



# Dizalice topline

Autor:

**prof. dr. sc. Vladimir Soldo**



[www.esf.hr](http://www.esf.hr)



Projekt je sufinancirala Europska unija iz Europskog socijalnog fonda.



## Sadržaj

<b>1. Uvod</b>	<b>4</b>
1.1. Uloga dizalica toplina u energetskej tranziciji	5
<b>2. Procesi s dizalicama topline</b>	<b>6</b>
2.1 Princip rada dizalice topline	6
2.1. Učinkovitost dizalice topline	8
2.2. Načini rada dizalice topline	11
<b>3. Radne tvari</b>	<b>13</b>
3.1. Sintetičke radne tvari	15
3.2. Prirodne radne tvari	16
3.2.1. Amonijak (R717)	16
3.2.2. Ugljikov dioksid (R744)	17
3.2.3. Ugljikovodici (HC)	18
3.3. Utjecaj radnih tvari na okoliš	19
3.4. Radne tvari i njihove ekološki prihvatljive zamjene	21
<b>4. Komponente dizalica topline</b>	<b>22</b>
4.1. Kompresori	22
4.2. Kondenzatori	26
4.3. Prigušni ventili	28
4.4. Isparivači	32
<b>5. Dizalice topline zrak-voda i zrak-zrak</b>	<b>35</b>
5.1 Dizalice topline zrak-voda	35
5.1.1. Izvedbe dizalice topline zrak-voda	37
5.1.2. Primjer iz prakse: obiteljska kuća u Samoboru	42
5.2. Dizalice topline zrak-zrak	42
<b>6. Dizalice topline voda-voda</b>	<b>44</b>
<b>7. Dizalice topline tlo-voda</b>	<b>47</b>
7.1. Horizontalna izvedba izmjenjivača	47
7.2. Vertikalna izvedba izmjenjivača	48





8. Sustav distribucije toplinske i rashladne energije.....	53
9. Učinkovit rad i održavanje dizalica topline .....	58
10. Zadatak za provjeru usvojenosti znanja .....	60
Literatura.....	61
Kazalo slika.....	62
Kazalo tablica .....	64
Popis ključnih pojmova.....	65
Impressum.....	66



# 1. Uvod

Porastom životnog standarda i napretkom tehnologije ljudi očekuju sve veću kvalitetu života. Važan parametar koji podiže kvalitetu života jest toplinska ugodnost, stanje svijesti koje izražava zadovoljstvo toplinskim stanjem okoliša. Za postizanje toplinske ugodnosti zaduženi su sustavi grijanja, ventilacije i klimatizacije.

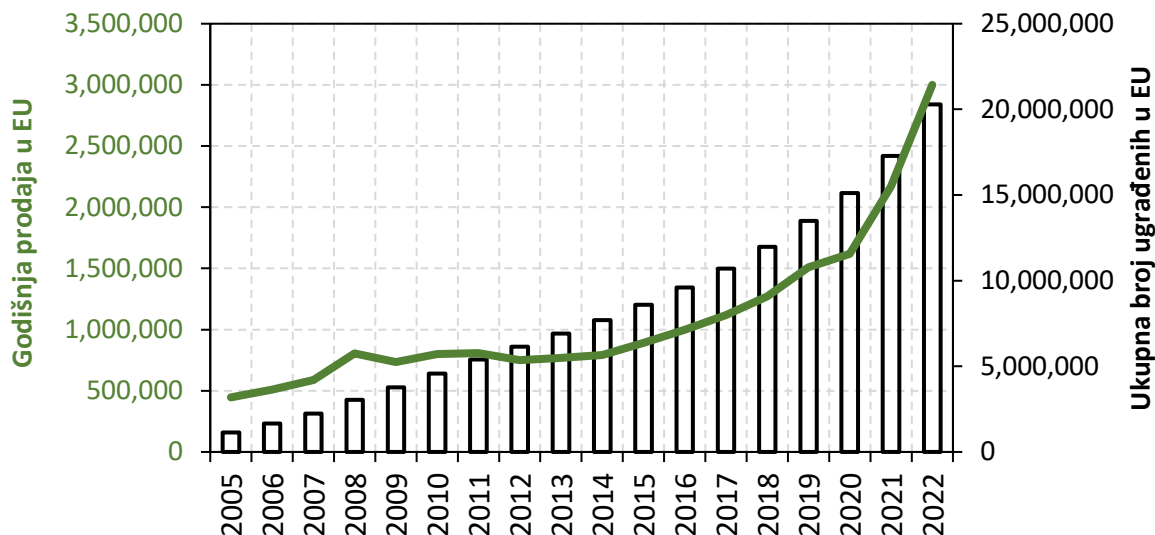
Podatci Statističkog ureda Europske unije pokazuju da je u 2021. godini za grijanje doma prosječno europsko kućanstvo trošilo 64,4% ukupne energije, dok je u Hrvatskoj taj broj još i veći. Kada se uračuna i grijanje potrošne tople vode, dolazimo do gotovo 80% ukupne energije kućanstva. Zato je potrebno posebnu pozornost posvetiti sustavima grijanja.

Dizalice topline koriste se za grijanje, hlađenje i pripremu potrošne tople vode u području stanogradnje i industrijskih procesa. Praktički se s jednim uređajem mogu osigurati sve potrebe za toplinskom i rashladnom energijom nekog objekta. Dizalica topline pogonjena je električnom energijom i pri njezinu radu značajno su smanjene emisije stakleničkih plinova u odnosu na konvencionalne izvore toplinske energije bazirane na izgaranju fosilnih goriva pa nema potrebe za dimovodnim instalacijama na objektu.

Osim naziva dizalice topline, kolokvijalno se još koriste termini kao što su toplinske crpke ili toplinske pumpe (izravni prijevodi s engleskog jezika *Heat pump* ili njemačkog jezika *Wärmepumpe*) koji nisu u potpunosti u skladu s hrvatskim stručnim nazivljem.

Primjenjuju se u svim veličinama, od onih najmanjih za grijanje stanova, pa sve do sustava koji služe za grijanje i hlađenje čitavih naselja. Upotreba dizalica topline uvelike je motivirana činjenicom da u ukupno izmijenjenoj toplinskoj energiji jedan manji dio energije otpada na uloženu energiju (većinom električnu, 20 do 30 %) koja se plaća, a veći dio na obnovljivu toplinsku energiju preuzetu iz okoliša (70 do 80 %). Ako dizalica topline koristi električnu energiju iz vlastite fotonaponske elektrane, sustav može u potpunosti biti energetski neovisan. Novi Zakon o obnovljivim izvorima energije i visokoučinkovitoj kogeneraciji (NN 138/21) uvelike olakšava postavljanje fotonaponskih elektrana. Dizalice topline najveću **učinkovitost** postižu kada se koriste u tzv. niskotemperaturnim (do 35° C) i srednjetemperaturnim sustavima grijanja gdje polazna temperature vode ne prelazi 50 °C. Sve navedeno lakše je ostvariti ako se grade novi objekti ili ako se renoviraju ili grade obiteljske kuće s kvalitetnom stolarijom i toplinskom ovojnicom. Za postojeće zgrade, posebno stambene, izazovi su veći.

Posljednjih godina dizalice topline bilježe progresivan rast broja instaliranih jedinica u sustavima grijanja i hlađenja. Europsko udruženje za dizalice topline (EHPA) vodi evidenciju ugrađenih jedinica (slika 1).



Slika 1. Broj instaliranih dizalica topline u zemljama EU-21 (izvor: EHPA Market Report 2023)

## 1.1. Uloga dizalica toplina u energetskej tranziciji

Dizalice topline kao tehnologija neizostavan su čimbenik za postizanje konkurentnog niskougličnog gospodarstva i klimatske neutralnosti Europske unije do 2050. godine (Europski zeleni plan - The European Green Deal - COM 2020). Novi prijedlog izmjene Europske direktive o energetskej svojstvima zgrada (EPBD direktive) uvodi cijeli niz novosti s glavnim ciljem postizanja nulte emisije u sektoru zgradarstva do 2050. godine. REPower EU plan iz 2022. postavlja za cilj ugradnju 10 milijuna hidrauličnih dizalica topline do 2027. i čak 30 milijuna do 2030. godine. Jasno je da će broj traženih jedinica i raznolikost njihovih izvedbi rasti zbog čega je izrazito bitno da se proces razvoja i instalacije sustava koji je usko grlo široj primjeni tehnologije ubrza. Već dulji niz godina postojeće regulative usmjerene su prema poticanju primjene dizalica topline, a isto se očekuje i od budućih izmjena regulativa na razini EU.

Zgrada gotovo nulte energije - nZEB (engl. nearly Zero Energy Building) jest zgrada koja ima vrlo visoka energetska svojstva. Ta gotovo nulta odnosno vrlo niska količina energije trebala bi se u vrlo značajnoj mjeri pokrivati energijom iz obnovljivih izvora, uključujući energiju iz obnovljivih izvora koja se proizvodi na zgradi ili u njezinoj blizini, a za koju su zahtjevi utvrđeni ovim propisom.

Od 31. prosinca 2020. sve nove zgrade moraju biti »zgrade gotovo nulte energije«, a nakon 31. prosinca 2018. nove zgrade koje kao vlasnici koriste tijela javne vlasti moraju biti »zgrade gotovo nulte energije« (2010/31/EC).

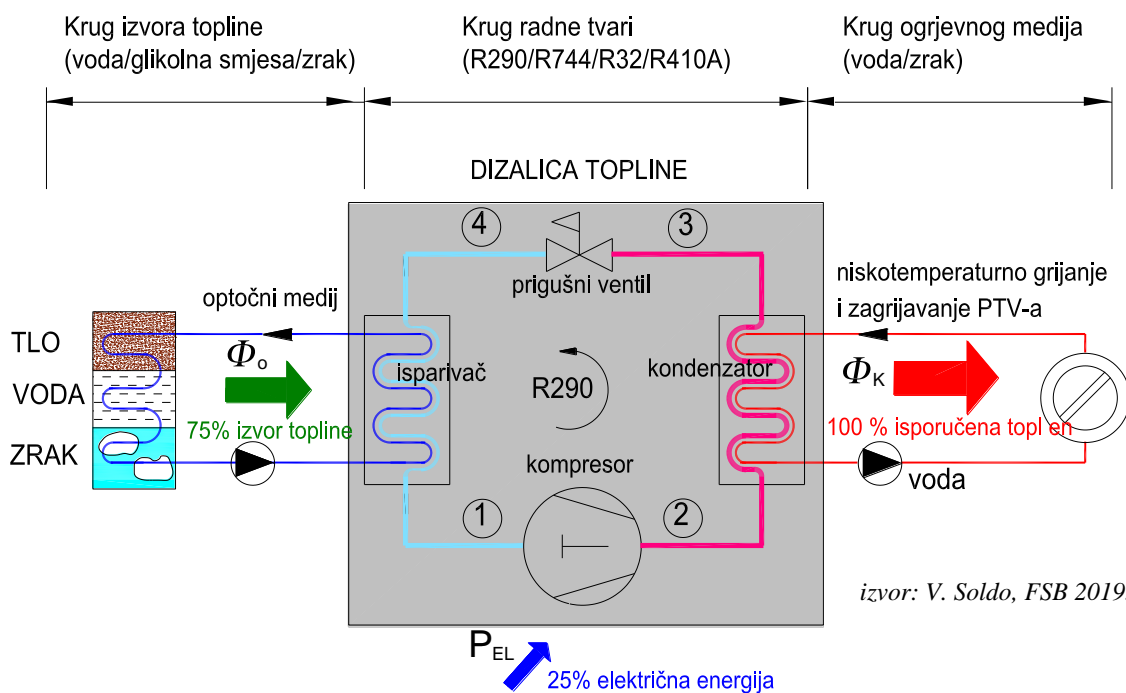
Prijedlog EPBD direktiva od prosinca 2021. (Direktiva o energetskej svojstvima zgrada) ide korak dalje te od 2028. godine uvodi zgrade nulte emisije ZEB - „Zero energy building“.

## 2. Procesi s dizalicama topline

### 2.1 Princip rada dizalice topline

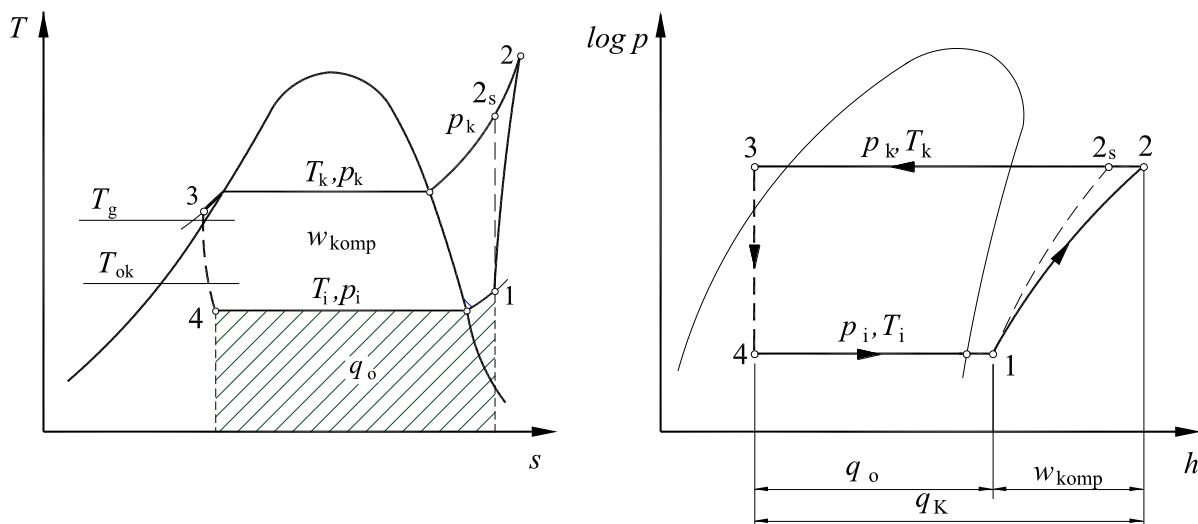
Postoje različiti principi rada dizalica topline, ali u primjeni su najčešće kompresijske i apsorpcijske dizalice topline. Shematski prikaz kompresijske dizalice topline prikazan je na slici 2.

Dizalica topline omogućuje izmjenu topline između dvaju toplinskih spremnika, i to tako da se topline prenosi sa spremnika niže temperature te predaje spremniku više temperature. Kako bi takav ljevokretni proces bio moguć, potrebno je sustavu privesti dodatnu kompenzacijsku energiju. U većini slučajeva uložena energija je električna energija za pogon kompresora. Osnovne komponente kompresijske dizalice topline jesu kompresor, kondenzator, prigušni ventil i isparivač te radna tvar kao prijenosnik energije.



Slika 2. Shematski prikaz kompresijske dizalice topline s izvorom i ponorom topline

Tijekom kružnog procesa radna tvar mijenja agregatna i toplinska stanja kako bi omogućila izmjenu topline s toplinskim izvorom i toplinskim ponorom. Četiri su različite promjene stanje radne tvari kružnog procesa: kompresija 1-2, kondenzacija 2-3, prigušenje 3-4 i isparavanje 4-1 (slika 3). Od radnih tvari koriste se zasićeni ugljikovodici R410A, R407C, R32 i R1234yf, te prirodne radne tvari R290, R744 i R717 koje važećom F-gas uredbom 517/2014 polako preuzimaju primat.

Slika 3. Prikaz procesa u  $T,s$  i  $\log p,h$  dijagramu

Izmijenjena toplotina na kondenzatoru jednaka je zbroju preuzete toplinske energije od izvora topline i privedenog rada za kompresiju radne tvari:

$$q_K = q_o + w_{\text{komp}} = h_2 - h_3, \quad \text{kJ/kg}$$

pri čemu se specifična izmijenjena toplotina na isparivaču i specifični rad kompresora računaju iz koristeći sljedeće jednadžbe:

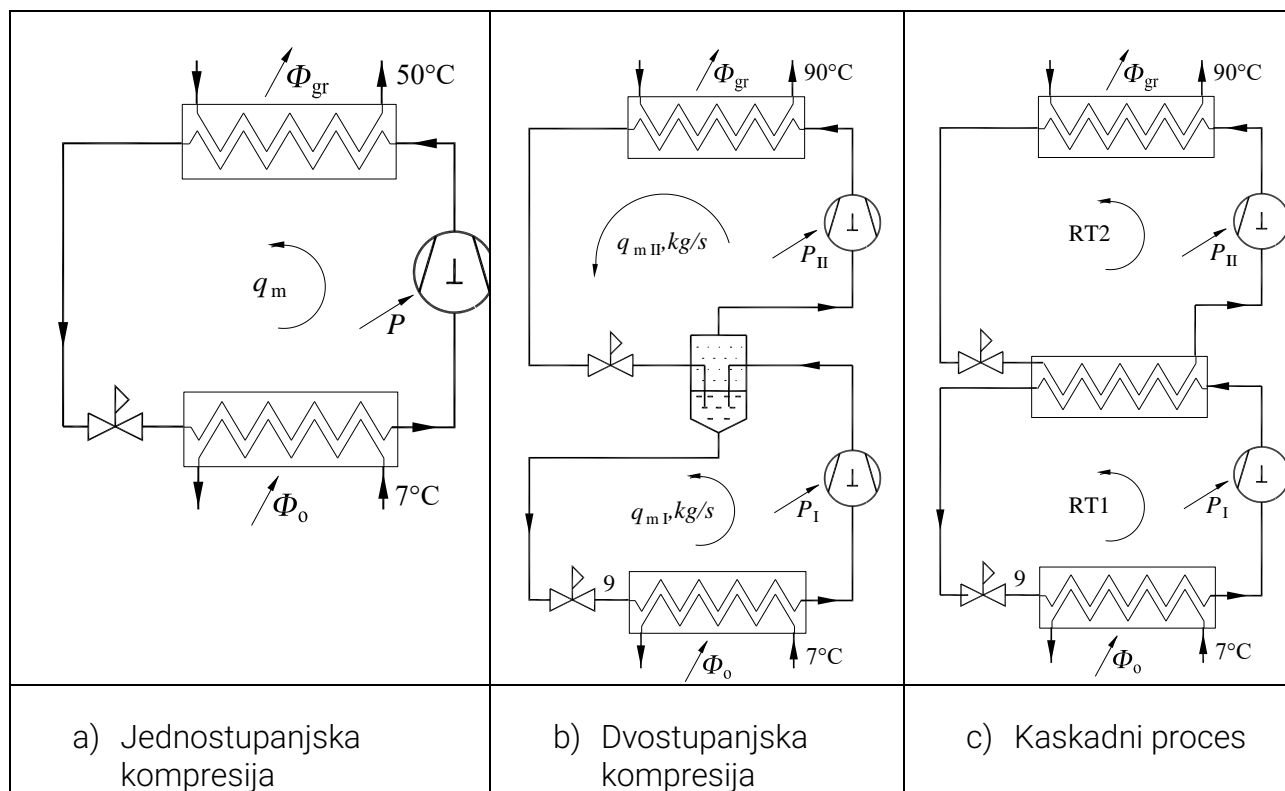
$$q_o = h_1 - h_4, \quad \text{kJ/kg}$$

$$w_{\text{komp}} = h_2 - h_1, \quad \text{kJ/kg}$$

Ako se bilanca svede na učinke komponenti kružnog procesa izražene u kW, jednadžba glasi:

$$\Phi_K = \Phi_o + P_{\text{komp}}, \quad \text{kW}$$

Ovisno o projektom zadatku u većini se slučajeva koriste niskotemperaturne dizalice topline s temperaturom polaza vode do 55 °C. Kompresijski proces u navedenom je slučaju jednostupanjski (slika 4 a). Za više temperature vode polaznog voda (daljinski sustavi grijanja), s temperaturom polaza od 90 °C, koristi se proces dvostupanjeke kompresije (slika 4 b) ili kaskadne dizalice topline (slika 4 c). Za veće kompresijske omjere može se koristiti proces jednostupanjske kompresije s ubrizgavanjem pare za vrijeme kompresije (engl. EVI-enhanced vapour injection).



Slika 4. a) Jednostupanjska kompresija; b) Dvostupanjska kompresija; c) Kaskadni proces

## 2.1. Učinkovitost dizalice topline

Nazivna vrijednost učinkovitosti dizalice topline prema normi HRN EN 14511 (engl. *Coefficient of performance* - COP ili faktor grijanja) definirana je kao omjer učinka grijanja i električne snage za pogon kompresora i pomoćnih komponenti u stacionarnom stanju:

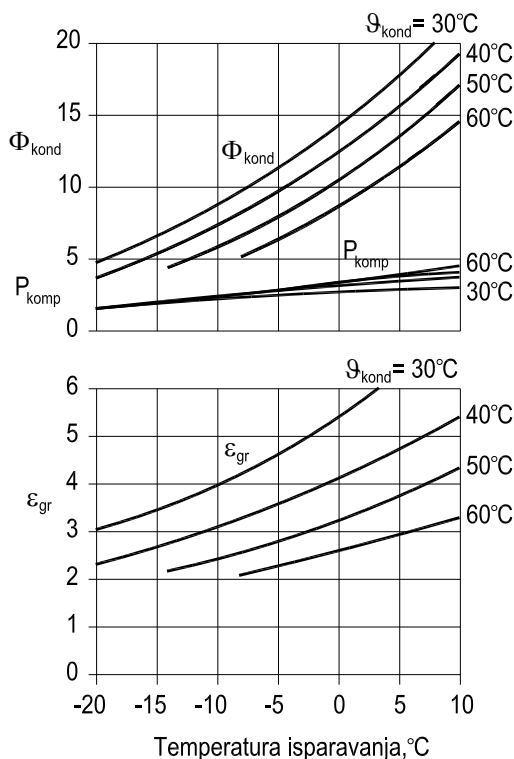
$$COP = \frac{\Phi_K}{P_{EL}}$$

Nazivna vrijednost učinkovitosti u režimu hlađenja (engl. *Energy Efficiency of Ratio* - EER) definirana je kao omjer rashladnog učinka i električne snage za pogon kompresora i pomoćnih komponenti:

$$EER = \frac{\Phi_o}{P_{EL}}$$

Prosječni nominalni faktor grijanja, ovisno o temperaturama toplinskog izvora i ponora, najčešće doseže vrijednosti od 3 do 5. Ako je COP jednak 4, to znači da za 1 kW privedene električne snage sustavu, učinak grijanja na kondenzatoru iznosi 4 kW (slika 2). Generalno se može reći da će učinkovitost dizalice topline biti viša ako je temperatura toplinskog izvora viša, a temperatura toplinskog ponora (ogrjevnog medija sustava grijanja) niža. Iz navedenog razloga dizalice topline koriste se pretežito za niskotemperaturne sustave grijanja (podno ili ventilokonvektorsko grijanje).

**Pravilo koje vrijedi glasi:** što je manja temperaturna razlika između temperature toplinskog izvora (zrak, voda, tlo) i temperature toplinskog ponora (zraka ili vode koja se grije), to će veći biti učinak grijanja i manja utrošak snaga kompresora, odnosno bit će veći toplinski množitelj (Slika 5).



Slika 5. Ovisnost učinka i učinkovitosti dizalice topline o temperaturama isparavanja i kondenzacije

Može se zaključiti da učinkovitost dizalice topline bitno ovisi o temperaturama toplinskih spremnika.

Tako npr. norma HRN EN 14511 za radnu točku B0/W35 definira učinkovitost dizalice topline tlo-voda za temperaturni režim glikolne smjese na isparivaču: 0/-3 °C i temperaturni režim vode na kondenzatoru 30/35 °C. Komercijalne dizalice topline za navedene uvjete imaju faktor grijanja oko 4,5 (tablica 1). Faktor grijanja za radnu točku B0/W55 i temperaturni režim vode na kondenzatoru 47/55 °C značajno je manji i iznosi oko 3,0.

Tablica 1. Faktori grijanja komercijalnih dizalica topline

Parametri / Temperaturni režimi	B0/W35*		B0/W55**	
Učinak grijanja, kW	10,4	10,8	9,5	9,8
El. snaga privedena sustavu, kW	2,4	2,4	3,3	3,3
Faktor grijanja	4,4	4,5	2,9	3,0

Za energetska vrednovanje sustava relevantnija je sezonska učinkovitost dizalice topline (engl. *Seasonal Performance Factor – SPF*). RES direktiva 28/2009 svrstava dizalice topline u obnovljive izvore

energije prema iznosu sezonske učinkovitosti sustava.

**Sezonski faktor grijanja SPF** dizalice topline računa se pomoću sljedećeg izraza:

$$SPF (SCOP) = \frac{\Sigma(Q_{gr} + Q_{PTV})}{\Sigma E_{sust}}$$

$\Sigma Q_{gr}$  – godišnja potrebna toplinska energija za grijanje prostora, kWh

$\Sigma Q_{PTV}$  – godišnja potrebna toplinska energija za zagrijavanje PTV, kWh

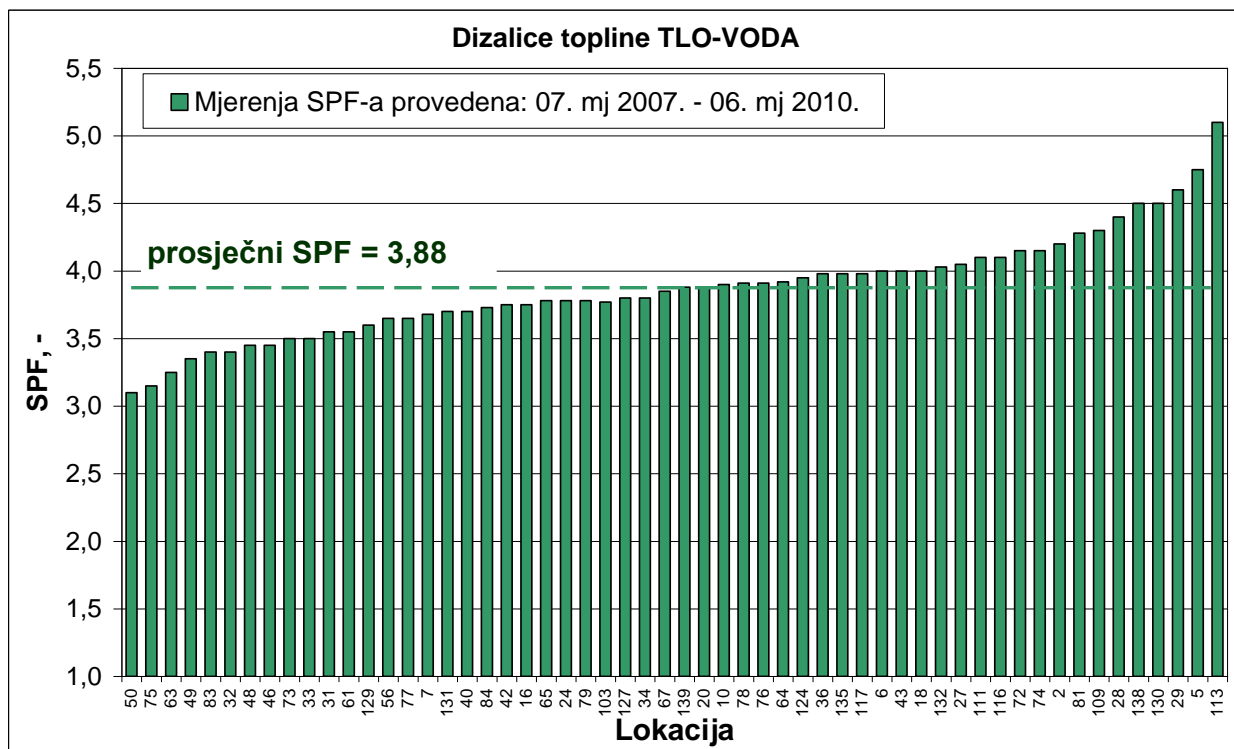
$\Sigma E_{sust}$  - ukupna godišnja el. energija utrošena na: pogon kompresora, pumpi, ventilatora, pomoćnih grijača te odleđivanje isparivača, kWh

Vrijednosti sezonske učinkovitosti dizalice topline u režimu grijanja dosežu vrijednosti od 3 do 4,5. Primjenom u industriji sezonska učinkovitost dizalice topline može dosezati vrijednosti od 5 do 6.

Proračun učinkovitosti dizalice topline dan je u normi HRN EN 15316-4-2. Norma daje metode proračuna pogonske energije i godišnjeg toplinskog množitelja dizalice topline koje se koriste u sustavima grijanja prostora, dizalice topline za zagrijavanje potrošne tople vode, te dizalice topline koje se koriste kombinirano za grijanje prostora i za zagrijavanje PTV-a.

Norma daje proračun prema putu A (ulazni podatci iz norme HRN EN 14511) i prema putu B (ulazni podatci iz norme EN 14825).

Slika 6 prikazuje mjerene rezultate SPF-a dizalice topline tlo-voda za grijanje stambenog prostora na 56 različitih lokacija diljem Njemačke. Prosječna vrijednost SPF-a iznosi 3,88. Izmjerena je minimalna vrijednost SPF-a od 3,1, dok je maksimalna vrijednost 5,1. Podatci se odnose na niskotemperaturni sustav grijanja.



Slika 6. Mjerena vrijednost godišnjeg faktora grijanja (SPF) dizalice topline tlo-voda na 56 različitih lokacija diljem Njemačke

## 2.2. Načini rada dizalice topline

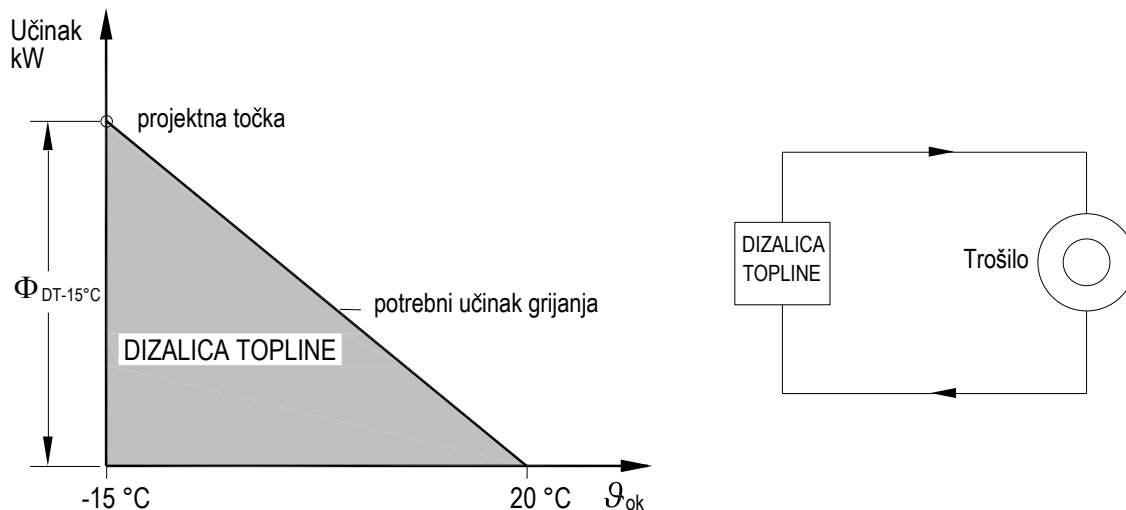
Sustavi grijanja s dizalicom topline mogu biti izvedeni tako da dizalica topline bude jedini izvor topline. Isto tako, dizalica topline može se koristiti zajedno s drugim izvorima topline.

Razlikujemo sljedeće načine njezina rada:

- monovalentni
- bivalentno-paralelni
- bivalentno-alternativni.

### Monovalentni način rada dizalice topline

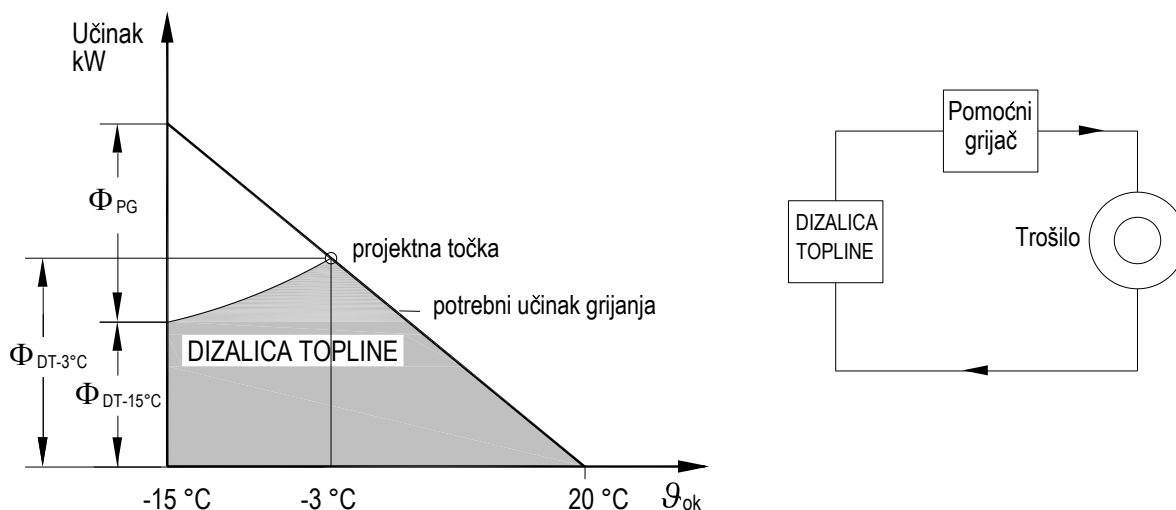
Sve toplinske gubitke zgrade (toplinsko opterećenje) koji se proračunavaju prema normi HRN EN 12831 pokriva isključivo dizalica topline. Učinak dizalice topline projektira se prema vanjskoj projektnoj temperaturi zraka (Slika 7). Povezane s tlom (s podzemnom vodom ili tlom kao izvorima topline) rade kao monovalentni sustavi grijanja.



Slika 7. Monovalentni rad dizalice topline

### Bivalentno-paralelni način rada dizalice topline

Do određene vrijednosti vanjske temperature zraka dizalica topline je jedini izvor topline (slika 8). Daljnjim padom vanjske temperature zraka (npr.  $-3\text{ °C}$  ili niže) uključuje se paralelno još jedan toplinski izvor (npr. plinski bojler). Priključenje drugog toplinskog izvora regulacija vodi prema vanjskoj temperaturi zraka i potrebnom učinku grijanja. Ovaj način rada sustava grijanja koristi se kod dizalica topline sa zrakom kao izvorom topline.

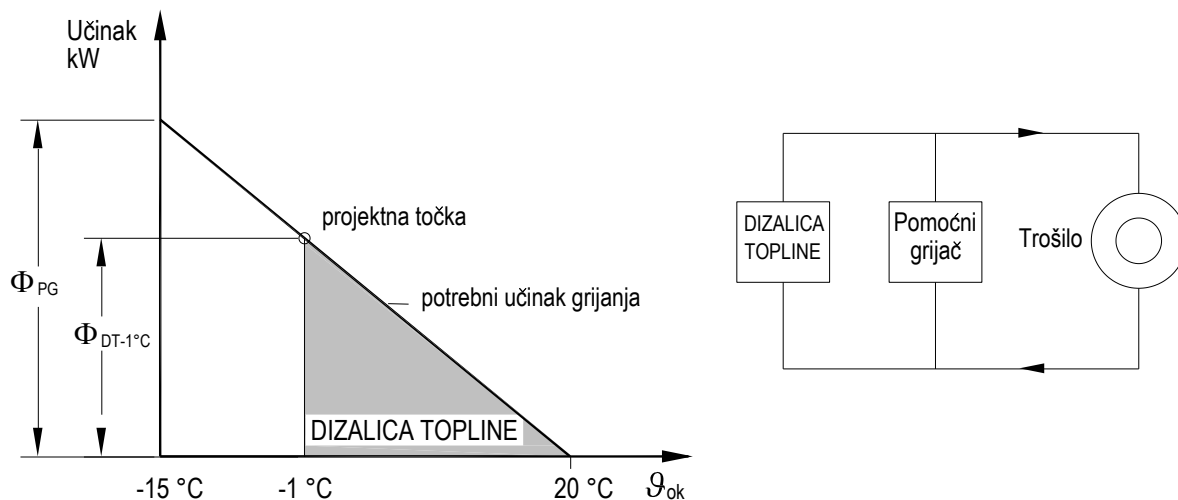


Slika 8. Bivalentno paralelni rad dizalice topline

### Bivalentno-alternativni način rada dizalice topline

Do određene vrijednosti vanjske temperature zraka dizalica topline jedini je izvor topline koji ovisno o karakteristici grijanja odgovara maksimalnoj temperaturi polaznog voda od 55 °C (Slika 9). Daljnjim padom vanjske temperature zraka uključuje se drugi izvor topline i on je dalje jedini u radu (npr. plinski bojler). Točka prekretanja odabira sustava grijanja u ovom primjeru iznosi -1 °C.

Ovaj se način rada sustava grijanja koristi za zgrade s radiatorima kao ogrjevnim tijelima, temperaturnog režima 90/70 °C ili 80/65 °C.



Slika 9. Bivalentno alternativni rad dizalice topline

### 3. Radne tvari

Unutar rashladnog uređaja i dizalice topline struji radna tvar, prijenosnik energije između niskotemperaturnog i visokotemperaturnog toplinskog spremnika. Radne tvari mogu biti različite. Prema F-gas regulativi primjena se sve više usmjerava prema prirodnim radnim tvarima kao što su: amonijak, propan, izo-butan, ugljični dioksid. Desetljećima su korištene, a i danas se još uvijek koriste u nešto manjoj mjeri halogenirani ugljikovodici – „freoni“: R134a, R407C, R410A, R404a. Poželjno je da radna tvar zadovoljava sljedeća svojstva:

Tablica 2. Svojstva radnih tvari

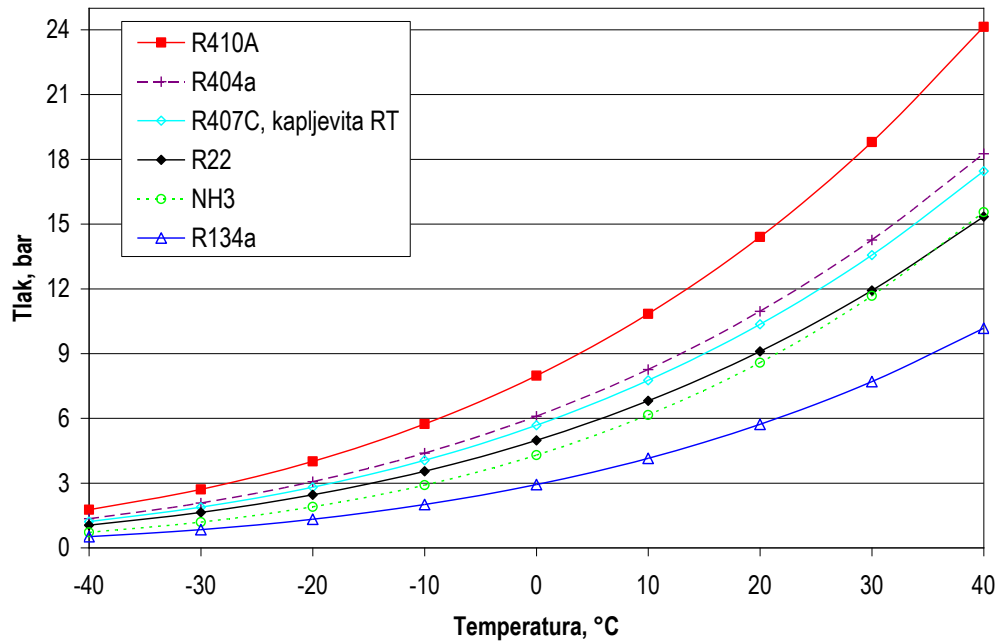
Kriterij	Svojstva radne tvari
Funkcionalne osobine	<ul style="list-style-type: none"> <li>- fizikalna i kemijska stabilnost</li> <li>- nekorozivnost, ne otapa konstrukcijske materijale konstrukcije</li> <li>- fizikalno ili kemijski ne reagira s mazivim uljem, posebice uz prisutnost</li> </ul>

	vlage
Sigurnosne osobine	<ul style="list-style-type: none"> <li>- nezapaljivost, čista tvar ili u smjesi sa zrakom, uljem i vlagom</li> <li>- neeksplozivnost</li> <li>- neotrovnost</li> <li>- lagano otkrivanje prisutnosti u zraku</li> <li>- neškodljivost za okolinu</li> </ul>
Termodinamičke osobine	<ul style="list-style-type: none"> <li>- niska temperatura isparivanja pri atmosferskom tlaku</li> <li>- umjeren tlak zasićenja pri temperaturi <math>45 \div 55^{\circ}\text{C}</math></li> <li>- umjeren kompresijski omjer, <math>p_k/p_i</math></li> <li>- visoko položena kritična točka</li> <li>- velika latentna toplota isparivanja i kondenzacije</li> <li>- veliki volumetrički rashladni učinak <math>q_v</math> [<math>\text{kJ}/\text{m}^3</math>]</li> <li>- velika gustoća radne tvari na usisu u kompresor (mali specifični volumen)</li> <li>- mala viskoznost</li> <li>- veliki koeficijent toplinske vodljivosti</li> <li>- veliki dielektrični otpor, uslijed rada u hermetički zatvorenim kompresorima</li> <li>- niska točka smrzavanja</li> </ul>
Ekološke osobine	<ul style="list-style-type: none"> <li>- bez utjecaja na razgradnju ozonskog omotača (<math>\text{ODP}=0</math>)</li> <li>- što manji utjecaj na zagrijavanje atmosfere (mali GWP)</li> </ul>

Pri izboru radne tvari poželjno je da krivulje konstantnog tlaka pare u pregrijanom području  $T,s$  - dijagrama budu što položenije da bi se u kružnom procesu pri istim temperaturama isparivanja i kondenzacije utrošilo manje rada. U tom je slučaju temperatura na kraju kompresije niža. Tlak zasićenja radne tvari, koji odgovara temperaturi isparivanja, a određena je temperaturom hlađenog medija, treba biti nešto veći od atmosferskog da bi rashladni uređaj tijekom cijelog procesa radio u pretlaku u odnosu na atmosferu. Odnos tlaka i temperature zasićenja pare radnih tvari prikazan je krivuljom napetosti na sljedećoj slici (Slika 10).

Odnos između tlakova isparivanja i kondenzacije izravno utječe na volumetrijski stupanj dobave kompresora pa se preferiraju radne tvari s nižim omjerom tlakova pri istim omjerima temperatura isparivanja i kondenzacije. Time se uz iste konstrukcijske dimenzije postiže veći rashladni (ogrjevni) učinak sustava.

Toplina isparivanja radne tvari pri karakterističnim temperaturama isparivanja treba biti što veća da bi za isti učinak rashladnog uređaja protočna masa radne tvari bila manja.



Slika 10. Krivulja napetosti radnih tvari

- Prema ASHRAE-u sve radne tvari označavaju se prvom slovnim oznakom R, zatim slijede tri broja. Moguća je i dodatna slovnica oznaka.
- Za radne tvari anorganskog podrijetla prvi broj uvijek je 7, a druga dva predstavljaju molekularnu masu radne tvari (R717 - amonijak).
- Za radne tvari organskog podrijetla prvi broj predstavlja broj atoma C-1, drugi je broj atoma H+1, dok je treći broj atoma flora.

### 3.1. Sintetičke radne tvari

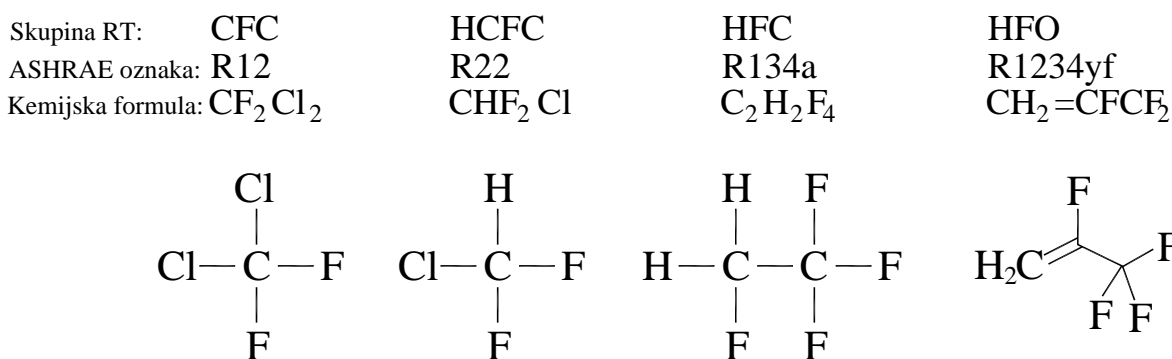
Halogenirani ugljikovodici dijele se u tri skupine, CFC, HCFC i HFC. Zajedničkim nazivom često se zovu freonima, iako su samo radne tvari iz skupine CFC-a nosile tvornički naziv „freoni“:

- CFC – klorofluor ugljici (*engL. chlorofluorocarbons*) potpuno su halogenirani derivati zasićenih ugljikovodika (R11, R12),
- HCFC – klorofluor ugljikovodici (*engL. hydrochlorofluorocarbons*) djelomično su halogenirani derivati zasićenih ugljikovodika koji sadrže vodik i klor (R22),
- HFC – fluorirani ugljikovodici (*engL. hydrofluorocarbons*) su djelomično halogenirani derivati zasićenih ugljikovodika koji sadrže vodik i ne sadrže klor (R134a).

U posljednjih petnaestak godina pojavila se i HFO skupina (*engL. hydrofluroofelin*) radnih tvari (R1234fy

i R1234ze).

Navedene radne tvari halogenirani su derivati metana i etana, a dobivaju se zamjenom atoma vodika u molekulama metana ili etana s atomima fluora, klora i broma (halogeni elementi). Osim jednokomponentnih radni tvari, u praksi su korištene i smjese dviju ili triju jednokomponentnih radnih tvari. Njihove smjese mogu biti zeotropske i azeotropske. Radne tvari reda 400 zeotropske su smjese, dok su one reda 500 azeotropske smjese. Kod reda 400 (npr. R407C) pri isparavanju/kondenzaciji radna tvar mijenja temperaturu (klizanje temperature), dok je kod azeotropskih radnih tvari temperatura isparavanja/kondenzacije konstantna (R507). U nastavku slijedi primjer označavanja jednokomponentnih radnih tvari:



Radne tvari štetne za ozonski omotač (R-11, R-12, R-502).	Radne tvari (R-22, R-141b) manje štetne za ozonski omotač u odnosu na CFC skupinu.	Radne tvari bez utjecaja na ozonski omotač, ali s visokim GWP brojem (R-134a, R404a, R407C, 410A).	Radni tvari s malim GWP brojem (R1234yf, R1234ze).
---	--	--	--

Tablica 3. Označavanje radnih tvari

## 3.2. Prirodne radne tvari

### 3.2.1. Amonijak (R717)

Termodinamički gledano, amonijak je još uvijek najbolja radna tvar i gotovo da je nezamjenjiva u industrijskim postrojenjima. Nezaobilazna je njegova primjena u rashladnim sustavima za brzo hlađenje i skladištenje hrane (tuneli, rashladne komore), u industriji pića, kod sportskih ledenih terena. U sljedećoj tablici (Tablica 4) dana su svojstva amonijaka u odnosu na R22.

Tablica 4. Odnos termofizikalnih i transportnih svojstava radnih tvari R717 i R22

Svojstvo	R717/R22
Specifični toplinski kapacitet kapljevine i pare $c_p$ , kJ/kgK	4/1
Toplina isparivanja $r$ , kJ/kg	6/1
Toplinska vodljivost kapljevine $\lambda$ , W/(m K)	5,5/1
Dinamička viskoznost $\eta$ , Pa s	0,8/1
Gustoća kapljevine $\rho$ , kg/m <sup>3</sup>	0.5/1

Za isti rashladni učinak sustavi s amonijakom imaju manje dimenzije cjevovoda (oko šest puta manji maseni protok radne tvari). Zbog male gustoće parovite i kapljevite faze R717, padovi tlaka kroz sustav znatno su manji, što je posebno korisno u razgranatim sustavima s dugačkim cjevovodima. Zbog znatno boljih termodinamičkih i transportnih svojstava radne tvari, u procesu s amonijakom prijelaz topline je dva do tri puta bolji nego u procesu s R22 pa su izmjenjivači manjih dimenzija. Amonijak je manje osjetljiv na vlagu u sustavu i ne miješa se s uljem.

Sa stajališta zaštite okoliša R717 najprihvatljivija je radna tvar. Ispuštanjem u atmosferu nema utjecaja na razgradnju ozona (ODP = 0) i na efekt staklenika (GWP = 0).

Kada se govori o amonijaku, ne mogu se zaobići njegovi nedostaci koji mu uvelike ograničavaju primjenu, posebno u gusto naseljenim područjima, iako to uvijek ne mora biti tako. Budući da mu je stupanj štetnosti A2, otrovan je u smjesi sa zrakom u volumnom udjelu od 0,5 do 0,6 %. Spada u zapaljive i eksplozivne radne tvari. Temperatura zapaljenja iznosi 651 °C, a eksplozivan je kad volumni udio u zraku iznosi 15,3 do 27 %.

Amonijak se koristi kao radna tvar i u apsorpcijskim rashladnim uređajima u kombinaciji s vodom. Mogućnost korištenja otpadnih topline naglašava opravdanost uporabe apsorpcijskih rashladnih uređaja unatoč niskoj učinkovitosti takvih sustava.

### 3.2.2. Ugljikov dioksid (R744)

CO<sub>2</sub> kao prirodna radna tvar ima dugu tradiciju u rashladnoj tehnici pa je u 50-im godinama prošlog stoljeća često korišten u rashladnim sustavima na brodovima. Ugljikov-dioksid nema utjecaj na razgradnju ozona (ODP=0), a neznatan mu je utjecaj na efekt staklenika (GWP=1). Kemijski je stabilan, nije zapaljiv ni toksičan, iako u većim količinama može biti opasan i izazvati gušenje.

Troškovi za ugljični dioksid su niski, pri čemu nema dodatnih troškova za njegovo zbrinjavanje. Volumetrički mu je rashladni učinak znatno veći nego kod radnih tvari R22 i NH<sub>3</sub> (približno 5 do 8 puta), što znatno smanjuje dimenzije uređaja. Iako CO<sub>2</sub> kao radna tvar ima dosta prednosti, glavni razlog zbog čega nema široku primjenu u praksi jesu nepovoljne termodinamičke karakteristike za standardne

aplikacije hlađenja koje dovode do tehničkih problema pri izvedbi uređaja. Naime, ugljični dioksid ima izrazito nisku kritičnu temperaturu od samo 31,1 °C, uz izrazito visok kritični tlak od 74 bar. Za jednostupanjske sustave to zahtijeva transkritične radne parametre s tlakovima većim i od 100 bara. Bez obzira na navedene nedostatke, CO<sub>2</sub> se sve više koristi i u transkritičnom području. U posljednjih nekoliko godina intenzivirana su istraživanja vezana za primjenu ugljičnog dioksida u rashladnim sustavima. S vremenom se svladavaju tehničke poteškoće oko implementacije CO<sub>2</sub> u transkritičnom području i na tržištu je sve više rashladnih postrojenja s CO<sub>2</sub> (primjer supermarketa).

### 3.2.3. Ugljikovodici (HC)

U manjim i srednjim rashladnim uređajima ugljikovodici kao radne tvari: izo-butan (R600a), propan (R290) i propilen (R1270) zbog svojih dobrih svojstava i ekološke prihvatljivosti zauzimaju svoje mjesto na tržištu.

Najšira je primjena izo-butana R600a koji se koristi u novim manjim i najmanjim rashladnim uređajima (kućanskim hladnjacima) kao zamjena za R134a. Ima manji volumetrički rashladni učinak od R134a što znači da za isti kapacitet sustava ima veći radni volumen cilindra kompresora (približno dvostruko). Dobra je strana ugljikovodika mala gustoća kapljevine. Primjerice, u sustavima gdje se R134a zamjenjuje s R600a, punjenje se smanjuje do 60% jer su približno u tom odnosu gustoće kapljeviteg izo-butana i R134a. Općenito, zbog manje gustoće ugljikovodika i punjenja sustava smanjuje se mogućnost zapaljenja radne tvari u slučaju propuštanja.

Ostaje prisutan problem zapaljivosti ugljikovodika čime se zahtjevi za sigurnošću konstrukcije povećavaju. Sve su ugljikovodične radne tvari visokozapaljive (Tablica 5), ali nisu toksične. To im daje klasifikaciju A3 prema HRN EN 378. Uređaji trebaju biti izvedeni prema normi koja navodi detaljne zahtjeve za sigurnu uporabu zapaljivih radnih tvari u komercijalne i industrijske svrhe.

Propan je zauzeo važno mjesto kao radna tvar u rashladnicima kapljevine („chillerima“). Slijedeći F-gas regulativu primjetan je progresivan rast dizalica topline monoblok izvedbe s R290.

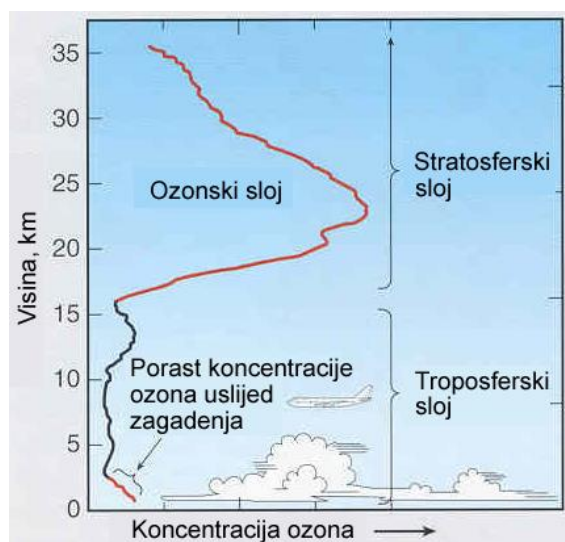
Tablica 5. Zapaljiva svojstva ugljikovodičnih radnih tvari

Radna tvar	Oznaka	Donja granica zapaljivosti (LFL)		Temperatura samozapaljenja (°C)
		Volumena (%)	Masena (kg/m <sup>3</sup> )	
Propan	R290	2,1	0,038	470
Izobutan	R600a	1,8	0,043	460
Propilen	R1270	2,5	0,043	455

### 3.3. Utjecaj radnih tvari na okoliš

Ozonski je sloj važan jer upija ultraljubičasto (UV) zračenje sa Sunca sprječavajući da većina UV zraka dopre do Zemljine površine. Upijajući većinu UV-B zračenja prije nego ono dopre do Zemljine površine, ozonski sloj štiti naš planet od štetnih utjecaja toga zračenja. Stratosferski je ozon (Slika 11) također značajan i za atmosfersku raspodjelu temperatura čime utječe na klimu na Zemlji. Ozonski sloj je Zemljin suncobran.

Ozon je prisutan i u nižim slojevima atmosfere (tj. u troposferi), ali u nižim koncentracijama nego u stratosferi. Izgaranje fosilnih goriva i biomase oslobađa spojeve poput dušikovih oksida i organskih spojeva, koji uz pomoć Sunčeve energije stvaraju ozon. Ovaj prizemni ozon sastavni je dio gradskog smoga i može prouzročiti probleme s dišnim organima kod ljudi te oštećenja na biljkama.



Slika 11. Prikaz ozonskog omotača

Najveći utjecaj na razgradnju ozonskog sloja imaju ugljikovodici halogenirani s klorom i bromom. Sve oni imaju sljedeće značajke: u donjim slojevima atmosfere jako su postojane, uglavnom netopive u vodi i otporne na fizičke i biološke utjecaje, sadrže klor ili brom (elemente izuzetno reaktivne u slobodnom stanju), te stoga mogu katalitički razgrađivati ozon. Ove tvari su poznatije pod nazivom tvari koje oštećuju ozonski sloj (TOOS).

Navedena su svojstva razlog što tvari koje oštećuju ozonski sloj ostaju u zraku dugo vremena i postupno dospjevaju u sve dijelove atmosfere, uključujući i stratosferu. U stratosferi se one razgrađuju djelovanjem snažnog Sunčeva zračenja oslobađajući atome klora ili broma, koji katalitički uništavaju ozon.

Klorofluorugljici (CFC) su tvari koje imaju najveći utjecaj na razgradnju ozona. CFC su se od vremena njihove sinteze (1928. godine) rabili na različite načine: kao radna tvar u hladnjacima i klimatizacijskim uređajima, kao potisni plin u limenkama aerosola, kao sredstvo za ekspanziranje u proizvodnji

fleksibilnih pjena za jastuke i madrace te kao sredstvo za čišćenje u elektroničkoj industriji.

Djelomično halogenirani kloroflorougljikovodici (HCFC) slični su CFC-ima i u velikoj su se mjeri proizvodili kao zamjenske radne tvari u uređajima za hlađenje i za expandiranje. HCFC-i manje uništavaju ozon od CFC-a jer ih atom vodika čini manje stabilnim i podložnijim razgradnji u donjim slojevima atmosfere sprječavajući da većina njihovog klora dopre do stratosfere.

Radne tvari iz skupine fluoriranih ugljikovodika (HFC) ne sadrže klor i nemaju štetan utjecaj na razgradnju ozonskog sloja.

### **Potencijal razgradnje ozona - ODP**

Potencijal razgradnje ozona, ODP (engl. Ozone Depletion Potential) ovisan je o sposobnosti oslobađanja klora (Cl) i broma (Br) te vremenskoj postojanosti u atmosferi.

Kao jedinična (referentna) vrijednost uzeto je djelovanje freona R-11. Ovaj faktor posljedica je svih potencijalnih djelovanja na ozon koja traju do potpune razgradnje (vrijeme raspada) za ozon štetne tvari. Vodik u molekulama spojeva HCFC smanjuje njihovu postojanost u atmosferi na 2 do 20 godina. Fluorirani ugljikovodici (HFC) ne sadrže klor pa stoga ne razaraju ozon, njihov ODP=0.

### **Potencijal globalnog zagrijavanja - GWP**

Atmosfera poput stakla uglavnom propušta kratkovalno Sunčevo zračenje, ali je slabo propusna za dugovalno zračenje kojim zrači Zemljina površina. Zato dio energije koja je dozračena u sustav Zemlja-atmosfera ostaje u njemu kao u stakleniku i pretvara se u toplinu. Dozračena energija u dnevnom periodu veća je od odzračene u noćnom periodu i naziva se efekt staklenika.

Potencijal globalnog zagrijavanja, GWP (engl. Global Warming Potential) neke tvari, relativni je utjecaj te tvari na efekt staklenika u odnosu na utjecaj CO<sub>2</sub>. Kao referentna vrijednost uzeto je djelovanje CO<sub>2</sub> jer se u atmosferu emitira u najvećim količinama. CO<sub>2</sub> trajno ostaje u atmosferi. pa je stoga uvijek potrebno navesti za koji je vremenski period GWP izražen (20, 100 ili 500 godina).

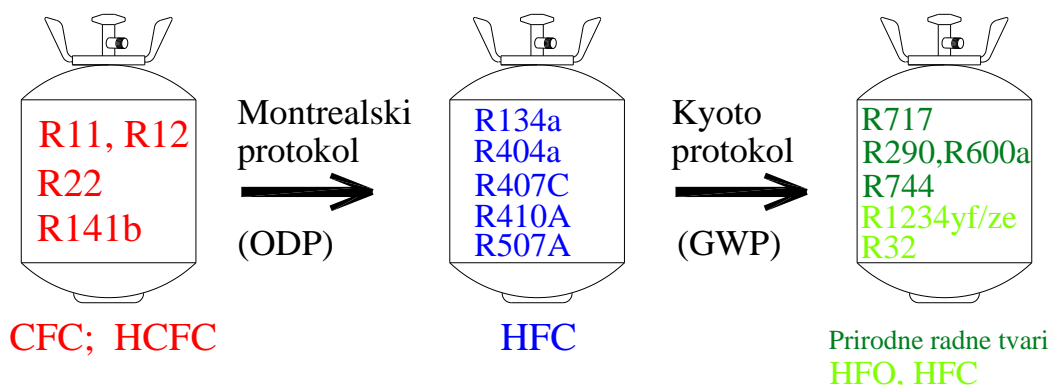
Najznačajniji staklenički plinovi jesu: CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O, HFC-i, PFC-i i SF<sub>6</sub>

Primjer: utjecaj 1 kg R-134a odgovara utjecaju 1430 kg CO<sub>2</sub>, 1 kg R410A odgovara utjecaju 2088 kg CO<sub>2</sub> u 100 godina.

Iako radne tvari iz skupine HFC-a nemaju utjecaja na razgradnju ozonskog sloja (ODP = 0), svi halogenirani ugljikovodici, pa tako i radne tvari iz skupine HFC-a, staklenički su plinovi s velikim GWP potencijalom.

### 3.4. Radne tvari i njihove ekološki prihvatljive zamjene

S obzirom da radne tvari iz skupine HFC-a imaju značajan utjecaj na globalno zagrijavanje i visok GWP broj, F-gas regulativa (Uredba br. 517/2014 Europskog parlamenta i Vijeća o fluoriranim stakleničkim plinovima primjenjuje se od 01.01.2015. godine.) istraživanja u rashladnoj i klima tehnici i dizalicama topline u posljednjih desetak godina usmjerila je na primjenu prirodnih radnih tvari kao što su amonijak, ugljični dioksid, ugljikovodici te HFO radne tvari. Primjenom Montrealskog protokola iz primjene su već prije izvrštene radne tvari s utjecajem na razgradnju ozonskog sloja (CFC i HCFC) dok Kyoto protokol regulira ograničenje primjene HFC radnih tvari (Slika 12).



Slika 12. Tijek zamjene radnih tvari

U sljedećoj tablici dane su najčešće korištene radne tvari s posebnim naglaskom na prirodne radne tvari.

Tablica 6. Najčešće radne tvari i njihova primjena

Radna tvar	Sastav	Zamjena za	GWP <sub>100</sub>	Primjena	Napomena
R134a		R12, R22	1430	Kućanski aparati i mali komercijalni rashladni uređaji	Prikladna za retrofiting
R152a		R12	140	Automobilski rashladni uređaji (u istraživanju)	Umjereno zapaljiva
R23		R13	11700	Kaskadni rashladni uređaji	Visok GWP
R404a	143a/125/134a 52/44/4 %	R502, R22	3922	Komercijalni rashladni uređaji, rashladne komore	Pseudo azeotropska RT
R407C	32/125/134a 23/25/52 %	R22	1774	Klimatizacija	Kliranje temperature
R417a	600/134a/125 3,5/50/46,5 %	R22	2138	Rashladnici vode, rashladne vitrine	Kliranje temperature
R410A	32/125 50/50 %	-	2088	Split sustavi za hlađenje	Visok tlak
R407F	134a/125/32 40/30/30 %	R404a, R22	1824	Komercijalni rashladni uređaji, rashladne komore	Kliranje temperature
R449A	R32/R125/R1234yf/R134a 24,3/24,7/25,3/25,7	R404a	1397	Rashladne komore, supermarketi	Kliranje temp

R32	R407C, R22, R410A	675	Split klima uređaji	Djelomično zapaljiva
R1234yf	R134a	4	Automobilski rashladni uređaji	U istraživanju
R600a	R12, R134a	3	Kućanski aparati	Zapaljiva, eksplozivna
R290	R22	3	Dizalice topline, rashladnici kapljevine	Zapaljiva
R744		1	Kaskadni rashladni uređaji	Previsok tlak, $T_{kr}$ - niska
R717	R22	0	Industrijsko hlađenje	Otrovna

Europska komisija je u travnju 2022. godine predložila ažuriranje Uredbe (EU) 517/2014 (Uredbe o F-plinovima). Pripremljen je prijedlog nove Uredbe čija se primjena očekuje u proljeće 2024. godine.

Nova Uredba donosi mnoge novosti u ograničenju primjene radnih tvari prema GWP broju s težnjom k primjeni prirodnih radnih tvari. U tablici 7 sažete su zabrane koje donosi novi prijedlog F-gas regulative.

Tablica 7. Novosti nove F-gas regulative

F-plinovi = HFC i HFO	2025	2027	2029	2030	2032	2033	2035
Zabran kod nove opreme	Samostalna oprema za klimatizaciju i dizalicu topline	Plug in (prijenosne), monoblok klima uređaji i druga samostalna oprema dizalice topline do 12 kW koji sadrže F-plinove s GWP-om višim od 150*		Ostala samostalna oprema za klimatizaciju i dizalicu topline koja sadrži F-plinove s GWP-om većim od 150*	Plug in (prijenosne), monoblok klima uređaji i druga samostalna oprema dizalice topline do 12 kW koji sadrže F-plinove*		
		Monoblok i druga samostalna oprema za klimatizaciju i dizalicu topline, između 12 i 50 kW, koji sadrže F-plinove s GWP-om većim od 150*					
	Split oprema za klimatizaciju i dizalicu topline	Pojedinačni split sustavi koji sadrže manje od 3 kg F-plinova s GWP-om od 750 ili više (prema dodatku 1)	Split sustavi zrak-voda kapaciteta do 12 kW s F-plinovima s GWP-om većim od 150**	Split sustavi zrak-zrak kapaciteta do 12 kW s F-plinovima s GWP-om većim od 150**			Split sustavi kapaciteta većeg od 12 kW s F-plinovima s GWP-om većim od 150**
Chilleri		Zabrana upotrebe F-plinova s GWP-om od 150 ili većim za rashladne uređaje do 12 kW** Zabrana F-plinova s GWP-om većim od 750 za nove rashladne uređaje iznad 12 kW**			Potpuna zabrana F-plinova u novim rashladnim uređajima kapaciteta do 12 kW**		
* ako je nemoguće postavljanje opreme s alternativnim radnim tvarima zbog sigurnosnih uvjeta dozvoljene su radne tvari s GWP-om do 750 **osim ako nije moguće zbog sigurnosnih zahtjeva							

## 4. Komponente dizalice topline

### 4.1. Kompresori

U rashladnim uređajima i dizalicama topline koriste se stapni, spiralni i rotorni kompresori za manje i srednje sustave, te vijčani i centrifugalni kompresori za veće sustave.

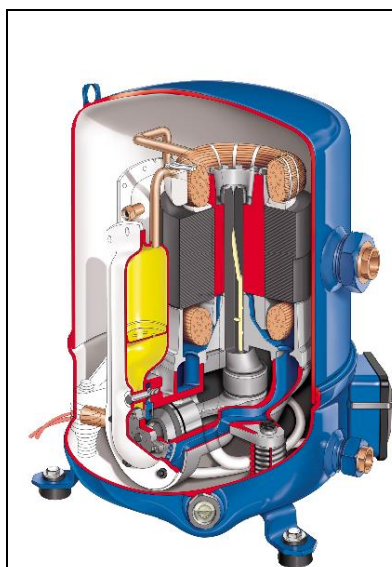
U svakom kućanskom hladnjaku kompresiju radne tvari obavlja kompresor promjera cilindra

dvadesetak milimetara, dok su u velikim hladnjačama ugrađeni višecilindarski kompresori sa stapovima promjera ponekad većim i od 200 mm. U novije vrijeme prednost pred stapnim imaju spiralni i vijčani kompresori (za veće sustave).

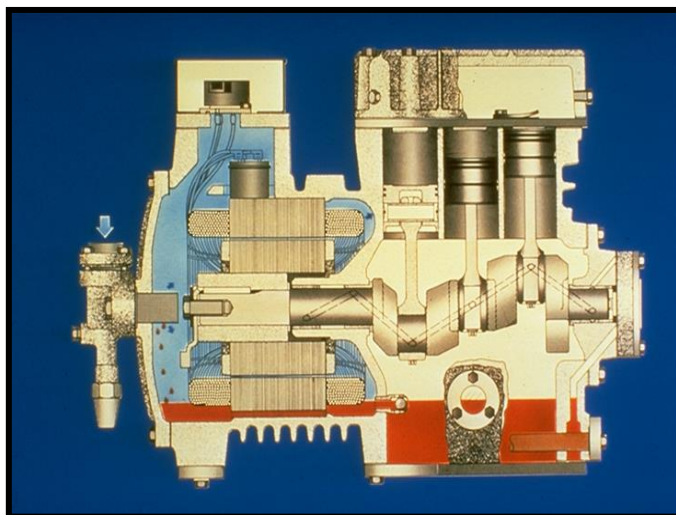
### Stapni kompresori

Stapni kompresori koriste se većinom za manje i srednje učinke rashladnih agregata i dizalica topline (Slika 13). Grade se za umjerene brzine vrtnje koje rijetko prelaze 2000 min<sup>-1</sup>. U praksi su rashladni učinci većinom ispod 500 kW. Nedostatak su im samoradni ventili koji su najopterećeniji dijelovi kompresora. Konstrukcija ventila povećava štetni prostor koji je najutjecajniji uzrok volumetrijskih gubitaka.

Suvremeni multikompresorski setovi s dva do četiri kompresora u paralelnom radu zamjenjuju jedan veći kompresor. Paralelnim radom više kompresora znatno se olakšana regulacija rashladnog učinka, čime se povećava učinkovitost uređaja. Najčešće se koristi poluhermetička izvedba kompresora s kompresorom i motorom u jednom kućištu s prirubničkim spojem (Slika 14).



Slika 13. Stapni hermetički kompresor  
(Danfoss)



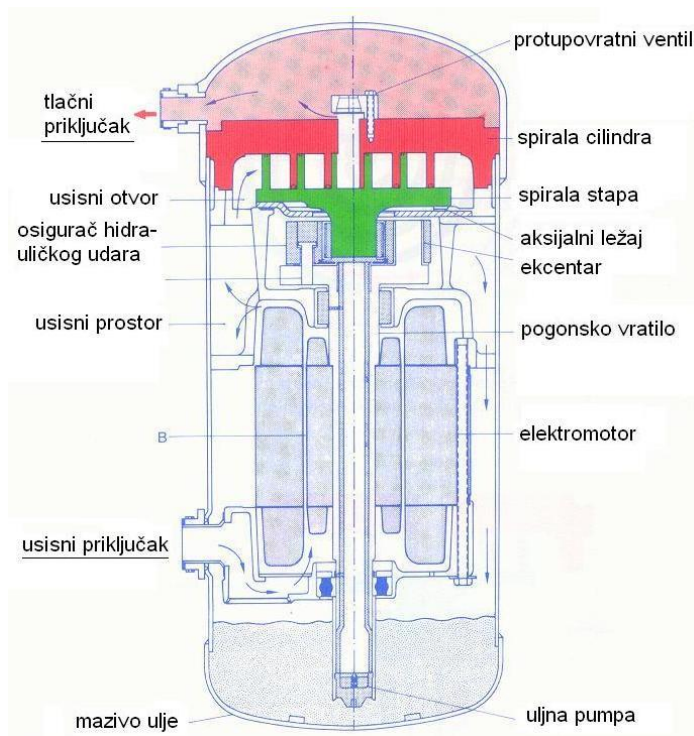
Slika 14. Presjek poluhermetičkog stapnog  
kompresora (Copeland)

Nakon 10000 do 20000 radnih sati stapni kompresori zahtijevaju detaljniji servis cilindara i ventila. Do učinaka od 350 kW učinkovitost im je bolja u odnosu na vijčane kompresore.

### Spiralni kompresori

Spiralni hermetički kompresori uglavnom se koriste za manje rashladne učinke (Slika 15). Budući da postižu manje kompresijske omjere, primjenjuju se za klimatizacijsku tehniku. Međutim, ovi kompresori se intenzivno razvijaju i očekuje se da će se sve više primjenjivati te da će im snaga rasti,

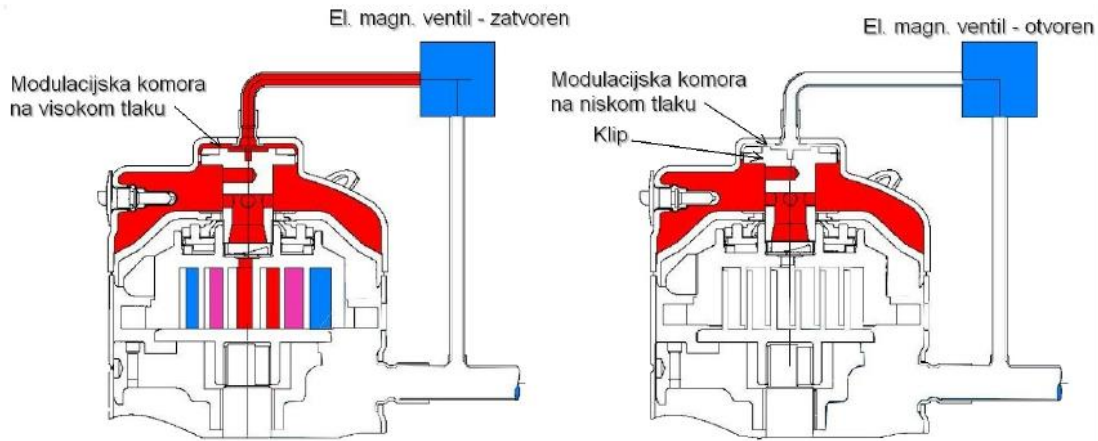
pogotovo kad se zna da im dobava ne ovisi značajno o kompresijskom omjeru. Kompresija radne tvari kod spiralnih kompresora odvija se između pomične (spirala stapa) i nepomične spirale (spirala cilindra). U većini slučajeva na rashladnim agregatima koristi se više spiralnih kompresora u paralelnom radu čime se postiže stupnjevana regulacija rashladnog učinka.



Slika 15. Presjek spiralnog kompresora (Trane)

Suvremena digitalna tehnologija upravljanja spiralnih kompresora omogućuje regulaciju učinka kompresora u rasponu od 10 do 100 %. Modulacija učinka u slučaju smanjenog zahtjeva potrošača, ostvarena je na mehaničkom principu, razdvajanjem spirala iz zahvata aksijalnim pomicanjem. Tzv. aksijalna prilagodljivost omogućuje mali pomak neorbitirajuće spirale (1 mm), tako da su spirale u stanju mirovanja i u prvih nekoliko okretaja elektromotora kompresora malo razmaknute, čime se kompresor uvijek pokreće rasterećen.

Mehanizam za podizanje gornje spirale dan je na sljedećoj slici (Slika 16). Na gornjoj strani spirale učvršćen je klip sa šupljom klipnjačom. Na lijevoj slici prikazan je kompresor u normalnom radu, sa spiralama u zahvatu. Nema razlike tlakova na modulacijskom klipu, elektromagnetski ventil (EMV) je zatvoren. Ako se EMV otvori, dolazi do prestrujavanja plina na usisnu stranu kompresora, dolazi do razlike tlakova na klipu, koji ga pomiče gore, a on sa sobom pomiče i fiksnu spiralu. Pritom dolazi do prestrujavanja vrlo malih količina radne tvari na usisnu stranu kompresora.



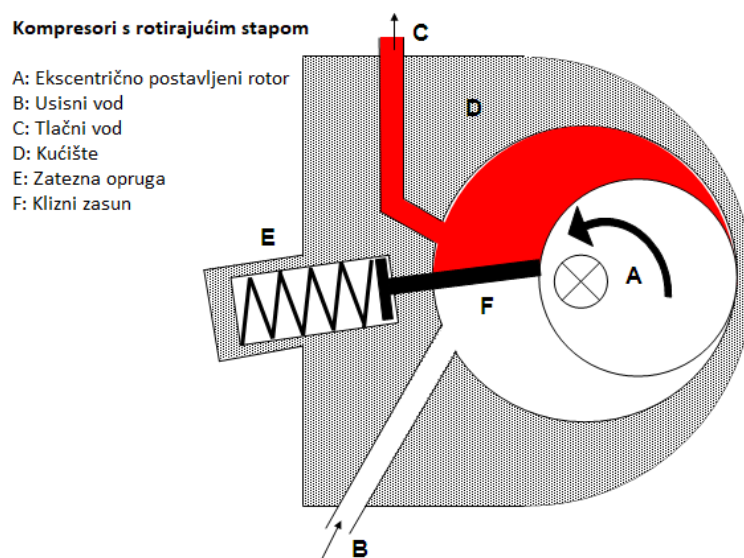
Slika 16. Presjek spiralnog kompresora upravljanog digitalnom tehnologijom (Copeland)

Zahvaljujući širem rasponu regulacije rashladnog opterećenja, tlak isparavanja moguće je držati unutar užih granica, a time i viši prosječni tlak isparivanja, što dovodi do značajnih energetskih ušteda. Povišenje temperature isparivanja samo za 1 °C dovodi do uštede od približno 2 % na pogonskoj energiji kompresora.

U spiralnim kompresorima koriste se sljedeće radne tvari : R134a, R32, R407C, R410A, R744.

### Rotorni kompresori

Zajednička je osobina jednorotornih kompresora da unutar njihovog kućišta rotira samo jedan potisni element u obliku rotora. Kod njih se pojedini bitni dijelovi ciklusa rada (usisavanje, kompresija i istiskivanje) odvijaju međusobnim djelovanjem rotora i statora. Načelo rada jest volumetrijsko, tj. spomenuti učinci postižu se periodičkim povećavanjem i smanjivanjem radnog prostora kompresora. U primjeni je većinom jednorotorni kompresor s ekscentrično rotirajućim stapom (Slika 17).



Slika 17. Kompresor s ekcentrično rotirajućim stapom (lamelni kompresor)

Opisani rotorni kompresor ima vrlo jednostavnu konstrukciju sa samo dva pokretna dijela (rotor i lamela), pri čemu je rotor, iako se vrti ekscentrično, moguće u potpunosti uravnotežiti tako da pri vrtnji ne izaziva sile inercije. Time se osigurava miran rad stroja i pri velikim brzinama vrtnje  $n$ , koje često postižu i  $3000 \text{ min}^{-1}$ . Prisutnost samoradnog tlačnog ventila i lamele i ovdje predstavlja ograničenje još većim brzinama vrtnje.

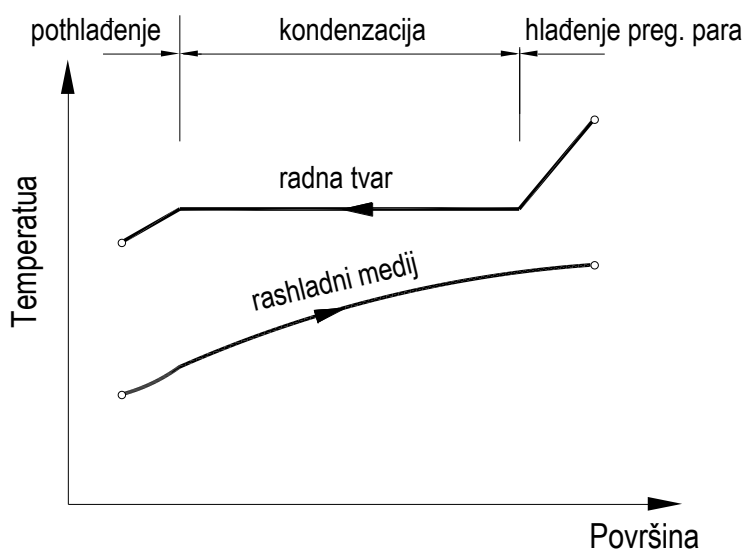
## 4.2. Kondenzatori

Kondenzator je jedna od četiri osnovne komponente kompresijskog rashladnog uređaja na kojem se toplina kondenzacije radne tvari predaje ponoru topline (toplinska energija preuzeta od izvora topline na isparivaču uvećana za energiju kompresije).

Učinak kondenzatora:

$$\phi_{kond} \approx \phi_{isp} + P_{komp}$$

Radna tvar na ulazu u kondenzator u pregrijanom je stanju, dok je na izlazu iz kondenzatora najčešće pothlađena radna tvar (Slika 18).



Slika 18. Temperaturni profil struja na kondenzatoru

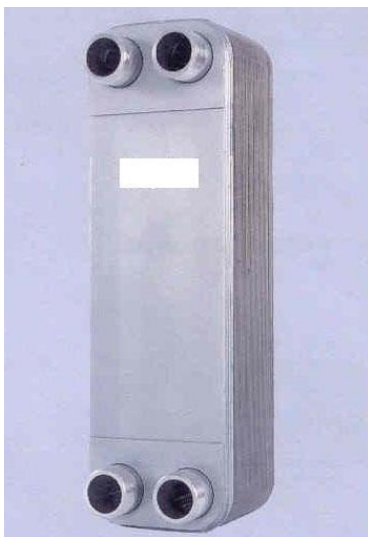
Više temperature kondenzacije radne tvari doprinose većoj potrošnji energije za pogon kompresora, odnosno dizalice topline i manjoj učinkovitosti sustava. Za  $1 \text{ }^{\circ}\text{C}$  viša temperatura kondenzacije povećava potrošnju energije za pogon kompresora za približno 2 do 3 %.

Ako promatramo rashladni uređaj, u tom slučaju kondenzatori se dijele prema načinu hlađenja na:

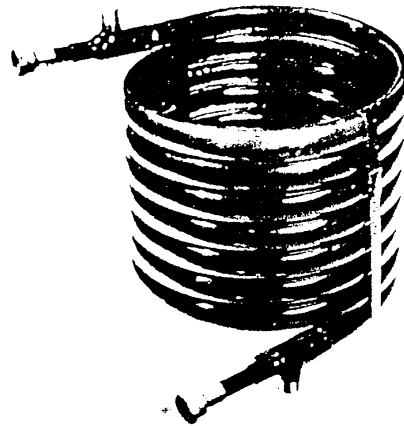
- zrakom hlađene
- vodom hlađene
- zrakom i vodom hlađene kondenzatore.

Ako promatramo rad uređaja kao dizalice topline, govorimo u uređaju za zagrijavanje vode ili zagrijavanju zraka na kondenzatoru. Većina dizalica topline koriste se za zagrijavanje vode kao posrednog prijenosnika energije.

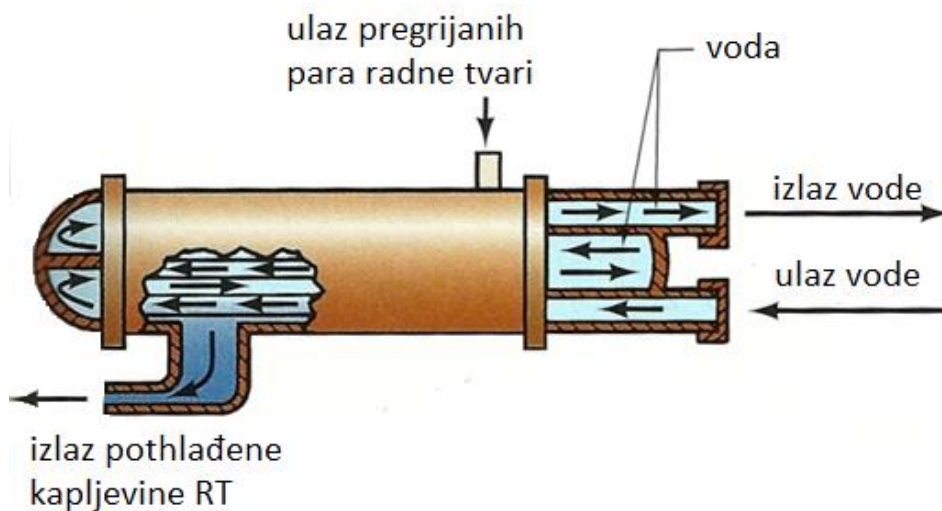
U praksi se najčešće koriste pločasti kompaktni kondenzatori za manje kapacitete (Slika 19). Nakon njih slijede koaksijalni cijev-u-cijevi izmjenjivači (Slika 20). Za veće kapacitete koriste se kondenzatori s cijevima u plaštu („shell and tubes“), Slika 21.



Slika 19. Pločasti kompaktni kondenzator



Slika 20. Koaksijalni cijev u cijevi kondenzator



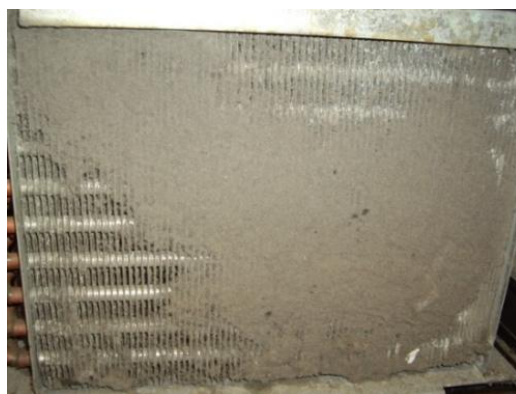
Slika 21. Shematski prikaz kondenzatora s cijevima u plaštu s četiri prolaza vode

Kod kondenzatora koji koriste vodu kao ponor topline, srednja temperaturna razlika između struje radne tvari i struje vode u većini primjera iznosi od 5 do 7 °C.

Kondenzatori koji koriste zrak kao ponor topline, odnosno koji se koriste za grijanje zraka, izvode se kao orebrene sekcije Cu cijevi na koje su navučene Al lamele (Slika 22).



Slika 22. Zračni kondenzator



Slika 23. Nečiste površine kondenzatora

Zbog slabog koeficijenta prijelaza topline na strani zraka, izvodi se orebrene sekcije uz prisilnu cirkulaciju zraka. Razmak između lamela iznosi od 1 do 2 mm. Nečiste površine kondenzatora značajno utječu na povišenje temperature kondenzacije, a time i povećanu potrošnju energije za pogon uređaja (Slika 23).

### 4.3. Prigušni ventili

Uloga prigušnih ventila jest doziranje i prigušivanje radne tvari s tlaka kondenzacije na tlak isparivanja. U većini rashladnih uređaja i dizalica topline koriste se sljedeći prigušni ventili:

- kapilare
- termoekspanzijski ventili TEV
- elektronički ekspanzijski ventili (EEV).

Za industrijske amonijačne sustave koriste se ventili s plovkom.

Kapilara

Kapilara se koristi kao prigušni element za manje i najmanje rashladne uređaje i dizalice topline učinka do 5 kW.

Kapilara hidrauličkim otporima strujanja prigušuje radnu tvar s tlaka kondenzacije na tlak isparivanja. Izrađuje se u promjerima od 0,5 do 1,5 mm i duljine od 1,5 do 6 m (Slika 24).

Regulacijska karakteristika kapilare takva je da ona propušta u isparivač svu radnu tvar koja je u kondenzatoru kondenzirala. Budući ona nije ventil i u mirovanju propušta radnu tvar s visokog na niski tlak, na uređajima na kojima je kapilara prigušni organ (kućni hladnjaci, ledenice, split klima uređaji) između isparivača i kompresora ugrađuje se odvajač kapljevite radne tvari (Slika 25).



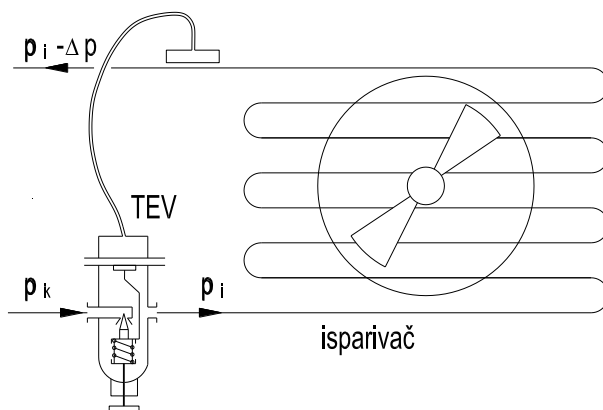
Slika 24. Kapilara



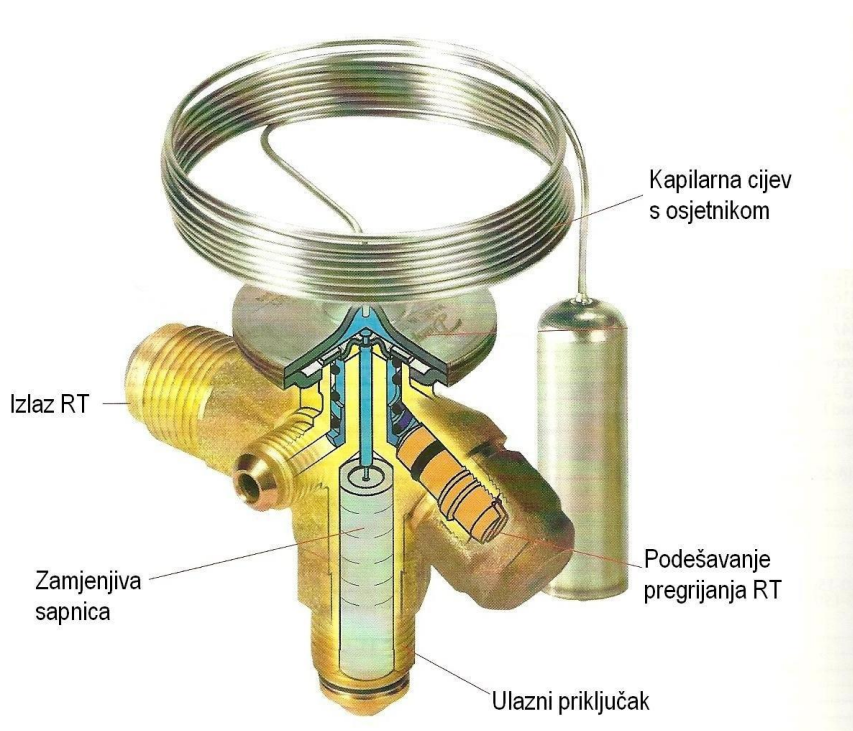
Slika 25. Odvajač kapljevine

### Termoekspanzijski ventil

Na isparivaču, prikazanom na Slika 26, doziranje i prigušenje radne tvari s tlaka kondenzacije na tlak isparivanja provodi termoekspanzijski ventil (TEV). Termoekspanzijski ventil koristi se u srednjim i većim rashladnim uređajima i dizalicama topline. On regulira pregrijanje radne tvari na izlazu iz isparivača i na taj način osigurava kompresor od usisavanja kapljevite radne tvari i hidrauličkog udara. U isparivač ispušta upravo onu količinu radne tvari koja će u njemu ispariti i pregrijati se za 5 do 7 °C. U tome mu pomaže osjetnik, koji je sastavni dio TEV-a i postavlja se na izlaz iz isparivača, a s kapilarnom je cjevčicom spojen s membranom TEV-a. Za isparivače s značajnijim padom tlaka koriste se termoekspanzijski ventili s vanjskim izjednačenjem tlaka (Slika 27)



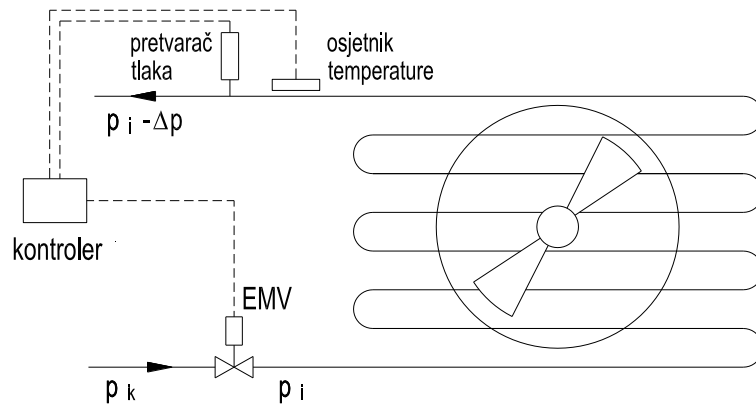
Slika 26. Spoj termoekspanzijskog ventila s isparivačem



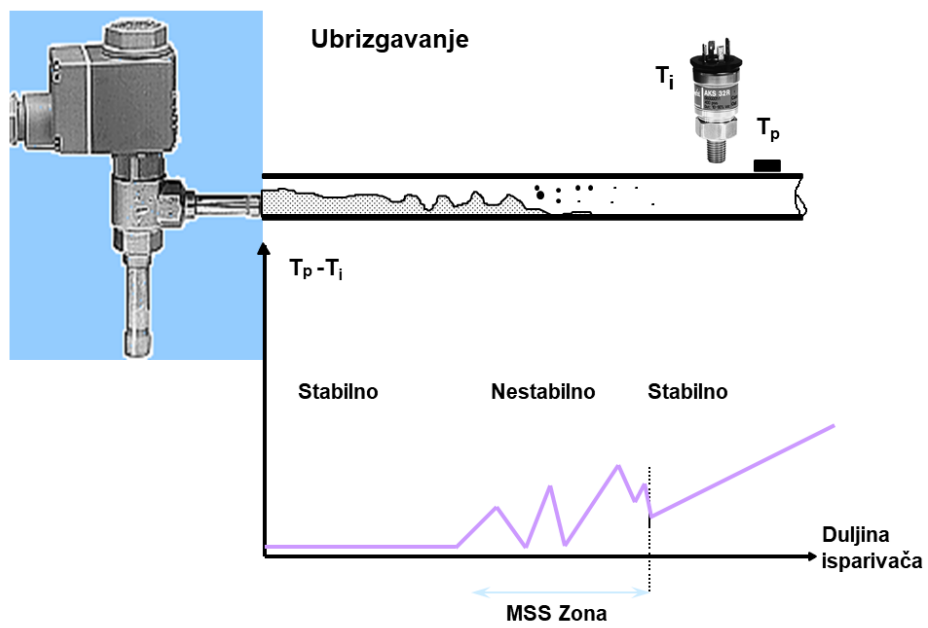
Slika 27. Termoekspanzijski ventil s vanjskim izjednačenjem tlaka

### Elektronički ekspanzijski ventil

Elektronički ekspanzijski ventil (EEV) objedinjuje funkcije elektromagnetskog i termoekspanzijskog ventila (Slika 28). Regulira minimalno stabilno pregrijanje radne tvari na izlazu iz isparivača. Za to mu služi osjetnik temperature pregrijanja radne tvari koje se naslanja na izlaznu cijev isparivača, pretvarač tlaka spojen na tlak radne tvari na izlazu iz isparivača i kontroler koji iz očitavanja temperature i tlaka određuje pregrijanje radne tvari, te otvara ili zatvara ventil kako bi održao minimalno stabilno pregrijanje radne tvari (Slika 29).



Slika 28. Spoj elektroničkog ekspanzijskog ventila s isparivačem



Slika 29. Minimalno stabilno pregrijanje radne tvari održavano EEV

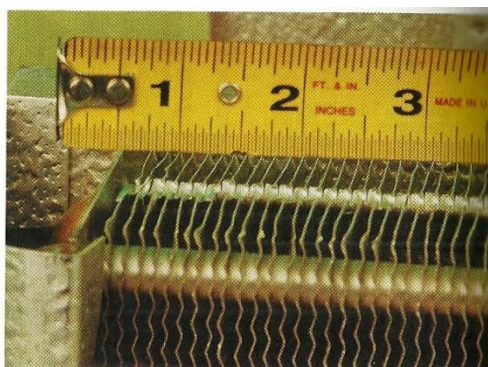
## 4.4. Isparivači

Prema funkcionalnosti dijele se na potopljene i suhe isparivače.

Razlikujemo isparivače koji koriste zrak kao izvor topline i one koji koriste vodu kao izvor topline. U režimu hlađenja govorimo o isparivačima koji se koriste za hlađenje zraka i isparivačima koji se koriste za hlađenje kapljevina.

### Zračni isparivači

Zračni isparivači, kao i zračni kondenzatori, koriste konfiguraciju Cu cijevi s navučenim Al lamelama (orebrenje) kako bi se povećala površina izmjene topline jer je u procesu sa zrakom koeficijent prijelaza topline znatno manji od onog na strani radne tvari (Slika 30). Također, zbog navedenih razloga, strujanje zraka preko orebrenih površina isparivača pospješuje mehanički ventilator (Slika 31).



Slika 30. Orebrene sekcije isparivača



Slika 31. Vanjska jedinica dizalice topline

Za prisilnu cirkulaciju zraka preko orebrenih površina isparivača, koeficijent prolaza topline iznosi 15 do 35 W/(m<sup>2</sup>K), sveden na vanjsku površinu isparivača. Razmak između lamela kod dizalica topline iznosi od 1,5 do 2,5 mm.

Optimalna temperaturna razlika između temperature zraka i temperature isparivanja na isparivačima iznosi 7 do 10 °C. Veća temperaturna razlika doprinosi nižoj temperaturi isparivanja, a time i većoj potrošnji električne energije za pogon kompresora. Manja temperaturna razlika postiže se većom izmjenjivačkom površinom, odnosno većom investicijom u opremu.

Svaki zračni isparivač mora imati okapnicu (tavicu) za odvod kondenzata. Svaki puta kada je

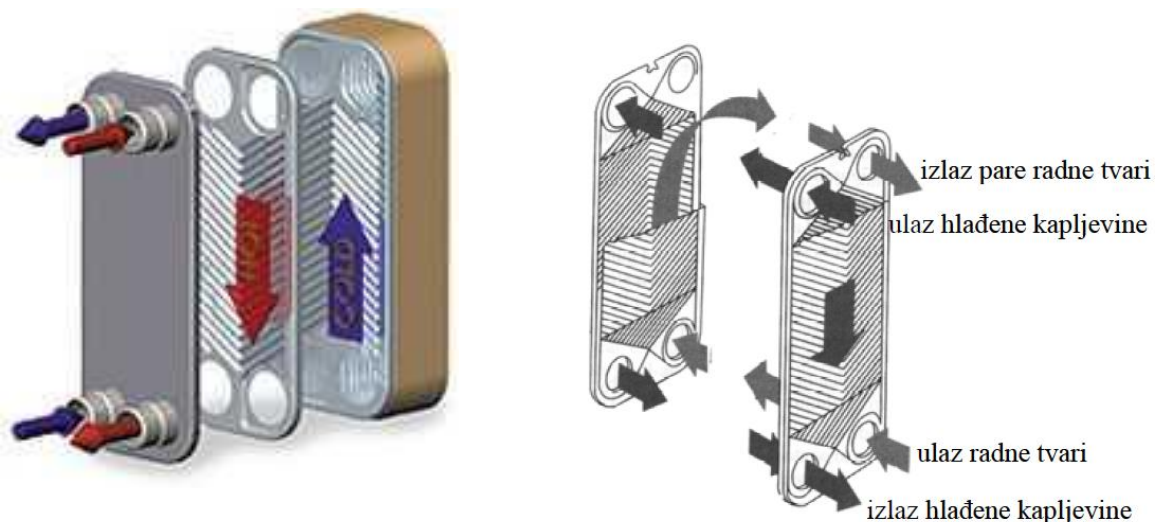
temperatura vanjske stjenke cijevi isparivača jednaka ili niža od temperature rošenja za stanje zraka oko isparivača dolazi do kondenzacije vodene pare iz zraka na hladnim stjenkama isparivača. Ako je temperatura stjenke  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$  ili niža, dolazi do stvaranja inja i leda na isparivaču. Inje i led predstavljaju otpor prolazu topline, što dovodi do smanjenja učinka isparivača, ali i povećanja potrošnje energije za pogon uređaja. Zbog toga se led mora povremeno odleđivati što smanjuje učinkovitost uređaja.

### Isparivači voda-radna tvar

Izvode se kao pločasti kompaktni isparivači, cijev u cijevi isparivači i isparivači s cijevima u plaštu. Pločasti kompaktni isparivači sve više zauzimaju mjesto u praksi zbog manjih dimenzija (veći k) i manjeg punjenja radne tvari po kW učinka isparivača.

### Pločasti kompaktni isparivači

Visokoučinski izmjenjivači, malog volumena, sastoje se od ploča valovita lima čije udubine služe za usmjeravanje tvari (Slika 32). Između pojedinih ploča su brtve, koje osim brtvljenja prema okolini, služe i za distribuciju tvari.

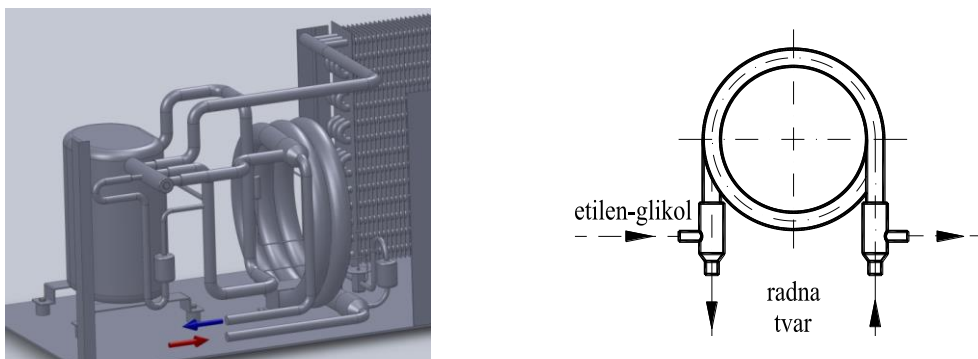


Slika 32. Princip rada pločastog kompaktnog isparivača

Radna tvar isparava u svakome drugom međuprostoru (prvom, trećem, petom itd.), hladeni medij ulazi u drugi, četvrti, šesti međuprostor itd..

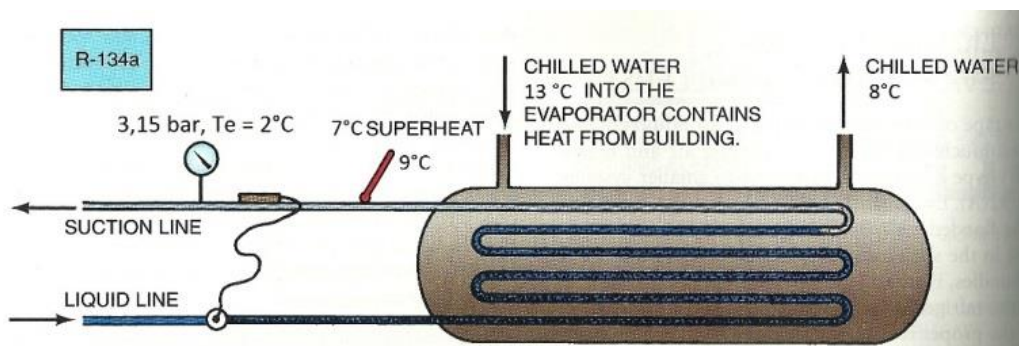
## Koaksijalni isparivači

Koaksijalni isparivači sastoje se od dviju cijevi, koje su umetnute jedna u drugu i savijene u valjkasti oblik (Slika 33). Odlikuje ih mala veličina i količina radne tvari unutar isparivača. Ne koriste se na većim uređajima.



Slika 33. Koaksijalni isparivač

Na Slika 34 prikazan je isparivač s cijevima u plaštu (shell and tube). Koristi se za veće kapacitete. Obično se izvodi kao suhi tip s isparavanjem radne tvari u cijevi, a voda se hladi u plaštu.



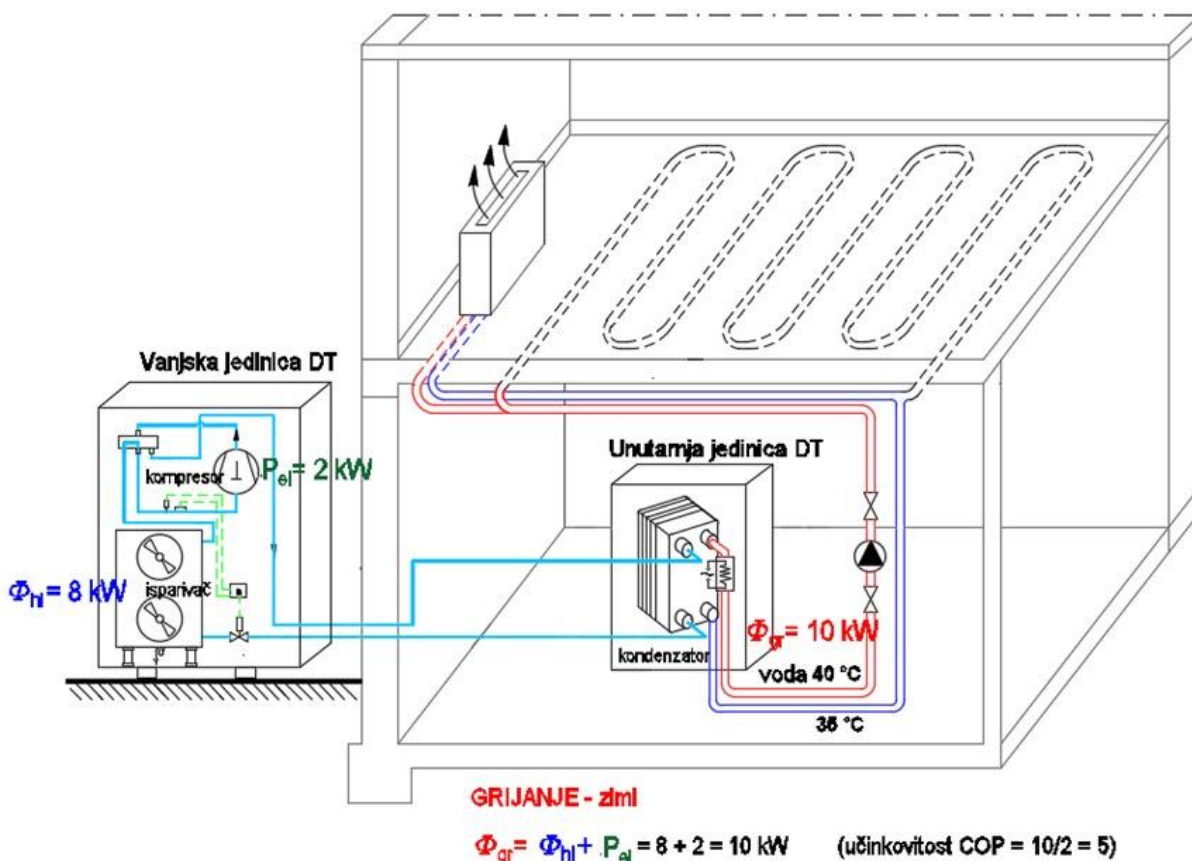
Slika 34. Isparivač s cijevima u plaštu

## 5. Dizalice topline zrak-voda i zrak-zrak

### 5.1 Dizalice topline zrak-voda

Najveći i najpristupačniji ogrjevni spremnik topline za dizalice topline predstavlja okolišni zrak. Orebreni izmjenjivač topline s prisilnom cirkulacijom zraka koristi se za izmjenu topline između zraka i radne tvari (Slika 35). Razlika temperature okolišnog zraka, kao izvora topline i radne tvari koja, isparuje, kreće se od 7 do 10 °C.

Ove se dizalice topline ne dimenzioniraju na puno opterećenje, odnosno za najnepovoljniju radnu točku, jer bi u najvećem dijelu godine sustav bio predimenzioniran. Bivalentna temperatura kreće se seod 3 i -5 °C. Ovisno o temperaturi vanjskog zraka, sezonski toplinski množitelj dizalice topline kreće se od 3 do 4,0.



Slika 35. Kvalitativan prikaz rada dizalice topline zrak-voda u režimu grijanja

Najveći je nedostatak zraka, kao toplinskog spremnika, velika varijabilnost temperature kroz godinu što utječe na kapacitet i učinkovitost dizalice topline. Iz tog razloga se dizalice topline ovog tipa

pretežito ne dimenzioniraju za vršno ogrjevno opterećenje, već se sustavi izvode u kombinaciji s dodatnim izvorom topline (najčešće električnim grijačem). Buka također može biti pitanje rada uređaja. Dodatno, u zimskim mjesecima moguća je pojava inja i leda na cijevima isparivača uslijed vlage u zraku što dodatno narušava učinkovitost uređaja (Slika 36). Za stvaranje leda na lamelama i cijevima isparivača najkritičnije su temperature vanjskog zraka od  $-3$  do  $+2$  °C. Naime, kod tih temperatura vanjski zrak sadrži dosta vlage pa je količina nastalog leda dovoljno velika da zatvori kanale za prolaze zraka u isparivaču. Niže vanjske temperature nisu toliko kritične jer je u zraku veoma malo vlage pa je količina nastalog leda malena.



Slika 36. Inje na orebrenim sekcijama isparivača

Međutim, bez obzira na sve navedene nedostatke, konstrukcija uređaja stalno se usavršava, učinkovitost je sve viša tako da dizalice topline zrak-voda imaju najveći rast broja instaliranih jedinica u praksi. Standardna radna točka dizalice topline zrak-voda prema EN 14511 je A2/W35 (tablica 7).

Tablica 8. Radne točke dizalice topline zrak-voda prema EN14511

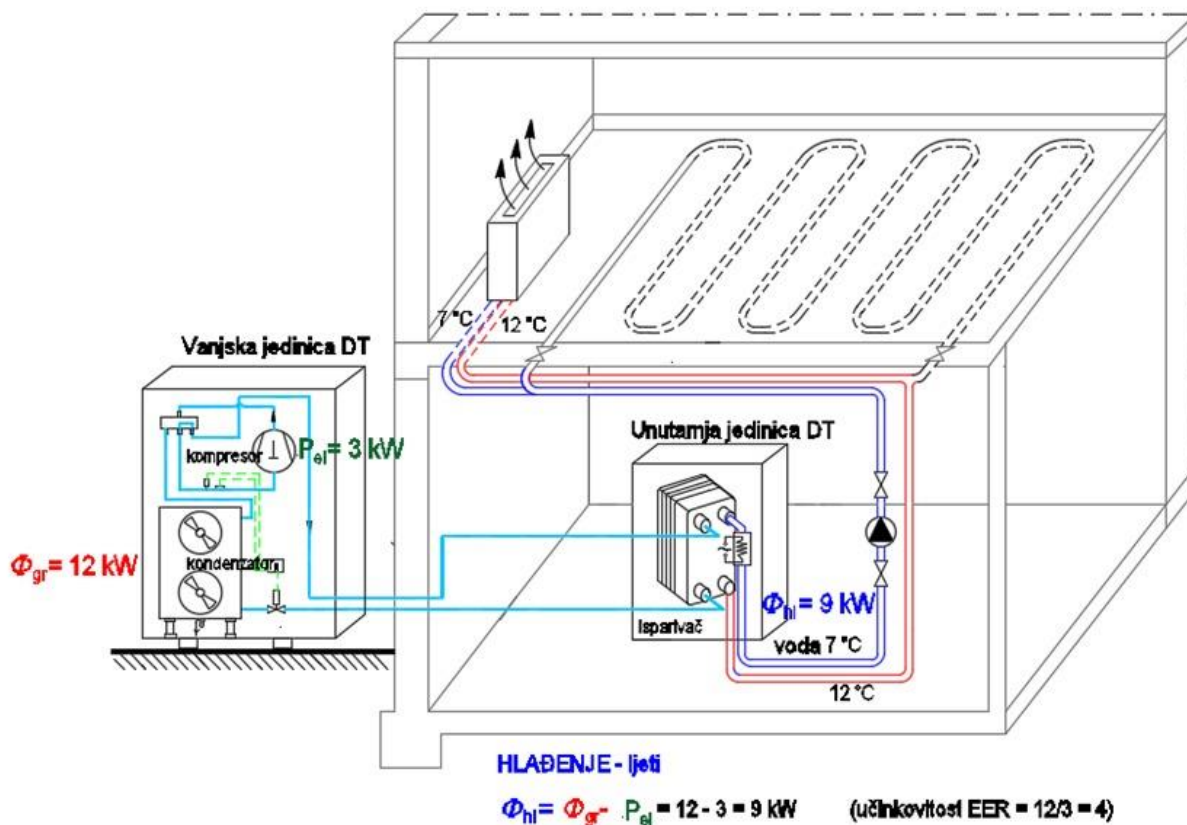
Radna točka	Učinak, kW	COP, -
A-7/W35	9,1	3,0
A2/W35	11	3,5
A7/W35	13,2	4,0
A20/W35	16,1	4,8
A-7/W45	8,7	2,55
A2/W45	10,6	3,0
A7/W45	12,7	3,4
A20/W45	15,8	4,05

Na osnovi dosadašnjeg iskustva s dizalicama topline za grijanje zgrada s vanjskim zrakom kao

izvorom topline, može se reći da se do  $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$  vanjske temperature može ekonomski i pogonski opravdano upotrijebiti dizalica topline, a ispod  $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$  treba upotrijebiti dodatni grijač.

Hlađenjem zraka za 4 do  $6\text{ }^{\circ}\text{C}$  dobivaju se optimalni odnosi između količine zraka, veličine ventilatora, veličine isparivača i toplinskog množitelja.

Važno je primijetiti da ugradnjom četveroputnog prekretnog ventila uređaj u ljetno doba može raditi u režimu hlađenja (Slika 37).



Slika 37. Kvalitativan prikaz rada dizalice topline zrak-voda u režimu hlađenja

### 5.1.1. Izvedbe dizalice topline zrak-voda

Razlikuju se tri izvedbe dizalica topline zrak-voda u praksi:

- split izvedba
- kompaktna mono blok izvedba za vanjsku ugradnju
- kompaktna monoblok izvedba za unutarnju ugradnju.

U praksi se većinom koriste prve dvije izvedbe. Kod split izvedbe vanjska jedinica dizalice topline spojena je na cjevovod u kojem se nalazi radna tvar „freon“, a kod monoblok izvedbi ona je spojena na cjevovod u kojem se nalazi ogrjevno/rashladni medij za grijanje/hlađenje objekta. To je najčešće glikolna smjesa ili, u manjem broju primjera, voda. Nadalje, monoblok dizalice dijele se na one koje unutar objekta imaju i one koje nemaju hidromodul.

**Split izvedba dizalice topline zrak voda** ima odvojenu vanjsku i unutarnju jedinicu. Vanjsku jedinicu čine isparivač, kompresor, prigušni ventil, prekretni ventil za mogućnost rada uređaja u režimu grijanja i hlađenja (Slika 38) dok unutarnju jedinicu čine kondenzaor, cirkulacijska pumpa te automatika (Slika 39). Jedinice su međusobno povezane preko kruga radne tvari. Ova je izvedba sustava dosad bila najčešća u praksi i najveća joj je prednost zaštita od smrzavanja vode kao ogrjevnog medija sustava grijanja jer se voda nalazi u grijanom prostoru.



Slika 38. Vanjska jedinica dizalice topline



Slika 39. Unutarnja jedinica dizalice topline

Unutarnja i vanjska jedinica dizalice topline međusobno su povezane bakrenim cjevovodom kojim struji radna tvar pod tlakom (Slika 40). Jedna cijev je kapljevinska, a druga je parna. Usisni se cjevovod obavezno toplinski izolira kako ne bi dolazilo do kondenzacije vodene pare na hladnim cijevima.



- i) Najmanja duljina cjevovoda preporučena je od proizvođača i može se razlikovati od proizvođača do proizvođača (cilj je izbjeći vibracije od vanjske jedinice).
- j) Propisno izolirati cjevovod radne tvari .

Vanjska jedinica dizalice topline može se ugraditi na ravnu horizontalnu plohu na betonskim gumiranim nosačima (Slika 41) ili vertikalno ovješena na zidni konzolni čelični nosač (Slika 42). U oba slučaja potrebno je osigurati nesmetano strujanje zraka. Za horizontalnu ugradnju preporuka je podići jedinicu od tla minimalno 200 mm zbog potencijalnog snijega u zimskom periodu te slobodnog otjecanja kondenzata zbog rošenja i odleđivanja.



Slika 41. Horizontalna ugradnja vanjske jedinice dizalice topline



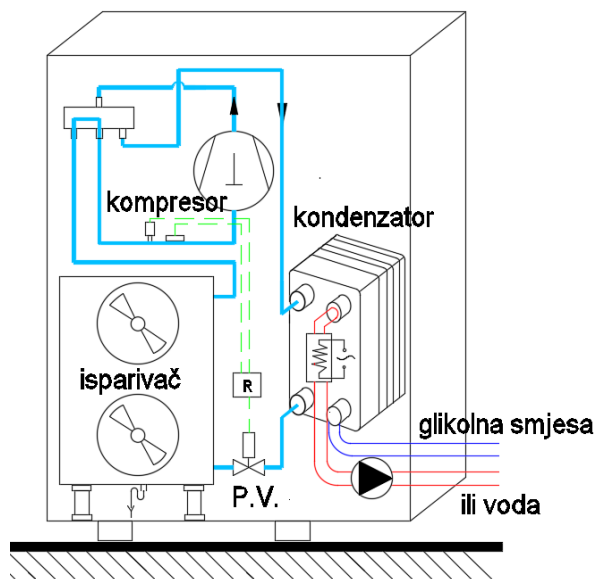
Slika 42. Konzolna ugradnja vanjske jedinice dizalice topline na konzolni zidni čelični nosač

Za režim rada uređaja u režimu grijanja poželjan je osunčani položaj vanjske jedinice. Minimizirati duljinu cjevovoda radne tvari između unutarnje i vanjske jedinice. Time se smanjuju hidraulični gubitci, punjenje radne tvari te sama investicija. Važno je također osigurati jednostavan odvod kondenzata s vanjske jedinice. Izuzetno je važan dio stvaranjeinja i leda na isparivačkim sekcijama. Za to je potrebno osigurati pouzdan sustav odleđivanja isparivača. Posebnu pozornost treba obratiti na zaštitu vanjske jedinice dizalice topline od udara vjetra i tuče ( natkrivanje, barijere od udara vjetra ) .

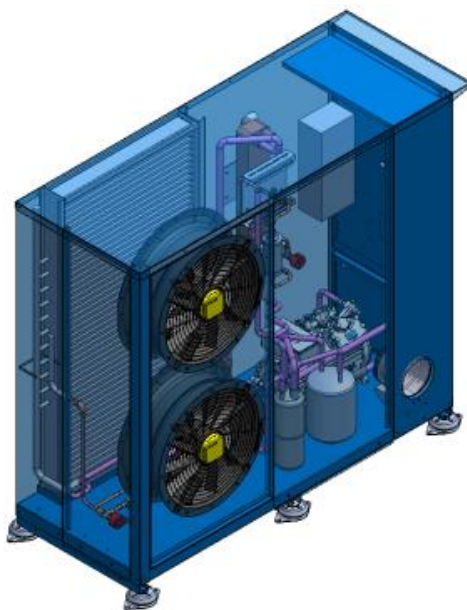
Vanjska jedinica dizalice topline mora biti postavljena na mjesto koje udovoljava propisima o dozvoljenim vrijednostima buke. Po iznosu zvučne snage jedinice se razlikuju od proizvođača do proizvođača. Ovo može biti ozbiljan nedostatak u praksi ako se vanjska jedinica instalira na neadekvatan način. Isto tako, s vremenom može doći do oštećenja ležajeva ventilatora te vibracija na strani kompresora. Moderne dizalice topline imaju mogućnost smanjenja buke na uređaju (ograničenje broja okretaja ventilatora i frekvencije kompresora ) koji se koristi u noćnom režimu rada iza 23 sata kada su dozvoljene niže emisije buke .

### Kompaktna monoblok izvedba dizalice topline zrak - voda

Stroga F-gas regulativa usmjerava primjenu prirodnih radnih tvari u rashladnim uređajima i dizalicama topline. Granica GWP broja spušta se sve niže. Sve je više proizvođača dizalica topline koji koriste ugljikovodike kao radne tvari (R290, R600a). Budući da su ugljikovodici visokozapaljive radne tvari, uređaji su kompaktni monoblok izvedbe i ugrađuju se u slobodnoj okolini (Slika 43 i 44). Sve komponente sustava (kompresor, kondenzator, prigušni ventil i isparivač) smještene su u jedno kućište.



Slika 43. Komponente kompaktne dizalice topline zrak-voda



Slika 44. Kompaktna izvedba dizalice topline zrak-voda (izvor: Frigo Plus d.o.o.)

### 5.1.2. Primjer iz prakse: obiteljska kuća u Samoboru

Dizalica topline:	zrak-voda (split izvedba), Slika 45
Fizika zgrade:	AB konstrukcija, 20 cm topl. izolacija, trostruko izo staklo
Učinak grijanja:	Inverterska dizalica topline, <b>16 kW</b>
Sezonska učinkovitost:	<b>SPF= 4,48 (77,6 % OIE)</b>
Akumulacijski spremnik:	100 lit.
Spremnik sanitarne vode:	400 lit.
Fotonaponska elektrana :	<b>10 kWp</b>
Podno /zidno grijanje/hlađenje, kontrola vlage klima uređajem	
Ventilacija:	bazenska klima komora
Zimski režim rada isključivo noću (niža tarifa el. en.), ljetni režim isključivo dnevni režim rada	
Korisna površina:	270 m <sup>2</sup>



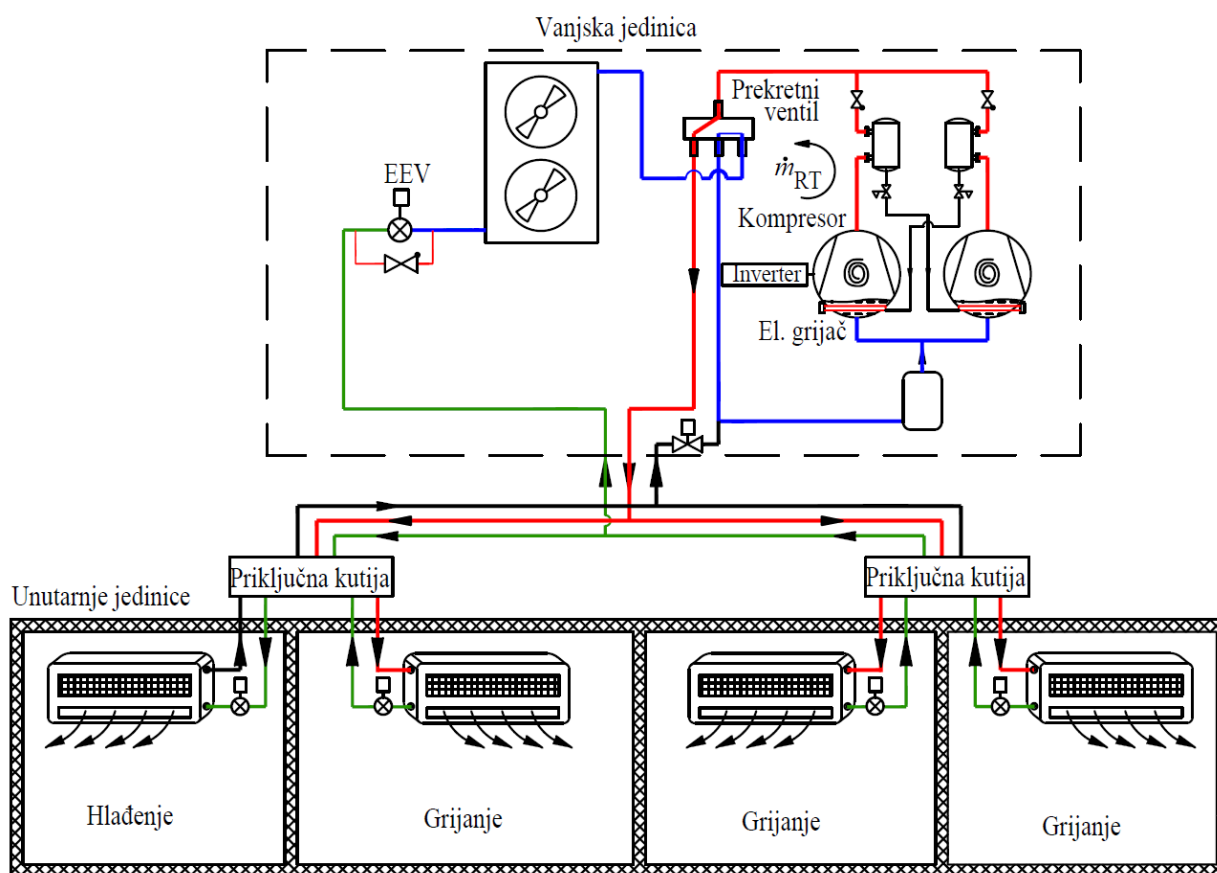
Slika 45. a) Podno grijanje; b) Strojarnica; c) Solarna elektrana

## 5.2. Dizalice topline zrak-zrak

## VRF sustav s direktnom ekspanzijom radne tvari

Glavne su prednosti VRF sustava jednostavnost izvedbe (Slika 46), pouzdanost i viša učinkovitost sustava. Druge su sljedeće prednosti: mogućnost grupiranja više unutarnjih jedinica s pripadajućom vanjskom jedinicom, manji promjer cijevovoda, mogućnosti promjene kapaciteta sustava, mogućnost istovremenog grijanja i hlađenja različitih zona te mogućnost regeneracije topline između različitih zona.

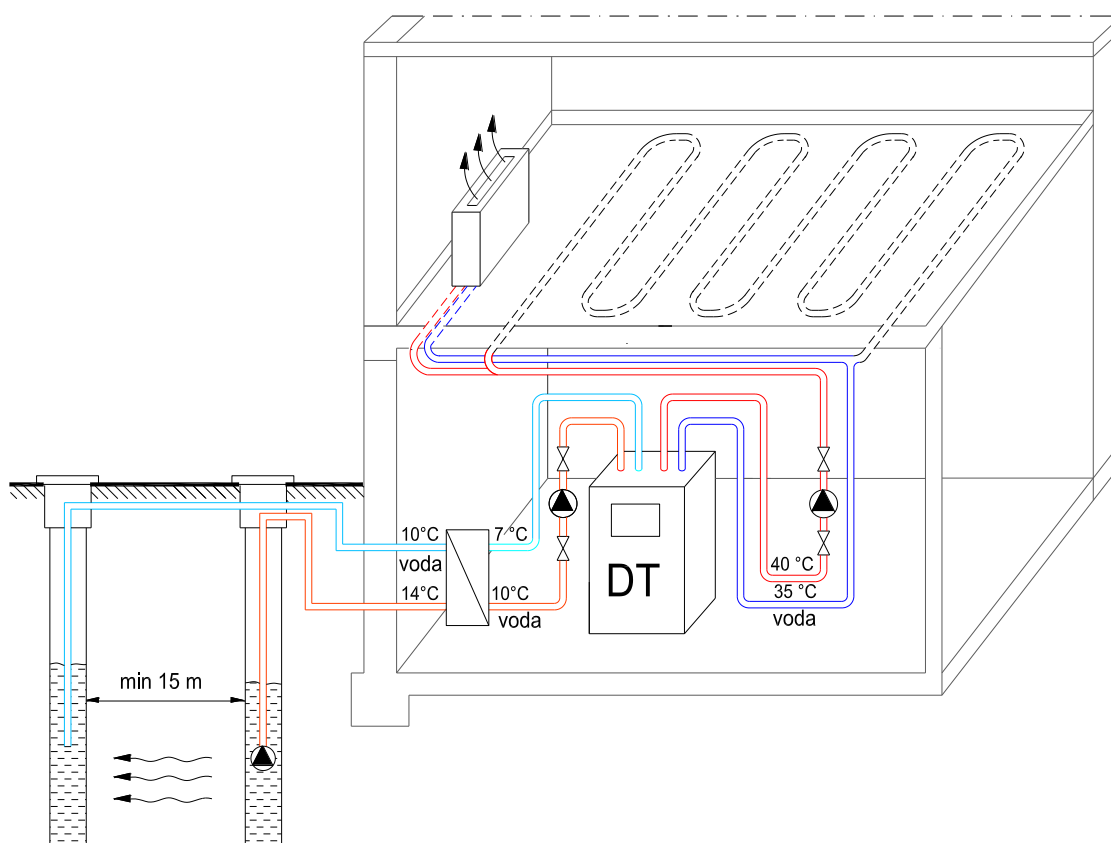
Glavni je nedostatak ovakvih sustava dužina cijevnog razvoda te veća količina radne tvari koja je razvedena po prostoru (potencijalno veća mogućnost propuštanja radne tvari). Radna tvar u razgranatom cijevovodu donosi sa sobom i probleme vezane s gospodarenjem ulja u sustavu.



Slika 46. Kvalitativan prikaz rada dizalice topline zrak-zrak

## 6. Dizalice topline voda-voda

Voda kao toplinski spremnik uključuje površinske vode (jezera, rijeke, mora) i podzemne vode. Sustavi s tlom i podzemnim vodama u literaturi grupiraju se u kategoriju geotermalnih dizalica topline s podjelom na izravne i neizravne sustave. Osnovna prednost vode jest njezina manja temperaturna promjenjivost tijekom godine, što je više izraženo za zahvat vode na većoj dubini, te dobar prijelaz topline između kapljevine i stijenke izmjenjivača. Najveći nedostaci korištenja vode jesu njezina dostupnost, bilo zbog fizičkih ili pravnih ograničenja, i sastav vode koji može pogodovati nastanku korozije i mikrobiološkom onečišćenju cijevnih i izmjenjivačkih površina (ugradnja međuzmjenjivača topline). Za crpljenje podzemne vode potrebna su dva bunara, crpni i ponorni, sa što većim međusobnim razmakom, a po mogućnosti ne manjim od 15 m (Slika 47).



Slika 47. Kvalitativan prikaz dizalice topline podzemna voda - voda

Crpni bunar treba osiguravati u svim vremenima pogona dovoljnu količinu vode, odnosno izdašnost crpnog bunara najvažniji je uvjet za projektiranje ove dizalice topline. Potopljena crpka ugrađuje se obično na dubini 15 do 25 m (ovisno o dubini vodonosnika) kako bi se smanjili pogonski troškovi te se ispod pumpe ostavlja slobodna visina bunara koja omogućuje nakupljanje pijeska i nečistoća. Pri dimenzioniranju sustava protok pumpe za podzemnu vodu proračunava se na temperaturnu razliku vode na isparivaču od 3 do 5 °C. Literatura navodi podatak o 0,25 m<sup>3</sup>/h protoka vode po 1 kW učinka isparivača. Standardna radna točka dizalice topline voda-voda prema EN 14511 je W10/W35 (tablica

9).

Tablica 9. Radne točke dizalice topline voda-voda prema EN 14511; temperaturni režim: isparivač 10/7°C; kondenzator \* 30/35 °C; \*\*40/45 °C; \*\*\*47/55 °C

Dizalica topline VODA - VODA			
Radna točka	Učinak, kW	El. snaga, kW	COP
W10/W35*	11,4	2	5,7
W10/W45**	10,6	2,3	4,5
W10/W55***	9,9	2,8	3,5

Izvedba crpnih i ponornih bunara zahtijeva zaštitu podzemnih vodotokova pa je za zahvat podzemne vode potrebno ishoditi vodopravne uvjete od nadležnih tijela u Hrvatskoj. Isto tako, prema Pravilniku o obračunu i naplati naknade za korištenje voda (NN 84/2010 i 146/2012) plaća se koncesija od 10 lipa po 1 m<sup>3</sup> zahvaćene vode.

#### Primjer iz prakse: Obiteljska kuća u sjeverozapadnom dijelu Hrvatske

Dizalica topline voda/voda toplinskog učinka 8 kW osnovni je izvor topline za grijanje kuće površine 195 m<sup>2</sup> (Slika 48).

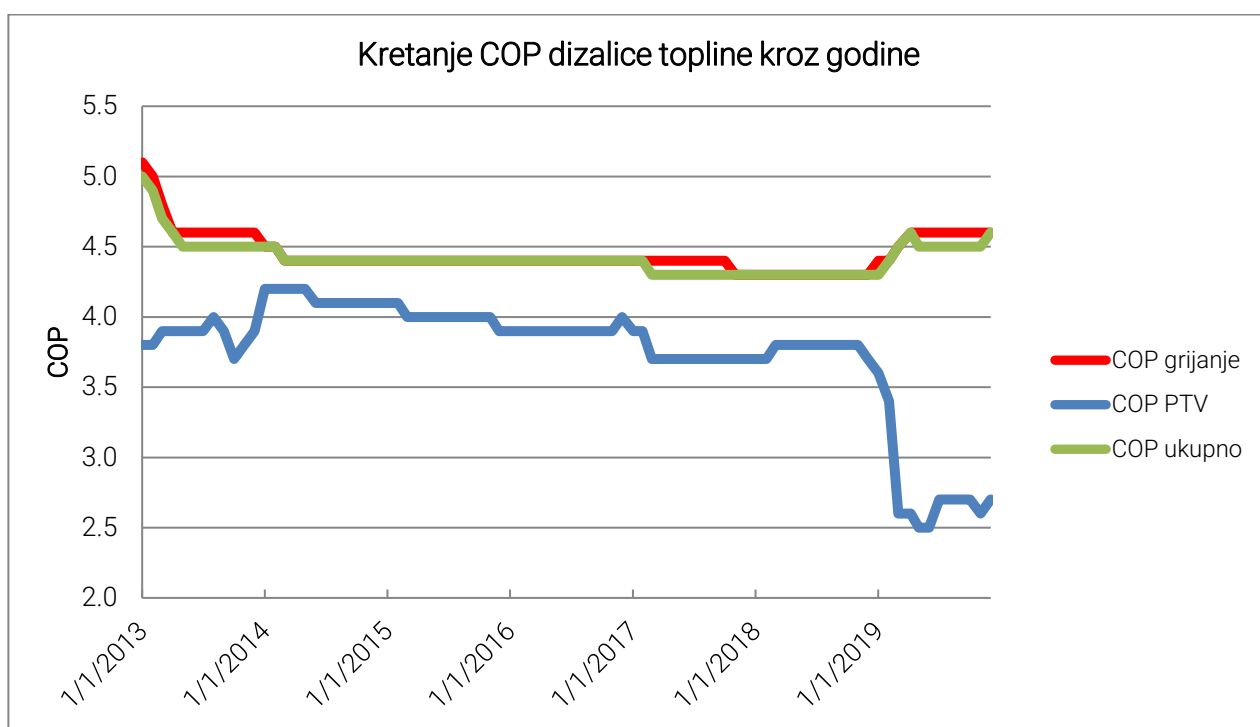


Slika 48. Dizalica topline voda-voda

U dvorištu kuće na udaljenosti od 30 m iskopana su 2 bunara koja preko pločastog izmjenjivača predaju energiju dizalici topline. Prosječna temperatura podzemne vode je 12 °C (i ljeti i zimi). Kako bi trošili što manje električne energije za crpljenje vode iz bunara, nabavljena je jet-pumpa (električne

snage 250 W) koja je spojena preko frekvencijskog invertera, presostata i mjerača protoka na sistem. Dizalica topline spojena je na akumulacijski spremnik od 500 litara (sa solarnim izmjenjivačem) te preko razdjelnika na 4 kruga podnog grijanja. Pumpe krugova podnog grijanja su elektronske pa sve zajedno godišnje troše oko 50 kWh električne energije. Dizalica je vođena prema vanjskoj temperaturi, a prema potrebi zagrijava bivalentni spremnik PTV-a na 50°C. Sustav podnog grijanja izveden je aluminijskim termičkim pločama koje povećavaju površinu grijanja za 30%, čime se smanjuje potrebno vrijeme zagrijavanja poda do 50%, a najviša polazna temperatura podnog grijanja je 35°C. Ovakva niska temperatura polaza sustava grijanja omogućava relativno visok stupanj iskorištenjai solarnog sustava za grijanje i dizalice topline.

U tehničkoj sobi (strojarnici) ugrađeno je više kalorimetara za mjerenje toplinske energije i nekoliko analizatora mreža za mjerenje električne energije. Koriste se za mjerenje toplinske energije dobivene iz solarnog sustava, proizvodnju energije dizalice topline, potrošnju energije za grijanje te potrošnju PTV. Na Slika 49 prikazano je kretanje COP-a dizalice topline za grijanje, PTV i ukupno kroz godine korištenja. Trenutni ukupni SCOP dizalice topline (grijanje i PTV) iznosi 4,6, SCOP samo grijanja je 4,7, dok je SCOP samo PTV 2,7. Ovdje se može uočiti pad COP-a dizalice topline krajem 2018. godine kada smo podigli zadanu temperaturu PTV-a s 47°C na 55°C. Ukupni COP dizalice topline nije se tako značajno smanjio jer dizalica topline radi puno više u režimu grijanja prostora u odnosu na zagrijavanje PTV-a, a PTV ipak većinom zagrijavaju solarni kolektori.



Slika 49. Učinkovitost dizalice topline od 2013. do 2019.

## 7. Dizalice topline tlo-voda

Tlo je nakon zraka najrasprostranjeniji toplinski spremnik, ali za njegovo iskorištavanje potrebni su veći investicijski troškovi vezani uz izvedbu izmjenjivača u tlu. Glavna prednost tla, kao toplinskog spremnika, njegova je toplinska inercija, odnosno značajno manje temperaturne oscilacije kroz godinu u odnosu na zrak. Na dubinama većim od 2 metra sezonska amplituda temperature manja je od 10 °C, a porastom dubine ispod 10-20 metara nestaje vremenska promjenjivost temperature tla. Izmjena topline s tlom uvjetovana je njegovim toplinskim svojstvima i izvedbom izmjenjivača u tlu.

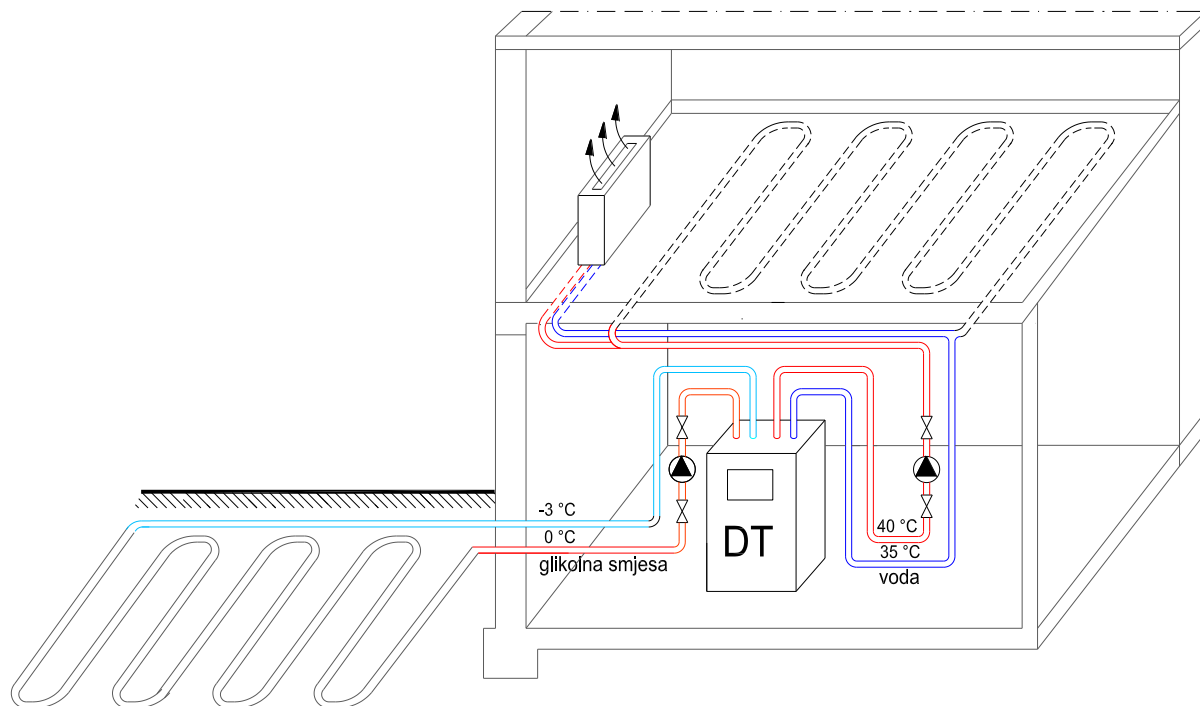
Ovisno o vrsti izmjenjivača u tlu, sustavi se mogu podijeliti na horizontalnu i vertikalnu izvedbu. U oba slučaja riječ je o posrednim sustavima kod kojih kroz izmjenjivač topline u tlu struji posredni prijenosnik energije (mješavina vode sa sredstvom za snižavanje ledišta vode) te izmjenjuje toplinu s tlom i predaje ju dizalici topline na isparivaču ili kondenzatoru, ovisno radi li sustav u režimu grijanja ili hlađenja. Standardna radna točka dizalice topline tlo-voda prema EN 14511 je B0/W35.

### 7.1. Horizontalna izvedba izmjenjivača

Horizontalna izvedba izmjenjivača zahtijeva niže investicijske troškove u odnosu na vertikalnu izvedbu, ali i veliku slobodnu površinu za ugradnju (približno dvostruko veću od grijane površine). Polietilenske cijevi polažu se na dubini od 1 do 2 metra pri čemu geometrija kolektorskog polja može biti raznolika: horizontalni kolektor (Slika 50), spiralna izvedba izmjenjivača ili košarasti izmjenjivač. Ukupna duljina jedne izmjenjivačke sekcije iznosi do 100 metara, a potrebno je pridržavati se preporuka proizvođača cijevi o međusobnom razmaku pojedinih petlji u horizontalnoj i vertikalnoj ravnini. Ovisno o svojstvima tla, učinak izmjenjivača u tlu kreće se u rasponu od 15 do 35 W/m<sup>2</sup> (VDI 4640).

Tablica 10. Regeneracija toplinskog izvora događa se zahvaljujući sunčevu zračenju, kiši ili rosi

Vrsta tla	Specifični učinak, W/m <sup>2</sup>
Suho pješčano tlo	10-15
Mokro pješčano tlo	15-20
Suho glinasto tlo	20-25
Mokro glinasto tlo	25-30
Tlo s podzemnom vodom	30-35



Slika 50. Kvalitativan prikaz dizalice topline tlo-voda, horizontalna izvedba izmjenjivača u tlu

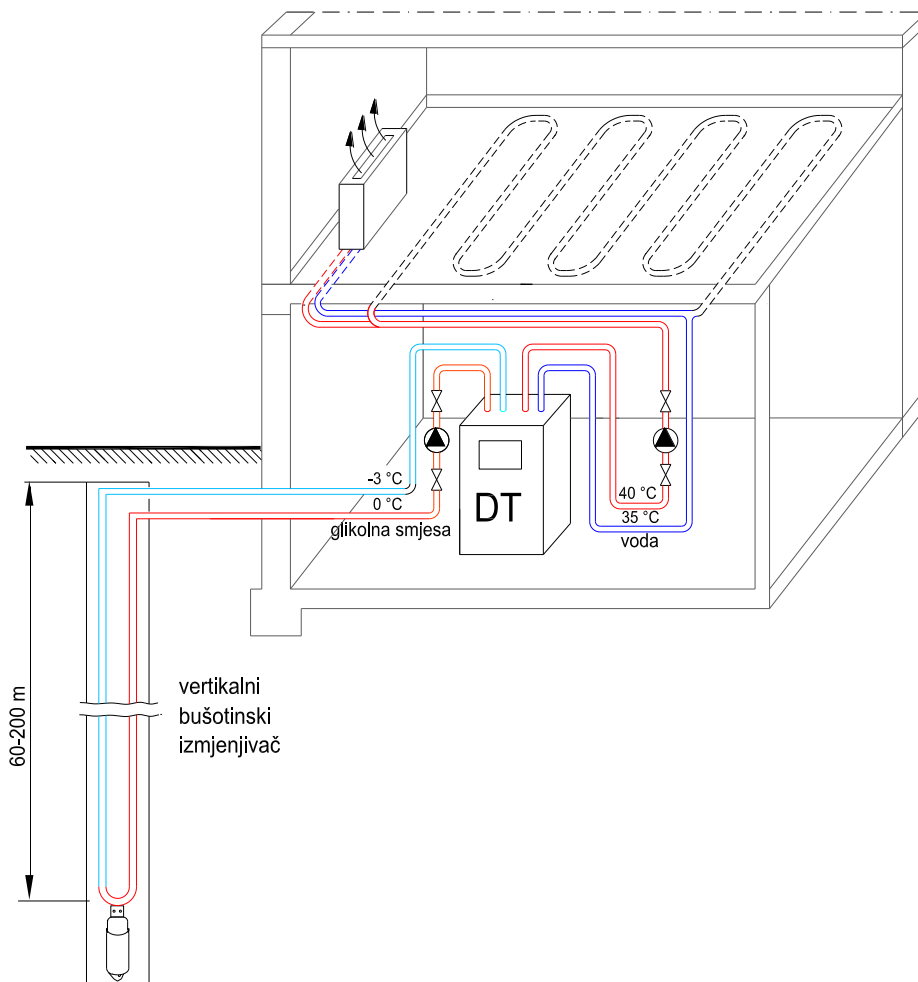
Izmjenjivačke sekcije mogu se postavljati i u kanale (rovove) čime su potrebe za slobodnom površinom smanjenje.

## 7.2. Vertikalna izvedba izmjenjivača

Vertikalna izvedba bušotinskog izmjenjivača topline podrazumijeva izvedbu bušotine promjera 80 do 200 mm i dubine 50-200 metara (Slika 52). Unutar bušotine ugrađuju se polietilenske cijevi u obliku U cijevi ili cijevi u cijevi (koaksijalni izmjenjivač), Slika 51, te se nakon ugradnje cementiraju s ispunom odgovarajućih toplinskih i mehaničkih svojstava.



Slika 51. Izvedbe izmjenjivača u tlu



Slika 52. Kvalitativan prikaz dizalnice topline tlo-voda, vertikalna izvedba izmjenjivača u tlu

Koliko se topline može oduzeti tlu ovisi o njegovom sastavu i vlažnosti, te mjestu polaganja izmjenjivača topline (tablica 16). Do sada provedena istraživanja, kao i u praksi instalirani sustavi, pokazuju da je temperatura tla na dubini od 2 m oko 7 do 10 °C, a na dubini do 100 m kreće se od 12 do 15 °C.

Izmjenjivač (tvornički predmontiran) se u tlo polaže u dvije osnovne izvedbe:

- kao dvostruka U cijev
- kao koaksijalna cijev, pri čemu kroz unutarnju PE cijev struji hladni medij (voda + glikol), dok se kroz vanjsku cijev zagrijani medij vraća na isparivač.

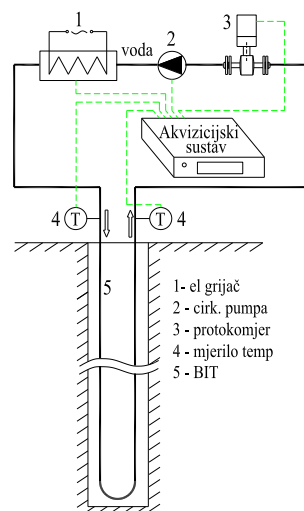
Tablica 11. Prosječna toplinska svojstva tla

Učinak vertikalnog izmjenjivača	20 ÷ 85 W/m
Promjer PE cijevi:	25, 32, 40 mm

Promjer bušotine	80 ÷ 150 mm (250 mm)
Ispuna bušotine:	smjesa bentonita i cementa
Toplinska vodljivost tla	1,5 ÷ 3 W/(m K)

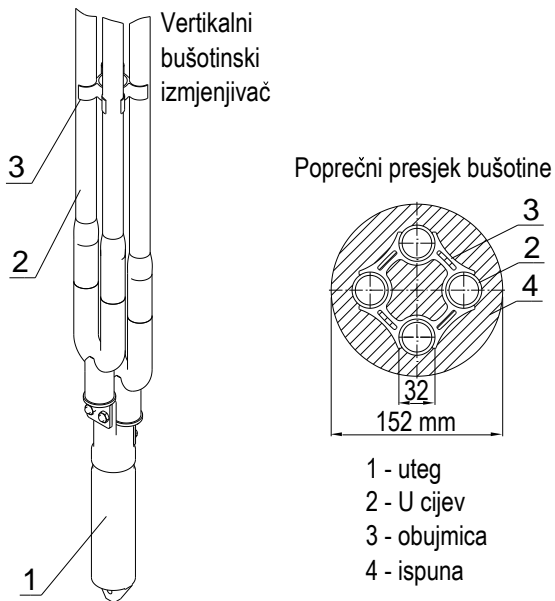
Potrebni bušački radovi znatno su složeniji te su investicijski troškovi osjetno viši u odnosu na horizontalnu izvedbu. Ovisno o svojstvima tla i vremenu rada sustava, očekivani prinos po metru dubine toplinske sonde iznosi od 20 do 85 W/m . Za manje sustave (do 30 kW) dimenzioniranje sustava provodi se prema dostupnim tablicama prinosa ovisno o vrsti tla na lokaciji (VDI 4640, uzima se srednji učinak izmjenjivača s dvostrukom U cijevi 50 W/m), dok je za veće sustave potrebno provoditi mjerenje toplinskog odziva tla (TRT) na ispitnoj bušotini kako bi se utvrdila efektivna toplinska vodljivost tla ( $\lambda$ , W/mK), toplinski otpor bušotine ( $R_b$ , mK/W) i temperatura toplinski neporemećenog tla ( $T_{tla}$ , °C) na promatranj lokaciji Slika 53).

Protok pumpe za glikolnu smjesu proračunava se na temperaturnu razliku glikola na isparivaču od oko 3 do 4 °C.



Slika 53. Prvi terensko mjerenje toplinski svojstva tla u Hrvatskoj, IKEA Rugvica 2011. (toplinska vodljivost tla  $\lambda = 1,73$  W/(m\*K), toplinski otpor bušotine  $R_b = 0,076$  (m\*K)/W, temperatura toplinski neporemećenog tla  $\vartheta_{tla} = 14,5$  °C)

Dvostruka U cijev izvodi se iz polietilena visoke gustoće PE 100 i većinom je promjera 32 mm (Slika 54).



Slika 54. Prikaz bušotinskog izmjenjivača topline

Nakon polaganja izmjenjivača slijedi cementiranje bušotine. Poslije polaganja toplinske i temperaturne sonde bušotina se zapunjava specijalnom smjesom bentonita i cementa dobre toplinske vodljivosti ( $\lambda \approx 2,0 \text{ W/(mK)}$ ).

Cementiranje bušotine provodi se pomoću pete cijevi, promjera 32 mm, koja se uvlači između cijevi toplinske sonde. Tijekom cementiranja peta se cijev postupno izvlači van (Slika 55).



Slika 55. Ispuna bušotine

Primjer iz prakse: obiteljska kuća u Zagrebu

Dizalica topline: tlo-voda (Slika 56)

Fizika zgrade: AB konstrukcija , 20 cm toplinska izolacija, trostruko izo staklo

Korisna površina: 480 m<sup>2</sup>

Učinak grijanja: 24 kW

Temperaturni režim grijanja: **32/29 °C maksimalni temperaturni režim** (vođenje po vanjskoj temperaturi)

Podno grijanje s razmakom cijevi od 5-10 cm (Slika 57); stropni paneli, zidni paneli grijanje /pasivno hlađenje

PTV 55 °C

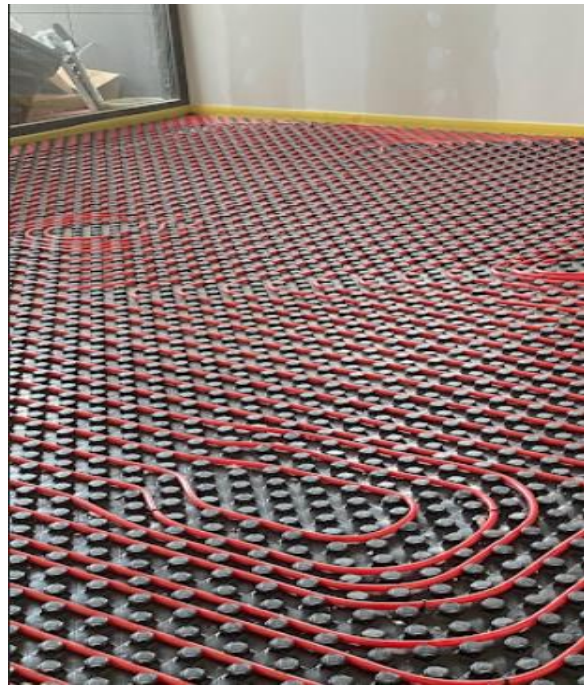
Sezonska učinkovitost: **SPF = 5.15 (81 % OIE)**; 95 % vremena noćni režim rada

Temperaturni režim pasivnog hlađenja (bez rada kompresora) : 18/21 °C **(95 % OIE)**.

Dubina izmjenjivača u tlu: 6 x 90 m (klasična dvostruka U sonda DN 32)



Slika 56. Strojarnica



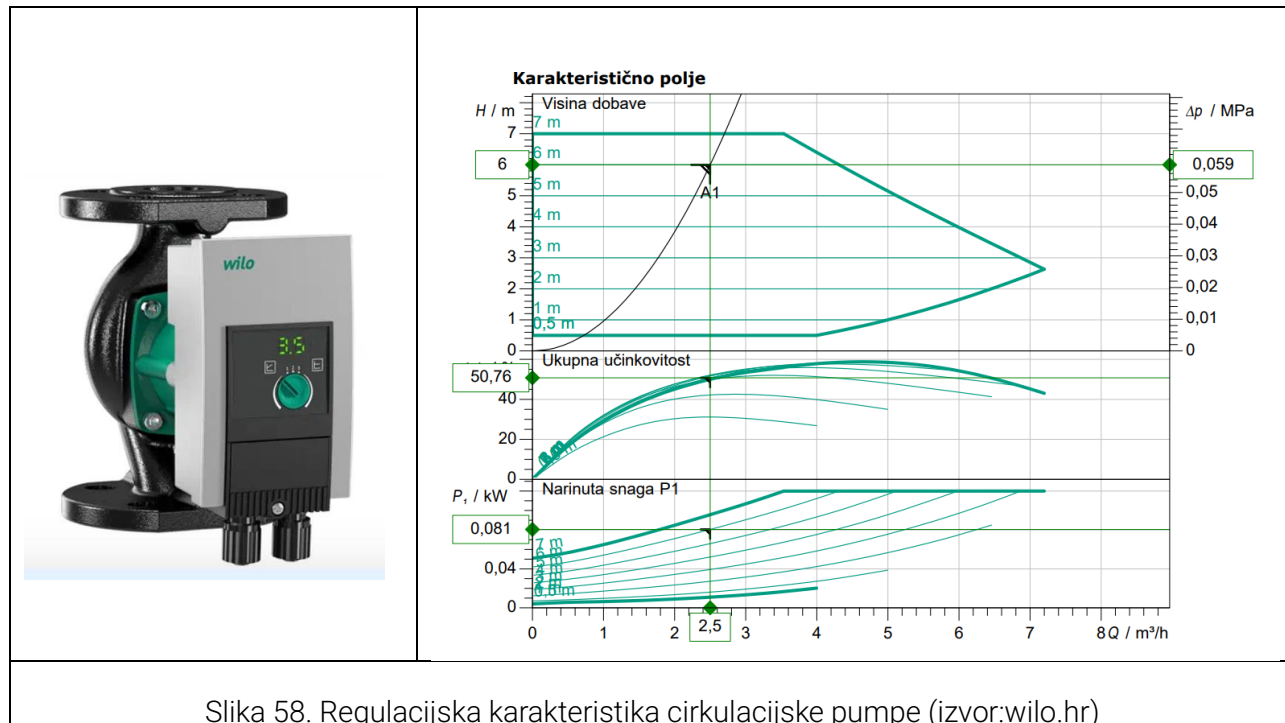
Slika 57. Vanjska jedinica dizalice topline

## 8. Sustav distribucije toplinske i rashladne energije

Hidraulički krug dizalice topline čine:

- Cirkulacijska pumpa
- Razvodni cjevovod
- Razdjelnik/sabirnik
- Akumulacijski ili inercijski spremnik
- Spremnik PTV-a
- Ogrjevno/rashladna tijela
- Pomoćna armatura

Cirkulacijska pumpa odabire se za proračunski protok vode te pad tlaka u najudaljenijoj grani. Određena je s volumnim protokom vode izraženim u  $\text{m}^3/\text{h}$  i padom tlaka izraženim visinom stupca vode,  $H$ , m. Na Slika 58 prikazan je primjer odabira cirkulacijske pumpe za dizalicu topline učinka grijanja 14,5 kW i temperaturni režim grijanja 50/45 °C. Za navedeni režim rada maseni protok vode iznosi 0,7 kg/s, dok je volumni protok 2,5  $\text{m}^3/\text{h}$ .



Slika 58. Regulacijska karakteristika cirkulacijske pumpe (izvor:wilo.hr)

Pad tlaka računa se zasebno za linijske i lokalne otpore razvoda te pad tlaka ogrjevnih tijela. Izražava se visinom stupca vode te je najčešće u području 4 do 8 m (40.000 do 80.000 Pa). Kod proračuna cjevovoda potrebno se držati preporučenih padova tlaka po metru cijevi koje iznose od 100 do 200 Pa/m. Za veće brzine strujanja povećava se snaga pumpe, ali i brzina strujanja vode što može dovesti

do šumova u instalaciji.

Razdjelnik/sabirnik ugrađuje se za slučaj više različitih krugova grijanja. Jedan krug može biti za podno/zidno/stropno grijanje, drugi krug za ventilokonvektore/radijatore (Slika 59). Za rashladne sustave izolacija razdjelnika/sabirnika treba biti parnonepropusna kako ne bi došlo do kondenzacije vodene pare na hladnim stjenkama. Isto vrijedi za akumulacijski spremnik rashladnih sustava.



Slika 59. Razdjelnik/sabirnik s dva odvojena kruga

Akumulacijski spremnik može biti spojen paralelno ili u seriju (Slika 60 i 61).



Slika 60. Inercijski spremnik



Slika 61. Akumulacijski spremnik

Od pomoćne armature na hidrauličnom krugu koriste se ekspanzijska posuda, sigurnosni ventili, hvatači nečistoća, nepovratni ventili, odzračni lončići, slavine za punjenje i pražnjenje, manometri te termometri.

### Tlačna proba

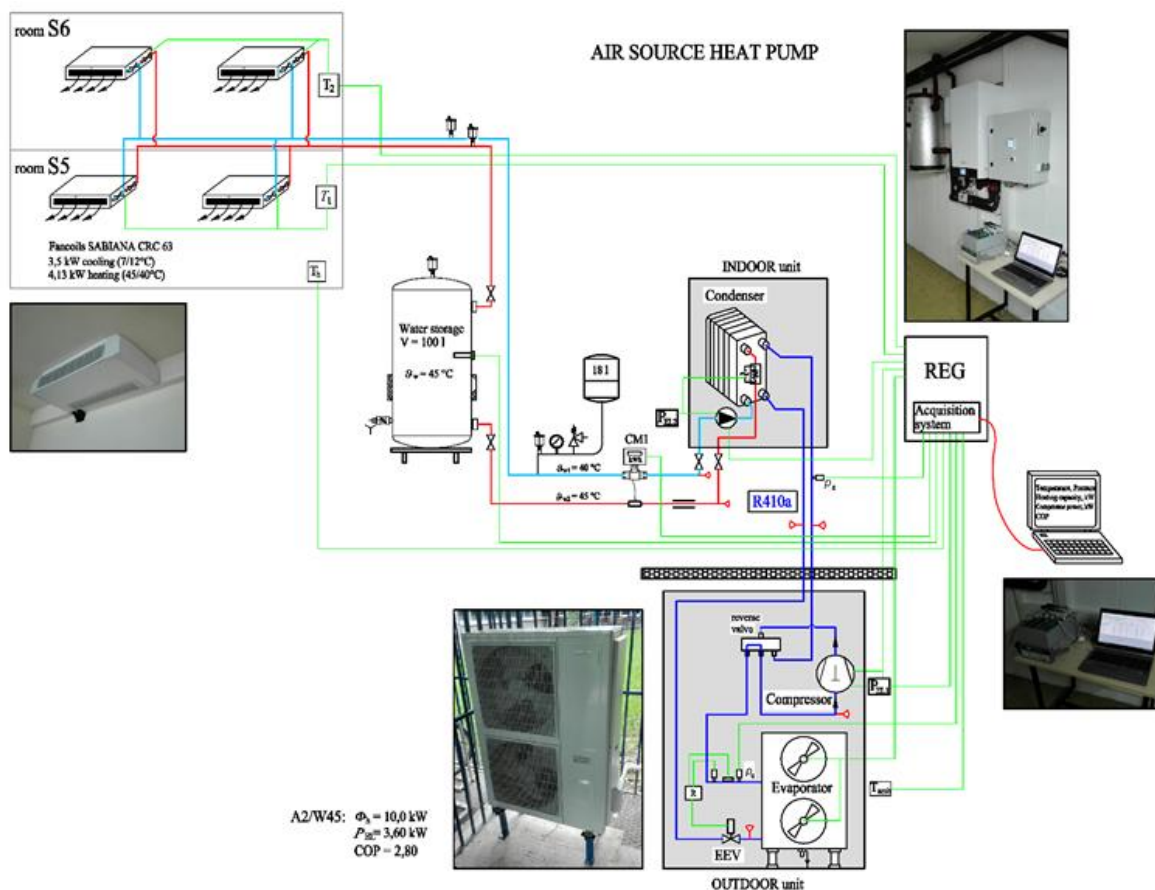
Nakon izvedbe sustava, a prije puštanja sustava u rad obavezno je provesti tlačnu probu cijevne mreže i komponenti sustava grijanja/hlađenja. Potencijalna mjesta propuštanja su lemljeni/zavareni spojevi i navojni spojevi.

Može se provoditi zrakom ili češće vodom. Pri punjenju sustava vodom, potrebno je instalaciju dobro odzračiti. Odzračni ventili na najvišim dijelovima instalacija moraju biti otvoreni.

Ispitni tlak tlačne probe minimalno je 1,5 puta veći od radnog tlaka instalacije (koji ne bi trebao biti veći od 3 bara). Ispitni tlak bi trebao biti  $3 \times 1,5 = 4,5$  do 5 bara. Vrijeme provedbe tlačne probe iznosi minimalno 30 minuta.

## Izvedeni sustavi s dizalicom topline

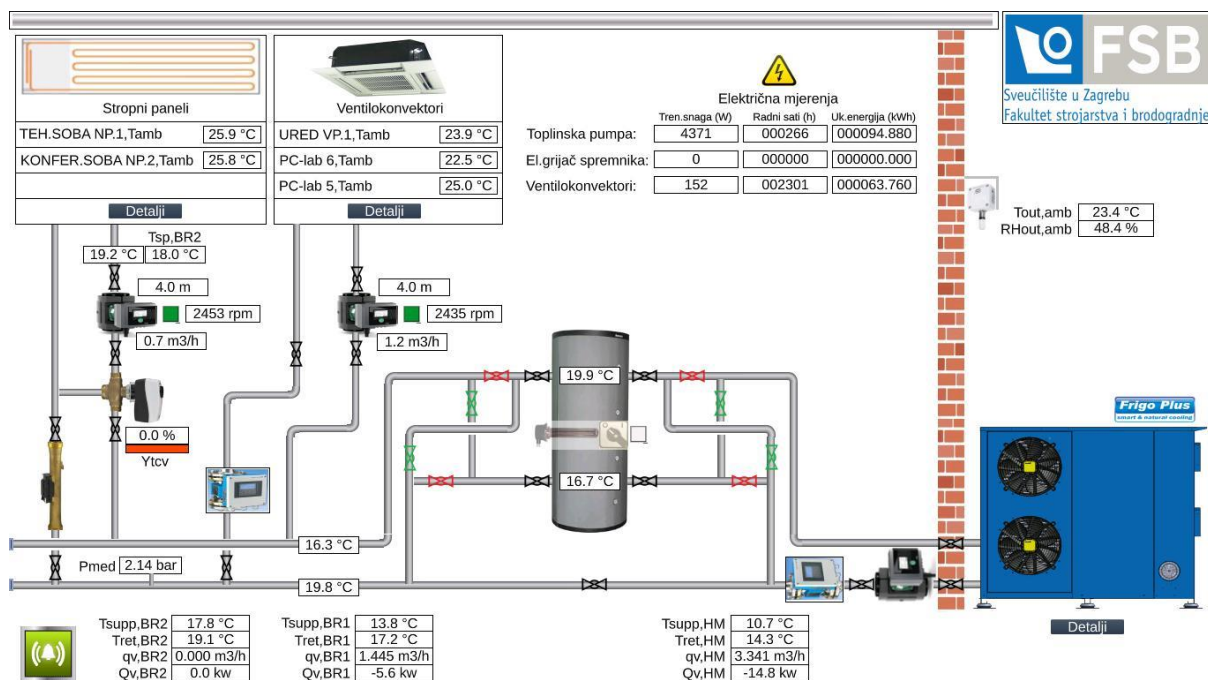
Na Sliku 62 prikazana je hidraulična shema dizalice topline zrak-voda u split izvedbi. Vanjska jedinica ugrađena je horizontalno. Od tla je podignuta 25 cm. Ukupna udaljenost vanjske i unutarnje jedinice dizalice topline iznosi 9,5 m. U krug razvoda sustava grijanja ugrađen je inercijski spremnik volumena 100 l. Učinak dizalice topline u režimu grijanja iznosi 10 kW (radna točka A2/W45). Sustav je opremljen naprednom mjernom opremom za mjerenje radnih značajki i učinkovitosti sustava. Koristi se za grijanje i hlađenje dviju učionica na Fakultetu strojarstva i brodogradnje. Mjerena sezonska učinkovitost u režimu grijanja iznosi SCOP = 4,1. Visoka vrijednost energetske učinkovitosti rezultat je tehničke izvedbe dizalica topline s naprednom upravljačkom strukturom. Uređaj ima mogućnost reguliranja učinka grijanja frekvencijskom regulacijom kompresora i pri parcijalnom radu pokazuje visoku performance.



Slika 62. Hidraulična shema dizalica topline zrak-voda, split izvedba (pilot postrojenje na FSB-u)

Slika 63 prikazuje hidrauličnu shemu **monoblok dizalice topline zrak-voda** za vanjsku ugradnju s vodom kao ogrjevnim medijem sustava grijanja. Radna tvar dizalice topline je R290. Učinak dizalice topline u režimu grijanja iznosi 15 kW (radna točka A2/W45). Električni grijači, ugrađeni u razvodni cjevovod položen u slobodnoj okolini, koriste se za zaštitu sustava od smrzavanja vode. U krug razvoda sustava grijanja ugrađen je akumulacijski spremnik volumena 300 l. Razdjelnik/sabirnik

sastoji se od dvaju odvojenih krugova, stropnog i ventilokonvektorskog . Sustav je opremljen naprednom mjernom opremom za mjerenje radnih značajki i učinkovitosti sustava. Koristi se za grijanje i hlađenje dviju učionica na Fakultetu strojarstva i brodogradnje. Mjerena sezonska učinkovitost u režimu grijanja iznosi SCOP = 3,6.



Slika 63. Hidraulična shema dizalica topline zrak-voda, monoblok izvedba (pilot postrojenje na FSB-u)

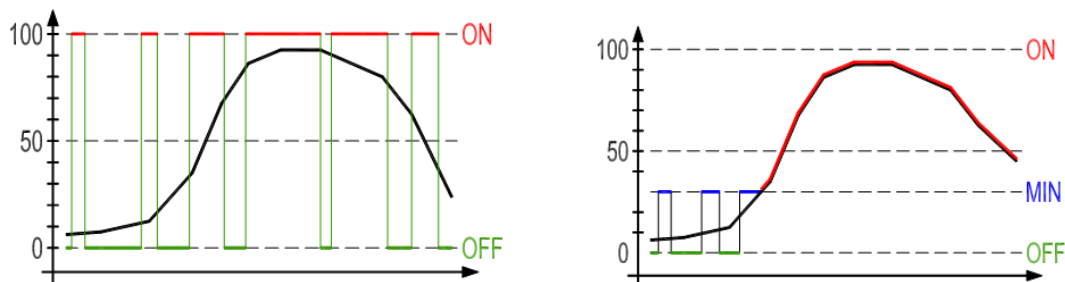
Svaki proizvođač dizalica topline izdaje jamstveni list. Trajanje jamstva ovisi od proizvođača do proizvođača. Jamstvo na izvedeni sustav izdaje izvođač radova.

## 9. Učinkovit rad i održavanje dizalica topline

Optimalno dimenzioniranje i odabir dizalica topline, regulacija rada i vođenja procesa te redoviti servis i održavanje doprinose dužem vijeku trajanja rashladnih uređaja i dizalica topline, većoj energetskej učinkovitosti i višem stupnju zaštite okoliša.

Mjere za učinkovit rad dizalica topline:

- Ispravan odabir dizalice topline ključan je za učinkovit i siguran rad uređaja. Odabirati jedinicu koja može osigurati potreban kapacitet grijanja pri balansnoj (projektnoj)vanjskoj temperaturi relevantnoj za lokaciju kuće ili zgrade.
- Ako je kapacitet dizalice topline premali, ona neće moći postići željenu toplinsku ugodnost u grijanom/hlađenom prostoru. Isto tako, češće će odlaziti u režim odleživanja. Dodatni troškovi rada premale dizalice topline općenito su veći od dodatnih troškova instaliranja jedinice koja je sljedeća veća. Predimenzioniran uređaj vodi do većeg broja uključivanja i isključivanja uređaja, smanjenja učinkovitosti sustava te povećanog zakupa električne snage.
- Današnje izvedbe uređaja imaju mogućnost kontinuirane regulacije rada uređaja. Takvi uređaji imaju najčešće frekvencijsku regulaciju rada kompresora i postižu dobre parametre pri parcijalnom radu. U prednosti su u odnosu na dizalice topline koje koriste regulaciju uključiti/isključiti („on/off“), a rade sa 100 % kapaciteta ili ne rade (Slika 64).



Slika 64. a) Prikaz „on/off“ regulacije rada dizalica topline; b) Prikaz kontinuirane regulacije rada dizalica topline

- Dimenzioniranje i odabir cirkulacijske pumpe izvora ili ponora topline. Ovdje je potrebno istaknuti da dizalice topline u režimu grijanja rade s manjom temperaturnom razlikom na strani vode (5 do 7 °C) tako da cirkulacijska pumpa za radijatorske sustave grijanja s većom temperaturnom razlikom (15 do 20 °C) ovdje neće svladati potreban pad tlaka mreže.
- Instalacija vanjske jedinice dizalice topline zrak-voda na pravilan način i na prikladno mjesto. Mogući problemi vibracije i buka vanjske jedinice, odleživanje isparivača.

- Cjevovodi dizalice topline (radna tvar, voda) projektiraju se za najkraće dionice i minimalan broj spojeva kako bi se smanjili gubici uslijed trenja i potencijalni rizici curenja. Cjevovod u slobodnoj okolini potrebno je zajedno s toplinskom izolacijom zaštititi u Al oplatu ili foliju kao zaštitu od glodavaca i Sunčevog zračenja.
- Izolacija mora pokrivati cijelu duljinu vodova kako bi se izbjegla kondenzacija i smanjili toplinski gubici. Polazna i povratna se cijev svaka zasebno izolira. Prodore i prolaze kroz zgradu ispravno zabrtviti i zaštititi izolacijom otpornom na glodavce.

Održavanje dizalice topline podrazumijeva sljedeće aktivnosti:

- Redovito čišćenje ili mijenjanje filtera (zračne i vodene). Začepljeni filtri ograničavaju protok i smanjuju učinkovitost sustava.
- Čišćenje izmjenjivačkih površina isparivača i kondenzatora potrebno je jednom godišnje ili prema preporuci proizvođača (Slika 65). Nečiste površine mogu smanjiti učinkovitost prijenosa topline i dovesti do veće potrošnje energije (Slika 66). Koristiti meku četku ili specijalizirano sredstvo za čišćenje izmjenjivačke sekcije za uklanjanje prašine i prljavštine.



Slika 65. Prikaz čišćenja isparivačkih/kondenzatorskih sekcija



Slika 66. Nečiste površine isparivača/kondenzatora

- Revitalizacija zdenca dizalice topline podzemna voda-voda jednom u pet godina, čišćenje bunara od pijeska i nečistoća.
- Pregled i čišćenje odvoda kondenzata kako bi se spriječila začepljenja i curenje vode. Začepljen odvod može uzrokovati oštećenja od vode i utjecati na rad sustava. Koristiti mješavinu vode i blagog deterdženta za ispiranje odvodne cijevi i uklanjanje nečistoća.
- Provjera tlaka radne tvari i parametara procesa. Ako dođe do propuštanja radne tvari, potrebno je sanirati mjesto propuštanja te ponovno napuniti sustav radnom tvari.

Redoviti servis dizalice topline potrebno je provoditi svake godine.

## 10. Zadatak za provjeru usvojenosti znanja

Za obiteljsku kuću korisne površine 220 m<sup>2</sup>, učinka grijanja 12 kW, smještene na području grada Varaždina, potrebno je dimenzionirati:

- a) dizalicu topline zrak-voda
- b) dizalicu topline voda-voda.

Za dizalicu topline voda-voda predviđen su ventilokonvektori kao ogrjevna tijela s temperaturnim režimom grijanja 45/40 °C. Temperatura podzemne vode iznosi 12 °C.

Za dizalicu topline zrak-voda predviđeno je podno grijanje s temperaturnim režimom grijanja 35/30 °C.

Za oba sustava je potrebno:

- definirati bivalentnu temperaturu,
- nazivnu radnu točku dizalice topline,
- procjenu učinkovitosti sustava,
- procijeniti godišnju toplinsku energiju grijanja kuće i dati energetska analizu obaju sustava s dizalicom topline u odnosu na plinski sustav grijanja. Izračunati uštede na emisiji CO<sub>2</sub>.

## Literatura

- [1] V Soldo, Dizalice topline s OIE, podloge za predavanja, FSB, 2023.
- [2] Stručni časopis *Tehnologije dizalica topline*, HUDIT, 2020.
- [3] Good practice guide - Heat pump installation - EECA Energy Efficiency and Conservation Authority 2022.
- [4] B. Whitman, B. Johnson, J. Tomczyk, E. Silberstein, Refrigeration & Air Conditioning Technology, Delmar cengage Learning, 2013.
- [5] J. Egg, G. Cunniff, C.D. Orio, Modern geothermal HVAC, McGraw- Hill, 2013.
- [6] V. Soldo, Rashladni sustavi i dizalice topline, oprema i komponente, poglavlje 9., Priručnik za energetska certificiranje zgrada, V. Zanki, B. Pavković, str. 577-634, UNDP Zagreb, 2010.
- [7] VDI Richtlinien, Ground source heat pump systems, VDI 4640, Part 2, Berlin, 2001.
- [8] Tehnička dokumentacija: Danfoss, Copeland, Frigo Plus, Trane, Viessmann, Wilo

## Kazalo slika

Slika 1. Broj instaliranih dizalica topline u zemljama EU-21 (izvor: EHPA Market Report 2023) .....	5
Slika 2. Shematski prikaz kompresijske dizalice topline s izvorom i ponorom topline .....	6
Slika 3. Prikaz procesa u $T,s$ i $\log p,h$ dijagramu .....	7
Slika 4. a) Jednostupanjska kompresija; b) Dvostupanjska kompresija; c) Kaskadni proces .....	8
Slika 5. Ovisnost učinka i učinkovitosti dizalice topline o temperaturama isparavanja i kondenzacije .	9
Slika 6. Mjerena vrijednost godišnjeg faktora grijanja (SPF) dizalice topline tlo-voda na 56 različitih lokacija diljem Njemačke .....	11
Slika 7. Monovalentni rad dizalice topline.....	12
Slika 8. Bivalentno paralelni rad dizalice topline.....	12
Slika 9. Bivalentno alternativni rad dizalice topline .....	13
Slika 10. Krivulja napetosti radnih tvari .....	15
Slika 11. Prikaz ozonskog omotača.....	19
Slika 12. Tijek zamijene radnih tvari.....	21
Slika 13. Stapni hermetički kompresor (Danfoss) .....	23
Slika 14. Presjek poluhermetičkog stapnog kompresora (Copeland) .....	23
Slika 15. Presjek spiralnog kompresora (Trane).....	24
Slika 16. Presjek spiralnog kompresora upravljanog digitalnom tehnologijom (Copeland) .....	25
Slika 17. Kompresor s ekcentrično rotirajućim stapom (lamelni kompresor) .....	26
Slika 18. Temperaturni profil struja na kondenzatoru .....	26
Slika 19. Pločasti kompaktni kondenzator .....	27
Slika 20. Koaksijalni cijev u cijevi kondenzator .....	27
Slika 21. Shematski prikaz kondenzatora s cijevima u plaštu sa četiri prolaza vode .....	28
Slika 22. Zračni kondenzator.....	28
Slika 23. Nečiste površine kondenzatora.....	28
Slika 24. Kapilara .....	29
Slika 25. Odvajač kapljevine .....	29
Slika 26. Spoj termoekspanzijskog ventila s isparivačem.....	30
Slika 27. Termoekspanzijski ventil s vanjskim izjednačenjem tlaka.....	30
Slika 28. Spoj elektroničkog ekspanzijskog ventila s isparivačem .....	31
Slika 29. Minimalno stabilno pregrijanje radne tvari održavano EEV .....	31
Slika 30. Orebrene sekcije isparivača .....	32
Slika 31. Vanjska jedinica dizalice topline .....	32
Slika 32. Princip rada pločastog kompaktnog isparivača.....	33
Slika 33. Koaksijalni isparivač.....	34
Slika 34. Isparivač s cijevima u plaštu.....	34
Slika 35. Kvalitativan prikaz rada dizalice topline zrak-voda u režimu grijanja.....	35
Slika 36. Inje na orebrenim sekcijama isparivača .....	36
Slika 37. Kvalitativan prikaz rada dizalice topline zrak-voda u režimu hlađenja.....	37

Slika 38. Vanjska jedinica dizalice topline .....	38
Slika 39. Unutarnja jedinica dizalice topline .....	38
Slika 40. Povezivanje vanjske i unutarnje jedinice split izvedbe dizalice topline (režim grijanja).....	39
Slika 41. Horizontalna ugradnja vanjske jedinice dizalice topline.....	40
Slika 42. Konzolna ugradnja vanjske jedinice dizalice topline na konzolni zidni čelični nosač .....	40
Slika 43. Komponente kompaktne dizalice topline zrak-voda.....	41
Slika 44. Kompaktna izvedba dizalice topline zrak-voda (izvor Frigo Plus d.o.o.) .....	41
Slika 45. a) Podno grijanje; b) Strojarnica; c) Solarna elektrana .....	42
Slika 46. Kvalitativan prikaz rada dizalice topline zrak-zrak .....	43
Slika 47. Kvalitativan prikaz dizalice topline podzemna voda - voda.....	44
Slika 48. Dizalica topline voda-voda .....	45
Slika 49. Učinkovitost dizalice topline od 2013. do 2019. ....	46
Slika 50. Kvalitativan prikaz dizalice topline tlo-voda, horizontalna izvedba izmjenjivača u tlu .....	48
Slika 51. Izvedbe izmjenjivača u tlu .....	48
Slika 52. Kvalitativan prikaz dizalice topline tlo-voda, vertikalna izvedba izmjenjivača u tlu .....	49
Slika 53. Prvi terensko mjerenje toplinski svojstva tla u Hrvatskoj, IKEA Rugvica 2011. ....	50
Slika 54. Prikaz bušotinskog izmjenjivača topline .....	51
Slika 55. Ispuna bušotine.....	51
Slika 56. Strojarnica .....	52
Slika 57. Vanjska jedinica dizalice topline .....	52
Slika 58. Regulacijska karakteristika cirkulacijske pumpe (izvor:wilo.hr) .....	53
Slika 59. Razdjelnik/sabirnik s dva odvojena kruga .....	54
Slika 60. Inercijski spremnik.....	55
Slika 61. Akumulacijski spremnik.....	55
Slika 62. Hidraulična shema dizalica topline zrak-voda, split izvedba (pilot postrojenje na FSB-u) .....	56
Slika 63. Hidraulična shema dizalica topline zrak-voda, monoblok izvedba (pilot postrojenje na FSB-u) .....	57
Slika 64. a) Prikaz „on/off“ regulacije rada dizalice topline; b) Prikaz kontinuirane regulacije rada dizalice topline .....	58
Slika 65. Prikaz čišćenja isparivačkih/kondenzatorskih sekcija.....	59
Slika 66. Nečiste površine isparivača/kondenzatora .....	59

## Kazalo tablica

Tablica 1. Faktori grijanja komercijalnih dizalica topline .....	9
Tablica 2. Svojstva radnih tvari .....	13
Tablica 3. Označavanje radnih tvari .....	16
Tablica 4. Odnos termofizikalnih i transportnih svojstava radnih tvari R717 i R22 .....	16
Tablica 5. Zapaljiva svojstva ugljikovodičnih radnih tvari .....	18
Tablica 6. Najčešće radne tvari i njihova primjena.....	21
Tablica 7. Novosti nove F-gas regulative .....	22
Tablica 8. Radne točke dizalice topline zrak-voda prema EN14511.....	36
Tablica 9. Radne točke dizalice topline voda-voda prema EN 14511; temperaturni režim: isparivač 10/7°C; kondenzator * 30/35 °C; **40/45 °C; ***47/55 °C.....	45
Tablica 10. Regeneracija toplinskog izvora događa se zahvaljujući Sunčevom zračenju, kiši ili rosi ..	47
Tablica 11. Prosječna toplinska svojstva tla .....	49

## Popis ključnih pojmova

Dizalice topline sastavni dio energetske tranzicije  
Procesi s dizalicama topline  
Principi rada kompresijskih dizalica topline  
Učinkovitost dizalica topline u režimu grijanja i hlađenja  
Radne tvari rashladnih uređaja i dizalica topline  
F-gas regulativa  
Komponente dizalica topline  
Osnove dizalica topline zrak-voda  
Split i monoblok izvedba  
Dizalice topline zrak-zrak  
Osnove dizalica topline tlo-voda  
Izvedbe izmjenjivača u tlu  
Određivanje termičkih svojstava tla – TRT test  
Osnove dizalica topline voda-voda  
Izvedbe crpnih i ponornih bunara  
Sustav distribucije toplinske i rashladne energije  
Instalacija dizalica topline  
Puštanje sustava u rad – odzračivanje, tlačna proba  
Hidrauličko uravnoteženje razvoda sustava grijanja  
Primjeri izvedenih sustava u praksi, mjereni podaci  
Učinkovit rad dizalica topline i održavanje sustava

## **Impressum**

**Autor: prof. dr. sc. Vladimir Soldo, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Sveučilišta u Zagrebu, Ivana Lučića 5, Zagreb, vladimir.soldo@fsb.hr**

**Lektor: Jasmina Pažanin, prof.**

**Recenzent: doc. dr. sc. Luka Boban**