tome, njegova vrijednost uvelike ovisi o odabranom sustavu grijanja.

Sukladno tome, vrijednost koeficijenta učinkovitosti grijanja povećava se sa smanjenjem temperature na koju je potrebno zagrijati radni medij te sa povećanjem temperature izvora topline. Iz tog razloga je niskotemperaturni sustav grijanja najprikladniji. Logično, što je manja temperaturna razlika između temperature izvora topline i temperature radnog medija, to je koeficijent učinkovitosti grijanja veći. Danas se koeficijenti učinkovitosti grijanja geotermalne dizalice topline kreću oko vrijednosti 3.

Koeficijenti učinkovitosti grijanja i hlađenja se također koriste pri kategorizaciji uređaja u energetske razrede, koji služe kako bi potrošači dobili sliku o potrošnji, odnosno uštedi energije. Iz tablice 2. je vidljivo kako su uređaji kategorizirani u razrede, od kojih je razred A najbolji.

Tablica 2. Razredi enerjske učinkovitosti [13].

Razred enerjske učinkovitosti	Koeficijent učinkovitosti hlađenja, EER	Koeficijent učinkovitosti grijanja, COP
A	> 3,20	> 3,60
B	3,00-3,20	3,40-3,60
C	2,80-3,00	3,20-3,40
D	2,60-2,80	2,80-3,20
E	2,40-2,60	2,60-2,80
F	2,20-2,40	2,40-2,60
G	< 2,20	<2,40

Toplinski izvor mora ispuniti par osnovnih zahtjeva kako bi se osigurao učinkovit rad geotermalnih dizalica topline, a prema [12] oni su:

- dovoljna količina topline pri što višoj temperaturi dostupna u svako doba (npr. tijekom cijele sezone grijanja);
- troškovi priključenja dizalice topline na toplinski izvor trebaju biti što manji;
- energija potrebna za transport topline izvora do samog isparivača dizalice topline treba biti što manja.

Osim gore spomenutih zahtjeva koji se odnose samo na toplinski izvor, postoje i neki drugi uvjeti koji također trebaju biti zadovoljeni u svrhu postizanja većih vrijednosti koeficijenta grijanja, kao npr.:

- mala udaljenost toplinskog izvora i ponora;
- temperatura toplinskog ponora treba biti umjerena radi manje potrošnje energije potrebne za pogon dizalice topline;
- vrijeme korištenja dizalice topline tijekom godine treba biti što veće.

3. RADNI MEDIJ GEOTERMALNIH DIZALICA TOPLINE

Pri odabiru radnog medija, kao i pokušaju uvođenja novih, nekonvencionalnih radnih medija, treba uzeti u obzir mnoge različite čimbenike.

Prema [13] najvažniji među njima su :

- vrsta dizalice topline;
- vrsta odabranog sustava (otvoren ili zatvoren);
- veza između vrste dizalice topline i vrste sustava;
- opterećenje koje sustav treba pokriti;
- svojstva radnog medija.

Sustav sa zatvorenim krugom je poželjan iz razloga što tekućina koja cirkulira kroz cijevi nikada ne dolazi u izravni kontakt s tlom, te se time smanjuje mogućnost zagađenje okoliša.

Odabir radnog medija velik je izazov za inženjere. Ciklus radnog medija razlikuje se ovisno o vrsti medija, odnosno koristi li se čista tvar ili mješavina.

Za mješavine, promjena faze od plina do tekućine popraćena je temperaturnom promjenom, dok za jednokomponentne radne medije vrijednost temperature ostaje ista. Prema tome, za mješavine, promjena faze od tekućine do plina se događa uz povećanje temperature, dok se kod čistih tvari, proces odvija pri konstantnoj temperaturi. Ovdje je važno napomenuti da na spomenute promjene faza, koje se odvijaju u izmjenjivačima dizalice topline, kondenzatoru i isparivaču, također utječe sastav mješavine u određenim uvjetima. Pošto je rukovanje čistim tvarima u

postrojenjima lako, poželjno je koristiti azeotropne smjese jer one imaju slično termodinamičko ponašanje kao i čiste tvari.

Radni medij je posrednik u procesu izmjene topline između dvaju toplinskih spremnika različitih temperatura te njegova termodinamička svojstva imaju odlučujuću ulogu u učinkovitom radu dizalice topline.

3.1. Karakteristike radnog medija

Karakteristike radnog medija koja pogoduju učinkovitom radu dizalice topline su:

- niska temperatura isparavanja pri atmosferskom tlaku ($p_{ok}=0,0103$ MPa);
- što niži omjer tlakova kondenzacije i isparavanja p/p_0 ;
- velika specifična latentna topline isparavanja r_0 ;
- što manji specifični volumen pare radne tvari tj. što veća gustoća pare pri usisavanju pare iz isparivača u kompresor;
- što viša kritična točka (p_{kr}, T_{kr});
- nekorozivnost, fizikalna i kemijska stabilnost, neotrovnost i nezapaljivost.

Također, postoji i drugi zahtjevi koje tvar ili mješavina trebaju ispuniti kako bi se smatrala prihvatljivim radnim medijem. Ti zahtjevi su podijeljeni u četiri glavne kategorije: kemijski; zdravlje, sigurnost i okoliš; termofizikalna svojstva; i ostalo (npr. niska cijena proizvodnje).

3.2. Označavanje radnih medija

Prema porijeklu, radne medije dijelimo na anorganske i organske.

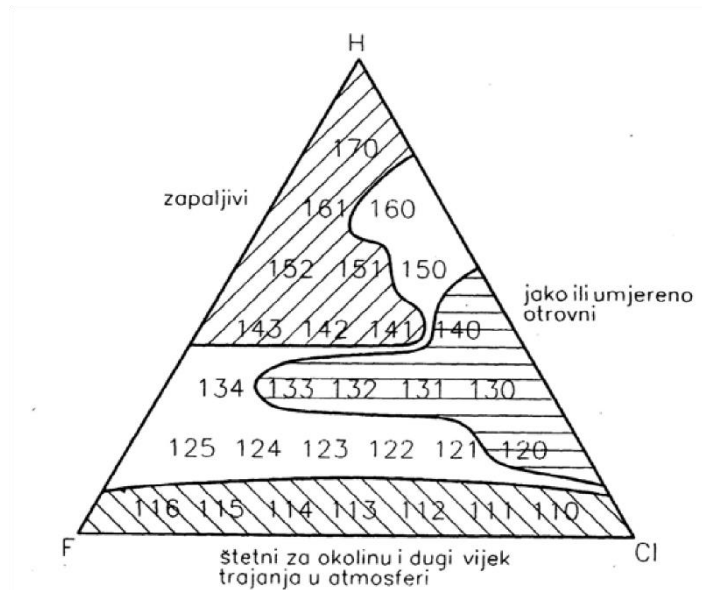
Oznaka svakog radnog medija započinje velikim slovom R i iza njega slijede dvije ili tri brojke.

Radni medij anorganskog porijekla označava se na način da je prva brojka uvijek 7, a ostale dvije brojke su zaokružena vrijednost molekularne mase upotrebljene tvari.

npr.: amonijak	NH ₃	R717
voda	H ₂ O	R718
uglični dioksid	CO ₂	R744

S druge strane, radni medij organskog porijekla označava se na način da je prvo slovo isto R, nakon čega se pišu dvije ili tri brojke. Posljednja brojka označava broj atoma fluora u molekuli. Pretposljednja brojka označava broj atoma vodika uvećan za jedinicu, a brojka ispred toga broj atoma ugljika umanjen za jedinicu. U spojevima sa samo jednim atomom ugljika ta bi brojka bila 0 i ne piše se, pa takvi spojevi imaju u oznaci samo dvije brojke npr. metan CH₄ je R50, ali je za etan C₂H₆ oznaka R170. Atomi klora se ne označavaju, dok se atomi broma označavaju slovom B i brojem koji označuje broj njegovih atoma, npr. R13B1 je oznaka za trifluormonobrommetan CF₃Br.

Radni mediji organskog porijekla su najčešće ugljikovodici, halogenirani derivati metana i etana. Na slici 2 kao primjer prikazani su derivati etana i njihova svojstva.



Slika 2. Derivati etana i njihova svojstva

Halogenirani ugljikovodici se prema dijele [14] na:

- a) klorofluorouglijike – CFC (R11, R12, R502...) - potpuno halogenirani
- b) klorofluorouglijikovodike – HCFC (R22)- djelomično halogenirani
- c) fluorirane ugljikovodike – HFC (R404a, R407C, R410A, R134a)- djelomično halogenirani derivati zasićenih ugljikovodika koji sadrže vodik i ne sadrže klor

Azeotropске smjese su dvojne smjese koje pri isparivanju ponašaju kao jednostavne tvari, tj. ne mijenja im se temperatura i sastav. Označavaju se na način da je prvo slovo isto R, nakon čega slijedi broj 5 ili 6, npr. R500 je azeotropска smjesa R12/R152a u masenom omjeru 73,8/26,2%, pri čemu malo slovo "a" označava različite izomere (isti broj atoma, ali različita struktura).

Zeotropske smjese su smjese dviju ili više radnih tvari, za koje je karakteristična promjena temperature i sastava ravnotežne pare i kapljevine pri isparivanju. Označavaju se na način da je prvo slovo isto R, nakon čega slijedi broj 4, npr. R404A je zeotropska smjesa R125, R143 i R134a u masenom omjeru 44/52/4%, pri čemu se dodaje veliko slovo "A" kako bi se razlikovali zeotropi koji imaju iste komponente s različitim maseni postocima.

Označavanje azeotropskih i zeotropskih smjesa nije prema međunarodnom dogovoru, već su oznake komercijalne

3.3. Utjecaj na okoliš

Četiri su glavna kriterija koja se koriste za procjenu utjecaja radnih medija na okoliš:

a) Potencijal razgradnje ozona ODP (Ozone Depletion Potential) - predstavlja sposobnost razgradnje klora i broma; za R11 uzima se referentna vrijednost 1;

b) Potencijal globalnog zagrijavanja GWP (Global Warming Potential) - predstavlja relativni utjecaj te tvari na stvaranje efekta staklenika u odnosu na utjecaj 1 kg CO₂;

c) Totalni ekvivalentni utjecaj na globalno zagrijavanje TEWI (Total Equivalent Warming Impact) - predstavlja utjecaj radnog medija na globalno zagrijavanje.

Pri odabiru najprikladnijeg radnog medija za upotrebu, potrebno je uzeti u obzir sve gore navedene kriterije, uključujući naravno i koeficijent učinkovitosti grijanja (COP) dizalice topline.

U zadnjim desetljećima 20. stoljeća najčešće su se koristili klorofluorouglici (CFC) koji se nastoje zamijeniti ekološki prihvatljivijim tvarima i smjesama. Montrealskim sporazumom iz 1987. postavljen je cilj zabrane uporabe CFC-a do

1996. godine. U Republici Hrvatskoj se taj sporazum počeo primjenjivati od 2000. godine. Klorofluorouglicji ispunjavaju sve prethodno spomenute zahtjeve, osim zaštite okoliša. Naime, sadrže atom klora u strukturi molekule, koji, uz brom i fluor, utječe na razgradnju ozonskog sloja. Zakoni i pravilnici o ekološki prihvatljivim tvarima se razlikuju od zemlje do zemlje i podložni su čestim izmjenama i dopunama. Tako su tvari koje su karakterizirane da oštećuju ozonski omotač još uvijek dopuštene u pojedinim zemljama u razvoju.

3.4. Istraživanja o karakteristikama radnih medija

Za geotermalne dizalice topline se najčešće koriste sljedeći radni mediji:

- R404A - smjesa pentafloretana, 1,1,1,2-tetrafluoroetana i 1,1,1-trifluoroetana;
- R407C - smjesa pentafloretana, 1,1,1,2-tetrafluoroetana i difluormetana;
- R410A - smjesa pentafloretana i difluormetana;
- R134a - 1,1,1,2-tetrafluoroetan.

Tvari koje se nameću kao alternativa klorofluoruglicjima i podijeljene su u tri kategorije: I) hidrofluorouglicji (HFC), II) amonijak i propan i III) ostale tvari i smjese. Unatoč činjenici što su amonijak i propan pristupačne cijene i vrlo učinkoviti, oni se ne smatraju kao zadovoljavajuće alternative zbog karakteristika kao što su visoka zapaljivost i toksičnost. HFC i njihove smjese su glavne alternative za sada, jer nemaju nikakvog utjecaja na ozon. Prema istraživanju Sagia Z. et al. [15] vidljivo je da radni medij R-22 ima najvišu, odnosno najpovoljniju COP vrijednost (Tablica 3). Unatoč činjenici da će biti zabranjena upotreba R-22 zbog doprinosa oštećenju ozona, ne može se zanemariti njegova visoka učinkovitost kao radnog medija pri radu geotermalne dizalice topline. Nadalje, sudeći prema COP vrijednostima u tablici, ternarna smjesa R-152a / R-125 / R- 32 ima najbližu COP vrijednost onoj od R-22. To znači da su ta dva radna medija imaju približno sličnu učinkovitost.

Tablica 3. Svojstva radnih medija [15].

Radni medij	COP	q_v (kJ/m ³)	p_{cond} (MPa)	p_{evap} (MPa)	$T_{in,evap}$ (K)	$T_{out,comp}$ (K)	T_c (K)
R-22	4.610	4725.28	1.528	0.58137	278	340.0	369.3
R-410B(45%R-32/55%R-125)	4.246	6778.92	2.39	0.92	277.81	334.78	343.97
R-507A(50%R-125/50%R-143a)	4.062	3959.31	1.86	0.72	277.75	322.95	343.77
R-32/R-134a (20%R-32/80%R-134a)	4.591	3891.33	1.285	0.445	273.77	332.64	367.52
R-32/R-134a(30%R-32/70%R-134a)	4.576	4336.06	1.425	0.5	273.15	335.74	364.7
R-32/R-134a(40%R-32/60%R-134a)	4.524	4763.85	1.57	0.555	272.98	338.81	362.17
R-152a/R-125/R-32(48%R-152a/18%R-125/34%R-32)	4.608	4313.69	1.3945	0.4925	271.74	340.25	367.93
R-407B(10%R-32/70%R-125/20%R-134a)	4.201	4927.05	1.8030	0.666	275.38	325.54	348.9

Volumetrijski kapacitet grijanja, q_v predstavlja sposobnost kondenzatora da preda toplinu radnom mediju. Dakle, što je veća toplina koju radni medij može apsorbirati, to je veća učinkovitost koja se može postići tijekom rada geotermalne dizalice topline. Iz tablice je vidljivo da najveći volumetrijski kapacitet grijanja postiže smjesa R-410B (45%R-32/55%R-125).

Vrijednost $T_{out,comp}$ od velikog je značaja jer predstavlja potencijal grijanja kondenzatora. Najviša temperatura na izlazu kompresora nastaje ternarnom smjesom R-152a / R-125 / R-32. Ovdje je važno napomenuti da je poželjno ostvariti što veću vrijednost $T_{out, comp}$ pri što nižem tlaku, kako bi se osigurao povoljan rad dijelova dizalice topline.

Iz tablice se može vidjeti da su sve vrijednosti tlaka na izlazu iz isparivača više od atmosferskog tlaka, čime se izbjegava ulazak zraka u isparivač.

Pri zamjeni radnog medija važno je napomenuti da niti jedan medij koji zamjenjuje postojeći radni medij nema njemu jednaka svojstva. Prema tome, važno je obratiti pažnju na promjenu učinka, djelovanje na materijal od kojeg je izrađena dizalica topline i dr. U tablici 4. je prikazane preporuka za odabir materijala metalnih dijelova konstrukcije, a u tablici 5. preporuka za odabir brtvenih materijala[15].

Tablica 4. Preporuka za odabir materijala metalnih dijelova konstrukcije [14].

Radna tvar	ugljični čelik	nehrđajuć i čelik	bakar	mjeđ	morska bronca	aluminij
amonijak	PP	PP	N	N	N	N
freoni	P	PP	PP	PP	PP	PP

PP – preporučljivo P- prihvatljivo N-nedopušteno

Tablica 5. Preporuka za odabir brtvenih materijala [14].

Radna tvar	klingerit	PVC,elastomeri	bakar	guma	perbunan neopren
amonijak	PP	PP	N	P	N
freoni	PP	P	PP	N	P

PP – preporučljivo P- prihvatljivo N-nedopušteno

4. DIZALICE TOPLINE S TLOM KAO TOPLINSKIM IZVOROM

4.1. Značajke tla kao toplinskog izvora

Karakteristike tla, kao što su njegov sastav i vlažnost, direktno utječu na količinu topline koja mu se može oduzeti.

Dimenzioniranje i odabir dizalice topline prema [16] započinje određivanjem pet glavnih karakteristika:

1) Geotermalni gradijenti i toplinski tok;

2) Klimatski uvjeti iz kojih proizlazi režim rada dizalice topline i omjer potrebne energije za grijanje i hlađenje određenog objekta;

3) Hidrogeološke karakteristike tla i stijena (prisutnost vode i hidrauličke karakteristike podzemnih vodonosnika);

4) Tehnoekonomski parametri bušotine (način bušenja i opremanja izmjenjivača topline, toplinske karakteristike cementa za ispunu bušotine, cijena i vrsta ugrađene opreme);

5) Geološke i termogeološke značajke tla i stijena (vrsta stijene, statička temperatura tla, toplinska provodljivost, toplinski kapacitet i gustoća, toplinska difuzivnost).

Mjerenja temperature tla od dubine 2 cm do 100 cm obavljaju se na teritoriju Republike Hrvatske pomoću meteoroloških postaja Državnog hidrometeorološkog zavoda (DHMZ). U tablici 6. su dane srednje temperature tla za Osijek. Pomoću amplituda temperatura tla mjerenih na određenim dubinama, i poznavanjem

geološke građe, moguće je numerički proračunati i ekstrapolirati vrijednosti temperature tla s porastom dubine.

Tablica 6. Podaci o srednjim temperaturama tla na lokaciji Osijek za razdoblje od 1990- 2005. (neobrađeni i neobjavljeni podaci prikupljeni u DHMZ) [16]

Dubina/ cm	Temperatura/°C	Osijek
2	Srednja	12,7
	Maksimalna	26,2
	Minimalna	0,2
	Amplituda	26
5	Srednja	12,5
	Maksimalna	25,1
	Minimalna	0,5
	Amplituda	24,7
10	Srednja	13,4
	Maksimalna	24,8
	Minimalna	0,8
	Amplituda	24
20	Srednja	12,7
	Maksimalna	24,1
	Minimalna	1,4
	Amplituda	22,7
30	Srednja	13
	Maksimalna	23,7
	Minimalna	2
	Amplituda	21,7
50	Srednja	13,1
	Maksimalna	23
	Minimalna	3,1
	Amplituda	19,8
100	Srednja	12,6
	Maksimalna	20,3
	Minimalna	5,2
	Amplituda	15,1

Temperatura na površini Zemlje ovisi u najvećoj mjeri o zračenju Sunca. Međutim, utjecaj sunčevog zračenja opaža se u gornjim dijelovima Zemljine kore i to do dubina od desetak metara. S porastom dubine, temperatura tijekom godine je približno konstantna, neovisno o klimatskim uvjetima s površine, s godišnjom amplitudom od svega 0,1°C. S porastom dubine daljnji porast temperature ovisi o geotermalnom gradijentu.

4.2. Termotehnički sustavi izmjenjivača topline

Obzirom da dizalice topline s tлом kao izvorom topline mogu biti različitih izvedbi, nameće se pitanje klasifikacije. Najčešće se klasificira kao (Slika 3 a); b); c); d)) [16]:

1) Sustav sa zatvorenim krugom (GSHP):

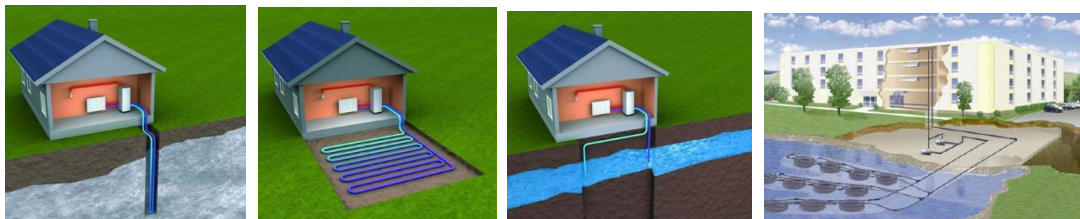
a) vertikalni izmjenjivač

b) horizontalni izmjenjivač

2) Sustav s otvorenim krugom (GWHP):

c) zatvoreni sustav s površinskom vodom

d) dvije bušotine (proizvodna, utisna, ili izljev u površinske vodotokove)



a)

b)

c)

d)

Slika 3. Osnovni sustavi dizalica topline s tлом i vodom kao izvorom topline [16].

4.2.1. Sustav sa zatvorenim krugom

U sustavima sa zatvorenim krugom, toplina tla služi kao izvor topline, te se iskorištava pomoću odgovarajućih izmjenjivača topline. U tim je sustavima cijev

(obično od polietilena visoke gustoće, s vijekom trajanja preko 50 godina) postavljena vodoravno ili okomito u tlu. U cijevima se nalazi voda ili mješavina vode i antifrizna koja cirkulira kako bi prikupila toplinu tla tijekom grijanja ili prenijela toplinu na tlo tijekom hlađenja. Prednost sustava sa zatvorenim krugom jest mogućnost ugradnje na različitim lokacijama, jer za razliku od sustava s otvorenim krugom ne zahtijevaju specifične izvore. Dodatno, tekućina koja cirkulira kroz cijevi nikada ne dolazi u izravni kontakt s tlom. S druge strane, ovi sustavi imaju veći trošak instalacije.

Treba napomenuti da se osim u tla, cijevi sustava sa zatvorenim krugom mogu ugraditi u površinske vode (npr. jezera), ako su iste dostupne. Ovi sustavi su učinkoviti i imaju relativno malu cijenu instalacije. Osim toga, nedavno je naglasak stavljen na sustave sa zatvorenim krugom koji koriste podzemne dijelove (energetske stupove, temelje) za ugradnju cijevi izmjenjivača topline. Prednost tih sustava su znatno niži troškovi ugradnje za novi sustav, pošto nema dodatnih bušenja ili iskopa.

Vertikalno postavljen izmjenjivač topline

Vertikalno postavljen izmjenjivač topline u sustavu sa zatvorenim krugom sastoji se od polja vertikalno orijentiranih cijevi za izmjenu topline koje većim dijelom iskorištavaju plitku geotermalnu energiju pohranjenu u stijenskim formacijama (Slika 4). Izmjenjivači topline se ulažu u zemlju najčešće u dubini od 45-75 m za stambene objekte, te preko 150 m za veće industrijske primjene. Parovi cijevi, spojeni su na dnu u obliku slova U ili kao koaksijalna cijev. Kroz metalnu vanjsku cijev struji zagrijani medij, a kroz unutarnju cijev, najčešće od polietilena, hladni medij. Kako bi se poboljšao prijenos topline, razmak između cijevi i stijenki bušotine se puni odgovarajućim materijalom za fugiranje dobre vodljivosti. Promjer bušotine za kuće kreće se oko 102 mm, dok je razmak između bušotina oko 5-6 m kako bi se spriječio međusobni utjecaj susjednih bušotina. Također, navedeni razmak je potreban kako bi se spriječio mogući utjecaj na sastav tla. Kako bi se osigurao jednaki tok za sustave sa više bušotina koristi se

sustav razdjelnika koji se smješta unutar zgrade ili unutar sustava sa zatvorenim krugom. Učinkovitost ovisi o sastavu tla, vlažnosti i mjestu polaganja izmjenjivača.



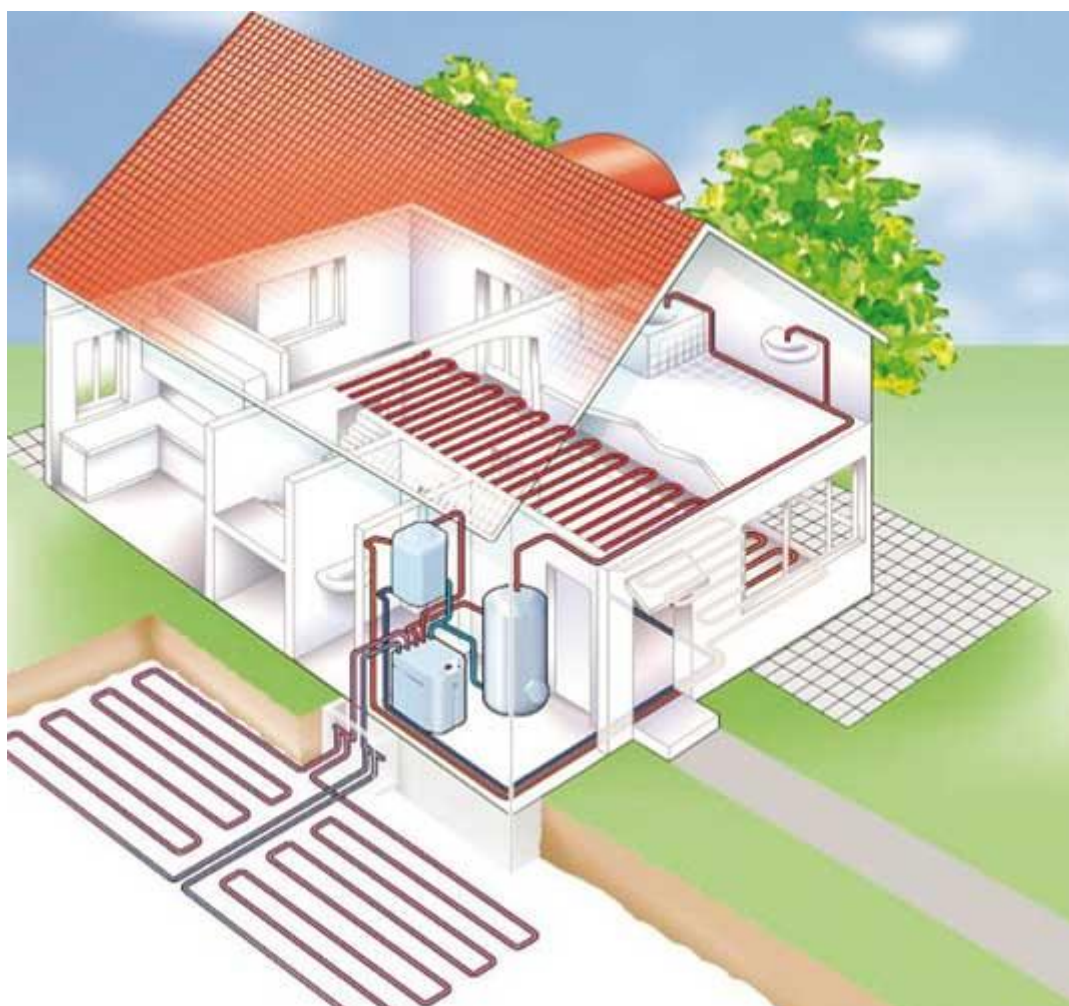
Slika 4. Vertikalno postavljen izmjenjivač topline u sustavu sa zatvorenim krugom [17].

Upotrebom ovakvih sustava ne zahtijeva se velika potrebna tlocrtna površina za ukop izmjenjivača, što ga čini pogodnim za projekt gdje je ograničeno zemljište. Dodatno, ovakvom izvedbom postiže se minimalan utjecaj na krajolik, u usporedbi s rovovima. Također, smještanjem cijevi duboko u tlu, gdje je temperatura konstantna tijekom cijele godine, omogućuje se konstantna učinkovitost i smanjenje ukupne dužine petlje dizalice topline.

Glavni nedostatak ovakvog sustava su veći investicijski troškovi, budući da je bušenje skuplje od rovanja. U Hrvatskoj se ti troškovi kreću od 45 do 55 €/m. Prema tome, sustavi vertikalno postavljenih izmjenjivača topline obično su ekonomičniji za veće primjene. Najčešća primjena vertikalno postavljenih izmjenjivača topline u sustavu sa zatvorenim krugom je u Švedskoj, SAD-u, Austriji, Njemačkoj, Švicarskoj i Francuskoj.

Horizontalno položen izmjenjivač topline

U horizontalnoj verziji, koja se uobičajeno koristi kada je dostupna dovoljna površina tla, izmjenjivač je postavljen vodoravno malo ispod površine zemlje (1,2 do 1,5m). Raspored izmjenjivačkih sekcija varira ovisno o zahtjevima za prijenos topline i raspoloživosti zemljišta. Najčešća konfiguracija je ona u kojoj se izmjenjivači spajaju paralelno (Slika 5). Izmjenjivači topline su polietilenske cijevi promjena 25 ili 32 mm, jednake dužine do 100 m. Površina potrebna za izmjenjivač obično je dvostruko veća od površine grijanog prostora.



Slika 5. Horizontalno položen izmjenjivač topline (paralelna konfiguracija)

[18].

Prednost ovakvog sustava su manji investicijski troškovi, budući da je bušenje skuplje od rovanja. Pošto su u ovoj izvedbi izmjenjivači topline na malim dubinama, povećava se interakcija između tla i okoline, što rezultira dnevnim i godišnjim promjenama u temperaturi zemlje, što utječe na prijenos topline i učinkovitost sustava. Ostali čimbenici koji utječu na karakteristike prijenosa topline uključuju kišu, snijeg, rast vegetacije i dr. Kao posljedica tih čimbenika horizontalni sustavi zahtijevaju više cjevovoda od vertikalnih sustava. Također, horizontalni sustavi zahtijevaju mješavinu vode i antifrizu u cjevovodima za zaštitu od zamrzavanja tijekom zime.

Koji će od ova dva tehnička principa izvedbe sustava za izmjenu topline s tlom biti primijenjen najviše dakako ovisi o raspoloživoj površini tla na mjestu izgradnje samog sustava.

4.2.2. Sustav s otvorenim krugom

Geotermalne dizalice topline sa otvorenim krugom koriste podzemne vode za izmjenu topline sa tlom (Slika 6). Podzemne vode ovdje predstavljaju geotermalne vode koje se nalaze u bunarima, jezera ili čak komunalne otpadne vode. Geotermalnoj vodi se oduzima toplina, nakon čega se ona vraća natrag u slojeve zemlje ili ispušta u vodotoke gdje se ponovo zagrijava, s čime je ciklus završen. Toplina koju posjeduje podzemna voda dolazi odozgo (atmosfera) ili odozdo (toplinski tok zemlje).

Sustavi s otvorenim krugom su ekonomski učinkoviti, pa su poželjni ukoliko je njihova upotreba izvediva. Prednost sustava s otvorenim krugom je mogućnost besplatnog hlađenja. Besplatno hlađenje je izvedivo kada to temperature izvora voda dopuštaju (općenito ako su između 7 i 15 °C), te kod odgovarajućih potreba hlađenja i vremenskih uvjeta. U slučaju kada je moguće izvesti besplatno hlađenje, mogu se postići značajna smanjenja operativnih troškova, čime se smanjuje ukupno razdoblje povrata investicije.



Slika 6. Geotermalne dizalice topline sa otvorenim krugom [2].

S druge strane, instalacija sustava s otvorenim krugom je ograničena s obzirom na lokaciju podzemne vode. Osim toga, ovi sustavi zahtijevaju odgovarajući protok vode i povoljan kemijski sastav vode (npr. mali sadržaj Fe), te također pravilno održavanje tih parametara.

Što se tiče sustava koji koriste površinske vode, njihova primjena je uvelike ograničena zakonima o okolišu. Dodatno, s obzirom da temperatura površinskih voda ovisi o klimi, takvi sustavi imaju slične karakteristike kao dizalice topline sa zrakom kao izvorom topline. Međutim, ako su uvjeti prikladni, ovi sustavi su vrlo atraktivni s ekonomskog gledišta.

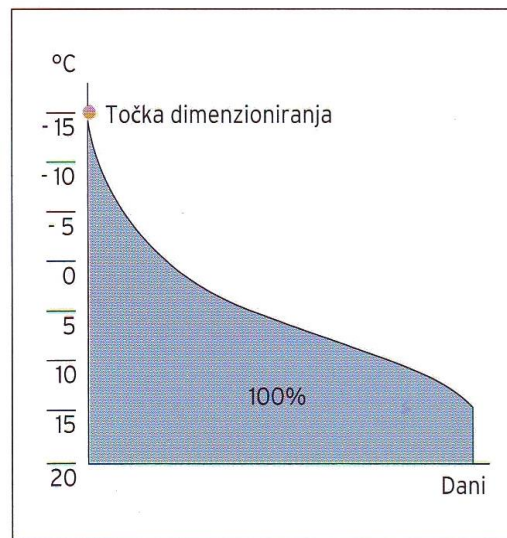
4.3 Režimi rada dizalice topline

Režimi rada dizalice topline prema [4] dijele se na :

- a) Monovalentni;
- b) Bivalentno - paralelni;
- c) Bivalentno - alternativni

Monovalentni režim rada

U slučaju monovalentnog režima rada (Slika 7), dizalica topline sama zadovoljava ukupne potrebe za toplinskom energijom određene zgrade tijekom godine. Dizalice topline, s tlom kao toplinskim izvorom, primjer su monovalentnog režima rada. Pri ovakvom načinu rada, dizalice topline moraju biti dizajnirane na način da podnesu opterećenje sustava. Prednost ovakvog režima je što takvi sustavi zauzimaju manje prostora.



Monovalentni režim rada

Slika 7. Monovalentni režim rada [5].

Bivalentni režim rada

S druge strane, u bivalentnom režimu rada, dizalica topline zadovoljava ukupne potrebe za toplinskom energijom za samo dio sezone grijanja. Naime, kada je temperatura zraka niska, potreban je pomoćni proizvođač toplinske energije. Prednost ovakvog režima rada je veća sigurnost opskrbe zgrade toplinskom energijom.

Bivalentno-alternativni režim rada

Bivalentno-alternativni režim rada omogućuje međusobno neovisan rad kotla i dizalice topline (Slika 8).

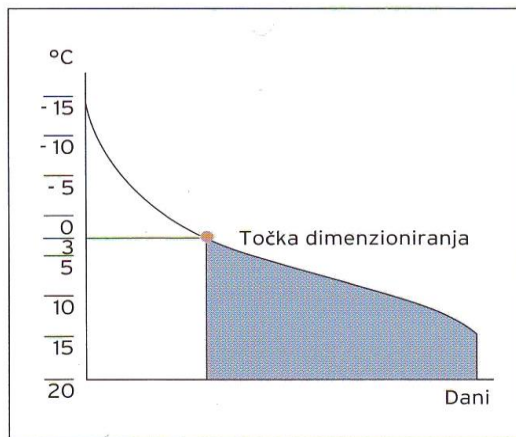
Pri tom dizalica topline zadovoljava zahtjeve za grijanjem samo dok ne postigne točku bivalencije (npr. vanjska temperatura 0 °C), kako bi pri nižim vanjskim temperaturama toplinsku opskrbu potpuno prepustila drugom proizvođaču topline (npr. plinski ili uljni kotao).

Ovakav režim rada najčešće se koristi kod dizalica topline s visokim temperaturama polaznog voda. Pri tom dizalica topline može pokriti 60-70% ukupne godišnje potrebne energije za grijanje.

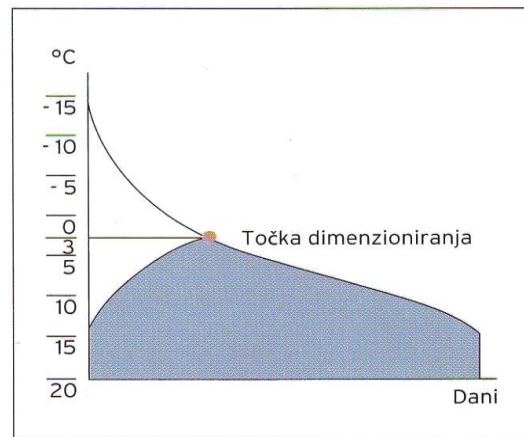
Bivalentno-paralelni način rada

Bivalentno-paralelnim načinom rada dizalica topline potpuno zadovoljava ukupne potrebe za toplinskom energijom dok ne postigne točku bivalencije, tj. do određene vrijednosti vanjske temperature (Slika 8). Sa smanjenjem vanjske temperature zraka (npr. -3° C ili niže) uključuje se paralelno drugi proizvođač topline radi pokrivanja toplinskih gubitaka (npr. plinski bojler). Taj drugi proizvođač topline koristi drugu vrstu

energenta. Prednost takvog načina rada je mogućnost zadržavanja postojećeg kotla, te veća sigurnost opskrbe zgrade toplinom jer tada postoje dva izvora topline i dva energenta.



Bivalentni alternativni režim rada



Bivalentni paralelni režim rada

Slika 8. Bivalentni alternativni/ paralelni režim rada dizalice topline [5].

5. ANALIZA ISPLATIVOSTI PRIMJENE DIZALICA TOPLINE S TLOM U TERMOTEHNIČKIM SUSTAVIMA

5.1. Polazne postavke analize

U ovom poglavlju biti će prikazan izračun perioda povrata investicije sustava grijanja poslovno-stambene zgrade „Agria“ u odnosu na konvencionalne sustave grijanja s kotlovima na tekuće i plinovito gorivo, odnosno loživo ulje i prirodni plin[18].

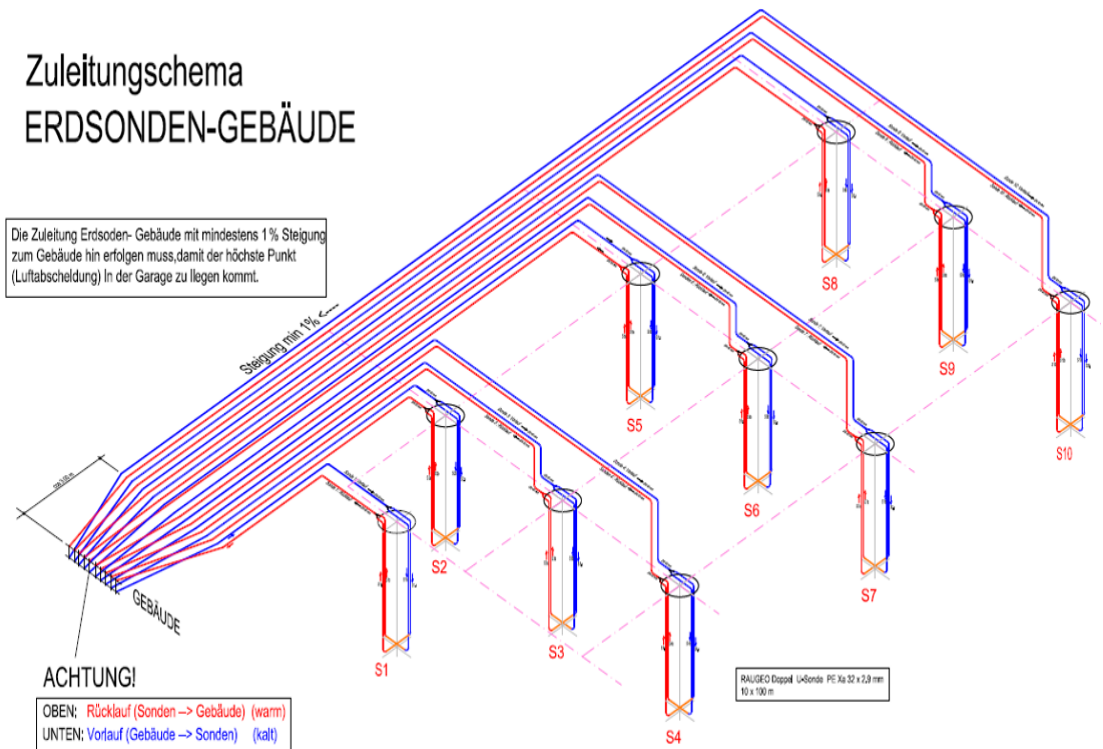
Poslovno-stambene zgrade „Agria“ je prva niskoenergetska višestambena zgrada u Hrvatskoj koja koristi sustave obnovljivih izvora energije za grijanje, hlađenje i pripremu potrošne tople vode. Vanjska izloacija zgrade je i iznad standarda koje zahtjeva niskoenergetska gradnja. Ovdje treba napomenuti da zgrada ima ukupno 71 m² vakumskih solarnih kolektora, geotermalnu dizalicu topline sa vertikalnim podzemnim toplinskim sondama na dubini od 100 m, te centralni sustav ventilacije stanova i poslovnih prostora [19].

Izvedena građevina prema [20] ima sljedeće glavne karakteristike:

- građevina je podijeljena u tri lamele
- lamela I sadrži 12 stanova i 2 poslovna prostora
- lamele II i III sadrže 52 stana
- ukupna površina građevine: 5.300 m²
- površina stanova (64 stana) iznosi 3.000 m²
- površina poslovnih prostora (2 poslovna prostora) iznosi 400 m²

5.2. Shema izmjenjivača topline

Shema izmjenjivača topline geotermalne dizalice topline u sustava grijanja poslovno-stambene zgrade „Agria“ prikazana je na slici 9.



Slika 9. Shema izmjenjivača topline geotermalne dizalice topline u sustava grijanja poslovno-stambene zgrade „Agria“ [19].

Usporedbe prvobitne inačice građevine i sadašnje izvedene građevine glede toplinske zaštite i uštede toplinske energije dane su u tablicama 7 i 8.

Tablica 7. Građevni dijelovi – koeficijenti prolaska topline U [W/m²K] [19].

NAZIV I OPIS GRAĐEVNOG DIJELA	PRVOBITNA INAČICA GRAĐEVINE	NAZIV I OPIS GRAĐEVNOG DIJELA	IZVEDENA GRAĐEVINA
Vanjski zid (armirani beton 40 cm + izolacija mineralna vuna 8 cm)	0,38	Vanjski zid (poroterm blok 20 cm + izolacija stiropor 18 cm)	0,162
Strop prema van (armirani beton 20 cm + izolacija min.vuna 10 cm)	0,30	Strop prema van (armirani beton 20 cm + izolacija min.vuna 40 cm)	0,084
Pod prema negrijanim prostorijama (izolacija min.vuna 4 cm + armirani beton 20 cm + izolacija stiropor 6 cm)	0,30	Pod prema negrijanim prostorijama (izolacija stiropor 5 cm + armirani beton 20 cm + izolacija stiropor 18 cm)	0,153
Vanjski prozor	1,37	Vanjski prozor	0,770

Tablica 8. Energetska obilježja zgrade [19, 20].

OPIS	PRVOBITNA INAČICA GRAĐEVINE	IZVEDENA GRAĐEVINA
Godišnja potrebna toplina za grijanje Q_h [kWh/a]	238,193	95,595
Godišnja potrebna toplina za grijanje po jedinici ploštine korisne površine zgrade Q_h'' [kWh/m ² a]	64,02	25,96

Dizalica topline tlo-voda (rasolina - voda) model VITOCAL 350 tip WWH 254 proizvođača Viessmann, smještena je u podrumu građevine, snaga joj je 55 kW (pri B0/W35 (B0=ulazna temperatura rasoline 0°C, W35=izlazna temperatura ogrjevnice vode 35°C). Podzemne toplinske sonde koriste se za izmjenu topline prijenosnog medija i dubokih slojeva tla. U 10 bušotina (svaka dubine 100 m) postavljeno je 10 podzemnih toplinskih sondi izvedenih kao dvostruke U-cijevi iz polietilena tipa Rauego PE-Xa 32x2,9 proizvođača REHAU. Svaka dvostruka U-cijev se spaja na razdjeljivač/sakupljač od polietilena smješten u podrumu i spojen s dizalicom topline. Prijenosni medij je mješavina glikola i vode u omjeru (20:80%). Dizalica topline zagrijava vodu za grijanje prostora u međuspremniku ogrjevnice vode obujma 1.000 l i po potrebi dogrijava PTV (dva akumulacijska spremnika od 1000 l). [19]

Prema ponudi od strane tvrtke Viessmann koja uključuje cijenu geotermalne dizalice topline te sve ukupne radove vezane uz instalaciju pumpe trošak sustava geotermalne dizalice topline iznosi 100 671,89 CHF, odnosno 87610 € (prema tečaju na dan 5.11.2017.).

Iz tablice 8. vidljivo je da su uštede na energiji za grijanje ukupno 141598 kWh/god. U tablici 9. dane su izračunate uštede s obzirom na konvencionalne sustave grijanja s kotlovima na tekuće i plinovito gorivo .

Tablica 9. Izračunate uštede s obzirom na konvencionalne sustave grijanja [20].

Ušteda	
Ušteda potrebne topline za grijanje Q_h [kWh/a]	141.598,0
Ušteda lož ulja [l] (1l lož ulja= 10 kWh)	14.159,8
Ušteda lož ulja [€] (1l lož ulja= 4,45 kn= 0,59 €)	8.354,3
Ušteda prirodnog plina [m ³] (1 m ³ = 9,2607 kWh)	15.290,2
Ušteda prirodnog plina [€] (1 m ³ = 0,4449 €)	6.802,6

5.3. Izračun ekonomskih pokazatelja isplativosti primjene geotermalne dizalica topline

Ekonomski pokazatelji isplativosti primjene geotermalnih dizalica topline izračunati u ovom radu su Neto Sadašnja Vrijednost – NSV, Interna Stopa Povrata –IRR te razdoblje povrata ulaganja.

Neto Sadašnja vrijednost predstavlja izračun čiste sadašnje vrijednosti pomoću tokova gotovine koji se javljaju u redovitim intervalima, primjerice mjesečno ili godišnje, a računa se prema izrazu:

$$NSV = \sum \frac{C_i}{(1+r)^i}$$

pri čemu je :

C_i - novčani tok (+ ili -) u razdoblju i

i - broj razdoblja

r - diskontna stopa ili trošak kapitala

Interna Stopa Povrata je diskontna stopa pri kojoj je NSV projekta jednaka nuli, a računa se prema izrazu:

$$NSV = \sum \frac{C_i}{(1+r)^i} = 0$$

pri čemu je :

C_i - novčani tok (+ ili -) u razdoblju i

i - broj razdoblja

r – interna stopa rentabilnosti

Razdoblje povrata ulaganja je vrijeme potrebno da bi zbroj ostvarenih novčanih tijekomova bio jednak početnom ulaganju [21].

6. REZULTATI I RASPRAVA

Izračun perioda povrata investicije sustava grijanja poslovno-stambene zgrade „Agria“ u odnosu na konvencionalne sustave grijanja s kotlovima na tekuće i plinovito gorivo, odnosno loživo ulje i prirodni plin, napravljena je pomoću računalnog programa Excel, a rezultati su dani u tablicama 10-13.

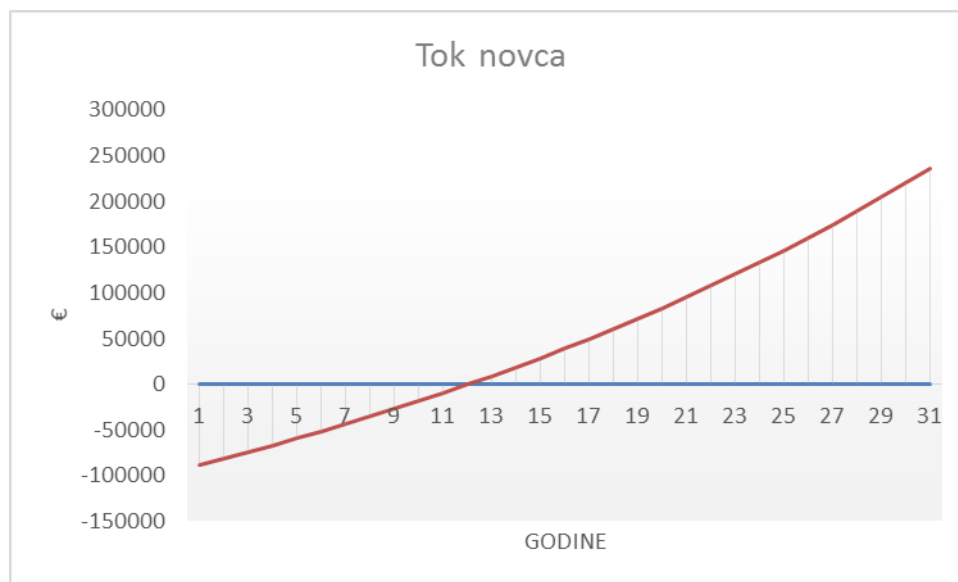
Tablica 10. Godišnji tok novca i osnovni ekonomski pokazatelji perioda povrata investicija u odnosu na prirodni plin za lokaciju „Agria“, Osijek.

Godišnji prosječni rast cijene goriva		0,03
Diskontna stopa		0,07
Tok novca		
Godina	Ušteda, €	Kumulativno, €
0	-87610,00	-87610
1	6803,00	-80807,00
2	7007,09	-73799,91
3	7217,30	-66582,61
4	7433,82	-59148,79
5	7656,84	-51491,95
6	7886,54	-43605,41
7	8123,14	-35482,27
8	8366,83	-27115,44
9	8617,84	-18497,60
10	8876,37	-9621,23
11	9142,66	-478,57
12	9416,94	8938,38
13	9699,45	18637,83
14	9990,43	28628,26
15	10290,15	38918,41
16	10598,85	49517,26
17	10916,82	60434,08
18	11244,32	71678,40
19	11581,65	83260,06
20	11929,10	95189,16
21	12286,97	107476,13
22	12655,58	120131,72
23	13035,25	133166,97
24	13426,31	146593,28
25	13829,10	160422,38
26	14243,97	174666,35
27	14671,29	189337,64
28	15111,43	204449,07
29	15564,77	220013,84
30	16031,72	236045,55

Tablica 11. Ekonomski pokazatelji isplativosti projekta u odnosu na prirodni plin za lokaciju „Agria“, Osijek.

Ekonomski pokazatelji isplativosti projekta	
Razdoblje povrata ulaganja	9,27
Neto sadašnja vrijednost (NSV) [€]	51.070,63
Interna stopa (IRR)	0,12

Grafički prikaz toka novca s obzirom na prirodni plin prikazan je na slici 10.



Slika 10. Grafički prikaz toka novca za sustav geotermalne dizalice topline s obzirom na prirodni plin za lokaciju „Agria“, Osijek

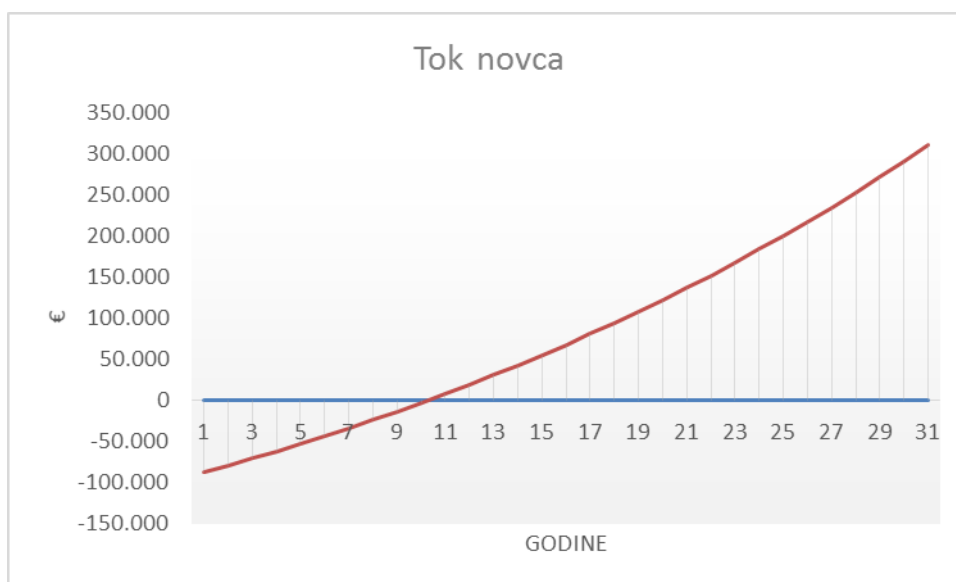
Tablica 12. Godišnji tok novca i osnovni ekonomski pokazatelji perioda povrata investicija u odnosu na lož ulje za lokaciju „Agria“, Osijek.

Godišnji prosječni rast cijene goriva		0,03
Diskontna stopa		0,07
Tok novca		
Godina	Ušteda	Kumulativno
0	- 87.610,00	-87.610,00
1	8.354,00	-79.256,00
2	8.604,62	-70.651,38
3	8.862,76	-61.788,62
4	9.128,64	-52.659,98
5	9.402,50	-43.257,48
6	9.684,58	-33.572,90
7	9.975,11	-23.597,79
8	10.274,37	-13.323,42
9	10.582,60	-2.740,83
10	10.900,08	8.159,25
11	11.227,08	19.386,33
12	11.563,89	30.950,21
13	11.910,81	42.861,02
14	12.268,13	55.129,15
15	12.636,17	67.765,33
16	13.015,26	80.780,59
17	13.405,72	94.186,30
18	13.807,89	107.994,19
19	14.222,13	122.216,32
20	14.648,79	136.865,11
21	15.088,25	151.953,36
22	15.540,90	167.494,26
23	16.007,13	183.501,39
24	16.487,34	199.988,73
25	16.981,96	216.970,69
26	17.491,42	234.462,11
27	18.016,16	252.478,28
28	18.556,65	271.034,93
29	19.113,35	290.148,27
30	19.686,75	309.835,02

Tablica 13. Ekonomski pokazatelji isplativosti projekta u odnosu na lož ulje za lokaciju „Agria“, Osijek.

Ekonomski pokazatelji isplativosti projekta	
Razdoblje povrata ulaganja	11,05
Neto sadašnja vrijednost (NSV) [€]	26.387,35
Interna stopa (IRR)	0,10

Grafički prikaz toka novca s obzirom na lož ulje prikazan je na slici 11.



Slika 11. Grafički prikaz toka novca za sustav geotermalne dizalice topline s obzirom na lož ulje za lokaciju „Agria“, Osijek.

Uz definirane parametre tablicom 9., vidljivo je da uz uračunatu prosječnu godišnju inflaciju od 3% i diskontnu stopu od 7%, što trenutno odgovara stanju na

tržištu, povrat perioda investicija u odnosu na prirodni plin nastupa nakon 9,27 godina (Tablica 10), te nakon 11,05 godina u odnosu na lož ulje (Tablica 13).

Vrijednost neto sadašnje vrijednosti, kao vrijednosti dobivene diskontiranjem za svaku godinu kroz cijelo vrijeme uloženog kapitala i rada sustava, za fiksnu stopu od 7% bez uračunavanja inflacije, umanjenu za vrijednost uloženog kapitala, iznosi 51.070,63 € s obzirom na prirodni plin, te 26.387,35 € s obzirom na lož ulje. Interna stopa povrata, kao veličina diskontne stope pri kojoj je sadašnja vrijednost očekivanoga budućeg priljeva novca jednaka sadašnjoj vrijednosti izdataka, iznosi 12,0%. s obzirom na prirodni plin, te 10,0 % s obzirom na lož ulje (Tablice 11;13.).

7. ZAKLJUČAK

Ovim radom prikazani su svi relevantni parametri tehnologije geotermalnih dizalica topline koja predstavlja značajni doprinos u postizanju energetske učinkoviti građevina. Također, u radu dana analiza je isplativosti primjene dizalica topline s tlom za grijanje poslovno-stambene zgrade „Agria“ u odnosu na konvencionalne sustave grijanja s kotlovima na tekuće i plinovito gorivo. Geotermalna dizalica topline prenosi toplinu s niže temperature na višu temperaturu uz dovedeni vanjski rad, te bilježi jedan od najbržih porasta primjene obnovljivih izvora energije. Princip rada geotermalnih dizalica topline zasniva se na kružnom procesu, u krugu izvora topline radni medij izmjenjuje toplinu s optočnim medijem, u krugu ponora topline radnom mediju se odvodi toplina. Osnovne komponente sustava su isparivač, kompresor, kondenzator i ekspanzijski ventil. Geotermalne dizalice topline pokazuju veću učinkovitost u usporedbi sa sustavima grijanja na električni kotao, plin ili lož ulje. Učinkovitost dizalica topline se ocjenjuje pomoću koeficijenta učinkovitosti grijanja (COP) ili hlađenja (EER). Radni medij mora zadovoljiti određene karakteristike kao što su niska temperatura isparavanja pri atmosferskom tlaku, umjeren omjer tlakova kondenzacije i isparivanja p/p_0 , velika specifična latentna toplina isparavanja r_0 i dr. U zadnjih par desetljeća 20. stoljeća najčešće su se koristili klorofluorouglicji (CFC) koji se nastoje zamijeniti ekološki prihvatljivijim tvarima i smjesama. Termotehnički sustavi sa dizalicom topline s tlom se dijele na one sa zatvorenim i one sa otvorenim krugom. Režimi rada dizalice topline dijele se na monovalentni, bivalentno – paralelni i bivalentno – alternativni. Takvi sustavi imaju više investicijske troškove u odnosu na klasične sustave grijanja, no značajno niže pogonske troškove. Primjenjuju se za grijanje i hlađenje obiteljskih kuća, stambenih naselja, poslovnih jedinica, sportskih kompleksa, škola, vrtića, bolnica. Poslovno-stambene zgrade „Agria“ je prva niskoenergetska višestambena zgrada u Hrvatskoj koja koristi sustave obnovljivih izvora energije za grijanje, a uštede na energiji za grijanje iznose ukupno 141598 kWh/god. Energetskom analizom zaključeno je da povrat perioda investicija u odnosu na prirodni plin nastupa nakon 11,05 godina, te nakon 9,27 godina u

odnosu na lož ulje. Ulogu u visokom periodu povrata investicija imaju investicijski troškovi, koji su značajno veći u odnosu na ostale konvencionalne sustave.

8. LITERATURA

- [1] Maračić, B., Dizalica topline tlo-voda za grijanje stambene zgrade, diplomski rad, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet strojarstva i brodogradnje, 2015 http://repozitorij.fsb.hr/4917/1/Mara%C4%8Di%C4%87_2015_diplomski.pdf
- [2] Shahinzadeh, H., Ghotb, H.: " Technical and Economic Assessment for using Ground-Source Heat Pumps in Commercial and Institutional Buildings", International Journal of Electrical and Computer Engineering, Vol. 2., No. 4., 2012., str. 502-510.
- [3] EurObserv'ER, *Heat pumps barometer*, <https://www.eurobserv-er.org/heat-pumps-barometer-2016/> (pristup 11.12.2017.)
- [4] Labudović B., Osnove primjene dizalica topline, Energetika marketing, Zagreb, 2009.
- [5] Lekić, A., Usporedba sezonskih toplinskih množitelja različitih sustava dizalica topline s obnovljivim izvorima energije za područje grada Zagreba, diplomski rad, Sveučilište u Zagrebu, Rudarsko-geološko-naftni fakultet, 2015 <https://zir.nsk.hr/islandora/object/rgn%3A95/datastream/PDF/view>
- [6] Perković, M., Primjena dizalica topline, završni rad, Veleučilište u Karlovcu, Stručni studij strojarstva, 2015 <https://repozitorij.vuka.hr/islandora/object/vuka%3A70/datastream/PDF/view>
- [7] Wikipedija – slobodna enciklopedija, *Drugi zakon termodinamike*, https://hr.wikipedia.org/wiki/Drugi_zakon_termodinamike (pristup 18.6.2017.)
- [8] MC Solar, *Toplinske pumpe - besplatno grijanje iz okoline*, <http://www.mcsolar.hr/toplinske-pumpe.php> (pristup 05.10.2017.)
- [9] Blažević, I., Primjena geotermalne energije za grijanje kućanstva, diplomski rad, Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Strojarski fakultet u Slavonskom Brodu, 2017 <https://repozitorij.sfsb.hr/islandora/object/sfsb%3A428/datastream/PDF/view>

- [10] Power knot, *COPs, EERs, and SEERs*, http://www.powerknot.com/wp-content/uploads/sites/6/2011/03/Power_Knot_about_COP_EER_SEER.pdf (pristup 01.12.2017.)
- [11] Bellos E., Tzivanidis C.: “ Energetic and financial sustainability of solar assisted heat pump heating systems in Europe”, 2017.
- [12] Draženović, N., Primjena dizalice topline s kolektorima u tlu za grijanje i hlađenje obiteljske kuće, diplomski rad, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet strojarstva i brodogradnje, 2009
http://repozitorij.fsb.hr/472/1/21_01_2009_Nikola_Drazenovic_Diplomski_rad.pdf
- [13] Poticanje energetske efikasnosti u Hrvatskoj, *Energetski razred kućanskih uređaja*, <http://www.enu.fzoeu.hr/ee-savjeti/elektricna-energija-u-kucanstvu/energetski-razred-kucanskih-uredaja> (pristup 05.10.2017.)
- [14] Sveučilište u Rijeci, *Radne tvari za kompresijske parne procese*, http://www.riteh.uniri.hr/zav_katd_sluz/zvd_teh_term_energ/nas/tehnika_hladjenja_07/05_Radne_tvari.pdf (pristup 05.10.2017.)
- [15] Sagia Z., Rakopoulos C.: “ Alternative refrigerants for the heat pump of a ground source heat pump system ” *Applied Thermal Engineering*, 2016.
- [16] Kurevija, T., Energetsko vrednovanje plitkih geotermalnih potencijala Republike Hrvatske, doktorska disertacija, Sveučilište u Zagrebu, Rudarsko-geološko-naftni fakultet, 2010
http://rgn.hr/~tkurevi/materijali/Kurevija_disertacija_2010_RGNF_ENERGETSKO_VREDNOVANJE_PLITKIH_GEOTERMALNIH_POTENCIJALA_REPUBLIKE_HRVATSKE.pdf
- [17] RHI Energies Ltd, *Vertical closed loop system*, <http://www.rhienergiesltd.com/res-ground-source-vertical.html> (pristup 18.6.2017.)
- [18] Korak, *Pasivna kuća – 6. dio Dizalice topline – 2. dio*, <http://korak.com.hr/korak-030-lipanj-2010-pasivna-kuca-6-dio-dizalice-topline-2-dio/> (pristup 18.6.2017.)

[19] Sesartić, Mladen; Glasnović, Zvonimir; Matijašević, Ljubica; Filipan, Veljko; Doerig, Thomas; Dejanović, Igor; Jukić, Ante, *Studija izvodljivosti primjene tehnologija energetske učinkovitosti na stambeno-poslovnoj građevini "Agria" Osijek - Dopune studije izvodljivosti*, Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb, Marulićev trg 19, 2007, 2008.

[20] Centar energije, d.o.o., *Zgrada Agria*, <http://www.centar-energije.com/zgrada-agria/zgrada-agria> (pristup 18.6.2017.)

[21] Ekonomski fakultet u Osijeku, *Primjena izračuna u excelu*, http://www.efos.unios.hr/financijsko-odlucivanje/wp-content/uploads/sites/121/2013/04/Cjelina-2_-Primjena-izra%C4%8Duna-u-excelu.pdf (pristup 01.12.2017.)

ŽIVOTOPIS

OSOBNI PODACI

Ime i prezime: Tena Jurič

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

OBRAZOVANJE

2015. – 2017. Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije, Zagreb;

Diplomski studij

smjer: Ekoinženjerstvo

2010. – 2015. Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije, Zagreb;

Preddiplomski studij

smjer: Kemijsko inženjerstvo

2006. – 2010. III. Gimnazija, Zagreb (opća gimnazija)

1998. – 2006. OŠ „Miroslava Krleža“, Zagreb

STRANI JEZICI

Engleski jezik: aktivno poznavanje u govoru i pismu

Talijanski jezik: pasivno poznavanje u govoru i pismu