

# Sustavi dizalica topline i njihova isplativost pri grijanju i hlađenju objekata

---

Dugandžija, Borjan

Undergraduate thesis / Završni rad

2021

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **Josip Juraj Strossmayer University of Osijek, Faculty of Electrical Engineering, Computer Science and Information Technology Osijek / Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Fakultet elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija Osijek**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:200:336806>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-02-20**

*Repository / Repozitorij:*

[Faculty of Electrical Engineering, Computer Science and Information Technology Osijek](#)



# Sustavi dizalica topline i njihova isplativost pri grijanju i hlađenju objekata

---

**Dugandžija, Borjan**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2021**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **Josip Juraj Strossmayer University of Osijek, Faculty of Electrical Engineering, Computer Science and Information Technology Osijek / Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Fakultet elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija Osijek**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/urn:nbn:hr:200:336806>

*Rights / Prava:* In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

*Download date / Datum preuzimanja:* **2023-02-14**

*Repository / Repozitorij:*

Faculty of Electrical Engineering, Computer Science and Information Technology Osijek



**SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU**

**FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA I  
INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA**

**Stručni studij**

**SUSTAVI DIZALICA TOPLINE I NJIHOVA  
ISPLATIVOST PRI GRIJANJU I HLAĐENJU  
OBJEKATA**

**Završni rad**

**Borjan Dugandžija**

**Osijek, 2021. godina**

# SADRŽAJ

1. UVOD .....	1
1.1. Zadatak završnog rada .....	1
2. DIZALICE TOPLINE.....	2
2.1. Općenito.....	2
2.2. Povijesni razvoj .....	3
2.3. Podjela dizalica topline.....	5
2.4. Osnovni dijelovi kompresijske dizalice topline.....	7
2.4.1. Iparivač .....	8
2.4.2. Kompresor .....	10
2.4.3. Kondenzator .....	12
2.4.4. Ekspanzijski ventil .....	13
2.4.5. Ostala oprema.....	13
2.4.6. Rashladni mediji (plinovi) i radne tvari .....	14
3. OSNOVE RADA DIZALICA TOPLINE.....	15
3.1. Kružni procesi.....	15
3.1.1. Faktor grijanja i hlađenja.....	17
3.2. Način rada dizalice topline .....	19
3.2.1. Monovalentni način rada.....	19
3.2.2. Bivalentni način rada.....	19
3.2.3. Monoenergetski i multivalentni način rada.....	20
3.3. Prednosti i nedostaci dizalica topline .....	20
4. DIZALICA TOPLINE ZRAK – VODA .....	22
4.1. Primjena dizalica topline zrak – voda.....	23
5. USPOREDBA DIZALICE TOPLINE ZRAK-VODA I KLASIČNOG SUSTAVA ZA GRIJANJE I HLAĐENJE .....	26
5.1. Sustav radijatorskog grijanja pomoću kotla na prirodni plin i hlađenje split sustavom .....	27

5.2. Sustav dizalice topline za grijanje i hlađenje.....	30
5.3. Usporedba sustava .....	31
5.4. Isplativost.....	32
6. ZAKLJUČAK .....	35
LITERATURA.....	37
POPIS I OPIS UPOTRIJEBLJENIH OZNAKA .....	40
POPIS I OPIS UPOTRIJEBLJENIH KRATICA.....	42
SAŽETAK.....	43
PRILOZI.....	44
ŽIVOTOPIS .....	46

# 1. UVOD

Glavna tema kojom se ovaj rad bavi je sustav dizalica topline te njihova isplativost pri grijanju i hlađenju objekta. Prvi dio rada odnosi se na dizalice topline i osnovne karakteristike, prikazuje povijesni razvoj te je dana osnovna podjela. Opisani će biti sastavni dijelovi dizalice topline, a u nastavku će biti opisane osnove rada dizalice topline (kružni procesi) i način rada. U nastavku prije nego se napravi usporedba dizalice topline, odnosno analizira njezina isplativost, dane su glavne prednosti i nedostaci dizalica topline. Centralni dio ovog rada je analiza sustava grijanja obiteljske kuće. Jedan sustav podrazumijeva klasično radijatorsko centralno grijanje pomoću zidnog kotla koji zadovoljava potrebe grijanja i pripreme potrošne tople vode i za svoj rad upotrebljava prirodni plin, a u sezoni hlađenja se upotrebljava klasična zidna klima jedinica split izvedbe. Drugo, alternativno rješenje je grijanje i hlađenje obiteljske kuće dizalicom topline koja zadovoljava potrebe grijanja, hlađenja i pripreme tople vode (PTV) sustavom zrak-voda. Usporedba sustava napravit će se usporedbom potrebne isporučene i primarne energije te troška oba sustava te na osnovu dobivenih rezultata će se donijeti zaključak o isplativosti sustava dizalice topline.

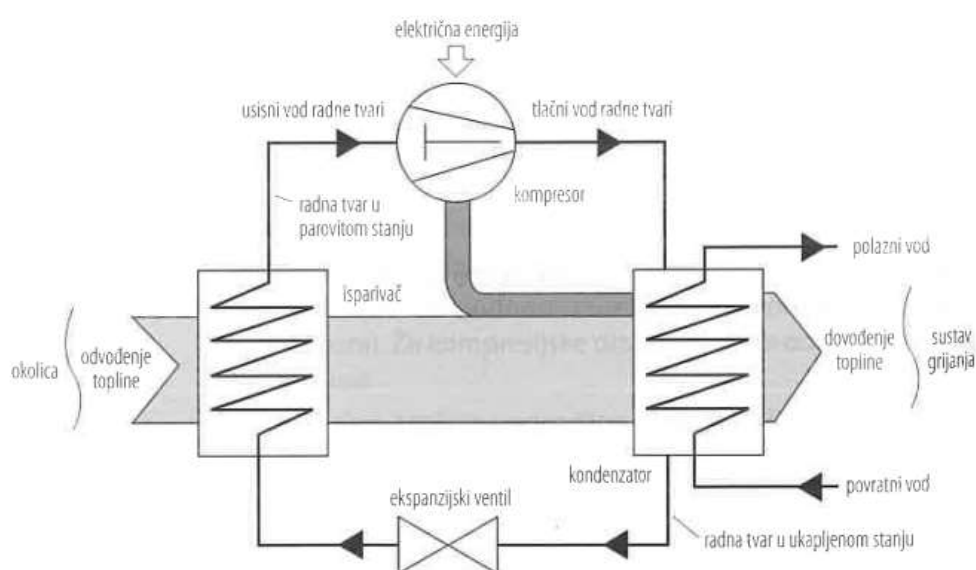
## 1.1. Zadatak završnog rada

Glavni zadatak ovog završnog rada je analizirati sustav dizalice topline te njihovu isplativost pri grijanju i hlađenju objekta. Napraviti će se analiza sustava grijanja i hlađenja za stambeno poslovnu građevinu (P+2) sustavom dizalice topline te napraviti usporedba isplativosti sustava grijanja klasičnim centralnim radijatorskim sustavom grijanja pomoću kotla na prirodni plin te hlađenja klasičnim rashladnim uređajem split izvedbe.

## 2. DIZALICE TOPLINE

### 2.1. Općenito

Pod pojmom dizalica topline misli se na uređaj „koji omogućava prijenos (toplinske) energije iz sustava (toplinskog spremnika) niže temperaturne razine u sustav (toplinski spremnik) više temperaturne razine korištenjem dodatne energije (rada) pomoću ljevokretnog kružnog procesa prikladnog medija“ [1, p. 76]. Nešto drugačija definicija, gledajući iz perspektive obnovljivih izvora bi glasila da su dizalice topline uređaji koji na najučinkovitiji način upotrebljavaju obnovljive izvore topline iz okoliša i izvora otpadne topline te tako zadovoljavaju potrebe grijanja i hlađenja [2, p. 213]. Vrlo često dolazi do nedoumice, odnosno do upotrebe još dva termina za dizalice topline: toplinske pumpe i toplinske crpke, no oba ne zadovoljavaju smisleno niti stručno. Gledajući izraz pumpa u duhu hrvatskog jezika podrazumijevaju uređaj – pumpu/crpku koja radi pomoću topline kao toplinska turbina. U kombinaciji s riječju crpka ili pumpa bi onda trebalo upotrijebiti inverziju riječi, odnosno reći crpka topline jer uređaj obavlja transport toplinske energije s niže temperaturne razine na višu te ju u takvom obliku upotrijebljava za grijanje. Stoga gledano, ispravan termin za ovaj uređaj je dizalica topline koji je u hrvatski rječnik termodinamike uveo prof.dr.sc. Fran Bošnjaković [1]. Dizalice topline služe kao izvor grijanja i hlađenja, vrše pripremu potrošne tople vode (dalje PTV), ili kao dio sustava ventilacije i klimatizacije. Pod pojmom toplinski spremnik različite temperaturnih razina misli se na toplinski izvor i toplinski ponor. Na slijedećoj slici prikazana je pojednostavljena shema rada kompresijske dizalice topline.



Slika 2.1 Pojednostavljeni prikaz rada kompresijske dizalice topline [1]

Toplinski izvor podrazumijeva prostor ili medij koji ima nižu temperaturnu razinu od medija ili prostora od kojeg se toplina odvodi, a izvorom može biti neposredna okolina, otpadni zrak. suprotno tome je toplinski ponor – medij ili prostor s višom temperaturnom razinom kojem se (zrak u prostoriji, voda u sustavu grijanja ili ogrjevni medij).

## **2.2. Povijesni razvoj**

Razvoj rashladnih uređaja i dizalica topline započinje 1834. godine nakon što je Jacob Perkins patentirao parni kompresijski rashladni uređaj čiji rad je zasnovan na teorijskim načelima Carnotovog ciklusa. Prvi opis termodinamičkog procesa prijenosa topline s niže na višu razinu objavio je William Thompson 1852. godine, a nedugo nakon njega, u Austriji Peter von Rittinger 1856./57. izrađuje prvu praktično uporabljivu dizalicu topline kapaciteta 14 kW koja se koristila u industrijske svrhe. U razdoblju prije 1875. Dizalice topline (dalje DT) upotrebljavane su za provođenje radi rekompresije pare u solanama, s njezinom očitom prednošću samo u uštedi drva i ugljena. Kao pripremni razvoj za kasnije dizalice topline za grijanje prostora od interesa je uvođenje centralnog grijanja vode. U to vrijeme uobičajena vrsta centralnog grijanja bio je sustav parnog grijanja. Godine 1867. tvrtka Sulzer iz Winterthura (Švicarska) instalirala je prvo centralno grijanje vode u privatnoj kući u Oberuzwilu u Švicarskoj [3]. Prva velika dizalica topline koja je puštena u rad 1930. godine bila je u vlasništvu kompanije za elektrodistribuciju te je imala rashladni učinak od 1,6 MW za hlađenje komora. Jedna četvrtina učinka koristila se za grijanje poslovnog prostora. U narednom periodu ta tvrtka je postavila još četiri dizalice topline koje su imale koeficijent grijanja u rasponu od 1,45 do 1,98. Nakon njih u SAD-u se u razdoblju od 1934. do 1940. instalira još osam dizalica topline kapaciteta od 60 kW do 1,2MW te počinje njihovo sve veće ugrađivanje. Malo prije završetka Drugog svjetskog rata, 1940. godine, za potrebe grijanja i hlađenja prostora tvrtka "Westinghouse" proizvodi DT-e čija instalirana snaga je iznosila 770 W i imala je koeficijent grijanja 2,37 pri temperaturi vanjskog zraka od +5 °C. Taj uređaj je bio preteča današnjih sobnih klima uređaja koji je koristio zrak okoliša, dok se odleđivanje obavljalo promjenom ciklusa. Razvoj dizalica topline u Europi počinje tek 30ih godina prošlog stoljeća, a pionir u proizvodnji je bila Švicarska. Prva velika DT proizvođača "Sulzer Escher Wyss" postavljena je u vijećnici u Zürichu 1938. godine. imala je snagu 190 kW, radila je s R12 rashladnom tvari koristeći vodu iz jezera kao toplinski izvor. DT snage 1,5 MW izgrađena je 1939. godine, služila je za grijanje prostora, bazenske i sanitarne vode, a kao toplinski izvor korištena je jezerska voda, otpadna voda i vanjski zrak. Tijekom Drugog svjetskog rata dolazi do zastoja u proizvodnji DT za civilne potrebe na području Europe, dok je u tom razdoblju u SAD-u izrađeno 10.000 dizalica topline za dobivanje pitke vode. Nakon WWII, u SAD-u se razvijaju manje



jedinice učinka 10 do 30 kW– klimatizacijski uređaji za grijanje i hlađenje prilagođene individualnim korisnicima (grijanje i hlađenje obiteljskih kuća) te od tada sustavno raste. U vremenu od 1955. do 1968. godine u SAD-u posluje 129 kompanija koje proizvode DT, a prodaja uređaja se udvostručava iz godine u godinu. uslijed takve ekspanzije, državne i strukovne institucije izdaju normative i propise koji sve preciznije određuju karakteristike uređaja.

Tijekom pedesetih godina stvoren je uređaj koji je zadovoljavao stroge tehničke i ekonomske uvjete, a tvrtka „General Electric“ je na tržište stavila uređaj split izvedbe koji koristi zrak, dok se vršna opterećenja pokrivaju električnim grijačem.

Pedesetih godina u Velikoj Britaniji se izrađuju dizalice topline koje imaju akumulator topline i antifriz u cijevima te koriste zemlju kao toplinski izvor. Koeficijent grijanja tih uređaja je bio veći od tri, čak i pri nepovoljnim vremenskim uvjetima. Švedska, Francuska, Njemačka tokom šezdesetih i sedamdesetih godina doživljavaju veliku potražnju za ovim uređajem, posebice onima koji kao toplinski izvor koriste zrak.

Početak sedamdesetih godina dolazi do energetske krize kada uporaba DT opada, ali nakon nje je sve veća i veća. Slijedom takvog trenda, raste zanimanje za DT koje daju toplinsku energiju te ti uređaji postaju strateško rješenje za osiguranje toplinske energije u kućanstvima. Raste proizvodnja uređaja koji za pogonsku energiju upotrebljavaju tekuće ili plinovito gorivo radi čega je omogućena veća temperatura vode za grijanje uslijed čega se počinju implementirati u centralne radijatorske sustave grijanja.

Osim u zgradarstvu, dizalice topline se koriste i u poljoprivredi. U Francuskoj je 1975. godine DT upotrijebljena za sušenje povrća u staklenicima, a imale su kapacitet od 1 do 30 kW uz mogućnost odvajanja 50 do 2.000 litara vlage dnevno. DT su se upotrebljavale i u proizvodnji mlijeka, vina i drugih prehrambenih proizvoda.

Na području RH, prva dizalica topline je postavljena u Herceg Novom 1963. godine, a služila je za zagrijavanje staklenika. Kao rashladnu tvar je upotrebljavala metil-klorid, a toplinski izvor je bila zemlja. Iako je imala dobre performanse, ubrzo je zamijenjena grijačima koji koriste naftu koja je u to vrijeme bila jeftina. Tokom 70ih na našem području se razmišlja o uporabi DT u zgradarstvu te se izrađuju prototipovi i ugrađuju modeli stranih proizvođača. Prva DT domaćeg proizvođača „Termofriz“ instalirana je u Splitu, a služila je za grijanje pomorsko-putničkog terminala. Toplinski izvor bila je morska voda, a toplinski učinak je iznosio 700 kW, temperatura vode za grijanje je iznosila 45/40°C i rashladni učinak od 650 kW (12/7°C) [2].

### 2.3. Podjela dizalica topline

S obzirom na podrijetlo toplinskog izvora i postojanost temperaturne razine, dizalice topline se dijele u tri osnovne skupine [1]:

1. prirodni izvor s uglavnom promjenjivim temperaturama (okolni zrak)
2. prirodni izvor s razmjerno konstantnim temperaturama (površinske vode, mora, oceani, podzemne vode, slojevi tla, sunčeva energija)
3. umjetni izvori (otpadni, istrošeni ili onečišćeni zrak iz prostorija ili industrijskih procesa, otpadne vode).

Podjela dizalica topline s obzirom na toplinski izvor, dijele se također u tri osnovne skupine:

1. Dizalice topline tlo – voda
2. Dizalice topline voda – voda
3. Dizalice topline zrak – voda i zrak – zrak

S obzirom na izvor dodatne energije za ostvarivanje kružnog procesa, dijele se na:

1. Kompresijske – mehaničkim radom kompresora je osigurava proces radne tvari (najviše u upotrebi)
2. Sorpcijske (apsorpcijske, adsorpcijske) – proces radne tvari osigurava se dovođenjem toplinske energije
3. Vuilleumierove - proces radne tvari je omogućen dovođenjem toplinske energije.

Na slijedećoj strani u tablici prikazane su osnovne značajke izvedbi dizalica topline.

Tablica 2.1 Osnovne značajke izvedbi dizalica topline [4]

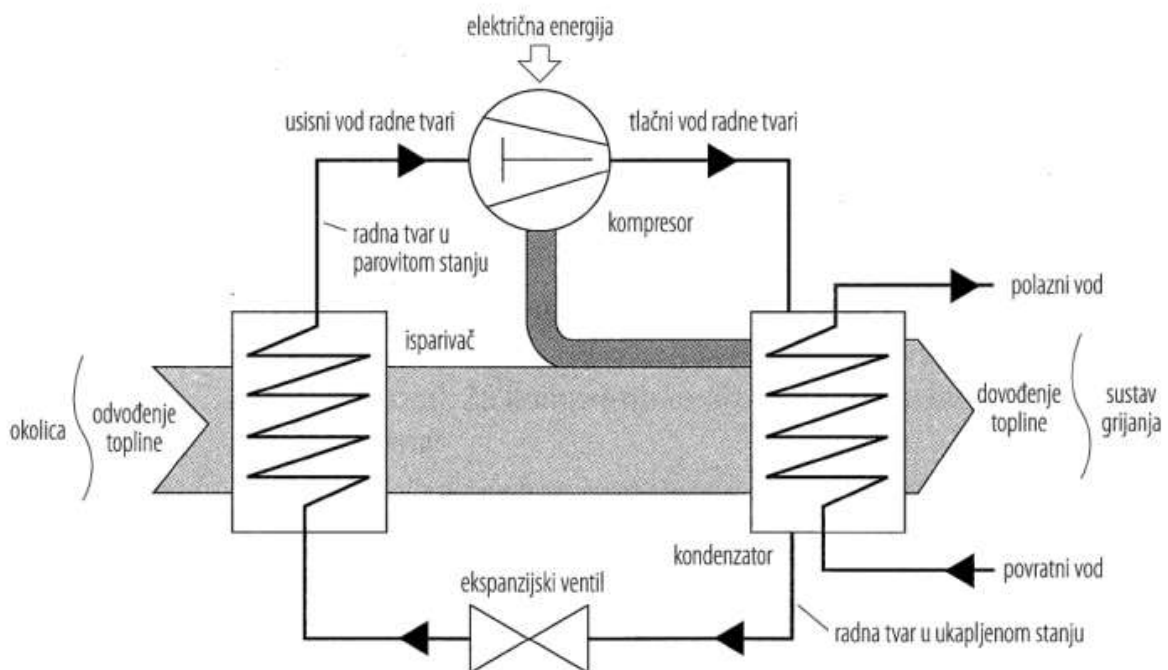
Toplinski izvor	Izvedba dizalice topline	Temperaturna razina toplinskog izvora	Raspoloživost ovisno o dobu godine	Mogućnost primjene kao jedinog izvora topline	Problemi pri uporabi	Potrošnja energije za prienos posrednog medija	Troškovi izvođenja sustava	Utjecaj na okoliš
Tlo	Vodoravno kolektorsko polje	Od -5 do +15°C	Stalna	Velika	Zaleđivanje tla oko izmjenjivača topline, korozija	Velika (crpke)	Visoki (iskop)	Malen
	Kanalni kolektor				Korozija			Velika (crpke)
	Toplinska sonda						Korozija	
Voda	Podzemne vode	8-12°C	Stalna	Velika	Korozija	Velika (crpke)		Visoki (bušotine)
	Površinske vode	0-10°C	Ovisno o vodotoku	Djelomična	Onečišćenje, korozija	Velika (crpke)	Umjereni	Djelomičan
	Otpadne vode	>10°C	Stalna	Velika	Onečišćenje, korozija, neugodni mirisi	Umjereno do velika (crpke)	Umjereni	Malen
Zrak	Otpadni ili istrošeni zrak	>22°C	Ovisnost o radu sustava ventilacije i klimatizacije	Djelomična	-	-	Niski	Zanemariv
	Okolni zrak	Od -20 do +25°C	Stalna	Djelomična	Zaleđivanje isparivača	Velika (ventilator)	Niski	Zanemariv

## 2.4. Osnovni dijelovi kompresijske dizalice topline

Slika 2.2 prikazuje pojednostavljeni prikaz rada kompresijske dizalice topline i njezine glavne dijelove. Dijelovi dizalice topline smješteni su u jedno kućište i čine jedinstveni uređaj. Za rad dizalice topline za zadovoljavanje toplinskih potreba objekta (grijanje i hlađenje, PTV-a, ventilacije i klimatizacije) potreban je posredni medij, razvod medija, izvor električne energije te sustav regulacije.

Ovisno o tipu izvedbe dizalice topline, ovise njezini dijelovi, ali svi tipovi dizalica topline sastoje se od istih dijelova, a to su [1]:

- a) kompresor
- b) isparivač
- c) ekspanzijski ventil
- d) kondenzator
- e) radne tvari (mediji, plinovi)
- f) spojni vodovi
- g) regulacijski i pomoćni elementi.



Slika 2.2 Pojednostavljeni prikaz rada (kompresijske) dizalice topline [1]

Priključak na sustav grijanja ovisi o ogrjevnom mediju koji se upotrebljava. U slučaju da je medij voda, sustav ima polazni i povratni vod, dok u slučaju da se kao medij upotrebljava topli zrak, dizalica topline se spaja na kanalni razvod zraka ili pomoću kondenzatora koji omogućava opstrujavanje zraka i njegov ulazak u prostoriju.

Vrsta posrednog medija diktira spoj na toplinski izvor. U slučaju kad je posredni medij kapljevina (DT tlo-voda, voda-voda) spoj na isparivač je izveden cjevovodom. U varijanti DT zrak-voda, zrak-zrak, zrak se do isparivača dovodi odgovarajućim kanalima ili opstrujava na isparivač. Kod ovih DT, toplinski izvor je voda te je primarni sustav izmjene topline sastavljen od izmjenjivača topline s cijevnim razvodom te crpkama (regulacijska, sigurnosna) i mjernom opremom (ventili, razdjelnici, osjetnici).

Radna tvar kod kompresorskih DT su halogenirani ugljikovodici i zeotropske smjese (plinovi R410A, R407C i R134a).

Toplinska bilanca opisuje se preko izraza ((2-1) i ((2-2) [1].

$$\Phi_{DT} = \Phi_{DT,r} + P_{komp} \quad (2-1)$$

$$\varepsilon_{DT} = \frac{\Phi_{DT}}{P_{komp}} \quad (2-2)$$

u kojem su  $\Phi_{DT}$  – toplinski učinak dizalice topline (kondenzatora) (W)

$\Phi_{DT,r}$  – rashladni učinak dizalice topline (isparivača) (W)

$P_{komp}$  – snaga kompresora (W)

$T_{izv}$  – srednja temperatura toplinskog izvora (T)

$\varepsilon_{DT}$  – faktor grijanja dizalice topline.

U slučaju da DT je izvor hlađenja, ona se oprema pokretnim ventilatorom, dok ulogu kondenzatora preuzima isparivač, a isparivač postaje kondenzator.

#### 2.4.1. Isparivač

Isparivač je uređaj u kojem se obavlja potpuno isparavanje radne tvari dovođenjem topline iz neposredne okoline. Isparivač ima funkciju izmjenjivača topline koji omogućava izmjenu topline između radne tvari i posrednog medija (voda, glikolna smjesa, zrak), odnosno dolazi do njegovog hlađenja. Princip izmjene topline u isparivaču prikazan je izrazom (2-3) [1].

$$\begin{aligned}\Phi_{isp} = \Phi_{DT,r} &= q_{m,PM} \cdot c_{PM} \cdot \Delta\vartheta_{PM} = q_{m,RT} \cdot q_i = q_{m,PM} \cdot (h_1 - h_4) \\ &= k_{isp} \cdot A_{isp} (\vartheta_{isp} - \vartheta_i)\end{aligned}\quad (2-3)$$

u kojem su  $\Phi_{isp}$  – rashladni učinak isparivača (W)

$q_{m,PM}$  – maseni protok posrednog medija kroz isparivač (kg/s)

$c_{PM}$  – specifični toplinski kapacitet posrednog medija (J/kgK)

$\Delta\vartheta_{PM}$  – razlika temperatura posrednog medija na ulazu/izlazu u isparivač (°C)

$q_{m,RT}$  – maseni protok radne tvari u rashladnom sustavu (kg/s)

$q_i$  – specifična rashladni učinak isparivača (J/kg)

$h_1$  – specifična entalpija radne tvari na izlazu iz isparivača/ulazu u kompresor (J/kg)

$h_4$  – specifična entalpija radne tvari na ulazu u isparivača/izlazu iz ekspanzijskog ventila (J/kg)

$k_{isp}$  – koeficijent prolaza topline isparivača (W/m<sup>2</sup>K)

$A_{isp}$  – površina za izmjenu topline isparivača (m<sup>2</sup>)

$\vartheta_{PM,sr} = \frac{\vartheta_{PM,ul} + \vartheta_{PM,iz}}{2}$  srednja temperatura posrednog medija pri prolasku kroz isparivač (°C)

$\vartheta_{PM,ul}$  – temperatura ogrjevnog medija na ulazu u isparivač (°C)

$\vartheta_{PM,iz}$  – temperatura ogrjevnog medija na izlazu iz isparivača (°C)

$\vartheta_i$  – temperatura isparavanja radne tvari (°C)

Rashladni učinak isparivača ovisi o ukupnoj površini na kojoj se odvija izmjena topline, koeficijentu prolaska topline izmjenjivača i razlici temperature posrednog medija i radne tvari koja isparava. Poželjno je da razlika temperature bude što manja, a tlak isparavanja što veći.

Izvedba isparivača ima nekoliko zahtjeva:

- Manje i kompaktnije dimenzije
- Manji plan tlaka na strani posrednog medija i radne tvari čime se smanjuje otpor kretanja kroz izmjenjivač
- Veća gustoća toplinskog toka pri izmjeni topline.

Ovisno o načinu izvedbe dizalice topline (toplinski izvor) vrši se podjela isparivača:

- 1) Isparivač s tlom kao toplinski izvor (posredni medij je rasolina ili glikolna smjesa)
  - a) Pločasti
  - b) Cijevni snom
  - c) Dvostruka koaksijalna cijev

- 2) Isparivač s podzemnom vodom (posredni medij je voda)
  - a) Pločasta izvedba od nehrđajućeg čelika
  - b) Izmjenjivač s dvostrukom koaksijalnom cijevi od bakra ili legure bakra i nikla
- 3) Isparivač s tлом kao toplinskim izvorom i izravnim isparavanjem
- 4) Isparivač s površinskom vodom kao toplinskim izvorom (posredni medij je voda)
  - a) pločasti
- 5) Isparivač sa zrakom kao toplinskim izvorom (posredni medij je zrak)
  - a) Lamelni, s bakrenim cijevima i lamelama od bakra ili aluminija
  - b) S cijevnom zmijom

#### 2.4.2. Kompresor

Kompresor, najbitniji dio uređaja u kojem se dovođenjem energije povećava tlak i temperatura plinovite radne tvari radi čega on može kružiti kroz sustav. Drugim riječima, kompresor povisuje temperaturu i tlak radne tvari na vrijednost koja omogućava njezinu kondenzaciju na temperaturi koja je veća od temperature ogrjevnog medija. Rashladni učinak kompresora je uvijek jednak rashladnom učinku isparivača, a sve prema izrazu (2-4) [1].

$$\begin{aligned} \Phi_{komp} = \Phi_{isp} &= q_{m,RT} \cdot (h_1 - h_4) = q_{m,RT} \cdot q_i = \rho_1 \cdot V_{us} \cdot q_i = V_{us} \cdot q_{i,v} \\ &= \rho_1 \cdot A_C \cdot s \cdot f \cdot i \cdot \lambda \cdot q_i \end{aligned} \quad (2-4)$$

u kojem su  $q_{i,v} = q_i \cdot \rho_i$  – Specifični volumetrijski rashladni učinak (J/m<sup>3</sup>)

$\rho_i$  – gustoća radne tvari na ulazu u kompresor/izlazu iz isparivača (kg/m<sup>3</sup>)

$V_{us} = V_{st} \cdot \lambda$  – dobava kompresora (m<sup>3</sup>/s)

$V_{st} = A_C \cdot s \cdot f \cdot i$  – stapajni volumen kompresora (m<sup>3</sup>/s)

$\lambda$  – volumetrički stupanj djelovanja

$A_C = \frac{d^2 \cdot \pi}{4}$  – površina cilindra (klipnog) kompresora (m<sup>2</sup>)

$d$  – promjer cilindra (klipnog) kompresora (m)

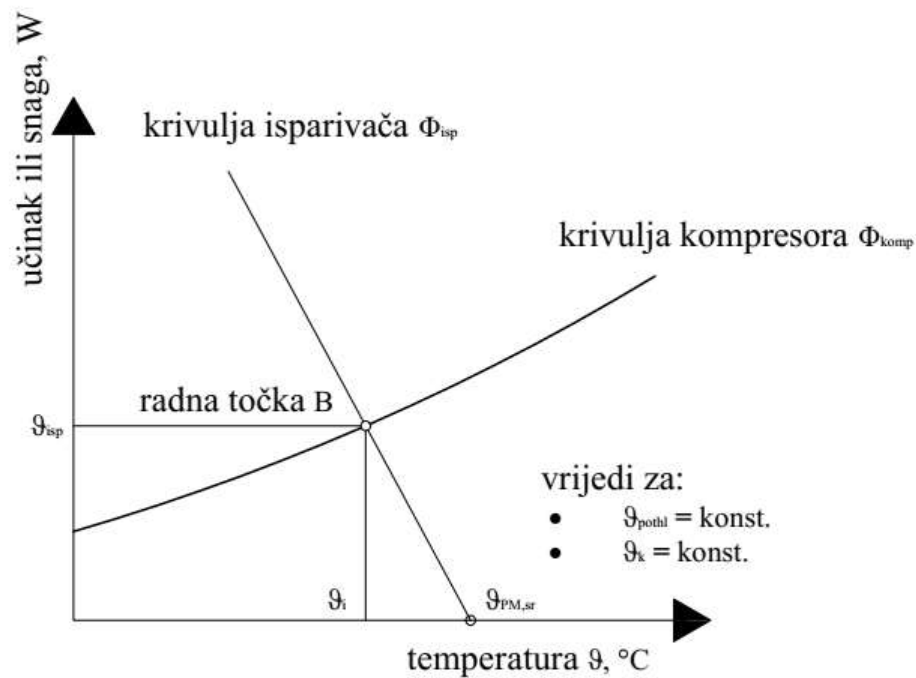
$s$  – stapaj (klipnog) kompresora

$f$  – frekvencija vrtnje vratila (klipnog) kompresora (Hz)

$i$  – broj cilindra (klipnog) kompresora

Kompresor vrši komprimiranje radne tvari iz isparivača, a odnos radnog učinka kompresora i isparivača prikazuju se q-v dijagramom (slika 2.2). Točka u kojem se sijeku krivulja isparivača i kompresora i u kojoj vrijedi  $Q_{komp} = Q_{isp}$  naziva se radna (ravnotežna) točka. Temperatura

isparavanja određena je ravnotežnim učinkom isparivača i kompresora u slučaju da se ne upotrebljava regulacijska armatura.



Slika 2.3 Prikaz krivulja isparivača i kompresora te radne točke Q-v dijagramom [1]

Na osnovu načina na koji se vrši stlačivanje, vrši se podjela (izvedba) kompresora:

- a) Klipni kompresor
- b) Vijčani kompresor
- c) Spiralni kompresor
- d) Turbokompresor.

S obzirom na način ugradnje pogonskog motora, kompresori se dijele na:

- a) Otvorene
- b) Poluhermetičke
- c) Hermetičke.

Kod DT-e najčešće se koriste klipni i spiralni kompresor.



Klipni kompresor tlačenje radne tvari obavlja u cilindru naizmjeničnim pomacima klipa između donje i gornje mrtve točke. Dok je klip u donjoj točki, dio radne tvari ulazi u cilindar, a izlaz radne tvari odvija se u gornjoj točki, a pomicanje se obavlja djelovanjem koljenastog vratila. Kod DT-e se koriste hermetički klipni kompresori, a njihova prednost je u tome što imaju pouzdanu i provjerenu izvedbu, ali i nisku cijenu. Ipak imaju određene nedostatke u vidu pulsirajućeg pogona, razmjerno bučnog rada te radne performanse koje su puno manje u odnosu na spiralne kompresore.

Spiralni kompresori tlačenje radne tvari vrše unutar nepomične spirale (puža) sužavanjem prostora u kojem se plin nalazi radi čega dolazi do povećanja tlaka uslijed smanjenja volumena. Kod DT-a se koriste hermetički spiralni kompresori koji imaju jednostavnu konstrukciju bez mnogo mehaničkih dijelova i dijelova podložnih mehaničkom trošenju i kvarovima (ventili). Njihov rad je tih, imaju kompaktnu izvedbu, malu masu i ravnomjeran rad.

### 2.4.3. Kondenzator

Kondenzator je uređaj u kojem se vrši kondenzacija radne tvari predajom topline neposrednoj okolini. Kondenzator kod DT-e ima ulogu izmjenjivača topline jer u njemu radna tvar izmjenjuje toplinu s ogrjevnim medijem sustava i pri tome dolazi do njegovog zagrijavanja. Osnovni zadatak kondenzatora je predaja topline mediju, a predaja topline opisana je izrazom (2-5) [1].

$$\begin{aligned}\Phi_{kond} = \Phi_{DT} &= q_{m,OM} \cdot c_{OM} \cdot \Delta\vartheta_{OM} = q_{m,RT} \cdot q_k \\ &= q_{m,RT} \cdot (h_2 - h_3) = k_{kond} \cdot A_{kond} \cdot (\vartheta_k - \vartheta_{OM,SR})\end{aligned}\quad (2-5)$$

u kojem su  $\Phi_{kond}$  – toplinski učinak kondenzatora (W)

$q_{m,OM}$  – maseni protok ogrjevnog medija kroz kondenzator (kg/s)

$c_{OM}$  – specifični toplinski kapacitet ogrjevnog medija (J/kgK)

$\Delta\vartheta_{OM}$  – razlika temperatura ogrjevnog medija na ulazu i izlazu iz kondenzatora (°C)

$q_k$  – specifični toplinski učinak kondenzatora (J/kg)

$h_2$  – specifična entalpija radne tvari na ulazu u kondenzator/izlazu iz kompresora (J/kg)

$h_3$  – specifična entalpija radne tvari na izlazu iz kondenzatora/ulazu u ekspanzijski ventil (J/kg)

$k_{kond}$  – koeficijent prolaza topline kondenzatora (W/m<sup>2</sup>K)

$A_{kond}$  – površina za izmjenu topline kondenzatora (m<sup>2</sup>)

$\vartheta_{OM} = \frac{\vartheta_{OM,ul} + \vartheta_{OM,iz}}{2}$  – srednja temperatura ogrjevnog medija pri prolasku kroz kondenzator (°C)

$\vartheta_{OM,ul}$  – temperatura ogrjevnog medija na ulazu u kondenzator (°C)

$\vartheta_{OM,iz}$  – temperatura ogrjevnog medija na izlazu iz kondenzatora (°C)

Od kondenzatora se očekuju male i kompaktne dimenzije, mora osiguravati što manji pad tlaka na strani ogrjevnog medija i radne tvari čime se povećava gustoća toplinskog toka pri izmjeni topline.

Ovisno o mediju, dijeli se izvedba kondenzatora dizalica topline:

- Hlađeni vodom (toplovodno grijanje i PTV)
- Hlađeni zrakom (toplozračno grijanje, ventilacija i klimatizacija)

Prema konstrukciji, kondenzatori se dijele na:

- Pločaste (izrađuju se od nehrđajućeg čelika)
- S dvostrukom koaksijalnom cijevi (cijevi izvedene od bakra ili legure bakra i nikla).

#### 2.4.4. Ekspanzijski ventil

Ekspanzijski ventil ili ventil za toplinsku ekspanziju (engl. Thermostatic Expansion Valve – TEX, TX, TXV) omogućava snižavanje energetske razine (temperatura i tlak) radne tvari u kapljevitom stanju. Osnovna zadaća mu je radnoj tvari sniziti temperaturu i tlak na vrijednost u kojoj dolazi do isparavanja radne tvari, a ona je niža od temperature posrednog medija. Proces započinje ulaskom pothlađene radne tvari (potpuna kapljevina,  $q_3, p_k$ ) koja uz snižavanje temperature i tlaka do vrijednosti temperature i tlaka isparavanja ( $q_i, p_i$ ) ekspandira te takva ulazi u isparivač i djelomično isparava. Istovremeno je omogućena prilagodba protoka radne potrebnom rashladnom učinku isparivača. Ekspanzijski ventil se danas izvodi u tri osnovne varijante:

- Jednostavna kapilarna cijev
- Termostatski ekspanzijski ventil
- Ekspanzijski ventil s elektroničkim upravljanjem

#### 2.4.5. Ostala oprema

Ostala oprema dizalice topline su spojni vodovi radne tvari koji povezuju osnovne dijelove (isparivač, kompresor, kondenzator, ekspanzijski ventil) te razni regulacijski i pomoćni (mjerni) elementi koji omogućavaju siguran i pouzdan rad.

Spojni vod služi za razvod radne tvari, a dijele se ovisno o ulozi:

- Usisni vod – isparivač – kompresor
- Tlačni vod – kompresor – kondenzator

- Kapljevinski vod – kondenzator - ekspanzijski ventil
- Vod za ubrizgavanje – ekspanzijski ventil - isparivač

#### 2.4.6. Rashladni mediji (plinovi) i radne tvari

Rashladni medij kod dizalica topline su plinovi koji pri određenim temperaturama, a u ovisnosti o tlaku, mijenjaju agregatna stanja. Medij mora biti inertan spram ostalih dijelova sustava, njegova gustoća mora biti što veća te mora biti zatvoren u sustavu i neeksplozivan. Rashladni medij mora biti neutrovan i što manje štetan po okoliš. Strujanjem kroz sustav on se miješa s mazivim uljem što osigurava kontinuirano putovanje kroz hermetički zatvoren sustav. Ulja koja se koriste za podmazivanje ne smiju mijenjati svojstva rashladnog medija. U slijedećoj tablici dan je prikaz radnih tvari dizalica topline i njihova primjena.

*Tablica 2.2 Radne tvari [5]*

RT	Sastav	Zamjena za	GWP <sub>100</sub>	Primjena	Napomena
R134a		R12, R22	1300	Kućanski aparati i mali komercijalni rashladni uređaji	Prikladna za retrofitting
R152a		R12	140	Automobilski rashladni uređaji (u istraživanju)	Umjereno zapaljiva
R404a	143a/125/134a 52/44/4 %	R502, R22	3260	Nepokretne i pokretne hladnjače za smrznutu robu	Pseudo azeotropna RT
R407C	32/125/134a 23/25/52 %	R22	1526	Klimatizacija	Klizanje temperature
R417a	600/134a/125 3,5/50/46,5 %	R22	2138	Rashladnici vode, rashladne vitrine	Klizanje temperature
R410A	32/125 50/50 %	-	1725	Split sustavi za hlađenje	Visok tlak
R23		R13	11700	Kaskadni rashladni uređaji	Visok GWP
R600a (izo-butan)		R12, R134a	20	Kućanski aparati	Zapaljiva, eksplozivna
R744 (CO <sub>2</sub> )			1	Kaskadni rashladni uređaji	Previsok tlak, T <sub>kr</sub> - niska
R717 (NH <sub>3</sub> )		R22	0	Industrijsko hlađenje	Otrovna

### 3. OSNOVE RADA DIZALICA TOPLINE

#### 3.1. Kružni procesi

Kružni proces, kako i sam naziv kaže, je proces promjena niza stanja nekog fizikalnog sustava te se on periodički ponavlja pri čemu uvijek iznova se vraća u početno stanje. Gledajući kroz termodinamiku, kružni proces podrazumijeva početno termodinamičko stanje nakon niza uzastopnih promjena radne tvari – Carnotov kružni proces [6]. Uslijed kružnog procesa dolazi do promjena u okolini promatranog sustava, odnosno on obavlja rad ili prijenos topline. Idealan kružni proces je sastavljen od više povratnih potprocesa te kao takav u stvarnosti ne postoji. Današnji kružni proces se sastoji od više nepovratnih potprocesa uslijed određenih gubitaka [1].

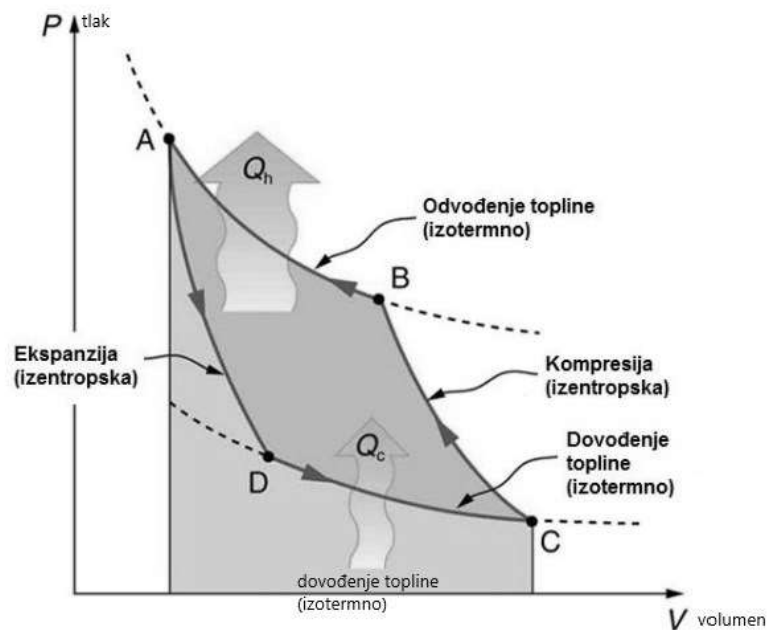
Ovisno o načinu prikazivanja na dijagramu, kružni proces može biti desnokretni i ljevokretni. Desnokretni kružni proces omogućava dobivanje rada pri čemu se promjene odvijaju u smjeru kazaljki na satu. Kod ovog procesa se jedan dio dovedene toplinske energije pretvara u mehaničku energiju – rad. Najpoznatiji primjeri desnokretnih kružnih procesa su parni strojevi, plinske turbine, motori s unutrašnjim izgaranjem.

Ljevokretni kružni proces podrazumijeva odvijanje promjena u smjeru suprotnom od kazaljki na satu, a on omogućuje izmjenu topline između dva spremnika. Za prijenos topline se upotrebljava kompenzacijska energija (mehanički rad kompresora), a primjer uređaja koji rade na ovom principu su rashladni uređaji, dizalice topline.

Ocjena kružnih procesa vrši se preko Carnotovog procesa – idealnom (teorijskom) kružnom procesu koji u stvarnosti nije moguć. Ljevokretni Carnotov proces (prikazan na slici 2.1) sastoji se od četiri povratna potprocesa:

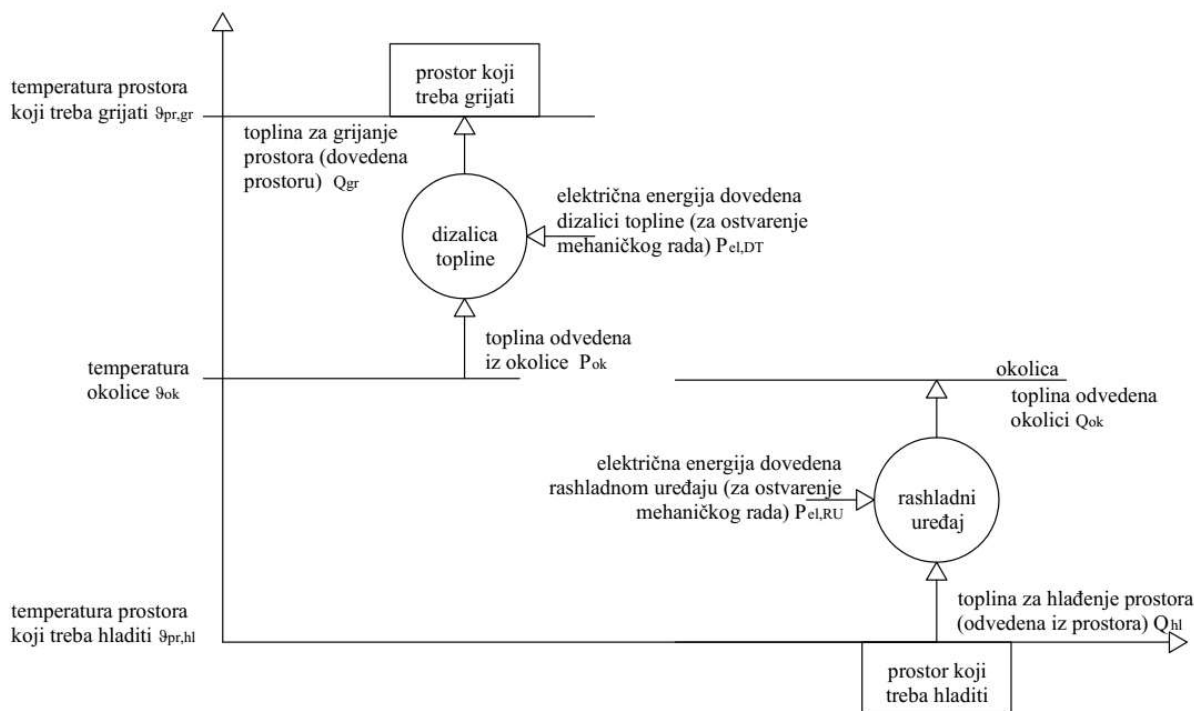
- Izentropska kompresija (pri temperaturi rashladnog spremnika)
- Izotermna kompresija
- Izentropska ekspanzija
- Izoterman ekspanzija (pri temperaturi ogrjevnog spremnika).

U ljevokretnom procesu se pomoću mehaničkog rada (rad kompresora izvana) omogućava da se rashladnom mediju pri nižoj temperaturi neposredne okoline (spremnik niže razine) dovede toplina. Prelaskom na višu temperaturu rashladni mediji predaje toplinu neposrednoj okolini (toplinski spremnik više razine).



Slika 3.1 Teoretski lijevokretni Carnotov proces u p-V dijagramu

Ovisno o zadaći dizalice topline (grijanje ili hlađenje) ovise procesi u rashladnim uređajima i dizalicama topline. Dizalice topline za spremnik više temperaturne razine (onaj kome se toplina dovodi) koriste prostor ili medij koji se zagrijava, a spremnik niže razine (onaj kome se toplina odvodi) je neposredna okolina. S druge strane, kod rashladnog uređaja spremnik više razine je neposredna okolina uređaja, a spremnik niže temperaturne razine je prostor ili medij koji se hladi. Dizalice topline koriste dvojnost lijevokružnog procesa te se tako mogu upotrebljavati i za grijanje i za hlađenje. Usporedba procesa u rashladnom uređaju i dizalici topline vidljiva je na slici 2.2.



Slika 3.2 Usporedba procesa u rashladnom uređaju i dizalici topline [1]

### 3.1.1. Faktor grijanja i hlađenja

Faktor grijanja, još se naziva i toplinski množitelj (COP, eng. Coefficient Of performance) je ključni pokazatelj učinkovitosti rada dizalice topline. Faktor grijanja dizalice topline je omjer toplinske energije koju DT dovede nekom prostoru ili mediju i pogonske upotrijebljene energije za ostvarenje procesa (mehanička, električna). Drugim riječima, faktor grijanja je omjer toplinskog učinka koji se preko kondenzatora predaje prostoru i električne snage motora kompresora. Ovaj omjer se prikazuje preko izraza (3-1) [1].

$$\varepsilon_{DT} = \frac{Q_{dov}}{E_{pog}} = \frac{\Phi_{DT}}{P_{el}} = \frac{1}{1 - \frac{T_{izv}}{T_{pol}}} \quad (3-1)$$

u kojem su  $\varepsilon_{DT}$  – faktor grijanja dizalice topline,  $> 1$  (uvijek)

$Q_{dov}$  – toplina koja je dovedena nekom prostoru ili mediju (J)

$E_{pog}$  – pogonska energija za ostvarivanje procesa u dizalici topline (J)

$\Phi_{DT}$  – toplinski učinak dizalice topline (W)

$P_{el}$  – nazivna električna snaga dizalice topline (W)

$T_{izv}$  – srednja temperatura toplinskog izvora (T)

$T_{pol}$  – temperatura polaznog voda ogrjevnog medija (K).

Kod rashladnih uređaja osnovni pokazatelj učinkovitosti njihovog rada je faktor hlađenja. Faktor hlađenja (EER, eng. Energy-Efficiency Ratio) je omjer odvedene toplinske energije iz prostora ili medija i utrošene energije za ostvarenje procesa. Drugim riječima, faktor hlađenja je omjer rashladnog učinka koji se preko isparivača uzima iz prostora i električne snage motora koji pokreće kompresor. Faktor hlađenja se računa prema izrazu danom formulom (3-2) [1].

$$\varepsilon_{RU} = \frac{Q_{odv}}{E_{pog}} = \frac{\Phi_{Ru}}{P_{el}} = \varepsilon_{DT} - 1 \quad (3-2)$$

u kojem su  $\varepsilon_{RU}$  – faktor hlađenja rashladnog uređaja

$Q_{odv}$  – toplina koja je odvedena od nekog prostora ili medija (J)

$\Phi_{RU}$  – rashladni učinak rashladnog uređaja (W).

Sezonski faktor grijanja (SCOP, Eng. Seasonal Coefficient Of Performance) je omjer ukupnog rada uređaja u sezoni grijanja, odnosno omjer referentne godišnje potrebne energije i godišnje potrošnje električne energije za grijanje te se definira se izrazom (3-3) [1].

$$\varepsilon_{DT,sez} = \frac{\sum Q_{dov}}{\sum E_{pog}} \quad (3-3)$$

Pri čemu su  $\varepsilon_{DT,sez}$  – sezonski faktor grijanja

$\sum Q_{dov}$  – ukupno dovedena toplinska energija cijelo vrijeme pogodna dizalice topline (J)

$\sum E_{pog}$  – ukupna energija za pogon dizalice topline (npr. u godini dana) (J).

U slijedećoj tablici prikazani su prosječni toplinski učinak i sezonski faktori grijanja dizalica topline ovisno o toplinskom izvoru.

*Tablica 3.1 Prosječni toplinski učinak i sezonski faktori grijanja dizalice topline ovisno o toplinskom izvoru*

Toplinski izvor	Prosječni toplinski učinak (W)	Sezonski faktor grijanja ( $\varepsilon_{DT,sez}$ )
Okolni zrak	4 – 50	2,0 – 2,5
Otpadni, istrošeni ili onečišćeni zrak iz prostorija	3	2,5 – 3,1
Tlo	7 – 400	2,3 – 2,7
Podzemne vode	7 – 400	2,4 – 2,8
Površinska i morska voda	10 – 25.000	2,4 – 3,3
Otpadna toplina industrijskog procesa	> 500	2,5 – 4,0

Stvarni faktor grijanja kod dizalica topline uzima u obzir gubitke cijelog procesa, odnosno u cijelom uređaju. Stvarni faktor grijanja ovisi o pogonskom motoru, odnosno upotrijebljenom pogonskom gorivu te se računa preko jednadžbe dane izrazom (3-4) [1].

$$\varepsilon_{DT,stv} = \frac{Q_{dov} + Q_{hl} + Q_{DP}}{Q_{gor}} \approx 1 + \eta_{mot} \cdot (\varepsilon_{DT} - 1) \quad (3-4)$$

Za dizalice topline koje koriste električni kompresor, stvarni faktor grijanja se računa preko jednadžbe u izrazu (3-5) [1].

$$\varepsilon_{DT} = \frac{Q_{dov} + Q_{hl}}{E_{el}} \quad (3-5)$$

Pri čemu su  $\varepsilon_{DT,stv}$  – stvarni faktor grijanja kompresijske dizalice topline

$Q_{hl}$  – toplina odvedena sustavom hlađenja motora kompresora (J)

$Q_{DP}$  – toplina odvedena dimnim plinovima iz motora kompresora (J)

$Q_{gor}$  – toplina oslobođena izgaranjem goriva u komori izgaranja motora kompresora (J)

$\eta_{mot}$  – stupanj djelovanja motora kompresora (%)

$E_{el}$  – dovedena električna energija u pogon kompresora (J).

### 3.2. Način rada dizalice topline

Ovisno o tome na koji način se zadovoljavaju toplinske potrebe za grijanjem u sezoni grijanja vrši se podjela načina rada dizalica topline, odnosno ovisno o načinu i vremenu korištenja ili nekorištena dodatnog izvora topline.

#### 3.2.1. Monovalentni način rada

U slučaju monovalentnog načina rada dizalica topline, tijekom cijele sezone grijanja toplinske potrebe su pokriveno dizalicom topline tj. ona je jedini izvor topline za grijanje i PTV. Najčešće korištene dizalice topline u ovakvom načinu rada kao toplinski izvor koriste izvore koji su dostupni tijekom cijele godine, a to su podzemne i površinske vode te površinske i dubinske slojeve tla, a ponekad okolni zrak

#### 3.2.2. Bivalentni način rada

Dizalice topline koje rade bivalentno, tijekom cijele sezone grijanja pokrivaju samo jedan dio potreba te upotrebljava se dodatni izvor (plin, električna energija, kruta goriva). Kod bivalentnog



načina rada, u određenom vremenskom periodu (vrlo niske temperature) uključuje se dodatni izvor topline te se ovakav način rada upotrebljava kod dizalica topline izvedbe zrak – voda. Bivalentni način rada dijeli se u tri osnovne podvrste:

- bivalentno-alternativni način rada – u određenom trenutku dodatni izvor preuzima cjelokupne potrebe, a DT se isključuje
- djelomični bivalentni-usporedni način rada – o određenom trenutku uključuje se dodatni izvor koji radi zajedno s DT-e te se u nekom trenutku dodatni izvor isključuje. Točke uključivanja isključivanja definirane su okolnom temperaturom i temperaturom ogrjevnog medija kao i tarifom električne energije.
- bivalento-usporedni način rada – u određenom trenutku se uključuje dodatni izvor grijanja koji zajedno s DT-e služi za cjelokupno pokrivanje toplinskih potreba.

### 3.2.3. Monoenergetski i multivalentni način rada

Dizalice topline koje su monoenergetske, kako im i sam naziv govori, koriste električnu energiju za dodatni izvor topline. Dodatni izvor topline je akumulacijski spremnik (s električnim grijačem vode).

Dizalice topline s multivalentnim načinom rada za dodatni izvor topline za zadovoljavanje toplinskih potreba u sezoni grijanja i PTV-a upotrebljava neki drugi energent (prirodni plin, sunčevu energiju), odnosno pored električne energije upotrebljava se još jedan energent (npr. plinski kotao, solarni sustav).

## 3.3. Prednosti i nedostaci dizalica topline

Jedna od glavnih prednosti dizalica topline jest u tome što one iskorištavaju obnovljive izvore energije jer koriste energiju iz svoje okoline te su u jednu ruku neovisne o energentima. Radi svoje neovisnosti o energentima predstavljaju uštedu na komunalnim uslugama. Osim uštede i korištenja obnovljivih izvora energije, dizalice topline ne proizvode štetne emisije. Isto tako, ne zahtijevaju dodatno skladištenje energenta (nafta, drva). Za razliku od klasičnog radijatorskog centralnog grijanja, sustav s DT se rjeđe uključuje i isključuje. Kod sustava s DT, u jednom uređaju su integrirani grijanje, priprema potrošne tople vode i hlađenje, dok kod klasičnog sustava potreban je zaseban uređaj za grijanje i PTV, a zaseban za hlađenje. Kad je riječ o hlađenju, DT su prikladniji odvlaživači zraka od uobičajenih klima uređaja jer ovi sustavi imaju veće povratne zavojnice koje omogućavaju veće odvlaživanje. Dizalice topline jednom kad se instaliraju, zahtijevaju manje održavanja od klasičnih sustava. Jednom godišnje se moraju provjeravati neke

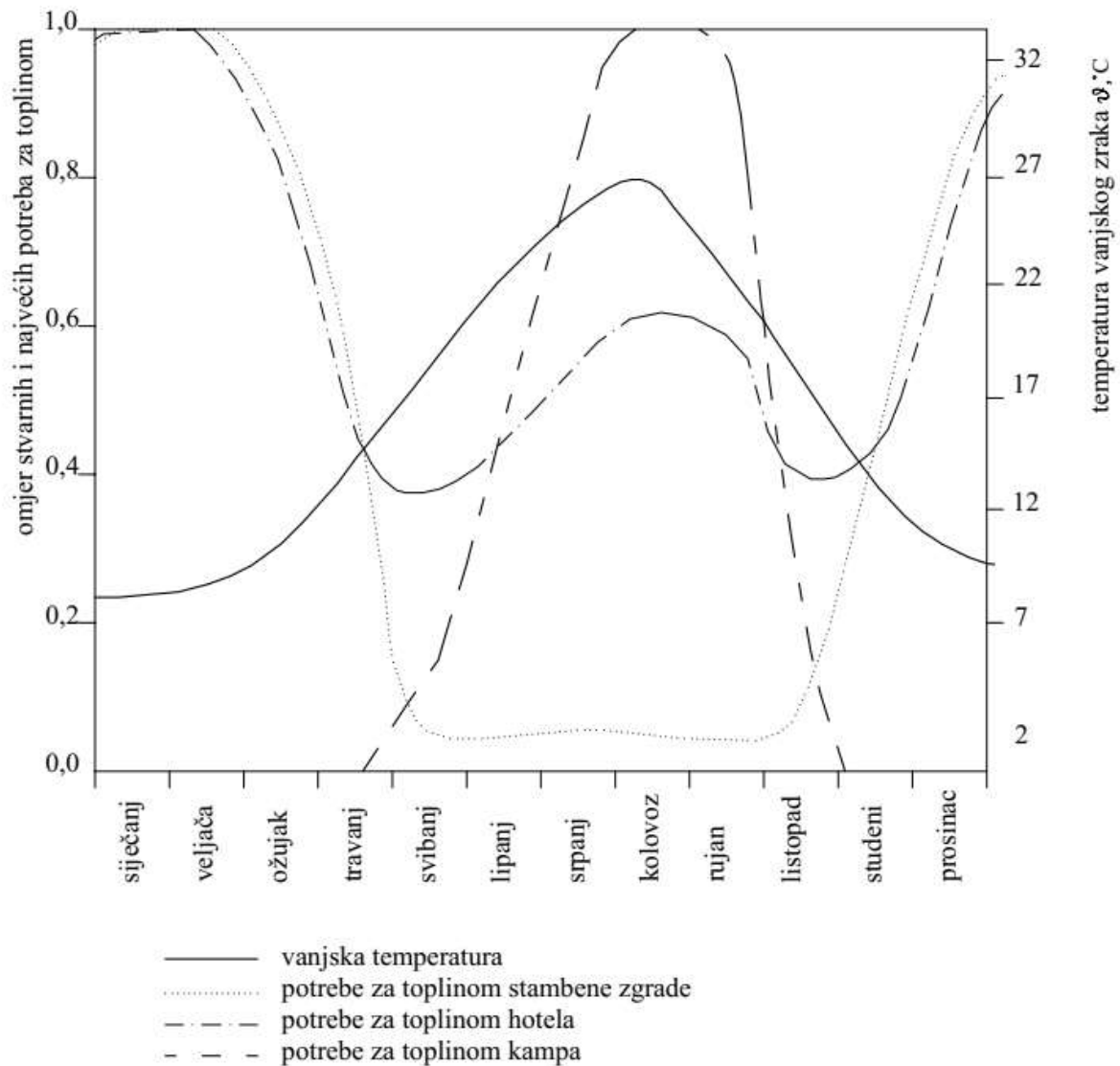
komponente sustava, što može napraviti samostalno svaki korisnik. Sustav DZ ima veću sigurnost od sustava grijanja koji su utemeljeni na izgaranju nekog energenta. I kao jedna od ključnih prednosti ovih sustava je njegov dugačak životni vijek, skoro do 50 godina, iako on u prosjeku iznosi oko 15 [7].

Malo je teško reći je li ovo prednost ili nedostatak, ali dizalice topline u sustavu grijanja zahtijevaju niskotemperaturni režim rada, a to opet ovisi o preferencijama korisnika grijanja. Neki vole toplinu koja nije tako intenzivna (DT) kao kod klasičnog radijatorskog ili lokalnog grijanja pećima. Osim toga, DT ravnomjerno raspoređuju toplinu po cijelom objektu i nema hladnih područja.

Glavni nedostatak dizalica topline je njihova skupoća, odnosno što zahtijevaju visoka početna ulaganja. Na visoka početna ulaganja nadovezuje se i kompleksnost instalacije i potreba za istraživanjem na osnovu kojeg će se odrediti koji tip sustava i količina dostupne energije iz okoliša. Kao drugi veliki nedostatak dizalica toplina jest u činjenici da imaju tendenciju malo manje učinkovitog rada u klimama gdje temperatura vanjskog zraka pada blizu ili ispod nule. Razlog tome leži u činjenici jer premještanje topline iz vrlo hladnog područja na toplije traje puno duže nego kad su ta dva područja umjerene temperaturne razlike. Kako bi se upumpala toplina koja postoji vani, potrebna je dopunska energija za proizvodnju dovoljno topline koja će zagrijati prostor u uvjetima kad je temperatura ispod ništice. Na područjima koja imaju hladnija zimska razdoblja, potrebno je razmotriti mogućnost dodatnog (pomoćnog) sustava grijanja kada DT ne može učinkovito raditi. Veliki broj njih dodatno upotrebljava sustav grijanja na električnu energiju ili uljni plamenik. Kao moguć nedostatak DZ, npr. koje koriste zrak kao izvor topline, one mogu biti glasne radi ventilatora, dok DT koje koriste tlo, imaju puno više nedostataka jer zahtijevaju veliku površinu tla u koju će se položiti zavojnice. Isto tako njima je potrebna električna energija za rad koja stvara emisiju CO<sub>2</sub>. Osim emisije štetnih plinova, sustavi DT koriste medije od kojih su neki jako štetni po okoliš [8]. Priprema PTV-a kod dizalica koje koriste tlo zahtjeva pomoćni izvor napajanja (npr. električna energija). I jedan od nedostataka koji se vrlo često pojavljuje leži u činjenici da većina proizvođača navodi veći COP u odnosu na onaj koji dizalica topline pri radu može postići [9].

#### 4. DIZALICA TOPLINE ZRAK – VODA

Zrak kao toplinski izvor kod dizalica topline podrazumijeva toplinsku energiju pohranjenu u okolini (vanjski zrak), otpadnom, istrošenom ili onečišćenom zraku sustava ventilacije i klimatizacije ili iz raznih procesa. Toplinska energija zraka potječe od sunca ili otpadne topline. Nedostatak zraka kao toplinskog izvora kod dizalica topline (zrak-voda, zrak-zrak) leži u činjenici da zrak ima najveću toplinsku energiju u periodu kada nije potrebno grijanje (ljeti).



Slika 4.1 Dijagram kretanja vanjske temperature zraka i potrebe za toplinskom energijom tijekom godine [1]

Toplina nastala radom dizalice topline zrak – voda može se upotrebljavati u sustavu niskotemperaturnog grijanje ili klimatizacije (klima komore). Dizalice topline zrak-voda pojavljuju se u tri osnovne izvedbe, a to su:

- Postavljene na otvorenom
- Postavljene u zatvorenom prostoru
- U odvojenoj izvedbi (split sustav).

Neovisno o kojoj izvedbi je riječ, ovakav sustav je veoma bučan uslijed rada ventilatora pomoću kojeg se dovodi vanjski zrak do isparivača ili za ostvarivanje strujanja toplog zraka. Još jedna negativna karakteristika dizalica topline zrak-zrak jest u činjenici da im se faktor grijanja značajno smanjuje snižavanjem vanjske temperature te u zimskom periodu je potreban dodatni izvor topline. Smatra se da ovakvi sustavi mogu raditi do temperature  $-7^{\circ}\text{C}$ . Tijekom zimskih uvjeta postoji mogućnost zaleđivanja kondenzirane vlage na izmjenjivačkim plohamama uslijed čega dolazi do smanjenja izmjene topline. Proces odleđivanja se u tim uvjetima obavlja pokretanjem rashladnog procesa ili pomoću električnih grijača (dodatna potrošnja energije). Ukupna potrošnja energije za odleđivanje isparivača ne bi smjela biti veća od 10% ukupne energije utrošene za pogon kompresora. Optimalan protok zraka za učinkovit rad ovakvih dizalica topline je  $300\text{-}500\text{ m}^3/\text{hkW}$  rashladnog učinka kompresora.

U uvodu je rečeno da se kao izvor može koristiti i otpadni zrak iz prostorije ili radnog procesa. U sustavima ventilacije i klimatizacije, skoro 50% energije za grijanje koristi se na zagrijavanje svježeg zraka, a upotrebom onečišćenog zraka mogu se ostvariti značajne uštede. Isto tako, otpadna toplina se može upotrijebiti za PTV ili zagrijavanje svježeg zraka.

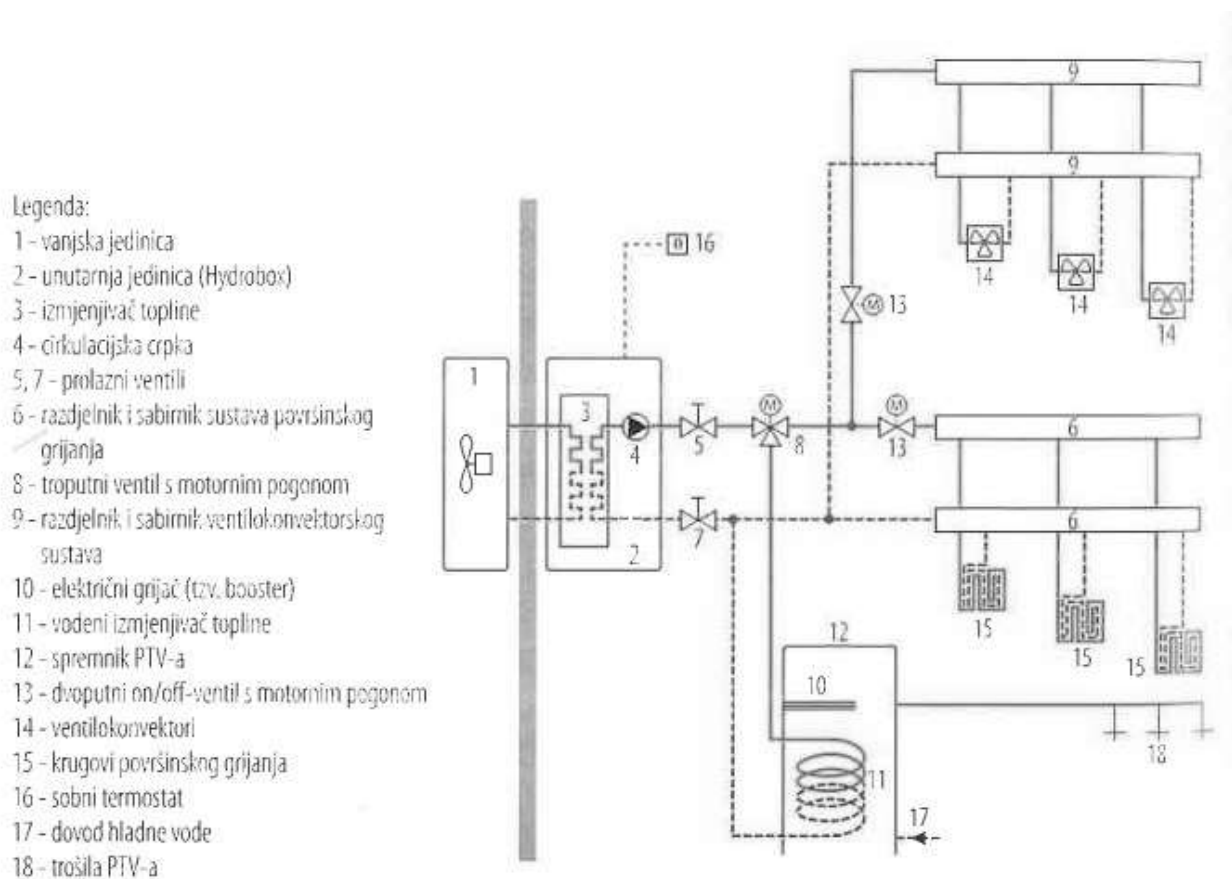
Glavna prednost ovog sustava leži u činjenici da za pripremu potrošne tople troši tri puta manje električne energije nego kad se PTV zagrijava električnim grijačima vode.

#### **4.1. Primjena dizalica topline zrak – voda**

Uslijed stalnih klimatskih promjena, inženjeri stalno traže rješenje problema zadovoljavanja toplinskih potreba stambenog sektora za potrebe grijanja, hlađenja i pripreme potrošne tople vode. Dizalice topline zrak – voda svojom izvedbom su najjednostavnije, a dimenzioniranje i ugradnja ne zahtijevaju složena i skupa ispitivanja tla niti razne dozvole koje su potrebne kada je izvor topline tlo ili podzemna voda.

Svojim djelovanjem ove dizalice topline su slične uobičajenom klima uređaju split izvedbe pri čemu na vanjskoj jedinici toplinu izmjenjuju vanjski zrak i radna tvar (R 410A), a na unutarnjoj radna tvar i voda (ogrjevni medij). Za vrijeme sezone grijanja zagrijana voda pomoću crpke dovodi se do razdjelnika sustava površinskog grijanja, niskotemperaturnih radijatora, ventilokonvektora ili do spremnika PTV-a. U sezoni hlađenja ohlađena voda se dovodi do ventilokonvektora ili sustava površinskog hlađenja. Dopunski spremnik tople vode za grijanje nije potreban jer su kompresori na vanjskoj jedinici inverterski upravljani te mogu zadovoljiti toplinske potrebe. Sve instalacije su vodene, a freonski dio se nalazi izvan zgrade kako bi se spriječilo smrzavanje instalacije.

Unutarnja jedinica je srce sustava koje uključuje sve elemente hidrauličkog modula, a standardno je opremljen dodatnim električnim grijačem za dogrijavanje vode u kritičnim uvjetima te za zagrijavanje vode na temperaturu veću od 55°C.



Slika 4.2 Pojednostavljeni prikaz sustava grijanja, hlađenja i pripreme PTV-a s dizalicom topline zrak – voda kao izvorom toplinskog i rashladnog učinka [1]

Eksploatacija ovakvih sustava predstavlja najmanji trošak. Uštede se ostvaruju u samom početku jer nema zemljanih radova, bušenja, polaganja sonde i bušenja bunara. Suvremena rješenja dizalica topline zrak-voda mogu raditi na temperaturama vanjskog zraka i do  $-20^{\circ}\text{C}$ , s time da su potrebni električni grijači za predgrijavanje zraka koji utječe na faktor iskoristivosti dizalice topline. Ovakvi sustavi su pokazali se najbolji na objektima s malim ili gotovo nultim energetske potrebama – pasivnim kućama [10].

## 5. USPOREDBA DIZALICE TOPLINE ZRAK-VODA I KLASIČNOG SUSTAVA ZA GRIJANJE I HLAĐENJE

Za potrebe ovog rada analizirati će se dva sustava za zadovoljenje fizikalnih potreba objekta (grijanje, PTV i hlađenje). Jedan sustav će biti sustav dizalica topline koja radi na principu zrak - voda i njime će se zadovoljiti potrebe za grijanjem, PTV i hlađenjem, dok drugi sustav podrazumijeva centralni sustav podnog grijanja pomoću kotla na prirodni plin, te je u sustav integrirana priprema PTV-a, a hlađenje je izvedeno rashladnim uređajima split izvedbe.

Sustavi će se analizirati na primjeru stambene obiteljske kuće s jednom stambenom jedinicom, bruto grijane površine 102,45 m<sup>2</sup>, dok neto grijana površina iznosi 82,50 m<sup>2</sup>. Obujam grijanog zraka iznosi 308,37 m<sup>3</sup>. Srednja vrijednost najniže godišnje temperature iznosi -18°C, a sustav radi s prekidom od 10 sati. Projektirana temperatura u prostorijama iznosi 20°C, dok je u kupaonici ona 24°C. Ventilacija u objektu je prirodna preko dovoljnog broja otvora na pročeljima. Ukupni toplinski gubici objekta iznose 5.715 W, od čega je 3.122 W transmisijskih gubitaka, dok ventilacijski iznose 1.861 W. Potrebna toplina za zagrijavanje iznosi 9 W/m<sup>2</sup>, izmjena zraka iznosi 1,5 za sanitarije, 0,5 za ostale prostorije. Analiza fizike zgrade provedena je programskim alatom *KI Expert plus* (Knauf Insulation). Programski paket uvažava sve propise i norme koji uređuju ovo područje, a izračun se temelji na konstruktivnim elementima građevine (ploština korisne površine, oplošje i volumen grijanog dijela, te faktorom oblika), vrsti, debljini i toplinskim svojstvima upotrijebljenih građevinskih materijala, površini i orijentaciji vanjskih zidova, vrsti i veličini vanjskih otvora, vrsti i svojstvu podova prema tlu i između etaža. Obiteljska kuća ima dobro izoliranu ovojnicu, a njezine energetske potrebe vidljive su u tablici u nastavku.

Tablica 5.1 Toplinska energija za grijanje i hlađenje

TOPLINSKA ENERGIJA ZA GRIJANJE		TOPLINSKA ENERGIJA ZA HLAĐENJE		TOPLINSKA ENERGIJA ZA PTV		
$Q_{H,nd,ref}$	11.603,94	$Q_{C,nd,ref}$	289,91	$Q_{w,nd,ref}$	1.031,25	kWh
$Q'_{H,nd,ref}$	37,63	$Q'_{C,nd,ref}$	0,94	$Q'_{w,nd,ref}$	3,34	kWh/m <sup>3</sup>
$Q''_{H,nd,ref}$	140,66	$Q''_{C,nd,ref}$	3,51	$Q''_{w,nd,ref}$	12,5	kWh/m <sup>2</sup>
$Q_{H,nd}$	11.810,29	$Q_{C,nd}$	394,62			
$Q'_{H,nd}$	38,30	$Q'_{C,nd}$	1,28			
$Q''_{H,nd}$	143,16	$Q''_{C,nd}$	4,78			
$Q''_{H,nd,dop}$	71,11	$Q''_{C,nd,dop}$	50,00			

### 5.1. Sustav radijatorskog grijanja pomoću kotla na prirodni plin i hlađenje split sustavom

Svakom uređaju za grijanje proizvođač definira njegov nazivni učin i stupanj djelovanja. Nazivni učin predstavlja maksimalni toplinski učin izražen u kW-a, a koji se ostvaruje tijekom trajnog rada uz stupanj djelovanja. Stupanj djelovanja je omjer (izražen u %) između toplinskog učinka prenesenog na vodu u kotlu i umnoška donje ogrjevne moći kod stalnog tlaka goriva s potrošnjom izraženom količinom goriva u jedinici vremena [11]. Analizirani objekt ima postojeći sustav centralnog radijatorskog grijanja preko kotla na prirodni plin. Plinski kondenzacijski fasadni bojler proizvođača Vaillant, model VUI 256/5-5 ecoTEC plus toplinskog učinka 5,7 – 27,2 kW u ustavu grijanja sa spremnikom za PTV-u zapremine 200 l, s potrošnjom od 3,20 m<sup>3</sup>/h prirodnog plina. Radijatori su pločasti, tip Vaillant kompaktni, a razvod je izveden nadžbuknom bakrenom instalacijom.



*Slika 5.1: Aluminijski pločasti radijatori i fasadni kondenzacijski bojler [12]*

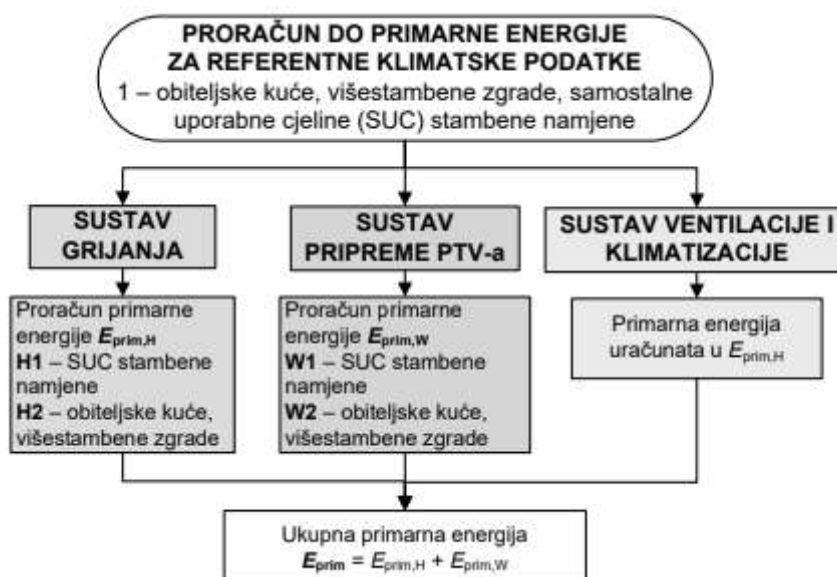
Uzimajući u obzir radne parametre uređaja u obiteljskoj kući, navedeni sustav ima ukupni stupanj djelovanja  $\eta_{uk}$  0,9254 pri čemu se uzimaju u obzir gubici na sustavu za proizvodnju topline, razvodu topline i sustavu emisije topline u prostor. S istim stupnjem djelovanja je i priprema potrošne tople vode, dok split klima uređaj ima COP u iznosu 5,36. Navedeni podaci služe za izračun isporučene energije ( $E_{del}$ ) u sustav, odnosno energiju koju je potrebno dovesti u tehnički sustav kako bi se zadovoljile potrebe za grijanjem, hlađenjem i pripremom PTV-a. Da bi navedena količina bila usporediva s nekim drugim sustavima koji koriste druge energente i sustave, isporučena energija u sustav se iskazuje u primarnoj energiji ( $E_{peim}$ ). Primarna energija je energija iz obnovljivih i neobnovljivih izvora koja nije podvrgnuta niti jednom postupku pretvorbe [13] te predstavlja sumu svih utrošenih energenata u objektu, što je u ovom slučaju prirodni plin i električna energija. Potrebna količina energije za zadovoljavanje potreba obiteljske kuće smještene u Osijeku prikazane su u slijedećoj tablici.



Tablica 5.2 Isporučena i primarna energija obiteljske kuće

	ISPORUČENA ENERGIJA			PRIMARNA ENERGIJA		
Referentni klimatski podaci	$E_{del}$	13.707,68	kWh	$E_{prim}$	15.616,35	kWh
	$E_{del}$	<b>166,15</b>	<b>kWh/m<sup>2</sup></b>	$E_{prim}$	<b>189,29</b>	<b>kWh/m<sup>2</sup></b>
Stvarni klimatski podaci	$E_{del}$	13.950,20	kWh	$E_{prim}$	15.313,69	kWh
	$E_{del}$	169,09	kWh/m <sup>2</sup>	$E_{prim}$	185,62	kWh/m <sup>2</sup>
	$E_{del,dop}$		kWh/m <sup>2</sup>	$E_{prim,dop}$	45,00	kWh/m <sup>2</sup>

Ukupna potrošnja energenata u obiteljskoj kući prije svega ovisi o navikama korisnika i načinu korištenja sustava. Uzimajući u obzir vrijeme rada sustava i uobičajeni način korištenja, modelirana potrošnja obiteljske kuće s ovakvim sustavom grijanja prosječno potroši 3.845 kWh električne energije, 14.103 kWh prirodnog plina te 196 m<sup>3</sup> vode. Količina potrošene vode je prikazana u kWh (dakle kao potrošena energija), a temelji se na podatku da se za dopremu jednog m<sup>3</sup> vode do potrošača potroši 1 kWh električne energije. Podaci o ukupno isporučenoj energiji prikazani su u tablici 5.3. Kako bi navedene podatke mogli usporediti s proračunatom potrebnom isporučenom energijom u sustav i stvarno isporučenom energijom, utrošeni energenti su iskazani u primarnoj energiji. Na slijedećoj slici grafički je prikazan način proračuna primarne energije.



Slika 5.2 Osnovni dijagram toka proračuna do primarne energije za referentne klimatske podatke – 1 - obiteljske kuće, višestambene zgrade, samostalne uporabne cjeline stambene namjene [14]

Primarna energija se izračunava u skladu s Metodologijom provođenja energetskih pregleda zgrada i preko izraza danog u nastavku. Isporučenu energiju u sustav dobije se proračunom fizikalnih svojstava zgrade, dok faktori primarne energije su propisani Metodologijom. [14].

$$\begin{aligned} E_{prim,H} &= E_{del,H} \cdot f_p \\ E_{prim,C} &= E_{del,C} \cdot f_p \\ E_{prim,W} &= E_{del,W} \cdot f_p \end{aligned} \quad (5-1)$$

Gdje je:  $E_{prim,H/C/W}$  – primarna energija sustava za grijanje/hlađenje/PTV

$E_{delH,C,W}$  – isporučena energija u sustav za grijanje/hlađenje/PTV

$f_p$  – faktor primarne energije.

Faktor primarne energije za analiziranu obiteljsku kuću prikazani su u slijedećoj tablici. Pri korištenju energije u obiteljskoj kući, stvara se određena emisija CO<sub>2</sub>. Ukupna emisija CO<sub>2</sub> koju neki objekt emitira u okoliš računa se preko faktora emisije CO<sub>2</sub> koji je također propisan Metodologijom. navedeni su iskazani zajedno s faktorima primarne energije.

*Tablica 5.3 Faktori primarne energije [14, p. 336]*

Energenti i voda	Faktor primarne energije	Emisija CO <sub>2</sub> po jedinici energije (kg/kWh)
Električna energija (kWh)	1,614	0,235
Prirodni plin (kWh)	1,095	0,220
Voda (m <sup>3</sup> )	1,541	0,224

U slijedećoj tablici prikazani su podaci o stvarno isporučenoj količini energije u obiteljsku kuću radi zadovoljenja potreba za grijanjem, hlađenjem i pripremom PTV-e. Isporučena energija iskazana je i kao primarna energija te je izračunata emisija CO<sub>2</sub> kojom se utječe na okoliš.

*Tablica 5.4 Potrošnja energenata, emisija CO<sub>2</sub> i trošak energenata*

Vrsta energenta	Emisija CO <sub>2</sub> po jedinici energije (kg/kWh)	Godišnja potrošnja energenta	Primarna energija (kWh/a)	Emisija CO <sub>2</sub> (t/god)	Trošak (kn/a)
Električna energija	0,23481	3.845	6.206	0,90	3423,4
Prirodni plin	0,2202	14.103	15.442	3,11	4319,1
Voda	0,22424355	196	302	0,04	2005,24
			<b>21.950</b>	<b>4,05</b>	<b>9.747,74</b>

## 5.2. Sustav dizalice topline za grijanje i hlađenje

Kao alternativno rješenje za zadovoljavanje potreba obiteljske kuće, predložen je sustav dizalice topline koja za svoj rad upotrebljava električnu energiju i toplinsku energiju zraka iz okoline. Predviđena je dizalica topline zrak-voda izvedbe s vanjskom i unutarnjom jedinicom. Zimi se upotrebljava DT-e s temperaturom polazno-povratnog voda 45/35°C (podno grijanje), a za hlađenje ljeti s temperaturom polaznog-povratnog voda 8/16°C. U polaznom vodu grijanja/hlađenja predviđen je akumulacijski spremnik ogrjevnog/rashladnog medija zapremine 200 l na koji su priključene dizalica topline, polaz i povrat prema krugu grijanja/hlađenja. PTV se vrši spremnikom zapremine 390 l s električnim grijačem koji će obavljati povremenu dezinfekciju spremnika. U ljetnom režimu dizalica topline hlađenje obavlja preko kruga ventilokonvektora dvocjevnim sustavom. S obzirom na toplinske potrebe odabran je uređaj slijedećih karakteristika:

- Za grijanje, i hlađenje i PTV je odabrana dizalica topline split izvedbe sa vanjskom i unutarnjom jedinicom
  - o Učinak grijanja A7/W35°C,  $Q_g=15,5$  kW, COP 4,53, P=3,42 kW, 230V/1N/50Hz
  - o Učinak grijanja A-7/W35°C,  $Q_g=11,4$  kW, COP 3,35, P=2,75 kW, 230V/1N/50Hz
  - o Učinak hlađenja A35/W7°C,  $Q_h=5,0-12,3$  kW, EER 2,78, P=2,58 kW, 230V/1N/50Hz

Za zadovoljavanje potrebne energije za potrebe obiteljske kuće dizalicom topline (grijanje, hlađenje, priprema PTV) koriste se slijedeći izrazi [14].

$$\begin{aligned} E_{del,H} &= Q_{H,nd}/COP \\ E_{del,C} &= Q_{C,nd}/EER \\ E_{del,W} &= \frac{9,4649 \cdot n_{dana}}{COP} \end{aligned} \quad (5-2)$$

Za proračun potrebne energije za PTV-e uzete su pretpostavke da u obiteljskoj kući borave 4 osobe koje dnevno troše ukupno 160 litara tople vode. Da bi se zagrijala potrebna PTV-a, predviđen je spremnik zapremine 390 l s dva električna grijača, a prema specifikaciji proizvođača, da bi isporučio toliku količinu vode, spremnik utroši 9,4649 kWh toplinske energije dnevno [15]. Kako dizalica topline za 1 kWh električne energije daje 3,35 toplinske energije, DT za PTV troši 2,83 kWh električne energije dnevno.

Tablica 5.5 Isporučena i primarna energija obiteljske kuće

	ISPORUČENA ENERGIJA			PRIMARNA ENERGIJA		
Referentni klimatski podaci	E <sub>del</sub>	3.876,49	kWh	E <sub>prim</sub>	6.256,66	kWh
	<b>E<sub>del</sub></b>	<b>46,99</b>	<b>kWh/m<sup>2</sup></b>	<b>E<sub>prim</sub></b>	<b>75,84</b>	<b>kWh/m<sup>2</sup></b>
Stvarni klimatski podaci	E <sub>del</sub>	3.975,75	kWh	E <sub>prim</sub>	6.416,86	kWh
	E <sub>del</sub>	48,19	kWh/m <sup>2</sup>	E <sub>prim</sub>	77,78	kWh/m <sup>2</sup>
	E <sub>del,dop</sub>		kWh/m <sup>2</sup>	E <sub>prim,dop</sub>	45,00	kWh/m <sup>2</sup>

U skladu s potrebnom energijom za zadovoljavanje energetske potrebe pri upotrebi dizalice topline, godišnje je potrebno 3.976 kWh električne energije. Podaci o utrošku energenata za grijanje DT-e prikazani su u slijedećoj tablici.

Tablica 5.6 Potrošnja energenata, emisija CO<sub>2</sub> i trošak energenata

Vrsta energenta	Emisija CO <sub>2</sub> po jedinici energije (kg/kWh)	Godišnja potrošnja energenta	Primarna energija (kWh/a)	Emisija CO <sub>2</sub> (t/god)	Trošak (kn/a)
Električna energija	0,23481	3.845	6.206	0,90	3.423,40
Električna energija - grijanje	0,23481	3.976	6.417	0,93	3.538,42
Voda	0,22424355	196	302	0,04	2.005,24
			<b>12.925</b>	<b>1,88</b>	<b>8.967,06</b>

### 5.3. Usporedba sustava

Uspoređujući podatke o sustavima grijanja centralnim radijatorskim sustavom preko kotla na prirodni plin te dizalicom topline, vidimo da u slučaju upotrebe DT-e potrošnja energenata u obiteljskoj kući je manja za više od 40% (usporedba primarne energije). S obzirom na manju potrošnju energenta, slijedom toga je dvostruko manja emisija CO<sub>2</sub>. Uspoređujući trošak grijanja centralnim radijatorskim sustavom, razlika je 780,68 kn/godišnje ili nešto manje od 8%. U slijedećoj tablici su rezultati proračuna prikazani usporedno.

Tablica 5.7 Usporedni prikaz dobivenih rezultata

		Klasični sustav	Dizalica topline	Razlika
E <sub>prim</sub>	kWh/a	21.950	12.925	<b>9.025</b>
CO <sub>2</sub>	t/a	4,05	1,88	<b>2,17</b>
Trošak	Kn/a	9.747,74	8.967,06	<b>780,68</b>

## 5.4. Isplativost

Kako bi se usporedila isplativost sustava grijanja, u nastavku će se usporediti investicijski troškovi za svaki od sustava.

Tablica 5.8 Centralni radijatorski sustav grijanja kotlom na prirodni plin, integrirana priprema PTV-a, hlađenje split klima uređajem

SUSTAV GRIJANJA		
Proizvođač:	Vaillant	Stupanj iskoristivosti
Vaillant	Vaillant VU 256/5-5	98% (HS)
Ogrjevna tijela	Vaillant Kompakt 22K – 6 kom	
Spremnik PTV	VIH R 120/6B	
Ostali pribor i rad		
Ukupno:		60.000,00 kn
SUSTAV HLAĐENJA		
Proizvođač:	Mitsubishi electric	Učin hlađenja
Vanjska jedinica:	MITSUBISHI ELECTRIC MXZ-6C122VA	3,5 do 13,5 kWh
Unutarnje jedinice:	MITSUBISHI ELECTRIC MSZ-SF15VA - 4 komada	0,9 do 2,4 kWh
	MITSUBISHI ELECTRIC MSZ-SF25VE- 2 komada	0,9 do 3,4 kWh
Ukupno:		30.500,00 kn
<b>SVEUKUPNO:</b>		<b>90.500,00</b>

Tablica 5.9 Dizalica topline zrak – voda

Proizvođač:	Vissmann	Učin hlađenja	SCOP
Vanjska jedinica:	Vitocal 100-S AWB-M-E-AC101 A16	11,4 – 15,5 kW	4,53
Unutarnje jedinice:	Vitocal 100-S AWB-M-E-AC101 A16	0,9 do 2,4 kW	
Spremnik ogrjevn/rashladne vode	Vitocell 100-E, 200 l	0,9 do 3,4 kWh	
Spremnik PTV	Vitocell 100-V CVWA 390 l		
Ostali pribor i rad			
Ukupno:			<b>185.000,00</b>

Ukoliko bi obiteljska kuća koristila klasični radijatorski sustav grijanja pomoću kotla na prirodni plin sa spremnikom PTV-a, a hlađenje bi bilo split klima uređajima, godišnji trošak za energente bi iznosio 9.747,74 kn. U slučaju da se obiteljska kuća grije dizalicom topline zrak – voda, modelirani trošak za zadovoljavanje toplinskih potreba bi iznosio 8.967,06 kn. Uspoređujući

investiciju potrebnu za oba sustava, sustav DZ-e je dvostruko skuplji od sustava s klasičnim grijanjem na prirodni plin i hlađenjem split klima uređajima.

Prilikom odabira sustava, većina investitora bi se odlučila za povoljniji sustav ne vodeći se ukupnim pogonskim troškovima ili o instalaciji skupljeg sustava te vremenskom razdoblju povrata investicije. Uobičajeni vremenski vijek trajanja sustava je oko 25 godina, u nastavku će se analizirati isplativost ugradnje dizalice topline spram dvojnog sustava grijanja i pripreme PTV-a te hlađenja split klima uređajem. U obzir se ne uzima trošak izvanrednog održavanja (uslijed kvara) sustava jer vrlo je teško predvidjeti koliko će se puta koji sustav pokvariti i koliko će iznositi troškovi popravka.

Isto tako cijena energenata se mijenja, te će se pri modeliranju uzeti u obzir promjena indeksa potrošačkih cijena. Indeks potrošačkih cijena predstavlja jedinstvenu i opću mjeru inflacije u Republici Hrvatskoj. Inflacija je u 2018. godini iznosila 1,5% što je povećanje u odnosu na 2017. godinu kad je iznosila 1,1 %, dok u 2019. godini ona iznosi 0,8% [16]. Podaci HNB-a ukazuju na blago ubrzavanje tijekom 2018. godine dok ona u 2020. godini ima negativan rast (-0,1%) [17] što je i vidljivo prema indeksu cijena energenata i njihovom smanjenju. Tijekom 2018. dolazi do povećanja cijene energenata za 2,7% u odnosu na 2017. godini, a najveći rast ima tekuće gorivo (17,6%) i električna energija (4,1%). Tijekom 2018. godine snižena je stopa poreza na dodanu vrijednost (PDV) sa 25 na 13% na isporuku električne energije uključujući i naknade vezane uz isporuku što je imalo utjecaj na smanjenje cijene električne energije. Cijene energenata tijekom 2019. povećane su za 3,3 posto u odnosu na 2018. Najveći rast cijena zabilježen je kod krutih goriva od 8,3 posto i plina od 4,5 posto na godišnjoj razini. Cijene naftnih derivata pratile su silazni trend cijene sirove nafte na svjetskim tržištima, gdje je primjetan trend pada prosječne cijene sirove nafte [18]. S obzirom na navedeno, uzeti će se u obzir prosječan rast cijena od 3,3% na godišnjoj razini (4,5 % za prirodni plin, i 0,59 % za električnu energiju) [19]. Pri analizi nije uzeta u obzir potrošnja vode.

*Tablica 5.10 Razlika u potrošnji pogonskog goriva za grijanje objekta i pripremu PTV*

	Pogonski troškovi		
	1 godina	10 godina	15 godina
Klasični sustav	7.742,50	10.131,50	16.407,87
Dizalice topline	6.961,82	5.314,95	6.970,74
<b>Razlika</b>	<b>-780,68</b>	<b>-4.816,55</b>	<b>-9.437,13</b>

Izračunom pogonskih troškova kroz godinu dana, vidljivo je kako DT imaju za 780.68 kn manje pogonske troškove, za vremenski period od 15 godina, uštede iznose 4.817,13 kn, dok kroz vremenski period od 25 godina, ušteta iznosi 9.437,13 kn.

Prema Pravilniku o sustavu za praćenje, mjerenje i verifikaciju ušteta energije, Prilog C, Tablica 24, životni vijek mjere dizalica topline zrak-voda iznosi 15 godina. Izračunavajući povratni period investicije za obiteljsku kuću u vremenskom razdoblju, on iznosi 19,62 godine što je više nego preporučeno i premašuje životni vijek investicije [20].

$$JPP = \frac{\text{razlika cijene investicije}}{\text{razlika ušteta}} = \frac{185.000 - 90.500}{4.817,13} = 19,62 \text{ godina} \quad (5-3)$$

## 6. ZAKLJUČAK

Usporednom analizom dva različita sustava grijanja, jedan klasični centralni radijatorski sustav grijanja s kondenzacijskim kotlom na prirodni plin te hlađenje split klima uređajem sa sustavom dizalice topline izvedbom zrak-voda, može se doći do zaključka kako dizalice topline u kontinentalnom podneblju nisu isplative. Iako je sve veća ekološka osviještenost i zakonska regulativa nameće upotrebu obnovljivih izvora energije te se ubrzano razvijaju „zelené“ tehnologije, potrebno je vrlo pomno analizirati isplativost sustava kad je riječ o zadovoljavanju toplinskih potreba u zgradarstvu. Najveći udio u troškovima ima svakako segment grijanja, posebice u zimskom periodu te je tu otvorena niša za ostvarivanje ušteda i smanjenje emisije CO<sub>2</sub>.

Osnovni preduvjet za analizu isplativosti pojedinog sustava je početna pretpostavka da se analizira objekt koji je dobro toplinski izoliran te ima povoljna energetska svojstva. Slijedeći segment je analiza okoline u kojem se objekt nalazi (prosječna vanjska temperatura, temperature vanjskog zraka u zimskom periodu). Na osnovu navedenih podataka polazi se u projektiranje sustava koji će zadovoljavati toplinske potrebe objekta. U ovom slučaju, analiziran je objekt smješten u kontinentalnoj Hrvatskoj koja ima prosječnu mjesečnu vanjsku temperaturu zraka u najhladnijem periodu manju od 3 °C.

Kao predloženi sustavi za zadovoljavanje potreba uspoređeni su klasični centralni radijatorski sustav na prirodni plin te dizalica topline zrak-voda. Na osnovu izračuna toplinskih potreba građevine, modelirana je potrošnja energenata oba sustava kao i trošak koji oni predstavljaju kućanstvu. Dizalica topline je imala manje godišnje troškove u odnosu na klasični sustav grijanja, ali početna investicija je bila dvostruko veća u odnosu na klasični sustav grijanja. Uzimajući u obzir životni vijek sustava, dizalice topline su se pokazale neisplativim s obzirom na dugačak povratni period investicije. Sustav dizalice topline troši skoro dvostruko manje primarne energije, ali tome ne ide u prilog činjenica da je cijena električne energije skoro tri puta veća u odnosu na cijenu prirodnog plina po kWh. Upravo u tome leži razlog neisplativosti sustava DT u Hrvatskoj, odnosno netržišnom reguliranju cijena električne energije i prirodnog plina (omjer cijena električne energije i cijene plina iznosi 2,9) iako sustav radi s visokim stupnjem učinkovitosti.

U područjima (primorska Hrvatska) ovakav sustav bi možda bio povoljniji i isplativiji s obzirom da bi se onda povećala učinkovitost rada, no šira primjena još uvijek nije nastupila. Razlog tome je nedovoljna ekološka osviještenost i financijska ograničenja stanovništva čija primanja su daleko



ispod europskog prosjeka. Situacija bi se mogla poboljšati uvođenjem državnih subvencija koje su dosada pokazale dobre rezultate (u slučaju energetske obnove ovojnica obiteljskih i javnih zgrada).

## LITERATURA

- [1] B. Labudović, Osnove primjene dizalica topline, Zagreb: Energetika marketing, 2009.
- [2] M. Bupić i S. Čustović, »Stanje i trendovi uporabe dizalica topline,« *Naše more: znanstveni časopis za more i pomorstvo*, svez. 53, br. 5-6, pp. 213-219, 2006.
- [3] M. Zogg, »History of Heat Pumps: Swiss Contributions and International Milestones,« Swiss Federal Office of Energy SFOE, Oberburg, 2008.
- [4] Uredništvo stručnog časopisa Korak, »Dizalice topline – 1. dio,« Korak , 30 3 2010. [Mrežno]. Available: <https://korak.com.hr/korak-029-ozujak-2010-dizalice-topline-1-dio/>. [Pokušaj pristupa 11 7 2011].
- [5] B. Pavković, »Radni procesi i toplinski izvori za dizalice topline,« 15 5 2006. [Mrežno]. Available: [https://zoranpericsplit.weebly.com/uploads/1/2/4/9/12491619/radni\\_procesi\\_i\\_toplinski\\_izvori\\_za\\_dizalice\\_topline.pdf](https://zoranpericsplit.weebly.com/uploads/1/2/4/9/12491619/radni_procesi_i_toplinski_izvori_za_dizalice_topline.pdf). [Pokušaj pristupa 11 7 2021].
- [6] Hrvatska enciklopedija, mrežno izdanje, »Kružni proces,« Leksikografski zavod Miroslav Krleža, 2021. [Mrežno]. Available: <https://enciklopedija.hr/natuknica.aspx?ID=34299>. [Pokušaj pristupa 2 7 2021].
- [7] A. T. Vekony, »Heat Pumps: 7 Advantages and Disadvantages,« Green Match , 9 6 2021. [Mrežno]. Available: <https://www.greenmatch.co.uk/blog/2014/08/heat-pumps-7-advantages-and-disadvantages>. [Pokušaj pristupa 2 7 2021].
- [8] Renewable Energy Hub, »Heat Pumps pros and cons - a complete guide,« Renewable Energy Hub, 15 4 2021. [Mrežno]. Available: <https://www.renewableenergyhub.co.uk/main/heat-pumps-information/heat-pumps-pros-and-cons/>. [Pokušaj pristupa 2 7 2021].

- [9] L. Valizade, »Ground Source Heat Pumps,« *Journal of Clean Energy Technologies*, svez. 1, br. 3, pp. 216-219, 2013.
- [10] D. Martinić, »Pasivna kuća – 6. dio Dizalice topline – 2. dio,« *Korak*, 30 6 2010. [Mrežno]. Available: <https://korak.com.hr/korak-030-lipanj-2010-pasivna-kuca-6-dio-dizalice-topline-2-dio/>. [Pokušaj pristupa 11 7 2021].
- [11] Narodne novine, »Pravilnik o zahtjevima za stupnjeve djelovanja novih toplovodnih kotlova na tekuće i plinovito gorivo,« *Ministarstvo gospodarstva, rada i poduzetništva*, 17 12 2012. [Mrežno]. Available: [https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2012\\_12\\_140\\_2962.html](https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2012_12_140_2962.html). [Pokušaj pristupa 14 7 2021].
- [12] Termo metal, »Vaillant ecoTEC PLUS VU INT 256/5-5, 25 kw, kondenzacijski fasadni, grijanje,« *Termo metal*, 2021. [Mrežno]. Available: [https://termometal.hr/vaillant-ecotec-plus-vu-int-256\\_5-5-25-kw-kondenzacijski-fasadni-grijanje-proizvod-3846/](https://termometal.hr/vaillant-ecotec-plus-vu-int-256_5-5-25-kw-kondenzacijski-fasadni-grijanje-proizvod-3846/). [Pokušaj pristupa 14 7 2021].
- [13] MPUGDI, »Tehnički propis o racionalnoj uporabi energije i toplinskoj zaštiti u zgradama,« *Thorium A+*, 24 9 2020. [Mrežno]. Available: <http://thoriumaplus.com/wp-content/uploads/2020/09/Tehnicki-propis-o-rationlanoj-uporabi-energije-i-toplinskoj-zastiti-u-zgradama-procisceni-tekst-NN-102-20.pdf>. [Pokušaj pristupa 14 7 2021].
- [14] MGIPU, »Metodologija provođenja energetskeg pregleda zgrada 2017,« 8 2017. [Mrežno]. Available: [https://mgipu.gov.hr/UserDocsImages/dokumenti/EnergetskaUcinkovitost/meteoroloski\\_podaci/Metodologija-2017.pdf](https://mgipu.gov.hr/UserDocsImages/dokumenti/EnergetskaUcinkovitost/meteoroloski_podaci/Metodologija-2017.pdf). [Pokušaj pristupa 14 7 2021].
- [15] Viessmann, »VITOCeLL 100-V Typ CVWA,« 5 2018. [Mrežno]. Available: <https://www.heizungsdiscout24.de/pdf/Viessmann-Speicher-Vitocell-100-V-CVWA-300-500-Datenblatt.pdf>. [Pokušaj pristupa 15 7 2021].
- [16] Energetski institut Hrvoje Požar, »Ministarstvo gospodarstva i održivog razvoja,« 1 12 2020. [Mrežno]. Available: [http://www.eihp.hr/wp-content/uploads/2020/12/1\\_Energija\\_u\\_Hrvatskoj\\_2019-compressed-1.pdf](http://www.eihp.hr/wp-content/uploads/2020/12/1_Energija_u_Hrvatskoj_2019-compressed-1.pdf). [Pokušaj pristupa 14 7 2021].

- [17] HNB, »Savjet HNB-a: U 2020. godini očekuje se godišnji pad realnog BDP-a od 8,0%, a u 2021. rast od 5,2%,« HNB, 14 10 2020. [Mrežno]. Available: <https://www.hnb.hr/-/savjet-hnb-a-u-2020-godini-ocekuje-se-godisnji-pad-realnog-bdp-a-od-8-0-a-u-2021-rast-od-5-2->. [Pokušaj pristupa 14 7 2021].
- [18] Ministarstvo zaštite okoliša i energetike, »Energija u Hrvatskoj 2018. Godišnji energetske pregled,« 3 12 2019. [Mrežno]. Available: <http://www.eihp.hr/wp-content/uploads/2020/04/Energija2018.pdf>. [Pokušaj pristupa 14 7 2021].
- [19] »Archive:Statistički podaci o cijenama električne energije,« Eurostat, 1 9 2020. [Mrežno]. Available: [https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Archive:Statisti%C4%8Dki\\_podaci\\_o\\_cijenama\\_elektri%C4%8Dne\\_energije&oldid=496167#Cijene\\_elektri.C4.8Dne\\_energije\\_za\\_potro.C5.A1a.C4.8De\\_iz\\_kategorije\\_ku.C4.87anstava](https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Archive:Statisti%C4%8Dki_podaci_o_cijenama_elektri%C4%8Dne_energije&oldid=496167#Cijene_elektri.C4.8Dne_energije_za_potro.C5.A1a.C4.8De_iz_kategorije_ku.C4.87anstava). [Pokušaj pristupa 14 7 2021].
- [20] Narodne novine, »Pravilnik o sustavu za praćenje, mjerenje i verifikaciju ušteda energije,« Ministarstvo zaštite okoliša i energetike, 20 3 2020. [Mrežno]. Available: [https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2020\\_03\\_33\\_723.html](https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2020_03_33_723.html). [Pokušaj pristupa 15 7 2021].

## POPIS I OPIS UPOTRIJEBLJENIH OZNAKA

$\Phi_{DT}$  – toplinski učinak dizalice topline (kondenzatora) (W)

$\Phi_{DT}$  – toplinski učinak dizalice topline (W)

$\Phi_{DT,r}$  – rashladni učinak dizalice topline (isparivača) (W)

$\Sigma E_{pog}$  – ukupna energija za pogon dizalice topline (npr. u godini dana) (J).

$\Phi_{isp}$  – rashladni učinak isparivača (W)

$\eta_{mot}$  – stupanj djelovanja motora kompresora (%)

$\Sigma Q_{odv}$  – ukupno dovedena toplinska energija cijelo vrijeme pogodna dizalice topline (J)

$\Phi_{RU}$  – rashladni učinak rashladnog uređaja (W).

$\Phi_{kond}$  – toplinski učinak kondenzatora (W)

$h_1$  – specifična entalpija radne tvari na izlazu iz isparivača/ulazu u kompresor (J/kg)

$h_2$  – specifična entalpija radne tvari na ulazu u kondenzator/izlazu iz kompresora (J/kg)

$h_3$  – specifična entalpija radne tvari na izlazu iz kondenzatora/ulazu u ekspanzijski ventil (J/kg)

$h_4$  – specifična entalpija radne tvari na ulazu u isparivača/izlazu iz ekspanzijskog ventila (J/kg)

$A_C = \frac{d^2 \cdot \pi}{4}$  – površina cilindra (klipnog) kompresora (m<sup>2</sup>)

$A_{isp}$  – površina za izmjenu topline isparivača (m<sup>2</sup>)

$A_{kond}$  – površina za izmjenu topline kondenzatora (m<sup>2</sup>)

$V_{st} = A_C \cdot s \cdot f \cdot i$  – stapajni volumen kompresora (m<sup>3</sup>/s)

$V_{us} = V_{st} \cdot \lambda$  – dobava kompresora (m<sup>3</sup>/s)

$c_{OM}$  – specifični toplinski kapacitet ogrjevnog medija (J/kgK)

$c_{PM}$  – specifični toplinski kapacitet posrednog medija (J/kgK)

$k_{isp}$  – koeficijent prolaza topline isparivača (W/m<sup>2</sup>K)

$k_{kond}$  – koeficijent prolaza topline kondenzatora (W/m<sup>2</sup>K)

$q_{i,v} = q_i \cdot \rho_i$  – Specifični volumetrijski rashladni učinak (J/m<sup>3</sup>)

$q_i$  – specifična rashladni učinak isparivača (J/kg)

$q_k$  – specifični toplinski učinak kondenzatora (J/kg)

$q_{m,OM}$  – maseni protok ogrjevnog medija kroz kondenzator (kg/s)

$q_{m,PM}$  – maseni protok posrednog medija kroz isparivač (kg/s)

$q_{m,RT}$  – maseni protok radne tvari u rashladnom sustavu (kg/s)

$\varepsilon_{DT}$  – faktor grijanja dizalice topline.

$\rho_i$  – gustoća radne tvari na ulazu u kompresor/izlazu iz isparivača (kg/m<sup>3</sup>)

$\vartheta_{OM,iz}$  – temperatura ogrjevnog medija na izlazu iz kondenzatora ( $^{\circ}\text{C}$ )  
 $\vartheta_{OM,ul}$  – temperatura ogrjevnog medija na ulazu u kondenzator ( $^{\circ}\text{C}$ )  
 $\vartheta_{OM} = \frac{\vartheta_{OM,ul} + \vartheta_{OM,iz}}{2}$  – srednja temperatura ogrjevnog medija pri prolasku kroz kondenzator ( $^{\circ}\text{C}$ )  
 $\vartheta_{PM,iz}$  – temperatura ogrjevnog medija na izlazu iz isparivača ( $^{\circ}\text{C}$ )  
 $\vartheta_{PM,sr} = \frac{\vartheta_{PM,ul} + \vartheta_{PM,iz}}{2}$  – srednja temperatura posrednog medija pri prolasku kroz isparivač ( $^{\circ}\text{C}$ )  
 $\vartheta_{PM,ul}$  – temperatura ogrjevnog medija na ulazu u isparivač ( $^{\circ}\text{C}$ )  
 $\vartheta_i$  – temperatura isparavanja radne tvari ( $^{\circ}\text{C}$ )  
 $\Delta\vartheta_{OM}$  – razlika temperatura ogrjevnog medija na ulazu i izlazu iz kondenzatora ( $^{\circ}\text{C}$ )  
 $\Delta\vartheta_{PM}$  – razlika temperatura posrednog medija na ulazu/izlazu u isparivač ( $^{\circ}\text{C}$ )  
 $E_{el}$  – dovedena električna energija u pogon kompresora (J).  
 $E_{pog}$  – pogonska energija za ostvarivanje procesa u dizalici topline (J)  
 $P_{el}$  – nazivna električna snaga dizalice topline (W)  
 $P_{komp}$  – snaga kompresora (W)  
 $Q_{dov}$  – toplina koja je dovedena nekom prostoru ili mediju (J)  
 $Q_{DP}$  – toplina odvedena dimnim plinovima iz motora kompresora (J)  
 $Q_{gor}$  – toplina oslobođena izgaranjem goriva u komori izgaranja motora kompresora (J)  
 $Q_{hl}$  – toplina odvedena sustavom hlađenja motora kompresora (J)  
 $Q_{odv}$  – toplina koja je odvedena od nekog prostora ili medija (J)  
 $T_{izv}$  – srednja temperatura toplinskog izvora (T)  
 $T_{izv}$  – srednja temperatura toplinskog izvora (T)  
 $T_{pol}$  – temperatura polaznog voda ogrjevnog medija (K).  
 $\varepsilon_{DT}$  – faktor grijanja dizalice topline,  $> 1$  (uvijek)  
 $\varepsilon_{DT,sez}$  – sezonski faktor grijanja  
 $\varepsilon_{DT,stv}$  – stvarni faktor grijanja kompresijske dizalice topline  
 $\varepsilon_{RU}$  – faktor hlađenja rashladnog uređaja  
 $d$  – promjer cilindra (klipnog) kompresora (m)  
 $f$  – frekvencija vrtnje vratila (klipnog) kompresora (Hz)  
 $i$  – broj cilindra (klipnog) kompresora  
 $s$  – stapaj (klipnog) kompresora  
 $\lambda$  – volumetrički stupanj djelovanja

## **POPIS I OPIS UPOTRIJEBLJENIH KRATICA**

COP – Coefficient of performance – koeficijent učinkovitosti

DT – Dizalice topline

PTV – potrošna topla voda

TEX, TX, TXV - Thermostatic Expansion Valve – termostatski ventil

## SAŽETAK

Dizalice topline kao sustavi za zadovoljavanje toplinskih potreba građevina sve više i više nailaze na primjenu u stambenom i nestambenom sektoru. Glavna tema ovog rada je upravo sustav dizalica toplina. Opisan je Carnotov proces na čijem principu funkcioniraju dizalice topline te su dane osnovne podjele sustava dizalica topline. Ukratko su objašnjeni dijelovi sustava, a okosnicu rada čini dizalica topline zrak – voda. Napravljena je usporedba sustava dizalice topline zrak – voda s klasičnim sustavom grijanja preko kotla na prirodni plin. Analizirana je potrebna energija za zadovoljavanje toplinskih potreba obiteljske kuće (grijanje, hlađenje i potrošna topla voda) na godišnjoj razini kao i ekonomska analiza isplativosti pojedinog sustava. Iako grijanje pomoću dizalica topline troši manje energije radi čega je i trošak manji, relativno visoka početna investicija je veliki nedostatak za sada te nema neke veće ekspanzije u kontinentalnom području Hrvatske.

Ključne riječi: dizalica topline zrak – voda, grijanje i hlađenje obiteljske kuće, proračun isplativosti

## **Heat pumps systems and their cost-effectiveness in heating and cooling**

### **ABSTRACT**

Heat pumps as systems for heating are more and more finding it place for purpose of heating residential and non residential buildings. Main topic of this scientific work is heat pumps. They are described by Carnot process on which they are working and basic breakdown of heat pumps. Parts are basically described, and main example is heat pump air to water. It's made comparison of heat pumps air to water and classic heating system with gas heater. Analysis is made for heat energy of usual family house (heat, cooling and hot water) based on annual consumption and economical analysis of each system. Regarding fact that heat pumps consume smaller amount of energy, initial investment is high and that is big flaw of this system, because of that there is no bigger exploitation on continental parts of Croatia.

Key words: cost-effectiveness, heat pump air to water, heating and cooling of family house,



## **ŽIVOTOPIS**

Rođen Sam 6.1.1992. u Slavonskom Brodu. Prvih sedam razreda osnovne škole pohađam u OŠ „Vladimir Nazor“ Slavonski Brod, a osmi razred pohađam u OŠ Dragutin Tadijanović Slavonski Brod. Srednju Tehničku školu Slavonski Brod završava 2011. godine, smjer Tehničar za mehatroniku. Iste godine upisujem Elektrotehnički fakultet u Osijeku, smjer Elektroenergetika.