

# ANALIZA UČINKOVITOSTI DIZALICA TOPLINE UPOTREBOM OBNOVLJIVIH IZVORA ENERGIJE NA PRIMJERU OBITELJSKIH KUĆA U GRADU ZAGREBU

---

Vidović, Valentino

Master's thesis / Specijalistički diplomski stručni

2022

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Economics and Business / Sveučilište u Zagrebu, Ekonomski fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:148:408735>

Rights / Prava: [Attribution-NonCommercial-ShareAlike 3.0 Unported / Imenovanje-Nekomercijalno-Dijeli pod istim uvjetima 3.0](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2024-12-01**



Repository / Repozitorij:

[REPEFZG - Digital Repository - Faculty of Economics & Business Zagreb](#)



**Sveučilište u Zagrebu**  
**Ekonomski fakultet**  
**Ekonomika energije i okoliša**

**ANALIZA UČINKOVITOSTI DIZALICA TOPLINE UPOTREBOM OBNOVLJIVIH  
IZVORA ENERGIJE NA PRIMJERU OBITELJSKIH KUĆA U GRADU ZAGREBU**

Diplomski rad

**Valentino Vidović**

**Zagreb, ožujak, 2022.**

**Sveučilište u Zagrebu**  
**Ekonomski fakultet**  
**Ekonomika energije i okoliša**

**ANALIZA UČINKOVITOSTI DIZALICA TOPLINE UPOTREBOM OBNOVLJIVIH  
IZVORA ENERGIJE NA PRIMJERU OBITELJSKIH KUĆA U GRADU ZAGREBU**

**ANALYSIS OF HEAT PUMP EFFICIENCY USING RENEWABLE ENERGY SOURCES  
ON THE EXAMPLE OF FAMILY HOUSES IN THE CITY OF ZAGREB**

Diplomski rad

**Student: Valentino Vidović**

**JMBAG studenta: 0067547011**

**Mentor: Doc.dr.sc. Tamara Slišković**

**Zagreb, ožujak, 2022.**

## IZJAVA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI

Izjavljujem i svojim potpisom potvrđujem da je prijava teme diplomskog rada isključivo rezultat mog vlastitog rada koji se temelji na mojim istraživanjima i oslanja se na objavljenu literaturu, a što pokazuju korištene bilješke i bibliografija.

Izjavljujem da nijedan dio rada / prijave teme nije napisan na nedozvoljen način, odnosno da je prepisan iz necitiranog izvora te da nijedan dio rada / prijave teme ne krši bilo čija autorska prava. Izjavljujem, također, da nijedan dio rada / prijave teme nije iskorišten za bilo koji drugi rad u bilo kojoj drugoj visokoškolskoj, znanstvenoj ili obrazovnoj ustanovi.

---

(vlastoručni potpis studenta)

Zagreb, 10.03.2022.

## SADRŽAJ RADA

|                                                                                                                             |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1. UVOD.....                                                                                                                | 1  |
| 1.1. Predmet i cilj rada.....                                                                                               | 1  |
| 1.2. Izvori podataka i metode prikupljanja.....                                                                             | 1  |
| 1.3. Struktura rada.....                                                                                                    | 2  |
| 2. KARAKTERISTIKE I ZNAČAJKE DIZALICA TOPLINE.....                                                                          | 3  |
| 2.1. Funkcioniranje i energetska učinkovitost dizalica topline.....                                                         | 3  |
| 2.2. Vrste dizalica topline i njihova primjena.....                                                                         | 10 |
| 2.3. Ekonomska isplativost dizalica topline.....                                                                            | 15 |
| 3. IZVORI ENERGIJE ZA UČINKOVIT RAD DIZALICA TOPLINE.....                                                                   | 22 |
| 3.1. Korištenje vanjskog zraka za efikasan rad dizalica topline.....                                                        | 23 |
| 3.2. Energija zemljine kore kao izvor energije za učinkovit rad dizalica topline.....                                       | 25 |
| 3.3. Toplinska energija u obliku izvora vode.....                                                                           | 26 |
| 4. PRIMJER UPOTREBE DIZALICA TOPLINE U OBITELJSKIM KUĆAMA<br>KORIŠTENJEM OBNOVLJIVIH IZVORA ENERGIJE (PRIMJER ZAGREBA)..... | 28 |
| 4.1. Geološke i klimatske karakteristike šireg zagrebačkog gradskog područja.....                                           | 28 |
| 4.2. Analiza učinkovitosti dizalica topline korištenjem zraka, topline tla i podzemnih voda.....                            | 35 |
| 4.3. Primjer korištenja dizalica topline u stambenim zgradama.....                                                          | 39 |
| 5. ZAKLJUČAK.....                                                                                                           | 41 |
| POPIS LITERATURE.....                                                                                                       | 43 |
| POPIS SLIKA I TABLICA.....                                                                                                  | 46 |

## **1. UVOD**

Odabir teme aktualan je i značajan iz razloga što dizalice topline u današnje vrijeme predstavljaju nezaobilazan uređaj kada je riječ o energetske učinkovitom grijanju. Radi se o uređaju kod kojega je karakteristično da toplinsku energiju okoline podiže na viši temperaturni nivo pogodan za upotrebu u procesima grijanja prostora i potrošne tople vode. Kako bi se dobila toplinska energija kod dizalice topline valja utrošiti jedan od konvencionalnih oblika energije (najčešće se radi o električnoj energiji) te preuzeti energiju iz nekog od obnovljivih izvora (atmosfera, voda, tlo).

Glavna karakteristika dizalica topline je da toplinsku energiju koja je besplatna podigne na odgovarajući temperaturni nivo. Nadalje, dizalice topline kao svoju glavnu prednost izdvajaju uštedu primarne energije kao što je naprimjer ugljen ili plin te time automatski smanjuju emisije CO<sub>2</sub> i doprinose zaštiti okoliša. Ovakav način energetske učinkovitog grijanja sve više se upotrebljava prilikom novijih investicija u gradnji stanova, posebice kada je riječ o poslovnim i industrijskim postrojenjima.

### **1.1. Predmet i cilj rada**

U radu će se, osim teorijskih pojmova i prikaza glavnih značajki i karakteristika dizalica topline, analizirati učinkovitost dizalica topline upotrebom različitih obnovljivih izvora energije na primjeru obiteljskih kuća u gradu Zagrebu. Cilj rada je, prema klimatskim, tehničkim i termogeološkim podacima za grad Zagreb, napraviti usporedbu različitih sustava dizalica topline, a izvori energije koji su uzeti u obzir su zrak, toplina tla i podzemne vode.

### **1.2. Izvori podataka i metode prikupljanja**

Pri izradi rada koristit će se relevantna stručna literatura, znanstveni i stručni članci koji su arhivirani na portalu hrcak.srce.hr i u stranim bazama podataka. Također će se koristiti opće metode znanstvenog istraživanja: induktivna i deduktivna metoda, metoda analize, metoda sinteze te metode deskripcije.

### 1.3. Struktura rada

Nakon uvodnog dijela, drugo poglavlje rada pod nazivom *Karakteristike i značajke dizalica topline* obrađuje funkcioniranje i energetska učinkovitost dizalica topline te navodi vrste dizalica topline i njihovu primjenu, odnosno ekonomsku isplativost dizalica topline.

Treće poglavlje naziva *Izvori energije za učinkovit rad dizalica topline* analizira korištenje vanjskog zraka za efikasan rad dizalica topline i energiju zemljine kore kao izvor energije za učinkovit rad dizalica topline. Također, analizira se i toplinska energija u obliku izvora vode.

Četvrto poglavlje naziva *Primjer upotrebe dizalica topline u obiteljskim kućama korištenjem obnovljivih izvora energije* navodi geološke i klimatske karakteristike šireg zagrebačkog gradskog područja i prikazuje rezultate analize učinkovitosti dizalica topline korištenjem zraka, topline tla i podzemnih voda.

Na kraju rada izvodi se sveobuhvatan zaključak rada.

## 2. KARAKTERISTIKE I ZNAČAJKE DIZALICA TOPLINE

### 2.1. Funkcioniranje i energetska učinkovitost dizalica topline

Matijašić (2015) navodi kako je dizalica topline „uređaj koji toplinsku energiju okoline podiže na viši temperaturni nivo pogodan za korištenje u sustavima grijanja prostora i potrošne tople vode. Pri tome ulaže rad dobiven utroškom nekog od oblika energije, najčešće električne. Proizvedena toplina može, ovisno o vrsti sustava, biti predana zraku ili vodi“.

Da bi dizalica topline mogla funkcionirati potrebna su dva odvojena i međusobno izolirana spremnika topline:

- jedan koji proizvedenu toplinu prima (prostorija koju zagrijavamo, spremnik tople vode) i
- drugi koja se koristi kao izvor iz kojeg se toplina crpi (atmosfera, voda, tlo).

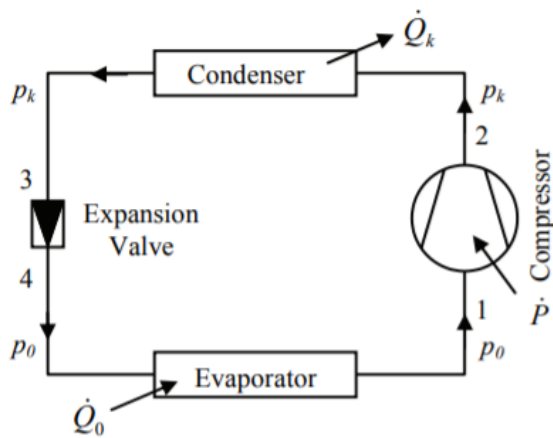
Matijašić (2015) ističe kako za dobivanje korisne toplinske energije kod dizalice topline valja utrošiti jedan od konvencionalnih oblika energije (najčešće električnu) te preuzeti energiju iz nekog od obnovljivih izvora (atmosfera, voda, tlo). Prema autoru, konvencionalna energija košta dok je energija iz obnovljivih izvora besplatna i u tome leži energetska učinkovitost dizalice topline, napominje Matijašić (2015). Uglavnom, dio energije koji se koristi za proizvodnju toplinske energije je besplatan, zaključuje autor.

Toplinska pumpa je uređaj koji prenosi toplinsku energiju od izvora do *senka* koji je na višoj temperaturnoj razini od izvora. Dakle, toplinske pumpe pokreću toplinu energije u smjeru koji je suprotan smjeru od spontanog protoka topline. Toplinska pumpa "miješa" energiju protoka s malom energijom uzetom iz izvora topline s energetskim tokom visoke energije iz električne mreže kako bi se ostvario željeni prijenos toplinske energije iz izvora, navode Pavković i sur. (2012).

Pojednostavljeni funkcionalni dijagram toplinske pumpe prikazan je na Slici 1.



Slika 1. - Pojednostavljeni funkcionalni dijagram toplinske pumpe



Izvor: Pavković, M., Delač, B., Mrakovčić, T. (2012) Modificirani sustav dizalica topline s vodenim krugom za bolnicu sa složenim termotehničkim sustavima, Tehnički vjesnik, Vol. 19 No. 3, 621-631

Bupić i Čustović (2006:213-215) daju povijesni pregled razvoja dizalica topline (Tablica 1.) koji započinje 1834. godine kada je istraživač Perkins implementirajući teorijske odrednice Carnotovog ciklusa zaštitio prvi stroj za hlađenje po principu parnog kompresora. Lord Kelvin je 1852. godine dao prvu analizu termodinamičkog ciklusa za "pumpanje" topline s manje na viši temperaturni nivo. Peter von Rittinger je 1857. godine u Ebensee u Austriji napravio jedinstvenu korisnu dizalicu topline koja je imala kapacitet od 14 kW, a upotrebljavala se u industriji. Jedna od najzanimljivijih dizalica topline dobila je „zeleno“ svjetlo za korištenje 1931. godine u Los Angelesu, SAD-u. Njezin patent držala je tvrtka za elektrodistribuciju i napravljena je na način da se koristio rashladni sistem efikasnosti 1,6 MW za hlađenje komora. Četvrtina toplinskog efekta korištena je za grijanje poslovnih ureda. Navedena tvrtka je u periodu 1937. i 1940. implementirala veći broj dizalica topline u razne prostore – navodno ih je bilo oko četiri. Koeficijent grijanja kretao se između 1,45 do 1,98.

Tablica 1. – Povijesni razvoj dizalica topline

|                                        |                                                                                                                       |
|----------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1834. - Jacob Perkins                  | Prvi parni kompresorski rashladni uređaj                                                                              |
| 1852. - William Thompson (Lord Kelvin) | Jedna od prvih prikaza termodinamičkog ciklusa za "pumpanje" topline s manje na veći nivo temperature                 |
| 1856./57. - Peter von Rittinger        | Prva praktična uporabljiva dizalica topline kapaciteta od 14 kW u Ebensee u Austriji                                  |
| 1930./31. - Los Angeles                | Prva značajna dizalica topline je proradila                                                                           |
| 1938. - Švicarska                      | U Zürichu u vijećnici krenula s radom prva značajna dizalica topline sa europskih prostora                            |
| 1951. – <i>split</i> izvedba           | Kompanija "General Electric" 1951. godine predstavlja dizalicu topline putem split sustava toplinski izvor = zrak     |
| 1963. - Herceg Novi                    | Prva dizalica topline na području bivše Jugoslavije – staklenik; prof. Sava Vujić - projektant                        |
| 1979. - splitska luka                  | Ugrađena prva domaća dizalica topline koju je proizveo splitski "Termofriz" za grijanje pomorsko putničkog terminala. |

Izvor: Autorski rad prema Bupić, M., Čustović, S., (2006) Stanje i trendovi uporabe dizalica topline, Naše more: znanstveni časopis za more i pomorstvo, Vol. 53 No. 5-6, 213-219

1930. godine prisutno je sve veće korištenje dizalica topline u Europi, a Švicarska je zemlja koja je predvodnik u korištenju i implementacije navedene tehnologije. Zanimljiv je podatak kako je prva značajna dizalica topline s europskih prostora implementirana 1938. u Zürichu za gradsku vijećnicu, odmah kraj jezera. Snaga dizalice topline bila je ukupno oko 190 kW, rashladna tvar R12 i voda iz jezera bile su glavni pokretač i izvor snage u kontekstu toplinskog izvora. 1939. godine napravljena je dizalica topline snage od 1,5 MW koja se upotrebljavala za grijanje prostora, bazenske i sanitarne vode, a kao toplinski izvor navodi se otpadna voda i ona iz jezera, otpadna te zrak iz vana. Sve te dizalice topline napravila je kompanija "Sulzer Escher Wyss". No, tijekom 2. svjetskog rata, dolazi do problema u proizvodnji i općenito razvoju dizalica topline za korištenje u civilne svrhe. Valja naglasiti kako je u navedenom vremenskom periodu u SAD-u napravljeno preko 10.000 dizalica topline za dobivanje pitke vode.

Od 1948. godine Sjedinjenim Američkim Država dolazi do razvitka manjih sustava dizalica topline – klimatizacijski sistemi s grijanjem i hlađenjem za osobnu svrhu. Proizvodnja navedenih sustava, kapaciteta od 10 do 30 kW, sve više dobiva na značaju i 1976. godine dostignte su impresivne brojke od preko 1,5 milijuna prodanih komada u godini dana. Do 1950. godine topline se koriste u većini slučajeva za grijanje kuća, a slabije u industriji. Između 1950. i 1954. dolazi do raznih inovativnih rješenja koja ispunjavaju sve kompliciranije kriterije u smislu tehničkih i ekonomskih zahtjeva. Kompanija "General Electric" 1951. pokazuje dizalicu topline koja je napravljena po sistemu „split“ sustava gdje je toplinski izvor zrak. Opterećenjakompenziraju se trofaznim električnim grijačem, te je moguće cjelogodišnje korištenje – u sklopu grijanja i za hlađenja. Oko 1950. godine u Velikoj Britaniji napravljene su dizalice topline s akumulatorom topline i antifrizom u cijevima, gdje je zemlja toplinski izvor. Koeficijent grijanja bio je veći od tri i to kod najlošijih vremenskih uvjeta (Bupić, Čustović, 2006:213-215).

Prva dizalica topline u ex Jugoslaviji implementirana je 1963. godine u Herceg Novom kako bi grijala staklenik – glavni projektant bio je profesor Sava Vujić. Rashladna tvar koja se koristila bila je metilklorid, a toplinski izvor zemlja. Bez obzira na svoju efikasnost vrlo brzo su umjesto nje postavljeni grijači na naftu. 70-ih i u Hrvatskoj dolazi do konstatacije kada se traži sve veća implementacija dizalica topline. Godine 1979. u splitskoj luci napravljena je prva domaća dizalica topline od strane splitskog "Termofriz" za grijanje pomorskoputničkoga terminala. Morska voda bila je toplinski izvor - imala je toplinski učinak od 700 kW, s temperaturom vode za grijanje od 45/40 °C i rashladnim učinkom od 650 kW (12/7 °C) (Bupić, Čustović, 2006:213-215).

Prema Bupić, Čustović (2006:213-215) područja današnje uporabe dizalica topline mogu se podijeliti u dvije glavne skupine:

1. Uporaba u stambenim i poslovnim zgradama, pri čemu dizalice topline služe:

- samo za grijanje prostora i/ili potrošne tople vode,
- za grijanje i hlađenje prostora, što je najčešća uporaba dizalica topline koje su zrak – zrak reverzibilnog tipa, i koje rade ili u modu grijanja ili u modu hlađenja; velike jedinice u poslovnim zgradama mogu istodobno osigurati i grijanje i za hlađenje,
- za grijanje i hlađenje prostora i pripremu potrošne tople vode, uz povremenu rekuperaciju topline iz odvodnoga zraka, što se ostvaruje u integriranim sustavima dizalica topline,
- samo za pripremu potrošne tople vode, koristeći se okolišnim ili odvodnim zrakom za izvor topline; mogu biti dimenzionirane tako da same pokrivaju godišnje toplinske potrebe za grijanje vode, ili da rade u kombinaciji s pomoćnim sustavom grijanja kad pokrivaju 50 – 95% godišnjih toplinskih potreba.

2. Uporaba za industrijske svrhe, kao što su:

- grijanje industrijskih pogona i staklenika, uz uobičajene toplinske izvore, ili otpadnu toplinu iz industrijskih izvora,
- zagrijavanje industrijske vode do temperaturnog područja od 40 do 90 °C, uz mogućnost i hlađenja vode integriranim sustavima za grijanje i hlađenje,
- proizvodnja vodene pare do temperature od 150 °C suvremenim visokotemperaturnim dizalicama topline; prototipnim dizalicama topline postignute su temperature i do 300 °C,

- sušenje i odvlaživanje u industriji papira i celuloznih proizvoda, drvnoj industriji, te u industriji prerade i čuvanja namirnica; dizalice topline za te namjene rade s visokim koeficijentima grijanja i postižu maksimalne temperature do 100 °C,
- procesi isparivanja i destilacije u kemijskoj industriji i industriji prerade hrane.

Aste (2013) tvrdi kako u Europskoj uniji (EU) zgrade troše približno 40% ukupne primarne energije. Sustavi dizalica topline pokazali su se učinkovitim i ekonomski isplativom alternativom konvencionalnim sustavima za pružanje usluga grijanja i hlađenja u zgradama. Učinkovito prodiranje ove tehnologije u izgrađeno okruženje ključno je za postizanje ambicioznih ciljeva postavljenih EU direktivama o energetske učinkovitosti i energetske učinkovitosti zgrada. Iako je ova tehnologija vrlo svestrana, njen optimalni dizajn i upravljanje vezani su uz specifično klimatsko, pogonsko i gospodarsko stanje, navodi Aste (2013).

U Europskoj uniji 40 % ukupna finalna potrošnja energije povezana je sa građevinskim sektorom. Dizalica topline s bušotinskim izmjenjivačem topline u kombinaciji s bušotinskim izmjenjivačem topline je opcija koja se primjenjuje u u raznim europskim zemljama za smanjenje potrošnje 'konvencionalnih' izvora energije, primarne energije i neizravne CO<sub>2</sub> emisije. Dizalica topline s bušotinskim izmjenjivačem topline je nadalje određen topline same karakteristike pumpe i toplinske interakcija između tla i bušotinskog izmjenjivača topline. Zemlja se koristi kao način hlađenja ili način grijanja topline energije i gotovo je neograničen korištenjem bušotinskog izmjenjivača topline. Temperatura tla na odgovarajućoj dubini je neovisna od temperature okoline, ali je jaka funkcija tipa tla. Za dimenzioniranje bušotinskog izmjenjivača topline, lokalna svojstva tla kao toplinska vodljivost, toplinski otpor bušotine, neporemećena temperatura tla, specifični toplinski kapacitet, itd. potrebni su za isporuku topline na odgovarajućoj temperaturi. Toplinska učinkovitost bušotinskog izmjenjivača topline ovisi o svojstvima tla, temperaturi i karakteristikama topline izmjenjivača (geometrija, razmak bušotina, injektiranje materijala, toplinske vodljivosti cijevi itd.) (Desmedt, Van Bael, 2010).

Chua (2010) ističe kako sustavi dizalica topline nude ekonomične alternative povrata topline iz različitih izvora za korištenje u raznim industrijskim, komercijalnim i stambenim primjenama. Kako cijena energije nastavlja rasti, postaje imperativ uštedjeti energiju i poboljšati ukupnu energetska učinkovitost. U tom pogledu, dizalica topline postaje ključna komponenta u sustavu povrata energije s velikim potencijalom za uštedu energije. Poboljšanje performansi dizalice topline, pouzdanosti i njezinog utjecaja na okoliš stalna je briga. Nedavni napredak u sustavima toplinskih pumpi usredotočio se na napredne dizajne ciklusa za sustave koji se aktiviraju topline i na rad, poboljšane komponente ciklusa (uključujući izbor radnog fluida) i iskorištavanje korištenja u širem rasponu primjena. Da bi dizalica topline bila ekonomična, potrebno je kontinuirano ulagati napore u poboljšanje njezinih performansi i pouzdanosti uz otkrivanje novih primjena. Neka nedavna istraživanja značajno su poboljšala energetska učinkovitost dizalice topline. Na primjer, ugradnja ejektora na toplinski pogon u toplinsku pumpu poboljšala je učinkovitost sustava za više od 20%. Dodatno, razvoj bolje kompresorske tehnologije ima potencijal smanjiti potrošnju energije sustava dizalica topline za čak 80%. Evolucija novih hibridnih sustava također je omogućila toplinskoj pumpi da radi učinkovito u širim primjenama, zaključuje Chua (2010).

Matijašić (2015) tvrdi kako u atmosferi, vodi i tlu postoje ogromne i neiscrpne količine toplinske energije čak i pri vrlo niskim temperaturama. Razlog zbog kojeg se ne može jednostavno iskoristiti za potrebe zagrijavanja je niski temperaturni nivo na kojem se nalazi. Zadatak dizalice topline je da raspoloživu besplatnu toplinsku energiju podigne na odgovarajući temperaturni nivo. Da bi to postigla mora utrošiti određenu količinu konvencionalne energije. Omjer dobivene korisne toplinske energije i uložene konvencionalne energije upravo predstavlja učinkovitost dizalice topline. Koeficijent kojim se definira učinkovitost dizalice topline ima oznaku COP ili SCOP. Razlika između ove dvije oznake je u tome što je prvom definirana učinkovitost u točno određenoj radnoj točki uređaja dok je SCOP tzv. sezonski koeficijent energetske učinkovitosti koji uzima u obzir cjelogodišnje uvjete rada uređaja kao i klimatsku zonu u kojoj uređaj radi i samim time je i mjerodavnija veličina. Npr. ukoliko u katalogu proizvođača dizalica topline piše podatak da SCOP iznosi 3,5 znači da će takav uređaj u prosjeku utrošiti 1 kW konvencionalne energije da bi proizveo 3,5 kW korisne toplinske energije, pri čemu je razlika u iznosu od 2,5 kW energije preuzeta iz okoline. Pojednostavljeno rečeno plaćeno je 1 kW a dobiveno 3,5 kW. Za usporedbu, učinkovitost najkvalitetnijih kotlova na drva iznosi 0,86, kotlova na pelete 0,92 koliku učinkovitost postižu i uljni kotlovi, te plinski kondenzacijski kotlovi sa koeficijentom učinkovitosti 1,1., analizira Matijašić (2015).

Učinkovitost dizalice topline je promjenjiva veličina i ovisi o dva osnovna čimbenika: (Matijašić, 2015)

1. željene temperature medija kojeg se zagrijava (zrak ili voda) i
2. temperature izvora iz kojeg crpimo energiju (atmosfera, voda, tlo).

Učinkovitost dizalice topline veća je što je niža željena temperatura zagrijavanja ogrjevnog medija i viša temperatura izvora toplinske energije. Izborom niskotemperaturnog sustava grijanja (npr. podno grijanje) smanjit će se temperatura vode u sustavu i povećati učinkovitost dizalice topline. Crpljenjem toplinske energije iz izvora sa višim temperaturnim nivoom također će se povećati učinkovitost dizalice topline. Pri tome treba voditi računa o troškovima koji se pojavljuju i koji onda utječu na ukupnu učinkovitost sustava, zaključuje Matijašić (2015).

## **2.2. Vrste dizalica topline i njihova primjena**

Najčešći tip toplinske pumpe je zračna izvorna toplinska pumpa, koja prenosi toplinu između unutarnjeg i vanjskog zraka. Za razliku od nje, opće geotermalne toplinske pumpe, toplinske pumpe iz zemlje ili toplinske pumpe podzemne vode rade s puno povoljnije i ujednačenije vanjske temperature izmjenjivača. Pojam "geotermalni" obično opisuje sve vrste izmjenjivača topline podzemne ili podzemne vode gdje se toplina izvlači iz zemlje ili podzemne vode zimi, ili odbija u tlo ili podzemnu vodu ljeti (Macenić i sur., 2018).

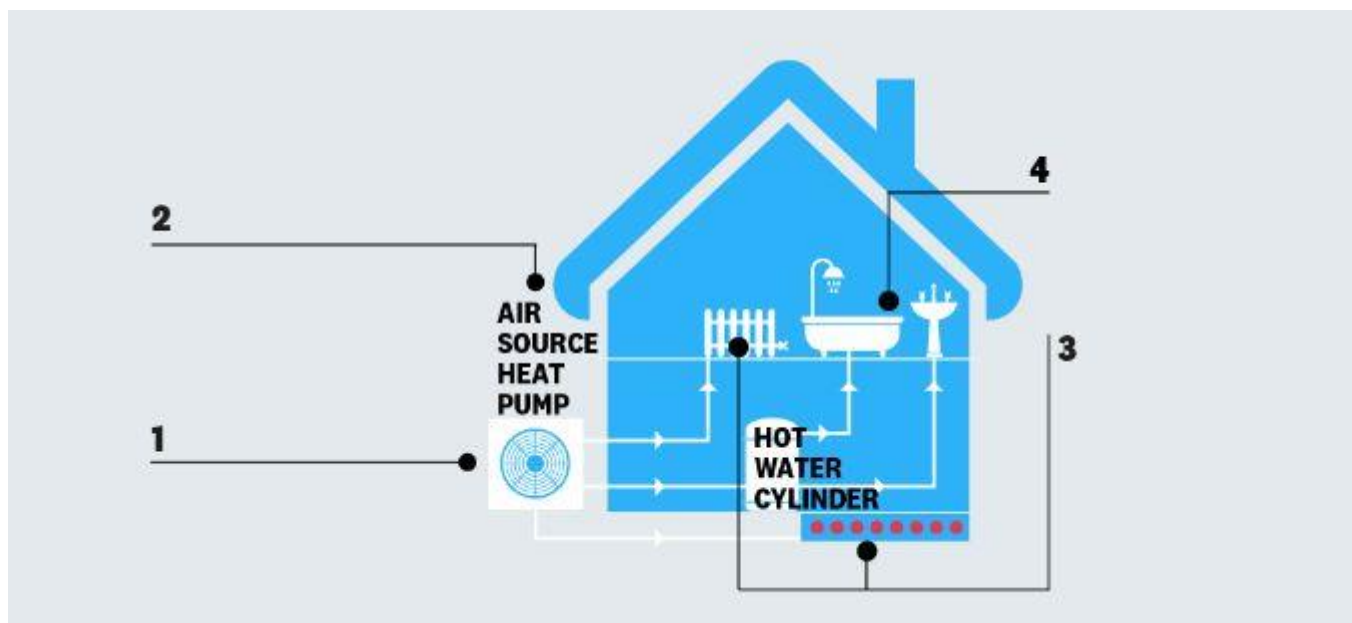
Prema Matijašiću (2015) postoje sljedeće vrste dizalica topline:

### **1. Dizalica topline zrak – zrak**

Autori navode kako je najrašireniji primjer ove vrste dizalica topline klima uređaj u split izvedbi pri čemu se toplina sadržana u atmosferi preuzima i uz pomoć termodinamičkih procesa u vanjskoj jedinici podiže na viši temperaturni nivo i preko unutarnje jedinice klima uređaja predaje zraku u prostoru koji se želi zagrijati.

Toplinska pumpa izvora zraka uzima toplinu iz zraka i podiže je na višu temperaturu pomoću kompresora. Zatim prenosi toplinu na sustav grijanja u domu. Oni rade pomalo kao hladnjaci u obrnutom smjeru. Toplinska pumpa izvora zraka apsorbira toplinu iz vanjskog zraka u tekuće rashladno sredstvo na niskoj temperaturi. Pomoću električne energije pumpa komprimira tekućinu kako bi povećala njezinu temperaturu. Zatim se ponovno kondenzira u tekućinu kako bi oslobodio pohranjenu toplinu. Toplina se šalje na radijatore ili podno grijanje. Ostatak se može pohraniti u spremnik tople vode. Spremljenu toplu vodu može se koristiti za tuševe, kade i slavine. Toplinska pumpa s izvorom zraka je niskougljični način grijanja doma. Upijaju toplinu iz hladnijeg mjesta i koriste je za povećanje temperature u domu. Toplinske pumpe s izvorom zraka izgledaju slično klima uređajima (Slika 2.). (Ingrams, 2021)

Slika 2. - Toplinske pumpe s izvorom zraka



Izvor: Ingrams, S. (2021) Air source heat pumps explained, dostupno na: <https://www.which.co.uk/reviews/ground-and-air-source-heat-pumps/article/air-source-heat-pumps-explained-al5MC4>

Njihova veličina ovisi o tome koliko će topline trebati proizvesti za dom - što je više topline, to je toplinska pumpa veća.



Postoje dvije glavne vrste toplinskih pumpi zraka: (Ingrams, 2021)

- zrak-voda i
- zrak-zrak.

Djeluju na različite načine i kompatibilni su s različitim vrstama sustava grijanja.

## 2. Dizalica topline zrak – voda

Autori ističu kako kod ove vrste dizalica topline izvor topline je atmosfera a proizvedena toplina predaje se vodi koja može služiti za zagrijavanje prostora na način da određeno ogrjevno tijelo izvrši predaju topline na zrak u prostoriji koju želimo zagrijati (npr. podno grijanje, ventilatorski konvektori, radijatori i sl.). Druga najčešća mogućnost je da se proizvedena toplina direktno predaje akumuliranoj vodi za sanitarne potrebe. Ova vrsta dizalica topline najčešće se pojavljuje u kompaktnoj izvedbi, no kod manjih uređaja za kućnu uporabu zastupljena je i split izvedba.

Toplinske pumpe zrak-voda uzimaju toplinu iz vanjskog zraka i unose je u mokri sustav centralnog grijanja. Najprikladniji su za veće radijatore ili vodeno podno grijanje jer je toplina koju proizvode hladnija od one iz konvencionalnih plinskih ili uljnih kotlova. Da bi bili najučinkovitiji, potrebna im je velika površina za oslobađanje topline. Jednostavnije je ugraditi veće radijatore ili podno grijanje za toplinsku pumpu dok se proširuje dom (Ingrams, 2021).

## 3. Dizalica topline voda – voda

Autori nadalje naglašavaju da kada se ima na raspolaganju vodena masa, bilo da se radi o moru, rijeci ili jezeru onda se može ugraditi dizalicu topline koja će toplinu crpiti iz navedene vodene mase a proizvedena toplina predat će se ogrjevnoj vodi pri čemu je daljnji proces identičan onom navedenom kod dizalica topline zrak – voda.

#### 4. Dizalica topline tlo – voda

U ovu vrstu dizalica topline karakteristično je da je tlo je također primjeren izvor topline za dizalicu topline pri čemu se ta toplina oduzima putem izmjenjivača kroz koji struji voda. Izmjenjivač može biti postavljen horizontalno na određenoj dubini tla u vidu cijevnog registra ili vertikalno u obliku sonde. Iskorištavanje topline proizvedene kod ove vrste dizalice topline identično je onome kod dizalica topline zrak – voda i voda – voda.

Toplinska pumpa sa zračnim izvorom može osigurati grijanje za dom ili poslovni prostor. Jedinica toplinske crpke obično se postavlja sa strane zgrade, uvlači zrak izvana, prenosi toplinu pomoću kompresije i dvije zavojnice izrađene od vodljivih bakrenih cijevi. Kada je potrebno zagrijavanje, tekuće rashladno sredstvo u vanjskom zavojnici izvlači toplinu iz zraka i isparava, prolazeći u unutarnju zavojnicu gdje se plin vraća u tekućinu kako bi proizveo toplinu koja se zatim može uvesti u sustav grijanja kućanstva. Ovakva vrsta toplinskih pumpi postala je puno učinkovitija tijekom posljednjih nekoliko godina i sada mogu osigurati značajne uštede na računima za energiju (Renewableenergyhub, 2020).

Vanjski zrak nije jedino mjesto iz kojeg se može crpiti vrijedna toplina kako bi kuće bile tople. Sunčeva energija pohranjena u tlu ili vodi može se iskoristiti za pokretanje toplinskih pumpi iz tla, što uključuje polaganje toplinskih cijevi u zemlju. Također se nazivaju geotermalne toplinske pumpe, imaju veću učinkovitost od toplinskih pumpi na zrak jer su temperature koje se nalaze u tlu općenito konstantnije.

Postoji nekoliko različitih vrsta toplinskih pumpi iz zemlje: (Renewableenergyhub, 2020)

- horizontalni niz može se postaviti ispod površine vrta - vertikalna dizalica topline ide izravno nekoliko metara u tlo kroz bušotinu. Umjesto tla, ova vrsta pumpe može koristiti lokalizirani izvor vode za crpljenje topline - nedostatak veće učinkovitosti kod toplinskih crpki s izvorom tla je to što su obično skuplje za instalaciju jer je za postavljanje cjevovoda potreban značajan rad na iskopu.

- hibridne toplinske pumpe - hibridni niz je u osnovi toplinska pumpa zajedno s drugim izvorom energije kao što je plinski kotao, koji zajedno osiguravaju konstantniji izvor topline s višom razinom učinkovitosti. Prednost ima to što ljudi s postojećim izvorom topline kao što je plinski ili uljni kotao ne moraju mijenjati svoje radijatore ako ga instaliraju.

- druga hibridna konfiguracija je mješavina toplinskih pumpi iz zemlje i zraka koje rade s punom učinkovitošću u različito doba dana ili čak tijekom cijele godine. Dakle, kada je vani hladniji zrak, on crpi energiju toplinske pumpe iz tla, a kada je zrak topliji, radi obrnuto.

Mini-split dizalice topline su pojedinačne jedinice koje se mogu montirati na zid i koristiti za određene prostorije. Prednost im je što ne zahtijevaju kanale za prijenos topline u prostorije, a prikladni su i za nadogradnju na kućama. U osnovi, ova vrsta uređaja radi na sličan način kao i normalne toplinske pumpe s izvorom zraka, ali u manjem opsegu (Renewableenergyhub, 2020).

Apsorpcijsku toplinsku pumpu pokreće drugi izvor topline kao što je solarno grijana voda ili geotermalno grijana voda, a ne struja. Često se nazivaju plinskim dizalicama topline, jer često koriste energiju prirodnog plina, a uglavnom su se nalazile u industrijskim procesima u prošlosti - iako se više komercijalnih jedinica razvija za veće stambene kuće (Renewableenergyhub, 2020).

Valja naglasiti kako se dizalica topline može koristiti za zagrijavanje prostora i/ili zagrijavanje vode za sanitarne potrebe. Kod zagrijavanja prostora ogrjevni medij može biti zrak bilo direktno iz prostora koji se želi zagrijati, bilo iz više prostorija sa distribucijom putem zračnih kanala i tada govorimo o dizalici topline zrak – zrak. Najčešći predstavnici ove vrste dizalica topline pojavljuju se u obliku vrlo raširenih split ili multisplit sustava, rjeđe kompaktne izvedbe, navodi Matijašić (2015).

Matijašić (2015) tvrdi kako dizalice topline koje kao ogrjevni medij isporučuju toplu vodu (zrak – voda, voda – voda, tlo – voda) moraju biti ugrađene u sustave sa ogrjevnim tijelima kao što su cijevne mreže za podna odnosno površinska grijanja, ventilatorski konvektori ili radijatori.

Matijašić (2015) navodi da ukoliko se investira u kompletnu instalaciju poželjno je predvidjeti sustave koji za rad trebaju nižu temperaturu vode kao što su podna ili površinska grijanja i ventilatorski konvektori dok je prilikom rekonstrukcija gdje se dizalica topline priključuje na postojeći sustav radijatora potrebno obratiti pozornost na ograničenja dizalice topline u vidu maksimalne izlazne temperature poglavito ako je prijašnja instalacija projektirana kao visokotemperaturna pa su prema tome dimenzionirani i radijatori. U oba slučaja preporučuje se angažiranje stručne osobe. Topla voda za sanitarne potrebe također se može zagrijavati putem dizalice topline bilo kao element u sustavu grijanja ili kao zaseban uređaj posebno predviđen za tu namjenu što u prvom redu ovisi o zahtjevima za količinom tople vode. Moderne dizalice topline imaju mogućnost automatskog i neovisnog upravljanja sa ova dva sustava u smislu prioriteta i temperaturnog režima koji je kod zagrijavanja sanitarne vode u pravilu nešto viši, zaključuje Matijašić (2015).

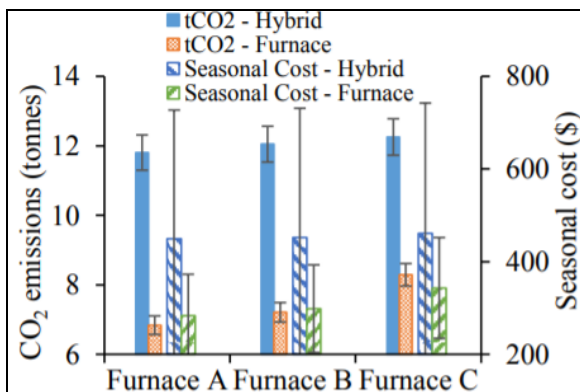
### **2.3. Ekonomska isplativost dizalica topline**

Read (2021) ističe kako se učinkovitost toplinske pumpe mjeri putem koeficijenta učinkovitosti (CoP) jer zapravo ne proizvodi toplinu. Tipična dizalica topline imat će CoP od 3 ili 4 što je ekvivalentno 300% ili 400% učinkovitosti kotla za proizvodnju topline, obično CoP 4 ljeti i CoP 3 zimi jer niže vanjske temperature otežavaju transport i koncentriranje toplina. Sadašnji kondenzacijski plinski kotao ima učinkovitost od približno 95%. Na ovim početnim brojkama može se zaključiti kako je toplinska pumpa tri do četiri puta učinkovitija od kondenzacijskog plinskog kotla.

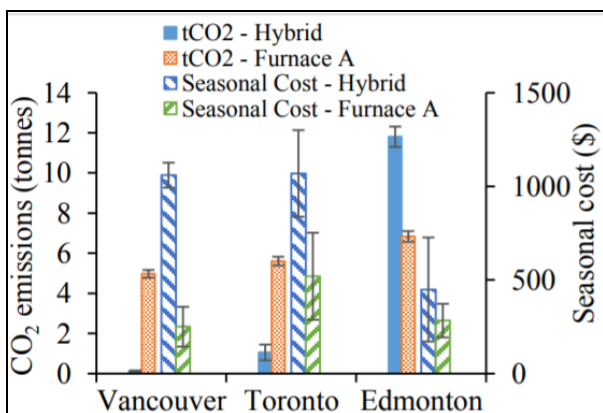
Prema istraživanju koje su proveli Udovichenko i Zhong (2019) prikazuje se (Slika 3.) ekonomski rezultat emisije CO<sub>2</sub> za Edmonton s različitim modelima peći, što ukazuje da kondenzacijska peć veće učinkovitosti ima manje ukupne emisije i operativne troškove. Stoga je za ovaj hibridni sustav grijanja odabrana peć.

Slika 4. prikazuje sezonski trošak rada hibridnog sustava grijanja pomoću kombinacije toplinske pumpe C i peći na prirodni plin A u uzornoj rezidenciji tijekom jednog zimskog razdoblja u svakom gradu.

Slika 3. - Sezonski troškovi i emisije stakleničkih plinova za hibridne sustave i sustave samo za peći u Edmontonu



Slika 4. - Sezonski troškovi i emisije stakleničkih plinova za hibridne sustave i sustave samo za peć A u svakom gradu



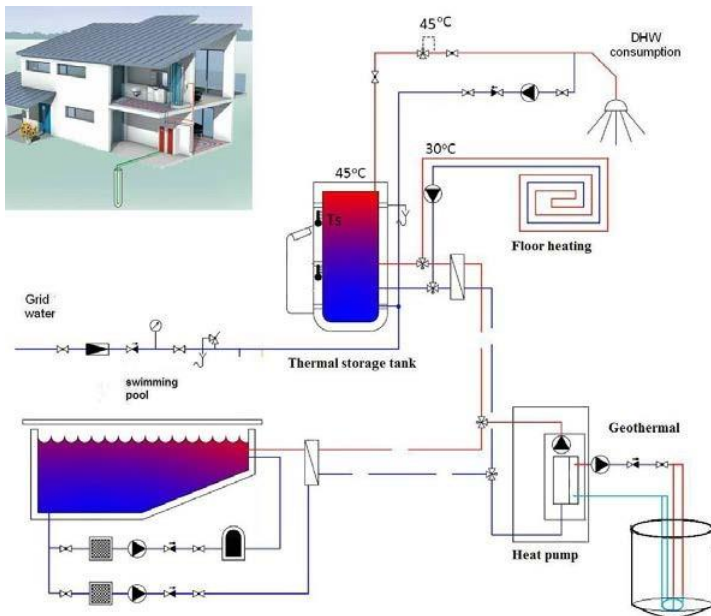
Izvor: Udovichenko, A., Zhong, L. (2019) Application of air-source heat pump (ASHP) technology for residential buildings in Canada, IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 609

Općenito, cijena prirodnog plina je niža od električne energije, pa dulje vrijeme rada toplinske pumpe rezultira većim troškovima. To se posebno odnosi na Vancouver, gdje toplinska pumpa može raditi cijelu zimu, što također znači da emisije praktički ne postoje zbog popularnosti hidroelektričnih sustava. Zračna izvorna toplinska pumpa je sama po sebi potpuno održiva i ekološki prihvatljiva, ali skupa alternativa neovisnom izvoru grijanja.

Matijašić (2015) navodi kako je najčešće pitanje potencijalnog kupca koliku će uštedu postići ugradnjom dizalice topline. Odgovor na to pitanje moguće je dati dosta precizno ukoliko postoji podatak o utrošku energije sa dosadašnjim načinom grijanja te podatak o učinkovitosti ugrađenog uređaja. Matijašić (2015) navodi sljedeći primjer:

Npr. ukoliko trenutno osoba posjeduje kotao na lož ulje sa stupnjem učinkovitosti 0,92 i troši se 2.000 lit. lož ulja za zagrijavanje utrošeno je 18.326 kWh toplinske energije što uz cijenu lož ulja od 5,5 kn po litri iznosi ukupno 11.000 kn. Ugradnjom dizalice topline sa minimalnim stupnjem učinkovitosti 3,2 koliko propisuju i uvjeti natječaja Fonda za zaštitu okoliša i energetska učinkovitost da bi se moglo aplicirati za bespovratna sredstva, za istu količinu potrebne toplinske energije utrošilo bi se 5.727 kWh električne energije. Pod pretpostavkom da je 70% utrošeno u višoj tarifi po cijeni od 1 kn po kWh a 30% u nižoj tarifi po cijeni od 0,5 kn po kWh ukupni trošak iznosi 4.686 kn, dakle gotovo 60% manje. U hladnijim mjesecima kada je vanjska temperatura ispod 7 °C, sustavi geotermalne toplinske pumpe (Slika 5.) imaju veća učinkovitost od standardnih toplinskih pumpi. Sunčevi sustavi s toplinskom pumpom voda-voda s velikim spremištem ima istu ili bolju učinkovitost od geotermalnih sustava, s manjom emisijom CO<sub>2</sub> na predložke klime (Moia i sur., 2012).

Slika 5. Shematski prikaz geotermalnog sustava sa dizalicom topline



Izvor: Moia, P. Alomar Barcelo, M., Pujol, Nadal, P. (2012) Solarni sustavi i dizalice topline. Analiza različitih kombinacija u Mediteranskim područjima, Strojarsstvo: časopis za teoriju i praksu u strojarstvu, Vol. 54 No. 6, 449-454

Najveća investicija je iskop (horizontalno ili okomito). Otvoreni sustavi su jeftiniji, ali imaju više prepreka (okolišnih i jurisdikcijskih). Ovim sustavima je potrebna jama ili izmjenjivač grijanja sa minimalom investicijom od 8.000 € (Moia i sur., 2012).

Glavni trošak dizalice topline je početni trošak za njezinu kupnju i ugradnju. Crpka će koristiti malu količinu električne energije, ali su operativni troškovi minimalni. Točno koliko košta rad toplinske pumpe ovisi o:

- o temperaturi koju želimo da bude u domu,
- veličini doma,
- koliko je dom dobro izoliran.

Vrijeme povrata (koliko je potrebno da se nadoknadi trošak sustava uštedom energije) ovisi o:

- koliko učinkovito sustav radi (uključujući koliko je toplina raspršena i koliko je dom zadržava)
- vrsti sustava grijanja koji se zamjenjuje,
- kako se koristi toplina koju proizvodi pumpa.

#### *Primjer ekonomske učinkovitosti dizalica topline u staklenicima*

Toplinskom pumpom može se zagrijati niskotemperaturna voda, a toplina za to može se izvući iz izvora niske temperature. Količina primarne energije potrebna za to je manja od količine energije koja se oslobađa. Primjena toplinske pumpe stoga može biti jedno od načina uštede energije, a uz visoke cijene energije može biti i financijski atraktivna. Vršno opterećenje određuje kapacitet izvora topline koji se mora instalirati. Budući da se ovo vršno opterećenje koristi samo za kratko razdoblje u godini, kapacitet toplinske pumpe općenito je takav da može zadovoljiti samo dio potrebe za toplinom. U tom slučaju se nadopunjuje takozvanim vršnim pogonom koji se pokreće drugim izvorom topline. Na temelju godišnjeg dijagrama opterećenja, koji je prilično linearan, dizalica topline s kapacitetom od 50 % maksimalne toplinske potrebe zadovoljava 80 % ukupne godišnje potrebe za toplinom. Ovi se proračuni temelje na korištenju toplinske pumpe na plin s toplinskom učinkovitošću u rasponu od 110 % do više od 200 % (Huys i Mulder, 1981).

Za usporedbu treba napomenuti da primjena kondenzatora dimnih plinova može povećati učinkovitost kotla za grijanje u staklenicima na 100 % u odnosu na nižu ogrjevnu vrijednost. Na učinkovitost toplinske pumpe utječe temperatura izvora topline kao i temperatura pri kojoj se toplina mora osloboditi. U hortikulturi staklenika zadržava se specifična toplinska snaga koja varira između 2,5 i 4. Kao izvor topline može se koristiti vanjski zrak, koji je svugdje dostupan, ali je možda previše hladan za ekstrakciju topline zimi. Drugi potencijalni izvor topline je izvorska voda. Međutim, nije svugdje (naprimjer u Nizozemskoj) dopušteno vaditi vodu iz tla. Bolji izvori energije su jarci, rijeke i kanali, koji se u (naprimjer u Nizozemskoj) često koriste za opskrbu rashladnom vodom industrije i elektrana. To im omogućuje oslobađanje dovoljno topline i zimi. Konačno, postoji mogućnost izvlačenja topline iz tla, metoda koja zahtijeva opsežan sustav cjevovoda. Ovo također podliježe ograničenjima. (Huys i Mulder, 1981).

Mader (2015) ističe kako je studija pokazala da su učinci odabira rashladnog sredstva na investicijske i operativne troškove, raspored ciklusa, upravljanje i karakteristike komponenti usko povezani. Svaki zahvat u projektiranju jedinice dizalica topline sa novim ili izmijenjenim komponentama ili tehnologijama trebaju uključivati oprez prilagodbe na svim razinama. Jedinčno ili temeljito ispitivanje osjetljivosti omogućuje sprječavanje nepredviđenih negativnih interakcija i na taj način iskorištavanje punog potencijala novog rješenja. U praksi to zahtijeva čvršću suradnju između komponenti i proizvođača dizalica topline gdje komponente i dizajn sustava moraju biti usklađeni. Za optimizaciju primjene kao što su dizalice topline zrak-voda neophodna je holistička procjena. Jedinice rade pod vrlo različitim uvjetima rada i istodobno varijacije u okruženju sustava ponekad jače utječu na optimalnost od promjena intrinzičnih karakteristika jedinice ili ekonomskog okvira.

Ocjenjivanje godišnjeg učinka umjesto COP i kapacitet u odabranim uvjetima imaju dodatnu prednost u vezi jedinstvenog kriterija uspješnosti - tako se različite tehnologije mogu lakše i objektivnije uspoređivati. Izračunavanje godišnjih operativnih troškova korisno je čak i ako su troškovi ulaganja nepoznati. U formulaciji problema može se kvantificirati koliko nova tehnologija smije koštati i biti ekonomski perspektivna. Očito je da su dizalice topline optimizirane za rad u hladnijim uvjetima klimatske zone ekonomski nepovoljne za kupce - posebno toplija klimatska zona. Sa stajališta potrošača i pouzdanosti najisplativije i najmanje rizičan pristup je projektiranje dizalica topline pojedinačno za različite klimatske zone, naglašava Mader (2015).



Vasilyev i sur. (2014) dokazuju mogućnost i ekonomsku isplativost stvaranja objekata podzemne željeznice s "nultom" potrošnjom topline iz vanjskih izvora, opremljenih sustavima dizalica topline za grijanje i hlađenje, koji poboljšavaju udobnost unutarnje klime stanica i dvorana podzemne željeznice. Istraživanje koje su proveli autori dokazuje učinkovitost korištenja sustava dizalica topline za grijanje i hlađenje u moskovskoj podzemnoj željeznici. Predložena tehnologija zahtijeva niža jednokratna kapitalna ulaganja od tradicionalne tehnologije, kao i omogućuje uštedu do 80 % energije. S obzirom na trenutne cijene priključenja na sustave centraliziranog grijanja, predmetna tehnologija se vraća u fazi izgradnje. Mogućnost stabilizacije toplinskih uvjeta na stanicama i u hodnicima podzemne željeznice važna je prednost ove tehnologije. U radu su navedene sheme korištenja opreme toplinske pumpe koje omogućavaju njezino preusmjeravanje za rad u režimu hlađenja, koje osiguravaju dovoljnu klimatizaciju i kontrolu vlažnosti u stanicama, halama i servisnim prostorijama. Autori procjenjuju emisiju topline putnika, koja se odvodi s ispušnim zrakom, na oko 0,15-0,17 milijardi kWh godišnje. Tako moskovska podzemna željeznica samo izbacuje oko 2,4 milijarde kWh toplinske energije, uključujući toplinu koju emitiraju putnici, godišnje. Ako se reciklira, ova količina energije dovoljna je da pokrije sve potrebe podzemne željeznice za toplinskom energijom.

Implementacija dizalica topline dobro je usklađeno s dekarbonizacijom. To usklađivanje je slabo u nekim slučajevima—za 8% kuća u SAD-u prihvaćanje dizalica topline ili povećava emisije CO<sub>2</sub> ili uzrokuje vrlo visoke troškove smanjenja. Iako usvajanje univerzalne dizalice topline u SAD-u ima upitnu vrijednost, vrlo visoke stope prihvaćanja od 80% – 90% mogu isplativo smanjiti emisije stakleničkih plinova. Međutim, s obzirom na trenutne cijene energije, prognoze emisija iz električne mreže i tehnologiju dizalica toplina, smatra se da su tako visoke stope usvajanja malo vjerojatne. S privatnog ekonomskog stajališta, može se zaključiti da implementacija dizalica toplina donosi neto ekonomsku korist za 21% obiteljskih kuća u SAD-u. Kada se uključe kuće s postojećim dizalicama topline, to iznosi ukupnu stopu prihvaćanja od 32%. Sa stajališta javne dobrobiti, dolazi se do zaključka da je kombinirani klimatski i zdravstveni NPV usvajanja dizalica topline pozitivan za 70% stambenog fonda u SAD-u koji ne koristi dizalice topline. Ova bi se stopa mogla smanjiti kada se uzme u obzir trošak učvršćivanja električne mreže za podnošenje povećane vršne potražnje za električnom energijom: posljedicu koju će mnogi gradovi doživjeti, ističu Deetjen i sur. (2021).

Implementacija dizalica topline u mješovitim i obalnim klimatskim uvjetima pokazuje snažan privatni gospodarski potencijal i ograničenu javnu štetu. To se posebno odnosi na električne mreže sa srednjim emisijama. Štoviše, manje je vjerojatno da će gradovi s blagom klimom vidjeti naglo povećanje vršne potražnje za električnom energijom ili povezane troškove učvršćivanja mreže. Prihvaćanje toplinskih pumpi u hladnim klimama pokazuje slab privatni gospodarski potencijal i značajnu štetu javnosti. Štoviše, vjerojatnije je da će gradovi s hladnom klimom vidjeti naglo povećanje vršne potražnje za električnom energijom i povezane troškove učvršćivanja mreže. Iznimka je kada se instalira dizalica topline za zamjenu električnog otpornog grijača: ova nadogradnja obično smanjuje troškove vlasnika kuće, smanjuje emisije i smanjuje vršnu potrošnju električne energije, navode Deetjen i sur. (2021).

U istraživanju od strane Gabrielli i Bottarelli (2011) implementira se DCF model (model diskontiranog novčanog toka) kako bi se istražili ekonomska aspekti GSHP-a (geotermalna dizalica topline) za grijanje i hlađenje, u usporedbi s tradicionalnim kondenzacijskim bojlerom (CB). DCF model omogućuje analizu investicijskih troškova, operativnih troškova i prihoda dva različita sustava kako bi se razumjelo nadmašuje li GSHP tradicionalni kondenzacijski bojler, izričito uzimajući u obzir čimbenike kao što su rast cijena/troškova. Cijela analiza se provodila usvajanjem parametarskim pristupom, u kojem su svi prethodni pojmovi povezani s energetske oznakama, stupanj-danima i EMR-ovima (Energy Mix Ratios), potonji dobiven kao omjer između punog jediničnog troška električne energije i prirodnog plina koji plaća domaćin. Rezultati pokazuju da sve energetske oznake imaju dobar omjer profitabilnosti između troškova i razdoblja povrata te pokazuje da se GSHP sustav isplati. Rezultati pokazuju da sve više energetske oznake imaju dobar omjer isplativosti između troškova i razdoblja povrata, te se došlo do zaključka kako se sustav geotermalne dizalice topline isplati. Donje oznake postaju zanimljive kada EMR pada na 0,25, a cijena plina raste za 0,70 €/Nm<sup>3</sup>.

### 3. IZVORI ENERGIJE ZA UČINKOVIT RAD DIZALICA TOPLINE

Prema Heregi i Amadora (2017:109) energetska učinkovitost je suma isplaniranih i provedenih mjera čiji je cilj korištenje minimalno moguće količine energije tako da razina udobnosti i stopa proizvodnje ostanu sačuvane. Pojednostavljeno, energetska učinkovitost znači uporabiti manju količinu energije (energenata) za obavljanje istog posla (grijanje ili hlađenje prostora, rasvjetu, proizvodnju raznih proizvoda, pogon vozila, i dr.). Pod pojmom energetska učinkovitost podrazumijeva se učinkovita uporaba energije u svim sektorima krajnje potrošnje energije: industriji, prometu, uslužnim djelatnostima, poljoprivredi i u kućanstvima. Važno je istaknuti da se energetska učinkovitost nikako ne smije promatrati kao štednja energija. Naime, štednja uvijek podrazumijeva određena odricanja, dok učinkovita uporaba energije nikada ne narušava uvjete rada i življenja. Nadalje, poboljšanje učinkovitosti potrošnje energije ne podrazumijeva samo primjenu tehničkih rješenja. Štoviše, svaka tehnologija i tehnička oprema, bez obzira koliko učinkovita bila, gubi to svoje svojstvo ako ne postoje obrazovani ljudi koji će se njome znati služiti na najučinkovitiji mogući način. Prema tome, može se reći da je energetska učinkovitost prvenstveno stvar svijesti ljudi i njihove volje za promjenom ustaljenih navika prema energetski učinkovitijim rješenjima, nego je to stvar složenih tehničkih rješenja, ističu Heregi i Amadora (2017:109)

Martinović, Čemalović, Karišik (2012) tvrde kako se u svijetu intenzivno radi na što efikasnijem iskorištenju energije vjetera i vode, sunčeve energije, biomase te atomske energije. Kada je riječ o efikasnijem korištenju energije, tada je prelazak na automobile na ekološki pogon, bolja termička izolacija stambenih objekata, primjena novih tehnologija i postrojenja koja efikasnije koriste energiju predstavljaju neka od mogućih rješenja. Smatra se da bi, samo u Njemačkoj, primjena efikasnije tehnologije grijanja kao i bolja izolacija stambenih i poslovnih objekata dovela do smanjivanja emisije CO<sub>2</sub> za 55 do 70 miliona tona. No, da bi se navedeni rezultati postigli, potrebna su velika ulaganja u saniranje i izgradnju novih objekata. Isto tako, rast cijena električne energije bi posredno doveo do veće štednje u potrošnji. Jandrić, Vrkljan (2004) navode kako je ekonomičnost obnovljivih izvora energije za sada mala i neusporediva s klasičnim izvorima energije, no taj omjer se polako mijenja u korist novih, alternativnih izvora. Prijelaz je moguć, a kao i industrijska revolucija, i sve njene mijene, tako i ova u kojoj se nalazimo, ovisi samo i ponajviše od samih ljudi, zaključuju autori.

### 3.1. Korištenje vanjskog zraka za efikasan rad dizalica topline

Dizalice topline koje koriste zrak kao izvor energije i dalje dominiraju na tržištu. Pri korištenju vanjskog zraka kao izvora energije za dizalicu topline za grijanje ili hlađenje zgrade, mora se obratiti pažnja na slijedeće: (Menerga, 2020)

#### 1. Učinkovitost sustava

Dizalice topline koje koriste zrak kao izvor energije za grijanje i hlađenje, obično su mnogo manje učinkovite. Pogotovo kada temperature padnu ispod nule ili kada u vrućim ljetnim danima porastu iznad 30°C. Takve dizalice topline tada troše puno dodatne energije za postizanje zahtjeva za grijanjem ili hlađenjem, što naravno povećava troškove.

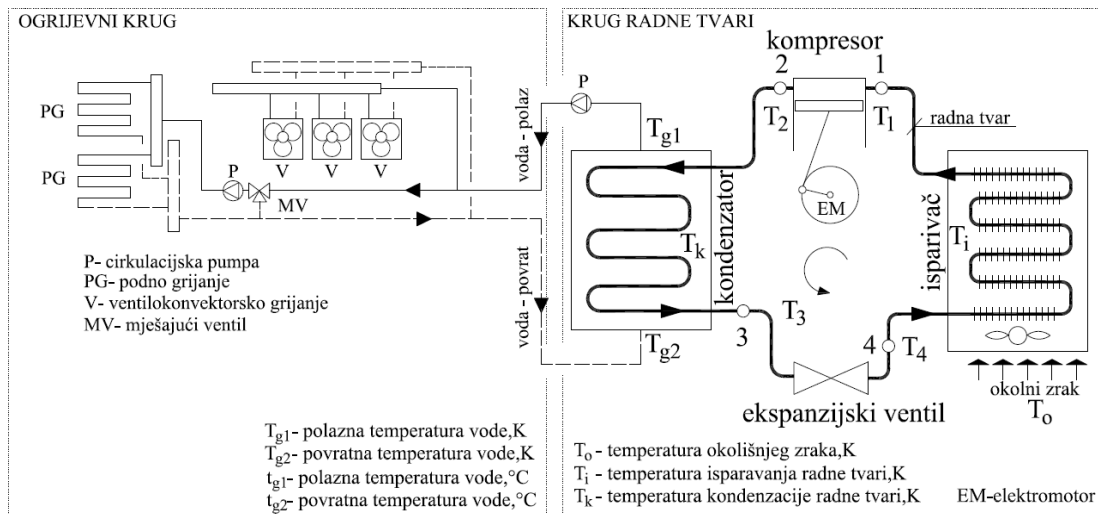
#### 2. Buka

Ako se dizalica topline sastoji od vanjske i unutarnje jedinice, mora se paziti da ventilator ugrađen u vanjsku jedinicu ne izaziva buku koja smeta okolini. Zbog velikih oscilacija temperature, zrak je u pojedinim godišnjim razdobljima neučinkovit izvor energije, pa se isplati provjeriti može li dizalica topline koristiti energiju zemljine kore ili energiju podzemne vode.

Toplinski izvor dizalica topline zrak-voda je okolni zrak. Miješajući ventil MV omogućava postizanje niže temperature ulazne vode u sustavu podnog grijanja PV u odnosu na ventilokonvektorsko grijanje V, navodi Horvat (2014).

Slika 6. prikazuje princip rada kompresijske dizalice topline zrak-voda te upotrebu vode u ogrjevnom krugu za niskotemperaturno podno grijanje i toplozračno ventilokonvektorsko grijanje.

Slika 6. - Princip rada dizalice topline zrak-voda



Izvor: Horvat, M. (2014) Kompresijske dizalice topline zrak-voda, Zbornik radova Međimurskog veleučilišta u Čakovcu, Vol. 5 No. 2, 25-32

Za isparavanje radne tvari u isparivaču potrebna je specifična toplina  $q_i$  (kJ/kg) koja se dovodi iz ogrjevnog spremnika. Radna tvar u stanju 1 ima niži tlak koji se povećava utroškom specifičnog rada  $w$  (kJ/kg) kompresora K. Prilikom kondenzacije u kondenzatoru KO radna tvar predaje specifičnu toplinu kondenzacije  $q_k$  (kJ/kg) rashladnom spremniku. Ekspanzijski cilindar EC služi za smanjenje tlaka i temperature radne tvari, ističe Horvat (2014).

Dizalica topline zrak-voda, obično se upotrebljava za niskotemperaturno grijanje panelnim grijanjem ili radijatorima. Na učinkovitost tih dizalica topline uvelike utječe temperatura ogrjevne vode koju želimo postići. U zimskim mjesecima prilično su energetske neučinkovite pri zagrijavanju vode na visoke temperature.

Treba imati na umu da zrak i pri temperaturama nižim od  $0^{\circ}\text{C}$  sadrži malo toplinske energije koja je korisna za dizalice topline. Zbog toga, te dizalice topline mogu grijati i pri temperaturama od  $-15^{\circ}\text{C}$ . problem nastaje ako temperatura padne ispod  $-15^{\circ}\text{C}$ , jer tada dizalica topline ne prima dovoljno toplinske energije iz zraka i nije u stanju zagrijati prostorije. Usprkos činjenici da dizalica topline zrak-voda može zagrijavati prostor i na temperaturama ispod  $0^{\circ}\text{C}$ , to ne znači da su u to vrijeme energetske učinkovite. Upravo suprotno. Na temperaturama ispod nule nisu znatno učinkovitije od uobičajenih zagrijača. Samim time nisu dobar izvor za hladnija okruženja i više nadmorske visine (Menergo, 2020).

### **3.2. Energija zemljine kore kao izvor energije za učinkovit rad dizalica topline**

Geotermalne dizalice topline koje koriste energiju zemljine kore (odabir izvora energije je tlo), izuzetno su učinkovite, jer je temperatura na odgovarajućoj dubini zemlje relativno konstantna tijekom cijele godine – između 10 i 13°C. Energija iz zemljine kore može se dobiti vodoravnim ili okomitim sustavom. Pri tome, geotermalna dizalica topline uvijek koristi zatvoren sustav nositelja energije odnosno prijenosnog medija koji je obično voda ili rasolina. Zatvoreni krug znači da medij koji prenosi toplinsku energiju zemlje, cirkulira u cijevima, odnosno u prijenosniku topline u zemlji i zatim natrag do dizalice topline na površini. Na svom putu u cijevima se zagrijava odnosno hladi na temperaturu tla, a zatim tu energiju prenosi na dizalicu topline (grijanje) ili prenosi od dizalice topline do tla (hlađenje). Proces grijanja ili hlađenja traje sve dok je zgradi potrebno grijanje ili hlađenje. Zbog učinkovitog grijanja/hlađenja transportnog medija, cijevi zemljanog kolektora moraju biti izrađene od materijala koji najbolje provodi toplinu (Menerga, 2020).

Cijevi se u zemlju mogu položiti na dva načina: (Menerga, 2020)

#### *1. Vodoravno ili horizontalno*

Vodoravno postavljanje zemljanog kolektora u načelu je najisplativija opcija za kuće i zgrade koje oko sebe imaju na raspolaganju veću površinu zemljišta. Prednost vodoravnog polaganja je u tome što za ugradnju nije potrebno duboko bušenje, jer su cijevi položene plitko, cca 1,2 – 1,6 metara ispod površine tla. Iako u tom pojasu zemlje nema konstantne temperature, oscilacije su još uvijek znatno manje nego temperaturne oscilacije vanjskog zraka.

Najčešći oblici polaganja su paralelni, gdje se petlje polažu jedna uz drugu na istoj dubini i dvoslojni, gdje su dvije cijevi položene na različitim dubinama jedna ispod druge. Cijevi su oblikovane u petlju na udaljenosti cca 0,7 m, jer se tako postiže dobra iskoristivost energije tla (Menerga, 2020).

#### *1. Vertikalno ili okomito*

Vertikalno polaganje toplinskog kolektora pogodno je za gušće naseljena područja ili za veće zgrade, koje bi za odgovarajući vodoravni položaj zahtijevale preveliku površinu i s time značajno utjecale na okoliš.

Vertikalni kolektori postavljeni su u bušotine koje mogu biti duboke od 30 do 150 metara, ponegdje i dublje. Kolektori topline umetnuti u bušotine nazivaju se geosonde. Geosonda je sastavljena iz dvije ili četiri cijevi u zajedničkom plaštu promjera između 10 i 16 cm. Pri dnu geosonde, dvije cijevi su povezane tako da tvore  $U$  petlju. Geosonda omogućuje rad geotermalne dizalice topline s relativno stabilnim temperaturnim uvjetima, što je važno za visoku energetska učinkovitost sustava i dugi vijek trajanja. Prostor između stjenke bušotine i svake geosonde ispunjen je s dobro provodljivim materijalom koji istovremeno fiksira geosondu i omogućuje bliski kontakt s okolnim tлом. Cirkuliranjem medija u petljama geosondi, dizalica topline učinkovito koristi toplinski potencijal zemlje (približno  $10^{\circ}\text{C}$ ). Ta se temperatura može povećati do  $65^{\circ}\text{C}$  komprimiranjem i ekspanzijom radne tvari u krugu dizalice topline (Menerga, 2020).

### **3.3. Toplinska energija u obliku izvora vode**

Potrošnja energije u kućanstvima najčešće se svodi na potrošnju električne i toplinske energije. Uštede energije u kućanstvima predstavljaju, tehnološki gledano, manje zahtjevne projekte. Također, motivacija krajnjeg korisnika je daleko jasnija, kreditiranje ovih projekta mnogo je jednostavnije, a benefiti jasniji. Analizom troškova toplinska energija predstavlja najveći dio troškova kućanstava kontinentalne Hrvatske (Horvat, 2012).

Dizalice topline voda-voda i voda-zrak, kao toplinski izvor energije upotrebljavaju vodu. Izvor vode može biti jezero, ribnjak, rijeka, potok, bunar ili bušotina koja se proteže do podzemnih voda. Podzemne vode su najčešći izvor kada govorimo o dizalicama topline koje iskorištavaju plitku geotermalnu energiju. Dizalice topline voda-voda, lako mogu koristiti vodu kao medij za zagrijavanje zgrada. Energiju, dobivenu iz izvora vode, podiže na viši temperaturni režim, te ju zatim preko distribucijskog sustava zgrade šalje do radijatora ili krugova podnog grijanja. Glavna prednost podzemne vode je njena konstantna temperatura, koja se kreće između  $7$  i  $12^{\circ}\text{C}$  čak i u hladnim zimskim danima.

Ova konstantnost temperature znači da dizalica topline može uspješno zagrijavati zgradu čak i u najhladnije dane. Dizalica topline zrak-voda nije uvijek sposobna za to ili troši ogromne količine energije za zagrijavanje na traženu temperaturu. Još jedna velika prednost korištenja vodenog izvora, posebice podzemne vode, pokazuje se ljeti odnosno vrućim danima, kada dizalica topline može pasivno hladiti zgradu. To je poznato i kao prirodno hlađenje. Hladna podzemna voda propušta se kroz rashladni sustav zgrade čime dolazi do hlađenja (Menerga, 2020).

Prilikom postavljanja dizalice topline voda-voda, valja obratiti pažnju na to koji izvor vode odabiremo. Površinski vodeni izvori mogu se smrznuti, što naravno sprječava rad dizalice topline. Također, izvor vode ne smije biti premalen, jer u suprotnome rad dizalice topline previše utječe na njegovu temperaturu i sustav postaje energetske neučinkovit. Stoga se za odabir prikladnog izvora vode uvijek savjetujte sa stručnjacima koji će postaviti dizalicu topline.

Zanimljivi su izvori voda tekućica, poput rijeka i potoka. Njihov odabir je rjeđi jer je izvor ograničen mjestom i zakonima. Mogu biti vrlo energetske učinkoviti, jer se voda neprestano mijenja, a vanjska temperatura i rad dizalice topline ne utječu previše na njezinu temperaturu. Osim toga, tekući izvor puno teže može zamrznuti zimi.



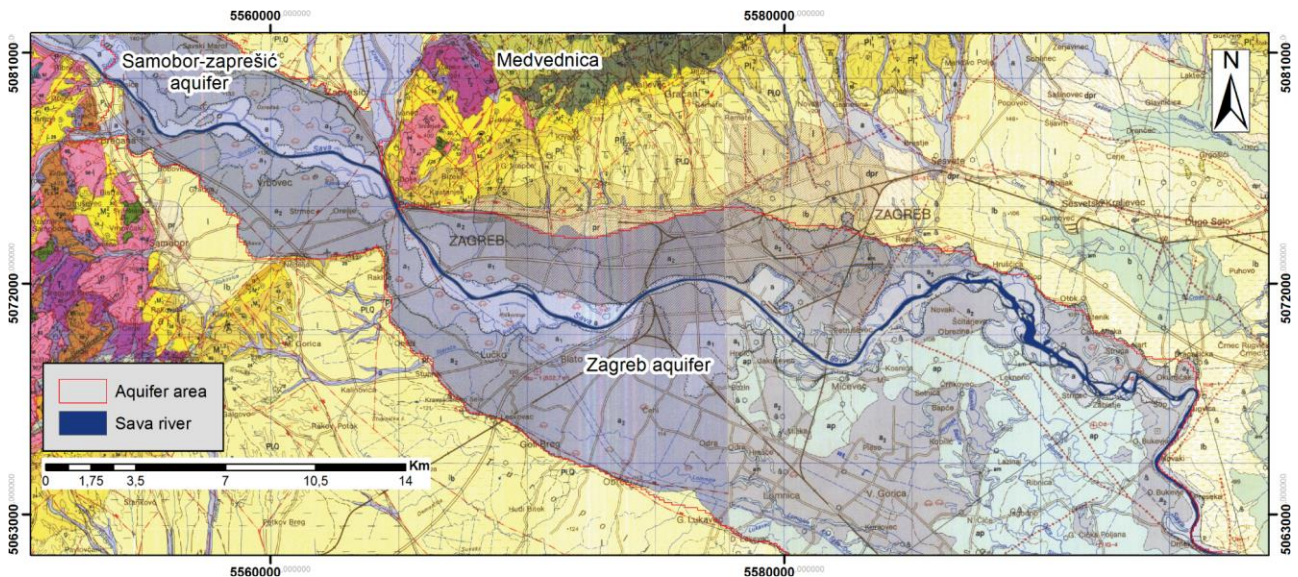
#### **4. PRIMJER UPOTREBE DIZALICA TOPLINE U OBITELJSKIM KUĆAMA KORIŠTENJEM OBNOVLJIVIH IZVORA ENERGIJE (PRIMJER ZAGREBA)**

Obnovljivi su izvori energije, u smislu Zakona o energiji (NN 177/04), oni koji su sačuvani u prirodi i obnavljaju se u cijelosti ili djelomično. To se posebno odnosi na energiju vodotoka, vjetra, neakumulirane sunčeve energije, biodizela, biomase, bioplina, geotermalnu energiju itd. (Zagorec i sur., 2008). Za uspješno planiranje i modeliranje učinkovite geotermalne energije putem sustava toplinskih pumpi, valja precizno procijeniti elementarne klimatske, geološke, hidrogeološke i termogeološke podatke. Na sljedećem primjeru analizirat će se upotreba dizalica topline u obiteljskim kućama na način da se koriste obnovljivi izvori energije na području grada Zagreba.

##### **4.1. Geološke i klimatske karakteristike šireg zagrebačkog gradskog područja**

Macenić i sur. (2018) navode kako se s geološkog aspekta, zagrebačko i samoborsko- područje zaprešićkog vodonosnika sastoji od srednjih i mlađih pleistocenskih i holocenskih sedimenata. Srednji pleistocen pretežno se sastoji od sivog pijeska i crvenog i žutosmeđog mulja i gline. Česte bočne promjene šljunka, pijeska, mulja i gline javljaju se kod mlađih pleistocena. Holocen je izgrađen od žuto-smeđih šljunka te pijesaka s prevladavajućim vapnenačkim oblucima. Tijekom srednjeg i kasnog pleistocena, to je područje bilo močvarno jezero dok su okolne planine (Medvednica i Vukomeričke Gorice) bile podvrgnute intenzivnom erozijom i denudacijom. S hidrogeološkog gledišta, zagrebački i samoborsko-zaprešićki vodonosnici su aluvijalni neograničeni vodonosnici s vodnim stolom u stalnom kontaktu sa Savom Rijeka. Njihovo horizontalno širenje određeno je kvartarom sedimenata koji definiraju područje vodonosnika kao što prikazano na Slici 7.

Slika 7. - Geološka karta šireg zagrebačkog područja



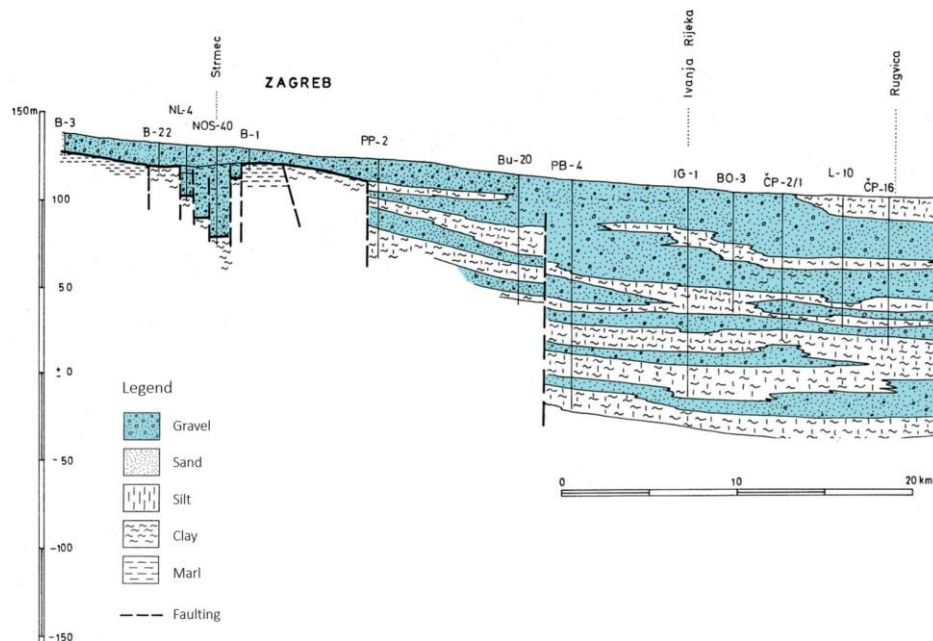
Izvor: Macenić, M. Kurevija, T., Kapuralić, J. (2018) Usporedba učinkovitosti dizalica topline korištenjem različitih obnovljivih izvora energije: Analiza obiteljske kuće na području grada Zagreba, Rudarsko-geološko-naftni zbornik, Vol. 33 No. 5, str. 1

Samoborsko-zaprešićki vodonosnik je dugačak oko 15 km, s prosječnom širinom od 5 km, dok je zagrebački vodonosnik udaljen oko 30 km duga, prosječne širine 10-15 km. Kvartarni sedimenti dijele se na tri glavne jedinice: (Macenić i sur., 2018:14)

1. pokrovne naslage sustava vodonosnika,
2. holocen plitki vodonosnik koji se pretežno sastoji od aluvijalnih naslaga te
3. dublji srednji i mlađi pleistocenski vodonosnik.

Razlikovanje plitkih i dubljih vodonosnika je stratigrafski s obzirom da su hidraulički povezani i tvore jedan vodonosnik s hidrogeološkog gledišta. Shema hidrogeološkog profila sa stratigrafskim stupcem zagrebačkog vodonosnika prikazana je na Slici 8.

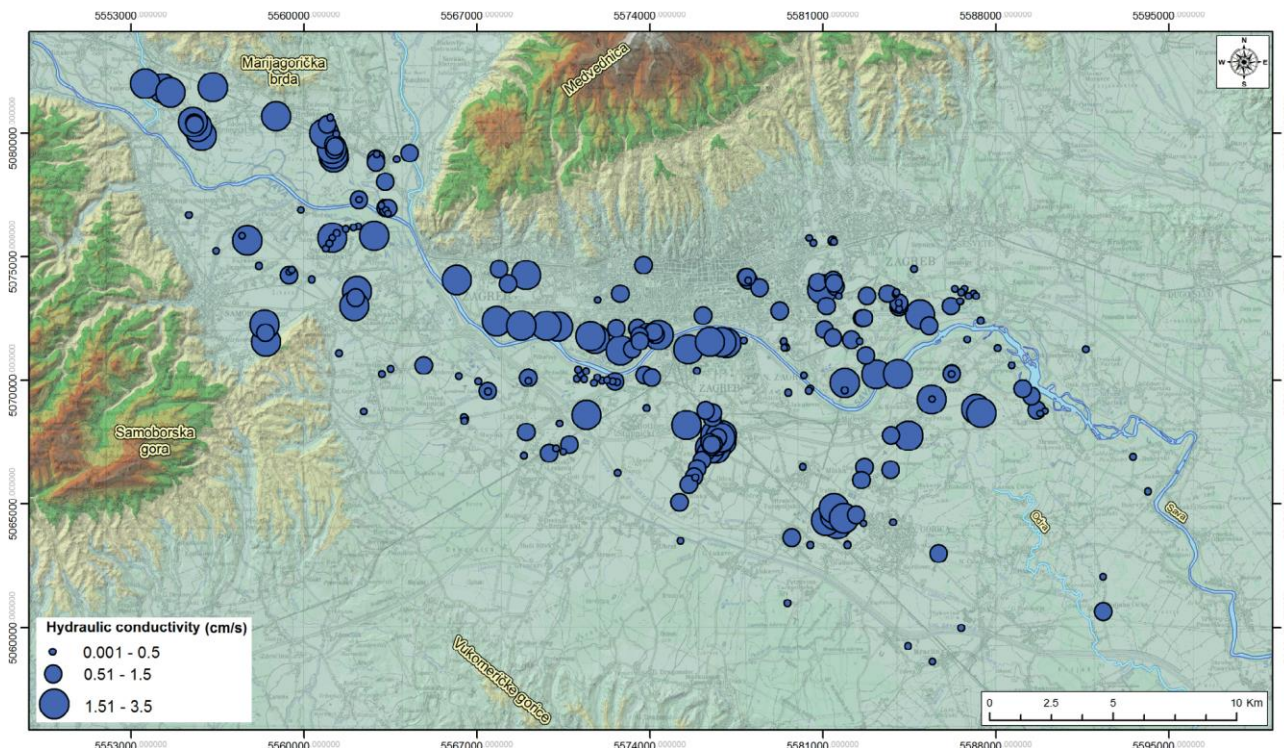
Slika 8. - Shematski hidrogeološki profil zagrebačkog vodonosnika



Izvor: Macenić, M. Kurevija, T., Kapuralić, J. (2018) Usporedba učinkovitosti dizalica topline korištenjem različitih obnovljivih izvora energije: Analiza obiteljske kuće na području grada Zagreba, Rudarsko-geološko-naftni zbornik, Vol. 33 No. 5, str. 15

Vrhunske naslage u ovom području su vrlo tanke i često nisu ni prisutne, dok je debljina kvartara kompleks vodonosnika (šljunak, pijesak, glineni slojevi), kreće se od cca. pet metara u dijelu koji se odnosi na zapad do cca. šezdeset metara u dijelu koji se odnosi na istočni dio samoborsko-zaprešićkog vodonosnika i oko 100 metara na istočnom dijelu zagrebačkog vodonosnika (područje Črnkovca). Općenito, hidraulička veza između Save i vodonosnika je vrlo jaka, Sava protječe zagrebačkim i samoborsko-zaprešićkim područjem, rijeka se usijeca u aluvijalni vodonosnik holocenske naslage koji tipično imaju visoke vrijednosti hidrauličke vodljivosti (Slika 9).

Slika 9. - Hidraulička vodljivost šireg zagrebačkog područja

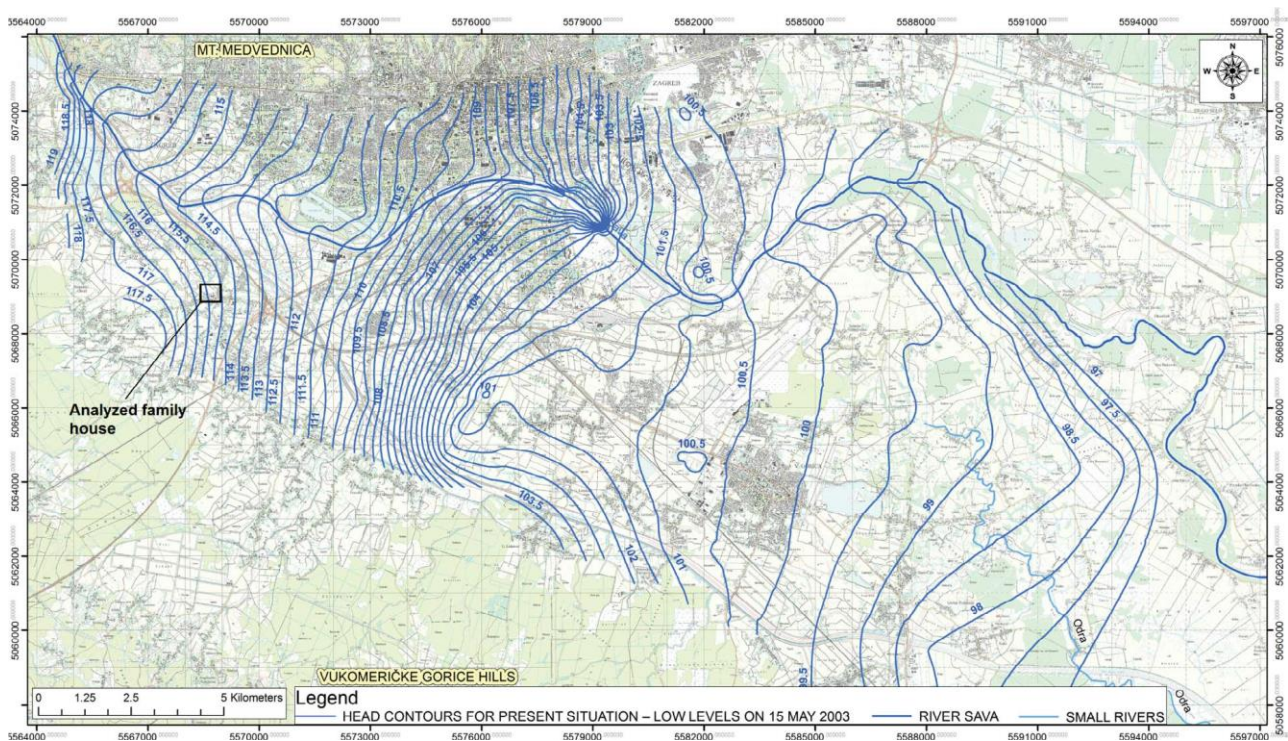


Izvor: Macenić, M. Kurevija, T., Kapuralić, J. (2018) Usporedba učinkovitosti dizalica topline korištenjem različitih obnovljivih izvora energije: Analiza obiteljske kuće na području grada Zagreba, Rudarsko-geološko-naftni zbornik, Vol. 33 No. 5, str. 16

Rijeka Sava općenito održava razinu podzemnih voda na cijelom području vodonosnika. Sušna razdoblja i nedostatak oborina u ljetnim mjesecima, prvenstveno u gornjim dijelovima sliva Save, rezultiraju dugim trajanjem niskog vodostaja Save. U takvim uvjetima, zbog drenaže vodonosnika, razina podzemne vode se smanjuje. Niska podzemna voda zbog hidrološke suše 2003. je prikazana na Slici 10.



Slika 10. - Konture glave za zagrebački vodonosnik u razdoblju niske razine i lokacija analizirane građevine



Izvor: Macenić, M. Kurevija, T., Kapuralić, J. (2018) Usporedba učinkovitosti dizalica topline korištenjem različitih obnovljivih izvora energije: Analiza obiteljske kuće na području grada Zagreba, Rudarsko-geološko-naftni zbornik, Vol. 33 No. 5, str. 16

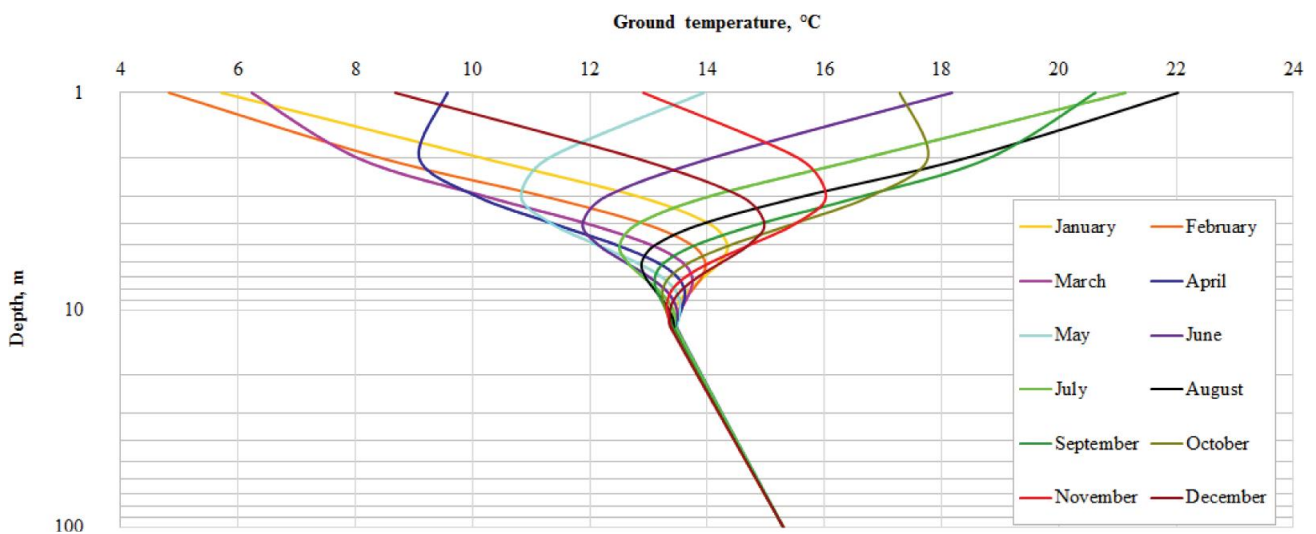
Prosječna vrijednost geotermalnog gradijenta u Panonskom bazenu iznosi  $0,049\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{m}$ . Ova vrijednost je veća od svjetskog prosjeka od  $0,03\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{m}$ . Ako se uzme u obzir prosječna vrijednost za Panonski bazen, može se zaključiti kako postoji pozitivna geotermalna anomalija u području Zagreba s više od  $0,06\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{m}$ , što je vjerojatno uzrokovano pojavama konvekcije.

Podloga na ovom području je tanka što sugerira da su strukture dopuštale toploj tekućini da se diže iz dubine preko propusne formacije ili rasjednih sustava. Kada je geotermalni gradijent povišen u određenom području, to bi moglo pozitivno utjecati na dimenzioniranje izmjenjivača topline bušotine, napominju (Macenić i sur., 2018).

U dosadašnjim istraživanjima (Kurevija i sur., 2014.) pokazalo se kako bi takav geotermalni gradijent mogao smanjiti a ukupnu duljinu izmjenjivača topline bušotine za 5%, u usporedbi na izračun koji zanemaruje geotermalni gradijent i radi samo s neometanom površinom temperatura tla. U Zagrebu je tlo nekonsolidirana mješavina gline i šljunak/pijesak, te toplinska vodljivost i difuzivnost promjene za male dubine ovise uglavnom o mjesečnim količinama oborina i vlage sadržane u tlu, kao i debljina vodonosnika. Uzimanje obračunske vrijednosti difuzivnosti topline za Zagreb od 0,045 m<sup>2</sup>/dan, izračunata toplinska vodljivost tla na dubini od 2-5 m iznosi 1,44 W/m°C (Kurevija, 2010).

Slika 11. prikazuje sezonske oscilacije od izračunate prosječne mjesečne temperature tla za dubine od 1 m do 12 m.

Slika 11. - Izračunate mjesečne temperature tla za Zagreb, potrebne za modeliranje GSHP sustava

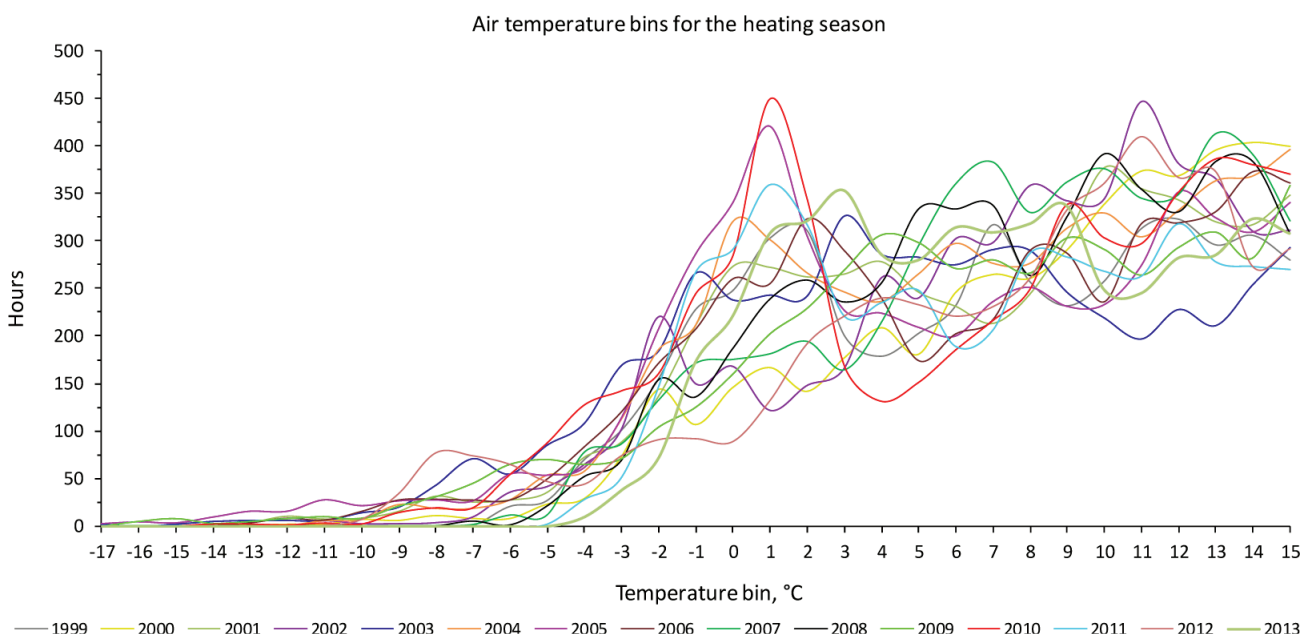


Izvor: Kurevija, T. (2010): Energetsko Vrednovanje Plitkih Geotermalnih Potencijala Republike Hrvatske (Energetic evaluation of the shallow geothermal potential in the Republic of Croatia), PhD thesis, Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering, University of Zagreb, Croatia

Gajić-Čapka, Zaninović (2008) navode kako Zagreb ima blagu morsku zapadnu obalu bez sušnog razdoblja i s toplim ljetima. Obilne oborine javljaju se tijekom blagih zima, koje su dominantne ciklonama srednje širine. Sezonalnost je umjerena sa prosječnom temperaturom u godini dana od 11,3 °C i prosjekom mjesečne temperaturne amplitude od 21°C. U zimi temperature po dnevnom doseg su 4,2°C u prosjeku, preko noći pada na -0,7°C. U proljetno vrijeme, temperature se penju do 16,1°C, općenito poslijepodne s najnižim noćnim temperaturama od 7,8°C. Tijekom ljeti, prosječne visoke temperature su 25,1°C a prosječne niske temperature su 15,9°C. u jesen, temperature se smanjuju postižući prosječne najviše od 15,3°C tijekom dana i najniže 8,4°C.

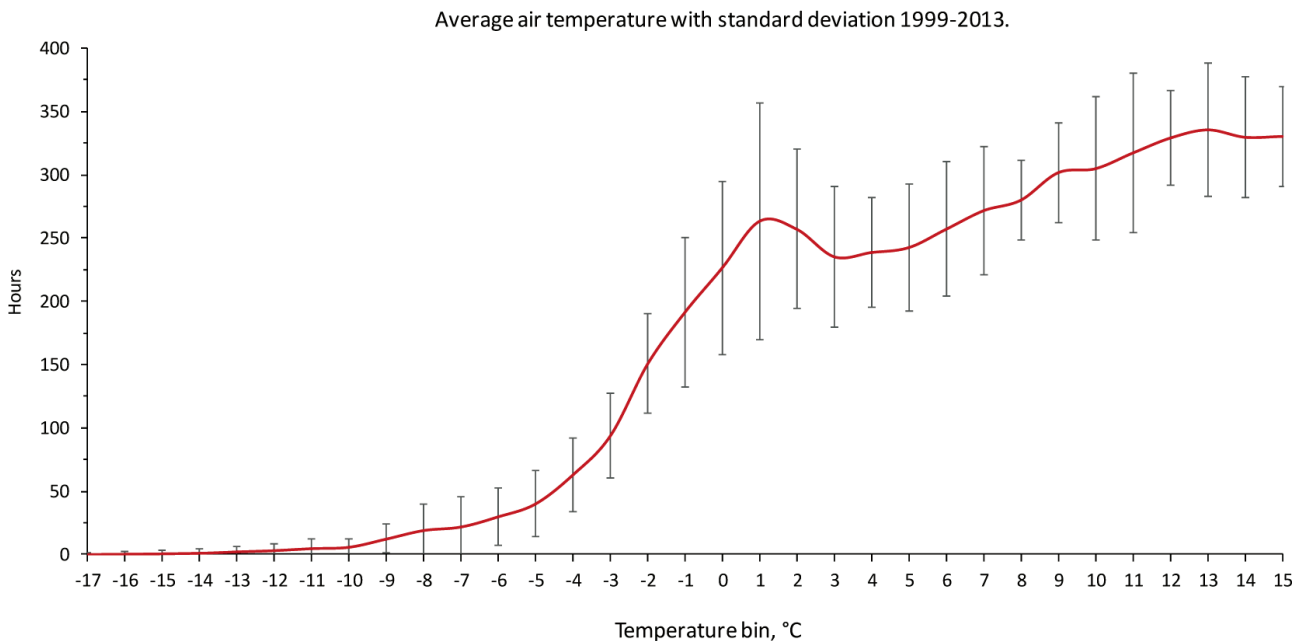
Slika 12. prikazuje prosječnu godišnju temperaturu po satu distribucija frekvencija, koja je potrebna za izračun sezonskih energetske učinkovitost toplinskih pumpi na zrak kako bi se izračunale mjesečne energetske potrebe za grijanje, s standardne devijacije u odnosu na prosječnu satnu temperaturu zraka prikazano na Slici 13.

Slika 12. - Godišnji frekventni raspored prosječne satne temperature zraka u Zagrebu za razdoblje 1999.-2013. potrebno za modeliranje ASHP (dizalica topline zrak putem zraka) sustava



Izvor: Macenić, M. Kurevija, T., Kapuralić, J. (2018) Usporedba učinkovitosti dizalica topline korištenjem različitih obnovljivih izvora energije: Analiza obiteljske kuće na području grada Zagreba, Rudarsko-geološko-naftni zbornik, Vol. 33 No. 5, str. 18

Slika 13. – Potrebna prosječna satna temperatura zraka sa standardnom devijacijom u Zagrebu za razdoblje 1999.-2013. za modeliranje ASHP (dizalica topline zrak putem zraka) sustava



Izvor: Macenić, M. Kurevija, T., Kapuralić, J. (2018) Usporedba učinkovitosti dizalica topline korištenjem različitih obnovljivih izvora energije: Analiza obiteljske kuće na području grada Zagreba, Rudarsko-geološko-naftni zbornik, Vol. 33 No. 5, str. 18

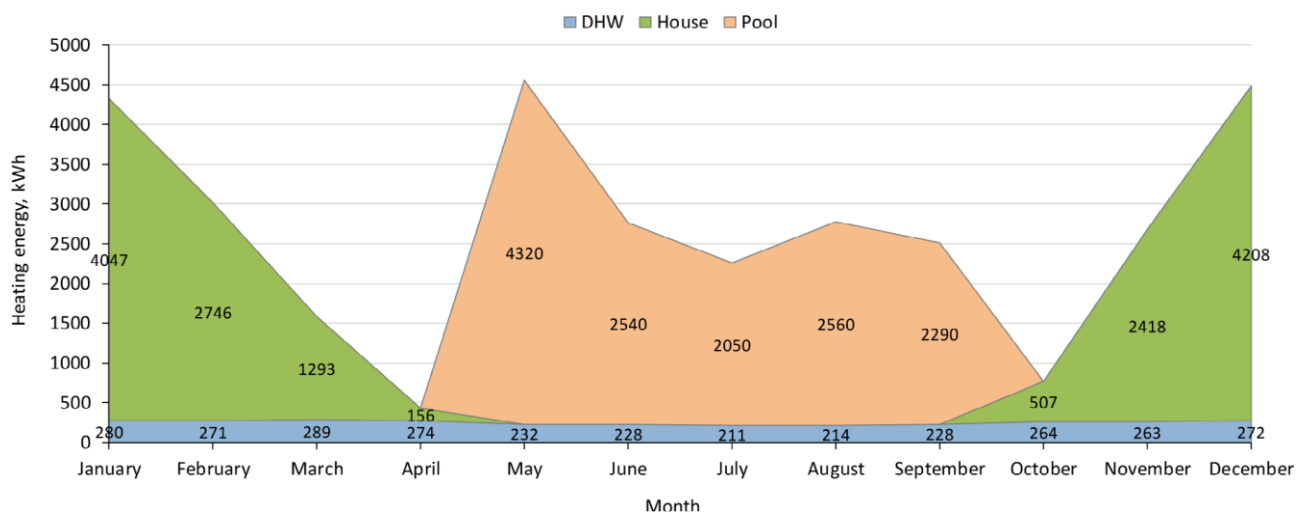
#### 4.2. Analiza učinkovitosti dizalica topline korištenjem zraka, topline tla i podzemnih voda

Kao primjer analizirat će se nova stambena obiteljska kuća u Zagrebu, ukupne neto površine 240 m<sup>2</sup>, kompletno grijana i hladena obnovljivim resursima. Zgrada se nalazi u naselju Rakitje, u krajnjem zapadnom dijelu vodonosnika. Zgrada je bila konačno opremljena 2015. geotermalnom toplinskom pumpom s plitkim energetske resursom, u obliku tri izmjenjivača topline za bušotine. Zgrada ima neto grijani volumen od 872 m<sup>3</sup> i vanjski zidovi imaju površinu od 861 m<sup>2</sup>. Koeficijent prijenosnih gubitaka za zgradu je 369,6 W/°C, dok su toplinski gubici ventilacije 125,9 W/°C, što čini koeficijent ukupnih toplinskih gubitaka od 495,5 W/°C. (Macenić i sur., 2018).

Na Slici 14. potreban kapacitet grijanja zgrade prikazan je tijekom cijele godine, za različite namjene.



Slika 14. - Kapacitet grijanja zgrade i namjena tijekom godine

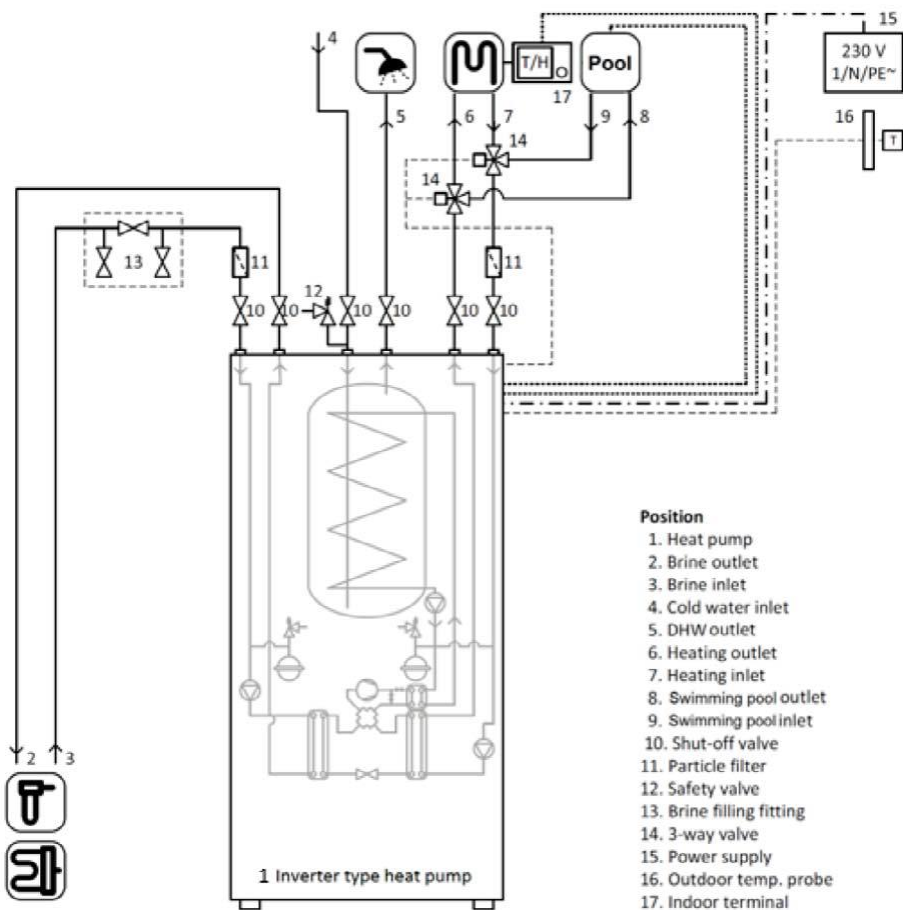


Izvor: Macenić, M. Kurevija, T., Kapuralić, J. (2018) Usporedba učinkovitosti dizalica topline korištenjem različitih obnovljivih izvora energije: Analiza obiteljske kuće na području grada Zagreba, Rudarsko-geološko-naftni zbornik, Vol. 33 No. 5, str. 19

Budući da su zgrade na širem području Zagreba obično veličine za vršno grijanje na vanjskoj minimalnoj temperaturi od  $-15^{\circ}\text{C}$ , i s maksimalnom unutarnjom temperaturom od  $23^{\circ}\text{C}$ , sustav grijanja mora imati kapacitet od 19,8 kW za pokrivanje vršnih opterećenja. Uz kuću, sustav toplinske pumpe također treba pripremiti kućnu toplinu vode i vanjski bazen dimenzija od  $10 \times 4,5 \times 1,2$  m. Radna sezona bazena je 15. svibnja do 15. rujna. Ovo zahtijeva cjelogodišnji koncept grijanja, za razliku od uobičajenih usporedbi između različitih toplinskih pumpi obnovljive energije izvora koji se često provode za grijanje tijekom zima. U ovom konceptu, ASHP (dizalica topline zrak) sustav ima bolji COP (koeficijent učinka za kompresor) tijekom ljetnih mjeseci za grijanje kupališta bazen nego geotermalni izvor. Temperatura voda u bazenu bila je postavljena na  $26^{\circ}\text{C}$  tijekom sezona. Grijanje zgrade i rashladna opterećenja izračunata su prema HRN EN ISO 13790.

Slika 15. prikazuje izvedbeni projekt – inverterska geotermalna toplinska pumpa. Cijela obiteljska kuća tretira se kao jedna zona grijanja, s ugradnjom spremnika kao kompaktni koncept unutar toplinske pumpe, te dodatni krug grijanja za bazen, tj. odvojen pločastim izmjenjivačem topline i trosmjernim ventilom. Instalirana dizalica topline bila je inverterskog tipa, što znači da ima promjenjivi kompresor brzine. Prednost inverterske toplinske pumpe je u tome što ona značajno povećava faktor sezonskog učinka tijekom cijele godine, jer se dizalica topline može prilagoditi varijacijama potražnje, naglašavaju Macenić i sur. (2018).

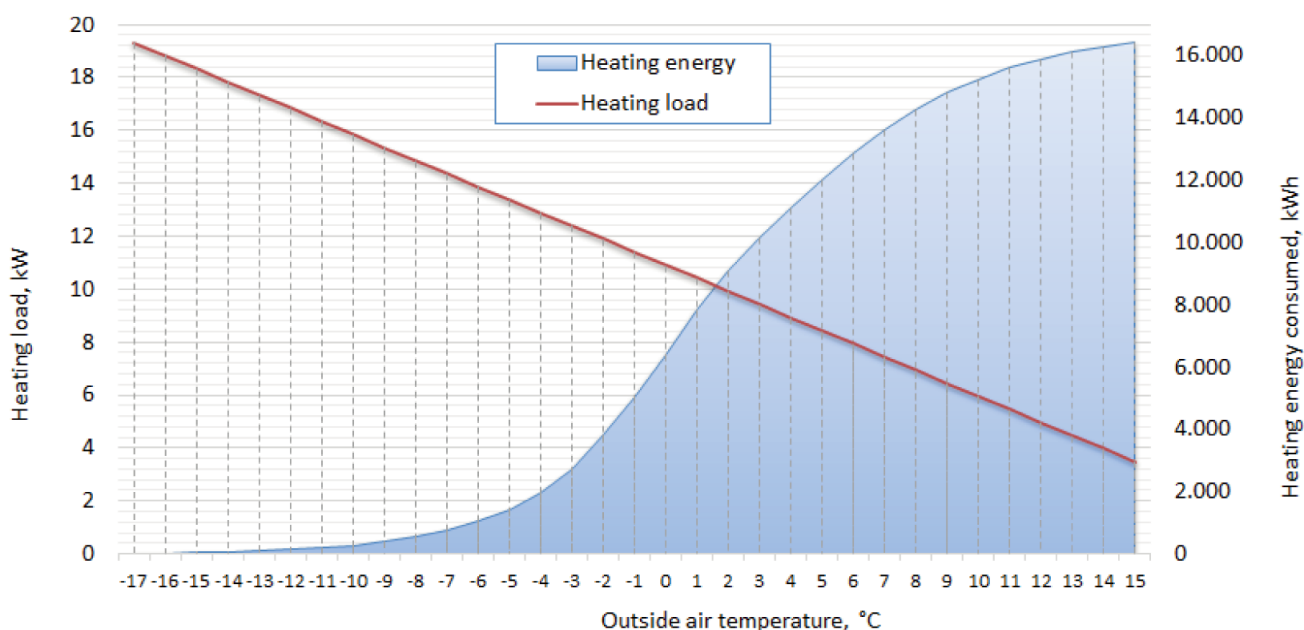
Slika 15. - Izvedbeni projekt – inverterska geotermalna toplinska pumpa



Izvor: Macenić, M. Kurevija, T., Kapuralić, J. (2018) Usporedba učinkovitosti dizalica topline korištenjem različitih obnovljivih izvora energije: Analiza obiteljske kuće na području grada Zagreba, Rudarsko-geološko-naftni zbornik, Vol. 33 No. 5, str. 20

Izlazna temperatura toplinske pumpe može biti nešto niža u usporedbi s tradicionalnim dizajnom s kompresorom fiksne brzine. Također, to implicira odsutnost klasičnog tampon spremnika u strojarskoj izvedbi, koji snižava početni kapitalni trošak sustava (bez međuspremnik + dodatni shunt grupe cirkulacijske crpke i ventila za miješanje). Dizajn bez međuspremnik daje bolju učinkovitost sustava - jer takva implementacija znači gubitak energije tijekom cijele godine, budući da je njegova temperatura viša tijekom zimi i niže ljeti. Za podatke o lokaciji klime u Zagrebu i građevinske podatke, moguće je konstruirati funkcije grijanja kapaciteta i energije grijanja u odnosu na vanjsku temperaturu, kao što je vidljivo na Slici 16.

Slika 16. – Korelacija projektnog opterećenja grijanja i energije grijanja prema vanjskoj temperaturi spremnika



Izvor: Izvor: Macenić, M. Kurevija, T., Kapuralić, J. (2018) Usporedba učinkovitosti dizalica topline korištenjem različitih obnovljivih izvora energije: Analiza obiteljske kuće na području grada Zagreba, Rudarsko-geološko-naftni zbornik, Vol. 33 No. 5, str. 20

Ovaj pristup je posebno važan kada se razmatra hibridni sustav toplinske pumpe gdje toplinska pumpa pokriva samo osnovno grijanje opterećenja i zamjenski izvor energije mora pokrivati vršna opterećenja. To je obično slučaj u hladnijim klimama prilikom implementacije ASHP (dizalica topline zrak) sustava, budući da kapacitet toplinske pumpe izvora zraka opada značajno naglo s nižim vanjskim temperaturama, osobito ispod 0°C. Za nadoknadu gubitka kapaciteta topline crpke, potrebno je ugraditi električni grijaći element u sustav, što ga čini monoenergetskim tipom sustava budući da je potreban isti izvor energije, napominju Macenić i sur. (2018).

Može se zaključiti kako isplativost ASHP (dizalica topline zrak) sustava izravno ovisi o količini električne energije koju koristi zamjenski grijaći element, jer ta količina snažno utječe na sezonski koeficijent uspješnosti sustava.

Kod analize faktora sezonskog učinka za različite sustave toplinskih pumpi u umjerenj klimi Zagreba obično se percipira da toplinske pumpe s izvorom zraka nisu učinkovito primjenjive u klimama s hladnim zimama, u kontekstu usporedbe dizalica topline zemlja-izvor odnosno vrste podzemnih voda. Budući da se često ugrađuju toplinske pumpe u stambenim zgradama više klase, to obično zahtijeva cjelogodišnje energetske potrebe, uglavnom zbog sekundarnog grijanja vanjskih ili unutarnjih bazena. U takvim slučajevima, sustavi podzemnih voda gube velik dio tehn-ekonomskih prednosti u usporedbi s toplinskim pumpama na zrak zbog više povoljnih uvjeta u ljetnom grijanju na zrak. Analiza je pokazala da je ukupni sezonski koeficijent uspješnosti vrlo sličan za sve sustave, neovisno o distribuciji korištene temperature (podno grijanje, ventilokonvektori, radijatori). Ovaj fenomen bi se mogao objasniti činjenicom da pothlađeno tlo se polako obnavlja nakon zimskog razdoblja, za razliku od temperature zraka koje su više tijekom ostatka godine. Stoga tehn-ekonomska pogodnost sustava toplinske pumpe za implementaciju, izravno ovisi o količini energije grijanja koja se koristi se tijekom proljetno-ljetne sezone. U klasičnom konceptu gdje nema potrošnje grijanja tijekom proljetno-ljetnih mjeseci, ekonomska pogodnost ASHP (dizalica topline zrak) sustava značajno se smanjuje u usporedbi projektiranja podzemnih izvora i podzemnih voda, budući da u prosjeku radi s puno nižim temperaturama tijekom godine. Planiranje učinkovitog sustava dizalice topline zahtijeva razumijevanje ne samo projektiranja strojarstva povezano s klimatskim podacima, ali niz geoloških, termogeoloških te hidrogeoloških podataka za određenu lokaciju, zaključuju Macenić i sur. (2018).

### **4.3. Primjer korištenja dizalica topline u stambenim zgradama**

U jednoj stambenoj zgradi u gradu Zagrebu stanari su došli do zaljučka kako se troši previše tople vode, ponajviše zbog toga jer se u prizemlju zgrade nalazio lokalni caffè bar. Vlasnici stanova tražili su ekološki prihvatljiv sustav grijanja koji bi bio isplativ, a da pri tome režije ostanu nepromijenjene ili da se ne poveća najamnina stanova. Cijena plina, visoki stropovi i loša izolacija povećavali su račune za energiju u odnosu na prethodnu godinu – osobito za vrijeme zadnje vrlo hladne zime s temperaturama znatno ispod minus. Vlasnici su dogovorili rješenje za plinsku hibridnu dizalicu topline koja bi se instalirala u dvije faze. U 1. godini vlasnici su dodali NIBE F2025-14 kW dizalicu topline zrak-voda, bojler VPA300/200 i NIBE SMO 10 osnovni regulator na njihov sustav grijanja.

Nakon dvije godine vlasnici su bili toliko zadovoljni postignutim uštedama da su dodali još jednu dizalicu topline NIBE F2300 20 kW zrak-voda. Rezultati su pokazali kako je u prvoj godini potrošnja energije smanjena je za 35%. Nakon što je instalirana druga instalacija, potrošnja energije smanjena je za 65%. Kompletan sustav zagrijava zgradu, opskrbljujući vodu na konstantnoj temperaturi od 65°C. Stanarima se posebno svidjela niska buka toplinskih pumpi i značajno smanjenje utjecaja na okoliš koji je sustav napravio. Ovaj slučaj pokazuje da iako toplinska pumpa pokriva samo mali dio potražnje za električnom energijom u zgradama u najhladnijem danu, tj. uštede energije tijekom godine bit će značajne.

## 5. ZAKLJUČAK

Dizalice topline još se nazivaju i toplinske pumpe i njihova glavna značajka je da upotrebljavaju geotermalnu energiju iz zemlje, podzemnih voda ili zraka. Putem sustava grijanja dovode toplinu u domove ljudi. Za toplinske pumpe je karakteristično to što ne emitiraju plinove štetnog svojstva nego se ističu po svojoj efikasnosti na nižim vanjskim temperaturama. Ono što posebno izdvaja dizalice topline je da se sistem može vrlo lagano primijeniti na instalacije koje su već napravljene. Njihova posebnost se još očituje u tome da se za vrijeme ljeta upotrebljavaju za hlađenje stambenih jedinica. Sam sustava rada dizalice topline temelji se na principu procesa gdje vanjska jedinica dizalice topline koristi toplinu iz vanjskog zraka i tu temperaturu podiže do one temperature koja je potrebna za grijanje prostora ili za grijanje potrošne tople vode. Nakon što temperature dosegne određenu razinu koja je zadovoljavajuće onda se ona prenosi u daljnjem procesu te se takav ciklus ponavlja dok god temperatura ne bude zadovoljavajuća u stambenoj jedinici ili kod potrošnje tople vode. Valja naglasiti kako dizalica topline upotrebljava energiju koja je u okolišu – karakteristike takve energije je neiscrpnost, odnosno radi se o energiji je u svakom trenutku dostupna.

Dizalice topline koriste energiju iz tla, vode i zraka – tlo je odličan izvor topline jer njegova temperatura ne varira previše nego je između  $8^{\circ}\text{C}$  i  $12^{\circ}\text{C}$ . To se posebno odnosi na zimski period jer je tlo zimi toplije od vanjskog zraka. Kada se koristi voda kao glavni izvor topline onda se rade dvije bušotine koje imaju razmakod minimalno 15 metara. Jedna bušotina je namijenjena za crpljenje vode čija temperatura je oko  $10^{\circ}\text{C}$ , dok druga cijev ima namjenu da se voda odvede natrag do izvora. Za zrak je karakteristično da se on kao izvor toplinske energije u većini slučajeva koristi da bi se zagrijale stambene jedinice. Toplinske pumpe su zapravo najučinkovitija alternativa sustavima za gorivo, ulje i električnu energiju, kada je u pitanju proces grijanja i hlađenja. Oni opskrbljuju veći kapacitet grijanja i hlađenja od količine električne energije koja se koristi za njihovo pokretanje. Zapravo, stopa učinkovitosti može se popeti i do 300%. Toplinske pumpe su puno sigurnije od sustava koji se temelje na izgaranju - jeftiniji su za rad od kotlova na naftu i plin. Sustav smanjuje emisije ugljika i ima učinkovitu stopu pretvorbe energije u toplinu te može osigurati hlađenje tijekom ljeta, što ga učinkovito čini klima uređajem. Dizalice topline imaju vrlo dug životni vijek do 50 godina, a kao rezultat toga, iznimno su pouzdan i stalan izvor topline.

Najveća prednost upotrebe dizalica topline odnosi se na korištenje prirodnih, neiscrpnih izvora energije te neovisnost o energentima. Također, nema štetnih emisija i do 75 posto energije dolazi iz okoliša, samo 25 posto treba dodati u obliku električne struje. Radi se o tehnologiji visokih vrijednosti, niskih troškova održavanja s dugim vijekom trajanja. Od nedostataka valja spomenuti veća početna ulaganja te je potreban niskotemperaturni režim grijanja, što zahtijeva preinake u slučaju prelaska s visokotemperaturnog režima.

Iz navedenog primjera upotrebe dizalica topline u obiteljskim kućama korištenjem obnovljivih izvora energije može se zaključiti kako isplativost ASHP (dizalica topline zrak) sustava izravno ovisi o količini električne energije koju koristi zamjenski grijaći element, jer ta količina snažno utječe na sezonski koeficijent uspješnosti sustava. Planiranje efikasnog sustava dizalice topline traži shvaćanje ne samo projektiranje strojarstva povezano s klimatskim podacima nego i niz geoloških, termogeoloških te hidrogeoloških podataka za određenu lokaciju.

## POPIS LITERATURE

Aste, N. (2013) Cost optimal analysis of heat pump technology adoption in residential reference buildings, *Renewable Energy* Volume 60, 615-624

Bupić, M., Čustović, S., (2006) Stanje i trendovi uporabe dizalica topline, *Naše more: znanstveni časopis za more i pomorstvo*, Vol. 53 No. 5-6, 213-219

Chua, K. J. (2010) Advances in heat pump systems, *Applied Energy* Volume 87, Issue 12, 3611-3624

Desmedt, J., Van Bael, J. (2010) Istraživanje učinkovitosti dizalice topline s bušotinskim izmjenjivačem topline, *Strojarstvo: časopis za teoriju i praksu u strojarstvu*, Vol. 52 No. 4., 405-409

Deetjen, T.A., Walsh, L., Vaishnav, P. (2021) US residential heat pumps: the private economic potential and its emissions, health, and grid impacts, *Environmental Research Letters*, Volume 16, Number 8

Kurevija T., Vulin, D., Macenić, M. (2014) Utjecaj geotermalnog gradijenta na modeliranje toplinske pumpe iz tla, *Rudarsko - geološko-naftni zbornik*, 28, 39-45

Kurevija, T. (2010): Energetsko Vrednovanje Plitkih Geotermalnih Potencijala Republike Hrvatske (Energetic evaluation of the shallow geothermal potential in the Republic of Croatia), PhD thesis, Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering, University of Zagreb, Croatia

Gabrielli, L., Bottarelli, M. (2011) Economic Performance of Ground Source Heat Pump: Does It Pay Off?, Conference: World Renewable Energy Congress – Sweden, 8–13 May, 2011, Linköping, Sweden

Gajić-Čapka, M., Zaninović, K. (2008) Climate of Croatia. In: Zaninović, K. (ed.): Climate atlas of Croatia. Meteorological and Hydrological Service of Croatia, Zagreb, 13-17.

Herega, V., Amadori, M. (2017) Energetska učinkovitost zgrada, *Environmental Engineering - Inženjerstvo okoliša*, Vol. 4 No. 2110-116



Horvat, M. (2012) Energetske potrebe i mogućnosti, Zbornik radova Međimurskog veleučilišta u Čakovcu, Vol. 3, No. 2 43-48

Horvat, M. (2014) Kompresijske dizalice topline zrak-voda, Zbornik radova Međimurskog veleučilišta u Čakovcu, Vol. 5 No. 2, 25-32

Huys, J.P.G., Mulder, W.P. (1981) Economic aspects of heat pumps in glasshouse horticulture. Acta Hortic. 115, 511-516

Ingrams, S. (2021) Air source heat pumps explained, dostupno na: <https://www.which.co.uk/reviews/ground-and-air-source-heat-pumps/article/air-source-heat-pumps-explained-al5MC4f773Zq> (10.01.2022.)

Jandrić, D., Vrkljan, M. (2004) Klasični izvori energije - anakronizam suvremenog doba, Pravnik: časopis za pravna i društvena pitanja, Vol. 38 No. 79 85-97

Macenić, M. Kurevija, T., Kapuralić, J. (2018) Usporedba učinkovitosti dizalica topline korištenjem različitih obnovljivih izvora energije: Analiza obiteljske kuće na području grada Zagreba, Rudarsko-geološko-naftni zbornik, Vol. 33 No. 5, 13-24

Mader, G. (2015) Economic analysis of air-water heat pump technologies with a screening method, Division of Applied Thermodynamics and Refrigeration Department of Energy Technology Royal Institute of Technology, Doctoral Thesis

Martinović, D., Čemalović, M., Karišik, J. (2012) Izazovi primjene obnovljivih izvora energije, Tranzicija, Vol. 14 No. 30, 15-27

Matijašić, D. (2015) Dizalice topline – osnovni pojmovi, odabir i primjena, Stručni priručnik dostupan na [Mariterm.hr](http://Mariterm.hr)

Menerga - Odabir izvora energije za dizalicu topline (2020) – dostupno na: <https://www.menerga.hr/blog/2020/12/22/odabir-izvora-energije-za-dizalicu-topline> (20.12.2021.)

Moia, P. Alomar Barcelo, M., Pujol, Nadal, P. (2012) Solarni sustavi i dizalice topline. Analiza različitih kombinacija u Mediteranskim područjima, *Strojarstvo: časopis za teoriju i praksu u strojarstvu*, Vol. 54 No. 6, 449-454

Pavković, M., Delač, B., Mrakovčić, T. (2012) Modificirani sustav dizalica topline s vodenim krugom za bolnicu sa složenim termotehničkim sustavima, *Tehnički vjesnik*, Vol. 19 No. 3, 621-631

Read, K. (2021) Why the economic argument for heat pumps is flawed, *Construction Manager*, dostupno na: <https://constructionmanagermagazine.com/why-the-economic-argument-for-heat-pumps-is-flawed> (12.12.2021.)

Renewableenergyhub (2020) – dostupno na: <https://www.renewableenergyhub.co.uk/main/heat-pumps-information/the-different-types-of-heat-pumps> (12.12.2021.)

Udovichenko, A., Zhong, L. (2019) Application of air-source heat pump (ASHP) technology for residential buildings in Canada, *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering* 609

Zagorec, M., Josipović, D., Majer, J. (2008) Mjere uštede toplinske energije u zgradama, *Građevinar*, Vol. 60 No. 05. 411-420

Vasilyev, G.P., VGornov, V.F., Kolesova, M., Brodach, M.M., Polishchuk, V.P., Piskunov, A.A., Leskov, V.A. (2014) Ground Moisture Condensation around the GSHP Borehole, *Applied Mechanics and Materials* (Volume 664), 236-242

## POPIS SLIKA I TABLICA

Slika 1. - Pojednostavljeni funkcionalni dijagram toplinske pumpe

Slika 2. - Toplinske pumpe s izvorom zraka

Slika 3. - Sezonski troškovi i emisije stakleničkih plinova za hibridne sustave i sustave samo za peći u Edmontonu

Slika 4. - Sezonski troškovi i emisije stakleničkih plinova za hibridne sustave i sustave samo za peć A u svakom gradu

Slika 5. Shematski prikaz geotermalnog sustava sa dizalicom topline

Slika 6. - Princip rada dizalice topline zrak-voda

Slika 7. - Geološka karta šireg zagrebačkog područja

Slika 8. - Shematski hidrogeološki profil zagrebačkog vodonosnika

Slika 9. - Hidraulička vodljivost šireg zagrebačkog područja

Slika 10. - Konture glave za zagrebački vodonosnik u razdoblju niske razine i lokacija analizirane građevine

Slika 11. - Izračunate mjesečne temperature tla za Zagreb, potrebne za modeliranje GSHP sustava

Slika 12. - Godišnji frekventni raspored prosječne satne temperature zraka u Zagrebu za razdoblje 1999.-2013. potrebno za modeliranje ASHP sustava

Slika 13. – Potrebna prosječna satna temperatura zraka sa standardnom devijacijom u Zagrebu za razdoblje 1999.-2013. za modeliranje ASHP sustava

Slika 14. - Kapacitet grijanja zgrade i namjena tijekom godine

Slika 15. - Izvedbeni projekt – inverterska geotermalna toplinska pumpa

Slika 16. – Korelacija projektnog opterećenja grijanja i energije grijanja prema vanjskoj temperaturi spremnika

Tablica 1. – Povijesni razvoj dizalica topline