

# Daljinski sustav grijanja i hlađenja dizalicama topline za postojeće građevine Bloka 19

---

**Tomić, Andrija**

**Master's thesis / Diplomski rad**

**2021**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **University of Zagreb, Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture / Sveučilište u Zagrebu, Fakultet strojarstva i brodogradnje**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:235:961429>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-03-08**

*Repository / Repozitorij:*

[Repository of Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture University of Zagreb](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

# **DIPLOMSKI RAD**

**Andrija Tomić**

Zagreb, 2021.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

# DIPLOMSKI RAD

Mentori:

Prof. dr. sc. Vladimir Soldo

Dr. sc. Luka Boban

Student:

Andrija Tomić

Zagreb, 2021

Izjavljujem da sam ovaj rad izradio samostalno koristeći znanja stečena tijekom studija i navedenu literaturu.

Zahvaljujem se svom mentoru, prof. dr. sc. Vladimiru Soldi, na pomoći i stručnim savjetima tijekom pisanja rada.

Zahvaljujem se komentoru, dr.sc. Luki Bobanu, na korisnim savjetima.

Posebno hvala mojoj obitelji i prijateljima na bezuvjetnoj podršci tijekom studiranja.

Andrija Tomić



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
**FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE**



Središnje povjerenstvo za završne i diplomske ispite  
 Povjerenstvo za diplomske ispite studija strojarstva za smjerove:

Procesno-energetski, konstrukcijski, inženjersko modeliranje i računalne simulacije i brodostrojarški

Sveučilište u Zagrebu	
Fakultet strojarstva i brodogradnje	
Datum	Prilog
Klasa: <b>602 - 04 / 21 - 6 / 1</b>	
Ur.broj: <b>15 - 1703 - 21 -</b>	

## DIPLOMSKI ZADATAK

Student: **Andrija Tomić** JMBAG: 0035209661

Naslov rada na hrvatskom jeziku: **Daljinski sustav grijanja i hlađenja dizalicama topline za postojeće građevine Bloka 19**

Naslov rada na engleskom jeziku: **District heating and cooling system with heat pumps for existing buildings in Block 19**

Opis zadatka:

Ambiciozan plan Europske unije o ugljičnoj neutralnosti do 2050. godine stavlja veliki izazov pred stručnu zajednicu, ali i druge odgovorne subjekte. *Europski zeleni plan* o klimatskoj neutralnosti neće biti moguće postići ako se u primjeni i tranziciji ne obuhvati dekarbonizacija energetskog sektora pa tako i centraliziranih sustava grijanja i hlađenja. Jedan od načina povećanja energetske učinkovitosti pri proizvodnji toplinske energije jest integracija dizalica topline.

U radu je potrebno napraviti tehničku, ekonomsku i ekološku analizu izvedbe sustava grijanja i hlađenja centraliziranim sustavom četvrte generacije s dizalicama topline na primjeru užeg središta grada Zagreba (Blok 19). U analizi je potrebno obuhvatiti mogućnosti primjene navedenog sustava za postojeće stanje građevina te za slučaj energetske obnove gradskog bloka. Za analizu sustava četvrte generacije daljinskog grijanja s dizalicama topline predvidjeti temperaturni režim s polaznom temperaturom do 65 °C.

Rad treba sadržavati:

1. Pregled različitih načina integracije dizalica topline u centraliziranim toplinskim sustavima.
2. Procjenu toplinskog i rashladnog opterećenja Bloka 19.
3. Analizu izvora topline za dizalice topline za pokrivanje potreba iz točke 2.
4. Dimenzioniranje centralnog sustava pripreme toplinske energije s dizalicama topline te pomoćne armature (broj i tip dizalica topline, cirkulacijske pumpe, cjevovodi, akumulacijski spremnici).
5. Ekonomsku i ekološku analizu primjene novog centraliziranog sustava u odnosu na postojeće sustave grijanje i hlađenja.
6. SWOT analizu centraliziranog toplinskog sustava s dizalicom topline.
7. Dispozicijski crtež strojarnice s dizalicama topline.

U radu je potrebno navesti korištenu literaturu i eventualno dobivenu pomoć.

Zadatak zadan:

30. rujna 2021.

Datum predaje rada:

2. prosinca 2021.

Predviđeni datumi obrane:

13. – 17. prosinca 2021.

Zadatak zadao:

Prof. dr. sc. Vladimir Soldo

Dr. sc. Luka Boban

Predsjednik Povjerenstva:

Prof. dr. sc. Tanja Jurčević Lulić

**SADRŽAJ**

SADRŽAJ .....	I
POPIS SLIKA .....	IV
POPIS TABLICA.....	VI
POPIS OZNAKA .....	VIII
SAŽETAK.....	XII
SUMMARAY .....	XIII
1. UVOD.....	1
2. DIZALICE TOPLINE .....	3
2.1. Vrste dizalice topline .....	4
2.1.1. Sorpcijske dizalica topline .....	4
2.1.2. Kompresijske dizalice topline.....	4
2.1.3. Solarno potpomognute dizalice topline .....	6
2.1.4. Hibridni uređaji.....	6
2.2. Dizalice topline sa spremnicima topline .....	6
2.2.1. Dugotrajni (sezonski) spremnici topline.....	7
3. Centralizirani toplinski sustav (CTS) .....	9
3.1. Komponente CTS-a.....	10
3.2. Generacije CTS sustava .....	13
3.2.1. Prva generacija.....	13
3.2.2. Druga generacija .....	14
3.2.3. Treća generacija .....	14
3.2.4. Četvrta generacija .....	14
3.2.5. Peta generacija .....	15
3.3. Integracija dizalice topline u CTS.....	16
3.3.1. Profili potrebe za topline .....	18
3.3.2. Načini.....	19
4. PROCJENA TOPLINSKOG I RASHLADNOG OPTEREĆENJA BLOKA 19.....	24
4.1. Procjena neto korisne površine svih građevina Bloka 19 .....	25

4.2.	Proračun toplinskog opterećenja Bloka 19 .....	26
4.2.1.	Blok 19 prije obnove.....	28
4.2.2.	Bloka 19 nakon obnove .....	29
4.2.3.	Ogrjevni učin pripreme PTV.....	30
4.3.	Proračun rashladnog opterećenja Bloka 19.....	31
5.	DIMENZIONIRANJE CENTRALNOG TOPLINSKOG SUSTAVA .....	32
5.1.	Proračun dizalice topline.....	32
5.1.1.	Dvostupanjska kompresija - prije obnove.....	34
5.1.2.	Bloka 19 nakon obnove .....	40
5.2.	Cjevovodi.....	47
5.2.1.	Bloka 19 prije obnove .....	47
5.2.2.	Bloka 19 nakon obnove .....	49
5.3.	Odabir potopne pumpe.....	51
5.3.1.	Bloka 19 prije obnove .....	52
5.3.2.	Bloka 19 nakon obnove .....	57
5.4.	Odabir pumpe CTSa.....	59
5.4.1.	Blok 19 prije obnove.....	61
5.4.2.	Blok 19 nakon obnove .....	63
5.5.	Volumen akumulacijskih spremnika.....	66
6.	EKONOMSKA I EKOLOŠKA ANALIZA .....	69
6.1.	Proračun potrebne toplinske energije za grijanje i hlađenje .....	69
6.1.1.	Prije obnove Bloka 19.....	70
6.1.2.	Nakon obnove Bloka 19.....	71
6.2.	Analiza prije obnove Bloka 19.....	73
6.3.	Analiza nakon obnove Bloka 19 .....	75
6.4.	SWOT analiza .....	77
6.4.1.	Prednosti .....	77
6.4.2.	Nedostaci.....	77
6.4.3.	Prilike.....	78

6.4.4. Prijetnje .....	79
7. ZAKLJUČAK.....	80



**POPIS SLIKA**

Slika 1.	Shematski prikaz kompresijske dizalice topline .....	3
Slika 2.	Vrste dizalica topline [24] .....	4
Slika 3.	Osobine izvora topline za dizalice topline [20].....	4
Slika 4.	Vrste sezonskih spremnika topline [26] .....	8
Slika 5.	Različiti izvori energije za CTS [9].....	10
Slika 6.	Grafički prikaz složenog CTS-a [12] .....	13
Slika 7.	Razvoj CTS [8].....	16
Slika 8.	Varijacije profila potrebe za topline [5].....	18
Slika 9.	Dizalica topline s vanjskim izvorom na polaznom vodu [26].....	20
Slika 10.	Dizalica topline s vanjskim izvorom na povratnom vodu [26] .....	21
Slika 11.	Integracija dizalice topline s unutarnjim izvorom topline na povratnom vodu [26] .....	21
Slika 12.	Integracija dizalice topline s unutarnjim izvorom za povećanje temperature sekundarne mreže [26] .....	22
Slika 13.	Integracija dizalice topline s unutarnjim izvorom na povratnom vodu koja opskrbljuje sekundarnu mrežu [26].....	22
Slika 14.	Mikro-booster dizalica topline [26].....	23
Slika 15.	Lokacija-Blok 19.....	24
Slika 16.	Površina karakteristične zgrade Bloka 19 [34].....	25
Slika 17.	Karakteristična zgrada Bloka 19 u prostoru [35] .....	25
Slika 18.	Usporedba COP za različite sustave dizalica topline .....	33
Slika 19.	Ovisnost COP-a o temperaturi isparavanja za različite parove radnih tvari u kaskadnom sustavu.....	34
Slika 20.	Shema kaskadne dizalice topline u režimu grijanja .....	35
Slika 21.	Karakteristične točke u T-s dijagramu (dvostupanjska).....	36
Slika 22.	Karakteristične točke u log(p)-h dijagramu (dvostupanjska) .....	36
Slika 23.	Shema jednostupanjske dizalice topline u režimu grijanja .....	41
Slika 24.	Karakteristične točke u T-s dijagramu .....	41

Slika 25.	Karakteristične točke u log(p)-h dijagramu.....	42
Slika 26.	Shema jednostupanjske dizalice topline u režimu hlađenja .....	45
Slika 27.	Shema pozicije potopne pumpe.....	51
Slika 28.	Pločasti međuzmjenjivač.....	52
Slika 29.	Potopna pumpa.....	56
Slika 30.	Položaj strojarnice i podstanice.....	60
Slika 31.	Dispozicijski prikaz strojarnice.....	61
Slika 32.	Pumpa za mrežu daljinskog grijanja .....	63
Slika 33.	Akumulacijski spremnik vode.....	68
Slika 34.	Utrošak energije i emisija CO <sub>2</sub> prije obnove .....	75
Slika 35.	Utrošak energije i emisija CO <sub>2</sub> nakon obnove .....	77
Slika 36.	Dostupnost podzemne vode [43].....	78

**POPIS TABLICA**

Tablica 1. Koeficijenti prolaska topline za karakterističnu zgradu [37] .....	26
Tablica 2. Rezultati proračuna toplinskih gubitaka.....	28
Tablica 3. Koeficijenti prolaska topline za obnovljenu ovojnicu [37].....	29
Tablica 4. Rezultati proračuna toplinskih gubitaka – obnovljena ovojnica .....	30
Tablica 5. Toplinski dobitci po prostorijama .....	31
Tablica 6. Veličine stanje za karakteristične točke .....	37
Tablica 7. Veličine stanje za karakteristične točke u režimu grijanja .....	42
Tablica 8. Veličine stanje za karakteristične točke u režimu hlađenja.....	46
Tablica 9. Usisni vod (isparivač-kompresorD) .....	47
Tablica 10. Tlačni vod (kompresorD-mješalište).....	47
Tablica 11. Usisni vod (mješalište-kompresorG).....	47
Tablica 12. Tlačni vod (kompresorG-kondenzator).....	48
Tablica 13. Vod kondenzator-mješalište .....	48
Tablica 14. Mješalište-isparivač.....	48
Tablica 15. Voda za grijanje.....	48
Tablica 16. Sekundarni krug vode.....	49
Tablica 17. Podzemna voda-usis .....	49
Tablica 18. Podzemna voda-povrat .....	49
Tablica 19. Usisni vod (isparivač-kompresor) .....	49
Tablica 20. Tlačni vod (kompresor-kondenzator) .....	50
Tablica 21. Vod kondenzator/isparivač .....	50
Tablica 22. Voda za grijanje.....	50
Tablica 23. Sekundarni krug vode.....	50
Tablica 24. Podzemna voda-usis .....	50
Tablica 25. Podzemna voda-povrat .....	51
Tablica 26. Ulazni podaci za proračun linijskih i lokalnih gubitaka .....	55
Tablica 27. Ulazni podaci za proračun linijskih i lokalnih gubitaka .....	58

Tablica 28. Ulazni podaci za proračun linijskih i lokalnih gubitaka.....	61
Tablica 29. Ulazni podaci za proračun linijskih i lokalnih gubitaka.....	64
Tablica 30. Ulazni podaci za proračun linijskih i lokalnih gubitaka.....	65
Tablica 31. Odabir akumulacijskih spremnika.....	67
Tablica 32. Rezultati proračuna godišnje potrebne toplinske energije za grijanje.....	70
Tablica 33. Rezultati proračuna godišnje potrebne toplinske energije za grijanje.....	71
Tablica 34. Rezultati proračuna godišnje potrebne toplinske energije za hlađenje .....	72
Tablica 35. Godišnja analiza sustava prije obnove .....	73
Tablica 36. Troškovnik CTS-a prije obnove .....	74
Tablica 37. Godišnja analiza sustava nakon obnove .....	75
Tablica 38. Troškovnik CTS-a nakon obnove.....	76

**POPIS OZNAKA**

Oznaka	Jedinica	Opis
$A_c$	$m^2$	površina poprečnog presjeka cijevi
$A_k$	$m^2$	korisna površina
$A_{kanal}$	$m^2$	poprečni presjek kanala
$A_{pl}$	$m^2$	površina ploče izmjenjivača
$A_{potr}$	$m^2$	potrebna površina za izmjenu topline u međuzmjenjivaču
$D_u$	m	unutarnji promjer cijevi
$P_k$	W	snaga kompresora
$Q_{C,nd}$	kWh	potrebna toplinska energija za hlađenje
$Q_{H,dis,in}$	kWh	toplinska energija na ulazu u podsustav razvoda
$Q_{H,nd,cont}$	kWh	potrebna toplinska energija za grijanje
$Q_{PTV}$	kWh	potrebna toplinska energija za pripremu PTV-a
$Q_{Tr}$	kWh	izmijenjena toplinska energija transmisijom za proračunsku zonu
$Q_{Ve}$	kWh	potrebna toplinska energija za ventilaciju/klimatizaciju za proračunsku zonu
$Q_{int}$	kWh	unutarnji toplinski dobici zgrade
$Q_{sol}$	kWh	toplinski dobici od Sunčeva zračenja
$q_{C,nd,cont}$	kWh/ $m^2$	potrebna toplinska energija za hlađenje po jedinici površine
$q_{H,nd,cont}$	kWh/ $m^2$	potrebna toplinska energija za grijanje po jedinici površine
$q_{HL,z}$	W/ $m^2$	projektni toplinski gubici po jedinici površine
$q_m$	kg/s	maseni protok
$q_v$	kg/s	volumni protok
$\Delta p_c$	Pa	pad tlaka unutar izmjenjivača
$\Delta p_p$	Pa	Pad tlaka u priključcima izmjenjivača
$\Delta \vartheta_{pod}$	$^{\circ}C$	promjena temperature podzemne vode

$\Delta\vartheta_{pot}$	°C	pothlađenje na kondenzatoru
$\Delta\vartheta_{pre}$	°C	pregrijanje na isparivaču
$\Delta\vartheta_{sr,log}$	°C	srednja logaritamska razlika temperatura
$\Phi_{CL}$	m <sup>2</sup>	rashladno opterećenje
$\Phi_{HL,i}$	W	projektno toplinsko opterećenje grijanja
$\Phi_{PTV}$	W	potreban ogrjevni učin pripreme PTV-a
$\Phi_{RH,i}$	W	toplina za zagrijavanje zbog prekida grijanja
$\Phi_{T,i}$	W	projektni transmisijski gubici topline prostorije
$\Phi_{V,i}$	W	projektni ventilacijski gubici topline prostorije
$\Phi_i$	W	učin isparivača
$\Phi_k$	W	učin kondenzatora
$\Phi_{mi}$	W	učinak međuismjennjivača
$\vartheta_e$	°C	vanjska projektna temperatura
$\vartheta_{int}$	m <sup>2</sup>	unutarnja projektna temperatura
$\vartheta_i$	°C	temperatura isparavanja
$\vartheta_k$	°C	temperatura kondenzacije
$\vartheta_{pod}$	°C	temperatura podzemne vode
$\vartheta_{pol}$	°C	temperatura polaza
$\vartheta_{pov}$	°C	temperatura povrata
$\vartheta_{sr}$	°C	srednja temperatura
$\bar{\vartheta}_e$	°C	srednja godišnja vanjska temperatura
$b$	mm	razmak između ploča
$c$	kJ/(kgK)	specifični toplinski kapacitet
$D_h$	m	hidraulički promjer
$D_p$	mm	promjer priključka
$f$	-	faktor trenja
$G$	kg/m <sup>2</sup> s	gustoća masenog toka

$h$	kJ/kg	entalpija
$h_{mi}$	m	visina gubitaka u međuizmjenjivaču
$h_p$	m	visina dobave pumpe
$L$	m	duljina cjevovoda
$L$	m	duljina cjevovoda
$L_{ef}$	m	efektivna duljina prolaza fluida
$L_h$	mm	horizontalna udaljenost između priključaka
$L_v$	mm	vertikalna udaljenost između priključaka
$N_p$	-	Broj prolaza
$N_p$	-	broj prolaza izmjenjivača
$N_{pl,uk}$	-	ukupan broj ploča
$Re$	-	Reynoldsov broj
$t_{pl}$	mm	debljina ploče (lamelle)
$U$	W/(m <sup>2</sup> K)	koeficijenti prolaska topline
$\beta$	°	kut nabora ploče
$\eta_{C,ls}$	-	faktor iskorištenja toplinskih gubitaka
$\eta_{H,gn}$	-	faktor iskorištenja toplinskih dobitaka
$\lambda$	-	faktor trenja
$\rho$	kg/m <sup>3</sup>	gustoća
$\varphi$	-	faktor povećanja površine
$d$	cm	debljina materijala
$k$	W/(m <sup>2</sup> K)	koeficijent prolaza topline
$s$	kJ/(kgK)	entropija
$v$	m/s	brzina strujanja fluida
$\eta$	-	izentropski stupanj djelovanja
$\mu$	Pa s	dinamička viskoznost
CTS		centralizirani toplinski sustavi

---

PTV	potrošna topla voda
COP	(Coefficient of Performance) faktor grijanja
EER	(Energy Efficiency Ratio) faktor hlađenja
OIE	obnovljivi izvori energije
PPI	period povrata investicije

---



**SAŽETAK**

Za područje povijesne jezgre grada Zagreba, Blok 19, proračunat je sustav daljinskog grijanja i hlađenje s dizalicom topline. Implementacija dizalice topline u sustavima daljinskog grijanja i hlađenja jedan je od obećavajućih načina povećanja učinkovitosti sustava te postizanja Europskih klimatskih i energetske ciljeva 2050. godine. U sklopu rada analizirana su dva slučaja: postojeće stanje Bloka 19 bez energetske obnove te slučaj energetske obnove Bloka 19. U prvom slučaju pokriva se potreba samo za grijanjem prostora i pripremu PTV. Odabrane su četiri dizalice topline s dvostupanjskom kompresijom nazivne snage 1500 kW. Temperaturni režim vode je 80/65 °C. U drugom slučaju pokriveno je grijanje i hlađenje prostora te priprema PTV. Odabrane su dvije dizalice topline s jednostupanjskom kompresijom nazivne snage 1400 kW. Temperaturni režim ogrjevnice vode je 65/55 °C, a rashladne vode 7/13 °C. Na kraju je priložena ekonomska i ekološka analiza za pojedini sustav. Jednostavan period povrata investicije za prvi sustav je 6,6 godina. Za drugi slučaj povrat je nakon 11,2 godine kada bi se gledao samo sustav grijanja, a 19,5 godina za sustav grijanja i hlađenja prostora.

Ključne riječi: Dizalica topline voda-voda, centralizirani toplinski sustavi 4. generacije, grijanje/hlađenje gradske četvrti

**SUMMARAY**

For the area of the historic core of the city of Zagreb, Block 19, a district heating and cooling system with a heat pump has been calculated. The implementation of heat pumps in district heating and cooling systems is one of the promising ways to increase the efficiency of the system and to achieve the European climate and energy goals by 2050. In this paper, two cases were analysed: the current state of Block 19 without energy renovation and the case of energy renovation. In the first case, only the need for space heating and DHW were provided. Four two-stage compression heat pumps with a rated power of 1500 kW were selected. The water temperature supply is 80 °C and return is 65 °C. In the second case, space heating, cooling and DHW were provided. Two single-stage compression heat pumps with a rated power of 1400 kW were selected. Supply temperature of heating water is 65 °C and return is 55 °C. Supply temperature of cooling water is 7 °C and return is 13 °C. Finally, an economic and environmental analysis for each system is given. The simple payback period for the first system is 6.6 years. For the second the return is after 11.2 years when only the heating system would be considered and 19.5 years for the space heating and cooling system.

Key words: Heat pump, 4th generation district heating systems, heating/cooling of City District

## 1. UVOD

Globalna populacija će premašiti 9,7 milijardi do 2050. godine, što će dovesti do povećanja broja kućanstava od približno 70% u 2050. Energetska infrastruktura u cijelome svijetu podliježe energetske tranziciji kako bi se omogućio najveći mogući udio obnovljivih izvora energije u proizvodnji energije na postojećoj mreži i pružila pouzdana usluga u skladu s potražnjom. EU planira biti klimatski neutralna do 2050 i naglašava nužnost globalnog cilja u smanjenju emisije CO<sub>2</sub>, odnosno u postizanju gospodarstva s nultom neto stopom emisije stakleničkih plinova. Stambene i poslovne zgrade čine 26 % ukupne potrošnje energije u Europi, a oko 36% ukupne emisije CO<sub>2</sub> dolazi iz sektora zgrada. Stoga građevinski sektor predstavlja važnu ulogu u energetske sektoru, ne samo u postizanju ciljeva održivosti EU -a, već i u smanjenju potrošnje energije i emisije stakleničkih plinova. Razvoj strategije za povećanje učinkovitosti sustava grijanja i hlađenja i održivosti istih sustava je prioritet Europe. Energetske strategije imaju za cilj omogućiti kućanstvima i poduzećima sigurnu, čistu, pristupačnu, konkurentnu i održivu energiju. S revidiranom direktivom EU o obnovljivim izvorima energije, EU se oslanja na isporuku 32% ukupne energije iz obnovljivih izvora energije do 2030. EU je također odlučila da će od 2021. godine udio obnovljivih izvora energije u sektoru grijanja i hlađenja rasti za 1,3% godišnje. To bi rezultiralo smanjenjem uvoza energije, odnosno smanjenjem energetske ovisnosti, smanjenjem troškova za kućanstva i poduzeća te smanjenjem emisija stakleničkih plinova. Za postizanje gore navedenih ciljeva, energetske sustav mora se dekarbonizirati, a komponente energetske sustava će se morati egzaktno odabrati i osmisliti [1][2][3][5].

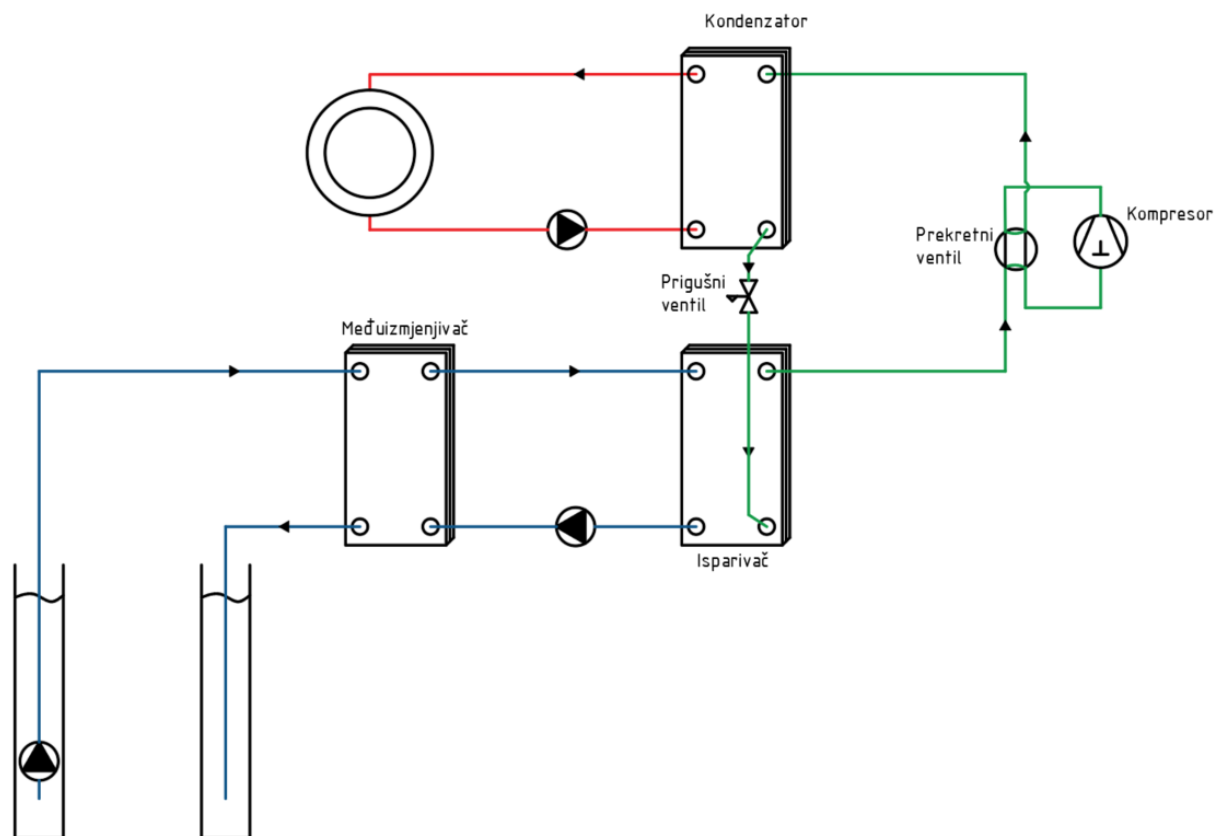
Predložene su različite strategije u proizvodnji energije, konverziji i potrošnji na strani potrošača u cilju očuvanja energije u građevinske sektoru, odnosno povećanja energetske učinkovitosti zgrada. Jedna od najčešće implementiranih ideja su postavljanje toplinske izolacije, zamjena dotjeranih prozora sa prozorima s dvostrukim i trostrukim staklom i premazom niske emisivnosti, solarna sjenila, poboljšanje učinkovitosti i zamjena dotjerale opreme u sustavima grijanja i hlađenja, integriranje obnovljivih tehnologija kao što su fotonapon i solarni kolektori, korištenje prirodne ventilacije. Osim ovih mjera, jedno od održivih rješenja je poboljšanje energetske učinkovitosti u zgradama, što se može postići uporabom daljinskog sustava grijanja.

Centralizirani toplinski sustavi (CTS) zanimljiv su alat koji može značajno pridonijeti povećanju razine korištenja obnovljivih izvora energije. Svako poboljšanje osnovnog izvora energije, npr. integracija s naprednim tehnologijama kao što su dizalice topline ili korištenje tehnologija niske emisije ugljika, generirat će pozitivne rezultate za sve potrošače istovremeno. Integracija dizalica toplina u CTS smatra se implementacijom obnovljive tehnologije. Predložene su različite strategije ušteda energije u CTS radi dekarbonizacije energetske sektora. Jedna od njih su razvoj novih mreža i / ili obnova starih mreža za primjenu obnovljivih izvora energije, uporaba otpadne topline za grijanje stambenih prostora i obnova zgrada. Stopa i opseg poboljšanja se razlikuju od zemlje do zemlje, a ovisi o potencijalu i sposobnostima. Stoga CTS mogao bi omogućiti EU postizanje energetske i klimatske ciljeve i pomoći u izazovima prema održivoj energetskoj budućnosti i klimatskoj politici. Isto tako cijena električne energije je izuzetno fluktuirajuća i postoje periodi gdje je cijena iznimno niska i visoka. Smatra se da bi dizalice topline većih toplinskih kapaciteta uz pomoć sezonskih spremnika topline mogle uvelike pridonijeti fleksibilnosti sustava proizvodnje energije i omogućiti brže puštanje u rad, niže troškove pokretanja te iskoristavati volatilitet tržišta električne energije[4][5][26].

U ovom radu će se razmatrati implementacija takvog sustava na potresom pogođeno područje povijesne jezgre grada Zagreba. Područje je u vrlo lošem stanju te će se neki objekti morati rušiti, a na većini objekata će se morati sanirati štete nastale potresom i temeljito obnoviti. Obnova ovojnice i podsustava distribucije i predaje topline odgovaraju CTS na dizalicama topline zbog potrebe za nižim temperaturama polaznog voda, a i time većom učinkovitosti sustava.

## 2. DIZALICE TOPLINE

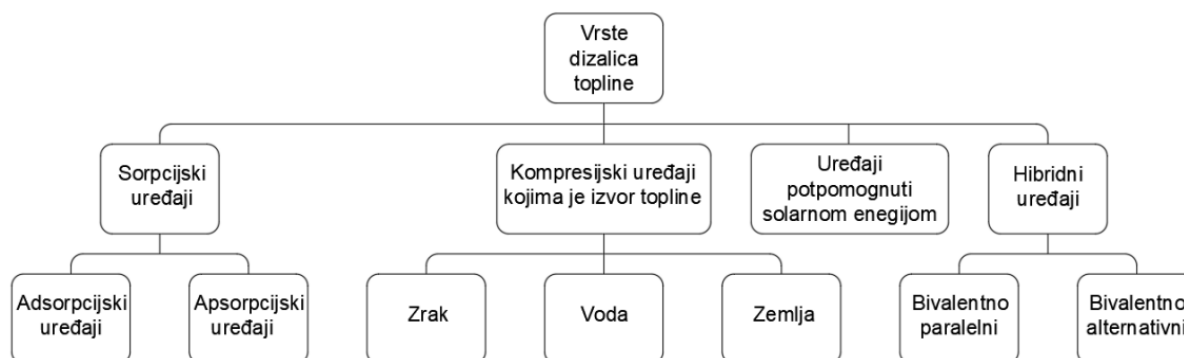
Dizalica topline je uređaj koji omogućava prijelaz topline sa spremnika niže temperature na spremnik više temperature, koristeći ljevokretni proces. To znači da one omogućavaju prijelaz toplinske energije u smjeru suprotnom od spontanog toplinskog toka. Dizalice topline za pogon uređaja može koristiti mehanički rad, tako zvane kompresijske dizalice topline ili toplinsku energiju, kao sorpcijske dizalice topline. Dizalica topline može raditi i kao ogrjevni i kao rashladni uređaj, ovisno o potrebama korisnika. To znači da se uloga spremnika može mijenjati. Tako u režimu grijanja koristimo vanjski toplinski spremnik kao ogrjevni toplinski spremnik, a unutarnji kao rashladni, dok je u režimu hlađenja situacija obrnuta. Samim time mijenjaju se uloge pojedinih komponenata sustava. Osnovni dijelovi dizalice topline su kondenzator, isparivač, kompresor, prigušni ventil koji su prikazani na Slika 1 [20].



Slika 1. Shematski prikaz kompresijske dizalice topline

## 2.1. Vrste dizalice topline

Najčešća podjela dizalice topline je podjela prema njihovom toplinskom spremniku. U kućnim i manjim sustavima grijanja i hlađenja najčešće su kompresijske dizalice topline kojima je zrak, voda ili tlo toplinski spremnik. Vrste dizalice topline može se vidjeti na Slika 2.



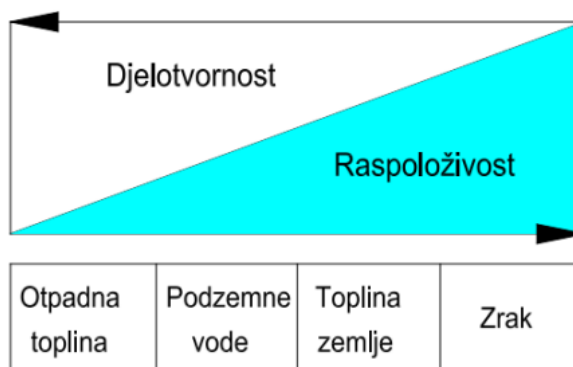
Slika 2. Vrste dizalice topline [24]

### 2.1.1. Sorpcijske dizalice topline

Sorpcijske dizalice topline dijele se na adsorpcijske i apsorpcijske ovisno po kojem termodinamičkom ciklusu prolazi radni mediji. Nije još pronađeno njihovo područje široke primjene, ali se značajno razvijaju [21].

### 2.1.2. Kompresijske dizalice topline

U ovom radu najviše će se govoriti o kompresijskim dizalicama topline, a možemo ih podijeliti na vrstu toplinskog izvora: zrak, voda, zemlja. Njihovu djelotvornost i raspoloživost možemo vidjeti Slika 3.



Slika 3. Osobine izvora topline za dizalice topline [20]

### 2.1.2.1. Zrak

Zrak predstavlja najveći i najpristupačniji toplinski spremnik. Dizalice topline kojima je zrak toplinski spremnik su najraširenije. Jednostavne su za rukovanje, imaju niske troškove održavanja i imaju malu potrošnju primarne energije. Najveći nedostatak je što faktor grijanja/hlađenja ovisi o temperaturi okolišnog zraka, a potreba za grijanjem/hlađenjem je obrnuto proporcionalna temperaturi okolišnog zraka. Odnosno kada je potreba za grijanjem najveća tada je temperatura okolišnog zraka najniža, isto vrijedi i za hlađenje pa je faktor učinkovitosti tada najniži. Zato se oni često koriste u hibridnom načinu rada. Kako bi se riješio problem malog koeficijenta prijelaza topline na strani zraka, kao izmjenjivač se koristi orebreni tip s prisilnom cirkulacijom zraka. U hladnijem razdoblju može doći do leda na orebrenim površinama. Također zahtijevaju više prostora i narušavaju estetiku zgrade [17][20].

### 2.1.2.2. Voda

Dizalice topline kojima je toplinski spremnik voda koriste vodena tijela kao što su jezera, ribnjaci, rijeke, podzemne vode itd. kao izvor topline. Oni crpe toplinu niske energetske razine iz vode i pretvaraju u korisnu toplinu. U usporedbi sa dizalicom topline zrak, ove dizalice topline emitiraju manje emisije stakleničkih plinova i rezultiraju znatnim troškovima uštede. Također temperatura okoline ne utječe značajno na izvedbu. To je zbog činjenice da vodena tijela posjeduju dovoljno veliki toplinski kapacitet za rad čak i tijekom zimskih vremenskih uvjeta. Podzemne vode su termodinamički najpovoljniji toplinski izvor. Danska studija o potencijalnoj integraciji dizalice topline otkriva da COP kod dizalice topline s vodom kao izvor ne varira puno tijekom godine [23]. Dizalica topline s vodom često se karakteriziraju visokom učinkovitošću, ali su njihove primjene ograničene zbog mogućnosti implementacije u neposrednoj blizini izvora jer pogonski troškovi crpljenja i povrata vrlo brzo dosegnu točku isplativosti investicije. Štoviše, potrebno je i poštivanje određenih ekoloških propisa [20][23][24].

### 2.1.2.3. Tlo

Tlo predstavlja veliki obnovljivi toplinski spremnik. Ove dizalice koriste prirodno pohranjenu toplinu iz tla. Često se dizalica topline npr. zemlja-zrak ili zemlja-voda poistovjećuju sa geotermalnom dizalicom topline. Međutim postoje neke razlike između tih tehnologija.

Dizalica topline zemlja-zrak/voda koriste toplinu s relativno plitkog tla (često između 1,2 m do 200 m dubine), a obično se koriste za kućanstva i male komercijalne primjene. Dok geotermalne dizalica topline koriste energiju iz Zemljine jezgre od oko 500-2500m dubine, a koriste se za velike industrijske primjene. Obje tehnologije koriste se u cijelom svijetu uglavnom zbog svoje visoke učinkovitosti i performanse u svim uvjetima okoline. Pouzdan izvor topline, zahtijevaju najveću investiciju, ali troše manje energije za rad od izvedbi sa zrakom, koriste manje radne tvari što ih čine više ekološki nastrojenim, iziskuju manje troškove održavanja jer dijelovi nisu izloženi utjecaju vremenskih uvjeta [28]. Ipak, najveća prednost geotermalne dizalica topline što joj je temperatura izvora konstantna tijekom godine [20][24].

### **2.1.3. Solarno potpomognute dizalice topline**

Solarno potpomognute dizalice topline su učinkoviti i pouzdani sustavi koji mogu pokriti niže potrebe za toplinom poput grijanja kuće ili PTV-a. Intermitentnost solarne energije može utjecati na rad, ali to se može riješiti ugradnjom dvostrukog izvora topline. Jedan od primjera je solarom potpomognuta geotermalna dizalica topline koja može biti jako učinkovita i ekološki prihvatljiva. Međutim, dizalica topline s dva izvora iziskuje složene strategije upravljanja za optimiziranje performansi i učinkovitosti [22].

### **2.1.4. Hibridni uređaji**

Sustavi hibridnih dizalica topline sastoje se od konvencionalnih sustava grijanja kao što su plinski kotlovi u kombinaciji s dizalicama topline. Kod monovalentnog načina rada dizalica topline pokriva sve toplinske gubitke za vanjsku projektnu temperaturu, dok hibridni sustavi imaju dva izvora. Bivalentni paralelni način rada je kada dizalica topline ima jedini izvor topline do određene postavljene temperature nakon daljnjeg pada temperature pali se konvencionalni izvor, a ako se na zadanoj temperaturi gasi dizalica topline i radi samo konvencionalni izvor govorimo o bivalentno alternativnom radu [20][24].

## **2.2. Dizalice topline sa spremnicima topline**

Dokazano je da dizalica topline zajedno sa sustavima akumulacije toplinske energije i aktivacijom termičke betonske jezgre imaju veću učinkovitost, manju emisiju stakleničkih plinova i veću ekonomsku izvedivost od samih dizalica topline. Spremnici toplinske energije mogu odvojiti proizvodnju topline od potrošnje topline. Time se povećava fleksibilnost sustava



jer se vrhovi proizvodnje električne energije ne pojavljuju istodobno s vrhovima potražnje za toplinom. U velikoj mreži CTS-a uravnoteženje opterećenja je zahtjevno. Dnevne potrebe u mreži daljinskog grijanja snažno variraju. Ove promjene opterećenja u mreži lako se mogu uravnotežiti spremnicima topline. Maksimalna dnevna opterećenja mogu se smanjiti za približno 30%. Pensini i sur. [25] napravili su ekonomsku analizu sustava koji proizvodi višak toplinske energije iz OIE i pohranjuje ga u centralizirani spremnik topline. Sustav zadovoljava potražnju za toplinom uz niže troškove od konvencionalnih sustava čak i ako postoji naknada za proizvodnju viška obnovljive energije. Spremnici topline, kada se decentralizirano postave, mogu povećati snagu mreže. Odnosno, decentralizirani spremnici topline koji koriste OIE mogu omogućiti mreži da poveže više kuća/zgrada ne mijenjajući kapacitet sustava [25][26].

### **2.2.1. Dugotrajni (sezonski) spremnici topline**

Ekonomičnost sezonskih spremnika topline ovisi ne samo o troškovima skladištenja, nego i o toplinskoj učinkovitosti sustava skladištenja i povezanog daljinskog sustava, stoga se svaki sustav mora zasebno promatrati. U tom kontekstu, važni parametri su maksimalna i minimalna radna temperatura spremnika i sustava daljinskog grijanja. Toplina iz spremnika može se koristiti sama sve dok je temperatura medija u spremnika viša od temperature povrata sustava daljinskog grijanja, a ako je temperatura medija niža onda se dizalicom topline treba dovesti na višu temperaturnu razinu. Kako bi se odredila ekonomičnost spremnika topline, troškovi ulaganja i održavanja spremnika moraju biti povezani s njegovim toplinskim učinkom. Ova količina je ekvivalentna trošku iskoristive pohranjene energije [26].

#### **2.2.1.1. Vodonosnik kao spremnik topline**

Kao spremnik topline koriste se vodonosnici, tj. prirodni samostalni slojevi podzemne vode. Toplina se predaje spremniku pomoću bušotina i izvlači obrnutim smjerom protoka. Vodonosnika nema posvuda. Stoga je potrebno provesti detaljno istraživanje lokacije, prije nego što se može potvrditi da je vodonosnik prikladan kao spremnik toplinske energije [26].

#### **2.2.1.2. Bušotinski izmjenjivači topline kao spremnik topline**

U ovakvom sustavu toplina se izravno pohranjuje u tlo. U-cijevi, umetnute su u vertikalne bušotine. Veći broj bušotina čini bušotinsko polje, odnosno ukupni volumen tla koji

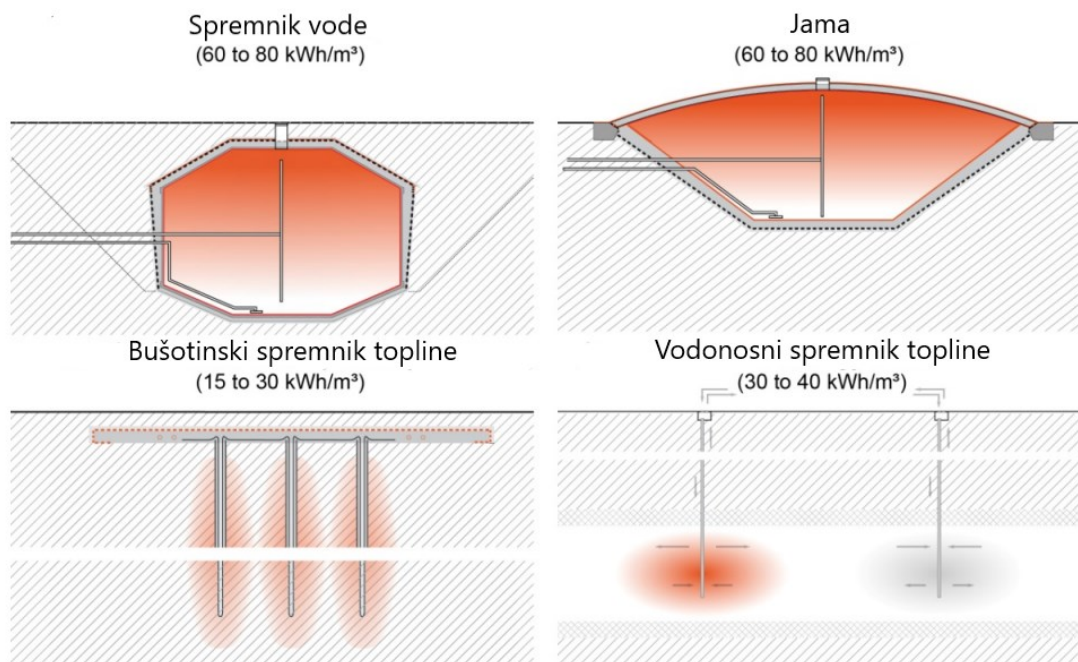
čini spremnik. Dok voda teče u U-cijevima, toplina se može dovoditi u tlo ili iz njega. Zagrijani volumen tla obuhvaća volumen spremnika topline. Gornja površina skladišnog sustava je toplinski izolirana [26]. Ovakav sustav je jedan od najčešćih metoda za sezonsko skladištenje toplinske energije [27].

### 2.2.1.3. Spremnik vode

Spremnik toplinske energije ugrađuje se kao čelični ili armirani betonski spremnik u pravilu djelomično ugrađen u zemlju. Spremnici se mogu izgraditi iznad zemlje, izolirati, a zatim prekriti zemljom. Skladišni volumen napunjen je vodom kao skladišnim medijem [26].

### 2.2.1.4. Jama kao spremnik topline

Kao spremnik se koriste jame toplinski izolirane. Jama je obložena vodonepropusnim plastičnim folijama. Skladište se puni vodom, a jamu zatvara toplinski izolirani krov. Plitke iskopane jame koje su ispunjene šljunkom i vodom kao medij za pohranu topline koriste se u mnogim danskim sustavima daljinskog grijanja. Jamu prekrivaju slojem izolacije, a zatim zemljom, te se mogu koristiti i za poljoprivredu ili druge svrhe [27].



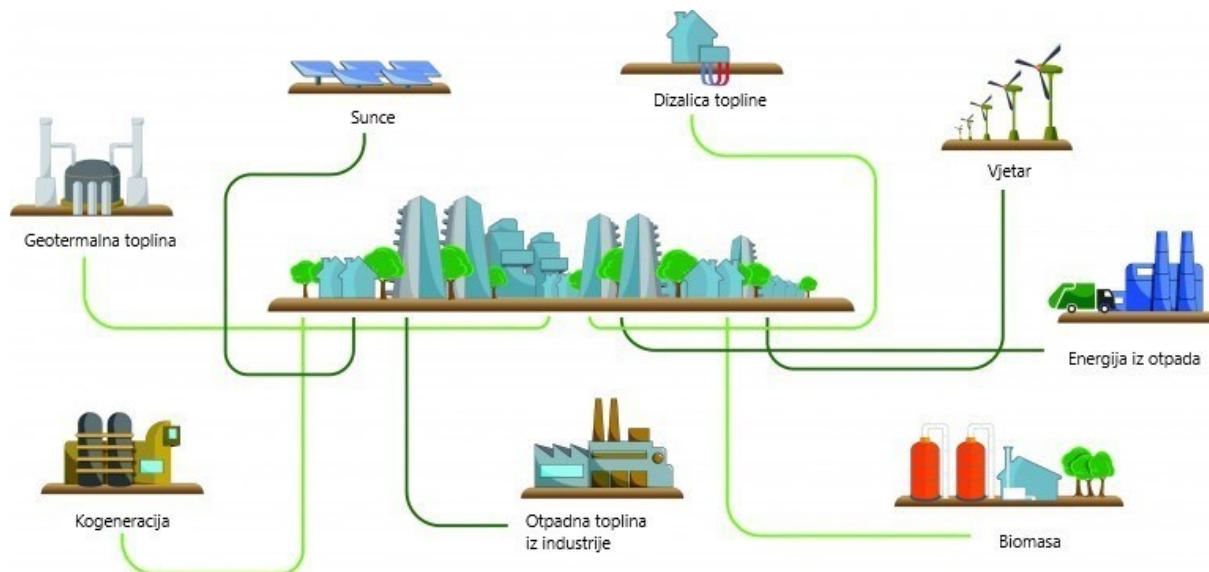
Slika 4. Vrste sezonskih spremnika topline [26]

### **3. Centralizirani toplinski sustav (CTS)**

Centralizirani toplinski sustavi (CTS) su centralizirana proizvodnja i distribucija toplinske energije kroz mrežu do pojedinačnih kuća ili blokova zgrada. Toplina se može koristiti za grijanje i/ili hlađenje prostora, za potrošnu toplu vodu (PTV) ili za industrijske procese. Takav sustav može imati manju emisiju stakleničkih plinova, a u isto vrijeme i biti jeftiniji za potrošače od individualnih toplinskih sustava. Mreža CTS-a omogućuje povezanost zgrada u susjedstvu, centru ili cijelom gradu, tako da imaju pristup toplini dobivenoj iz centraliziranih postrojenja ili niza jedinica za proizvodnju topline. Ovaj pristup omogućuje korištenje bilo kojeg dostupnog izvora topline:

- dizalice topline
- topline iz otpada,
- kotlova na biomasu,
- kogeneracijska postrojenja,
- rekuperirana toplina iz industrijskih procesa,
- geotermalna toplina,
- solarni toplinski sustavi itd.

Sposobnost integracije različitih izvora energije znači da potrošači ne ovise o jednome izvoru opskrbe [7][8][9].



Slika 5. Različiti izvori energije za CTS [9]

Sve veći broj gradova diljem svijeta usvaja moderna rješenja za centraliziranu proizvodnju energije. CTS je jako dobro rješenje za opskrbu toplinom brojnih potrošača, osobito u urbanim sredinama gdje je veliki broj potrebe za toplinom na relativno maloj površini. Zbog sve veće izgrađenosti veća je i potražnja za grijanjem i hlađenjem objekata u Europi, što čini CTS važnim područjem opservacije u energetske i klimatske politici EU [5][9].

Daljinsko grijanje i hlađenje je široko rasprostranjeno i poznata tehnologija u Europi. Europa je jedan od svjetskih lidera po pitanju tehnologije CTS-a, budući da je u cijeloj Europi instalirano više od 6000 takvih sustava. CTS ima obećavajući potencijal zamjene konvencionalnih izvora topline i pružaju ključne prednosti kao što je [5]:

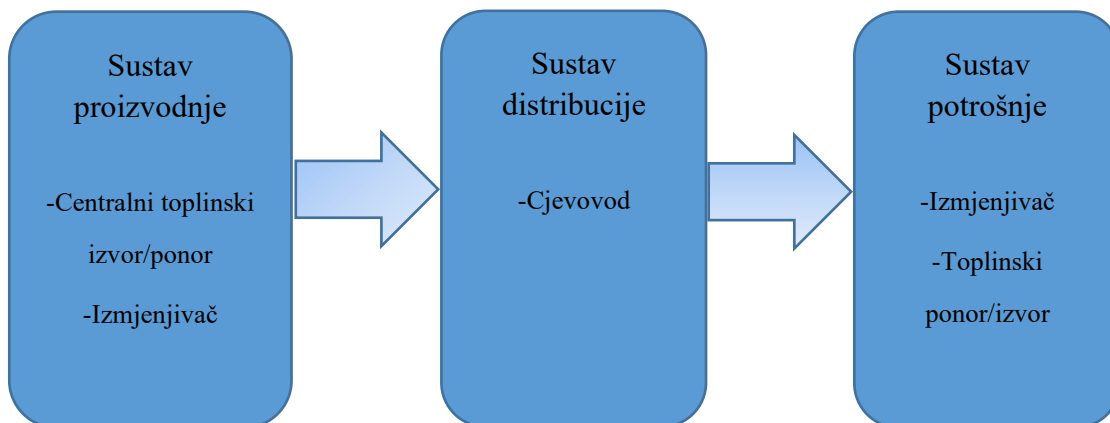
- povećanje energetske učinkovitosti,
- smanjenje potrebe za održavanjem,
- smanjenje emisije stakleničkih plinova,
- povećanje doprinos obnovljivih izvora energije.

### 3.1. Komponente CTS-a

Tipični daljinski sustavi grijanja i hlađenja je sustav u kojem se veliki broj zgrada i kuća grije jednim centralnim izvorom topline. Topla voda prolazi kroz dvocijevnu mrežu (polaz i povrat) i distribuira se do objekata gdje će se koristiti za različite zahtjeve.

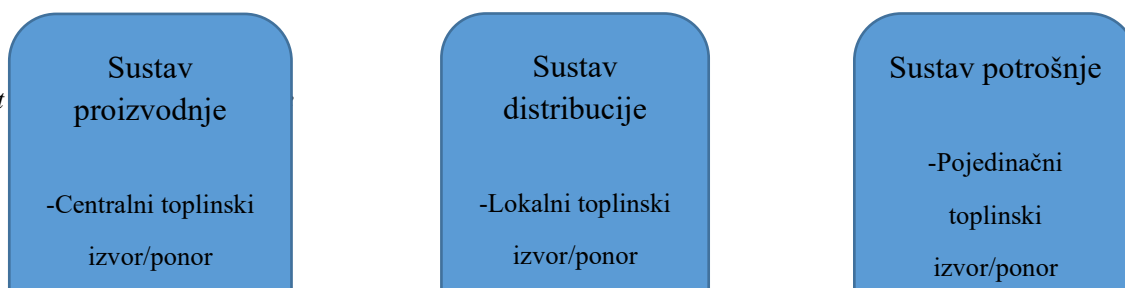
Općenito CTS imaju tri glavna dijela [11]:

- Sustav proizvodnje
- Sustav distribucije
- Sustav potrošnje



Evolucijom CTS, ugrađeni su dodatne složenije komponente kako bi se zadovoljili zahtjevi za toplinom za grijanje prostora, za zagrijavanje potrošne tople vode i za industrijske procese, a u isto vrijeme i za ispunjavanje ekoloških i klimatskih izazova i zakonodavnih zahtjeva za energetska učinkovitost.

- U proizvodnji postoje centralni izvor/ponor topline, izmjenjivači topline i spremnici topline.
- U distribucijskoj mreži postoje lokalni izvor/ponor topline (obnovljivi izvori energije uključujući dizalice topline), izmjenjivači topline i spremnici topline.
- U sustavu potrošnje nalaze se pojedinačni izvor/ponor topline, izmjenjivači topline, spremnici topline i toplinski ponor/izvor.

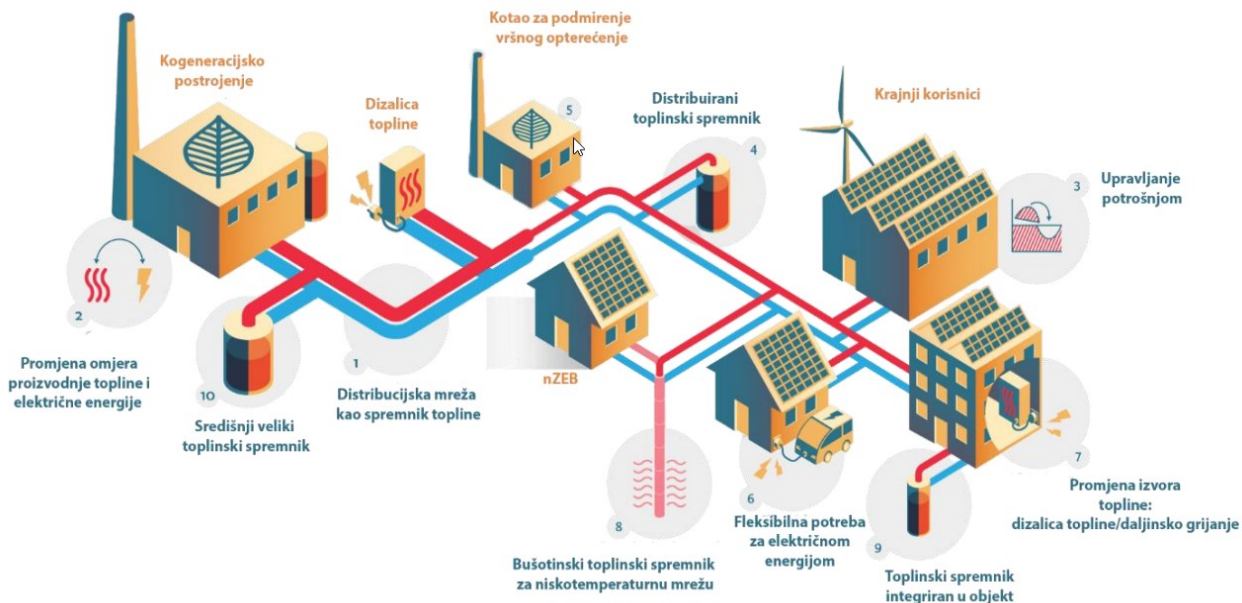




Obnovljive izvore energije i spremnike topline mogu se instalirati u sustav daljinskog grijanja i hlađenja na sustavima proizvodnje, distribucije ili čak potrošnje. Napredna shema daje

- veću fleksibilnost,
- bolju učinkovitost,
- manji utjecaj na okoliš,
- energetske sigurnost i neovisnost o gorivu.

Također omogućuje lakšu implementaciju novih tehnologija u budućnosti, kako na mikro tako i na makro razini. Uz takvu fleksibilnost povećava se broj mogućih opcija i postupaka poboljšanja. Nedostatak takvog sustava je što povećava opseg i složenost analize te proces izbora optimalnog rješenja čini složenim. Mogućnost implementacije različitih rješenja onemogućava uvođenje univerzalnih promjena koje su primjenjive za sve sustave CTS-a. Važno je napomenuti da previše složen sustav koji se sastoji od više različitih komponenti, povećava troškove i zahtjeve upravljanja. Složeni sustav CTS-a možemo vidjeti na Slika 6 [13][14].



Slika 6. Grafički prikaz složenog CTS-a [12]

### 3.2. Generacije CTS sustava

Općenito, svi moderni sustavi daljinskog grijanja vođeni su potražnjom, što znači da opskrbljivač toplinske energije reagira na potražnju potrošača i osigurava dovoljnu temperaturu i tlak vode za isporuku tražene topline korisnicima. S obzirom na izvedbu, navedene sustave moguće je podijeliti u pet generacija koje imaju određena specifična svojstva u odnosu na druge generacije [8].

#### 3.2.1. Prva generacija

Prva generacija sustava daljinskog grijanja koristila je paru za distribuciju topline. Prvi put su predstavljeni u SAD 1880-ih. Gotovo svi sustavi daljinskog grijanja izgrađeni do 1930. godine koristili su ovu tehnologiju, kako u SAD-u tako i u Europi. Tipične komponente bile su parne cijevi u betonskim kanalima, odvajači kondenzata i kompenzatori. Visoke temperature pare stvaraju značajne gubitke topline i postoje problemi s pouzdanošću i sigurnošću zbog vrućih parnih cijevi pod tlakom. Cijevi povrata kondenzata često su korodirale, što je rezultiralo curenjem kondenzata. Danas je ovakav sustav sa parom zastarjela tehnologija, ali se još uvijek mogu naći u starim sustavima New Yorka (Manhattan) i Pariza, dok se većina ovakvih sustava prenamijenila u sustave modernijih generacija.

### **3.2.2. Druga generacija**

Druga generacija sustava razvijena je 1930-tih i dominirala je do 1980-ih. Koristila se topla voda pod tlakom kao medij, s polaznim temperaturama uglavnom preko 100 °C. Tipične komponente bile su vodovodne cijevi u betonskim kanalima, veliki izmjenjivači topline te veliki i teški ventili. Iako su se koristili u brojnim zemljama, tipični sustavi ove generacije bili su sustavi daljinskog grijanja u Sovjetskom Savezu i zemljama istočne Europe koji su izgrađeni nakon Drugog svjetskog rata. Glavni razlozi za ove sustave bili su uštede primarne energije koje su proizašle iz korištenja termoelektrana i bolja toplinska ugodnost korištenjem CTS-a.

### **3.2.3. Treća generacija**

Treća generacija sustava predstavljena je 1970-ih i zauzela je veliki udio gradnje 1980-ih i kasnije. Voda pod tlakom je i dalje nositelj topline, ali su temperature polaza često ispod 100 °C. Treća generacija se ponekad naziva 'Tehnologija Skandinavskog daljinskog grijanja', budući da je sjedište u Skandinaviji mnogim proizvođačima komponenata sustava. Tipične komponente su prije gradnje već izrađene, a cijevi izolirane te su izravno ukopane u zemlju. Sadrže i kompaktne podstanice koje koriste pločaste izmjenjivače topline od nehrđajućeg čelika. Ova tehnologija koristi se za zamjenu sustava na području srednje i istočne Europe i bivšeg SSSR-a. Sva nadogradnja i svi novi sustavi u Kini, Koreji, Europi, SAD -u i Kanadi koriste ovu tehnologiju treće generacije. Primarni motiv za izgradnju ovih sustava bila je sigurnost opskrbe, nakon što su dvije naftne krize dovele do prekida opskrbe naftom. Ovakav sustav je omogućio zamjenu nafte s raznim lokalnim i/ili jeftinijim gorivima poput ugljena, biomase i otpada uz veću energetske učinkovitost. Štoviše, solarna i geotermalna toplina korištena je kao dodatni izvor topline na nekoliko lokacija [8][15][16].

### **3.2.4. Četvrta generacija**

Trenutno se razvija četvrta generacija pri čemu je tranzicija na četvrtu generaciju već u procesu u Danskoj. Četvrta generacija omogućuje optimalnu integraciju fluktuirajuće obnovljive energije u CTS-u pružanjem visoke fleksibilnosti elektroenergetskom sustavu.



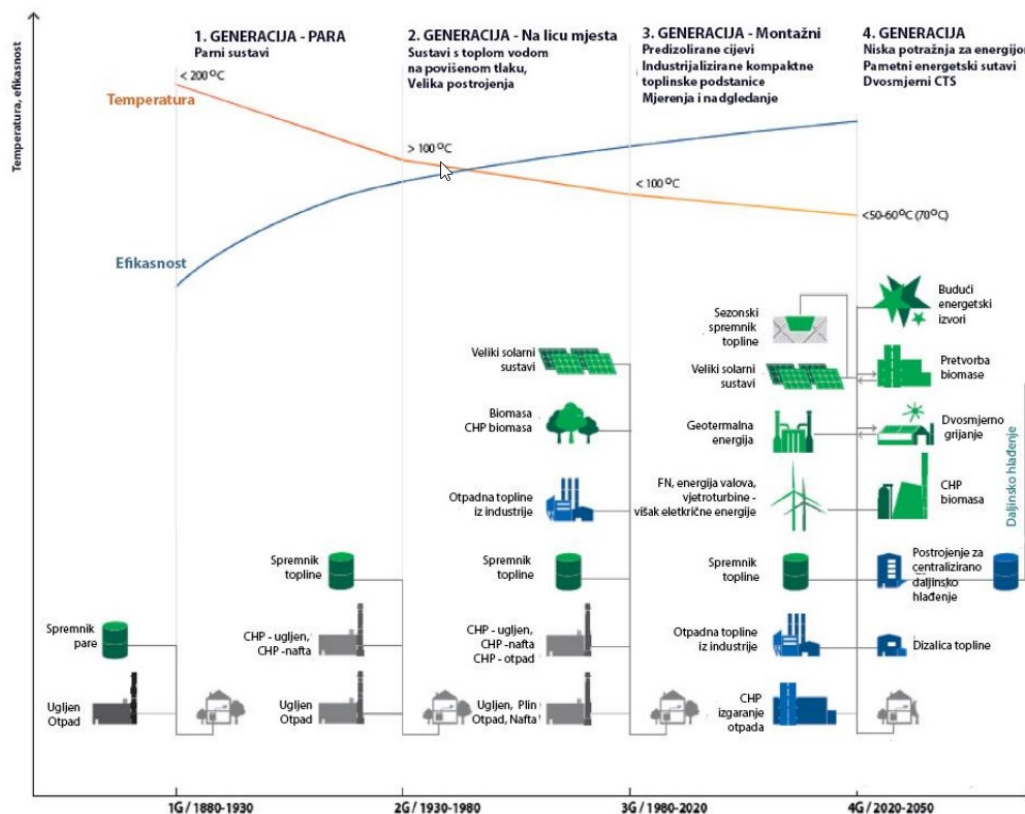
Takvi sustavi prema H.Lund [8] moraju imati sljedeće sposobnosti:

- 1) Sposobnost opskrbe niskotemperaturnim daljinskim grijanjem za grijanje prostora i potrošne tople vode (PTV) postojećim zgradama, energetski obnovljenim postojećim zgradama i novim niskoenergetskim zgradama.
- 2) Sposobnost distribucije topline s malim toplinskim gubicima mreže.
- 3) Sposobnost iskorištavanja topline iz niskotemperaturnih izvora i integriranja obnovljivih izvora energije kao što su solarna i geotermalna toplina.
- 4) Sposobnost integracije u pametne energetske sustave (tj. integrirane pametne električne, plinske, vodovodne i toplinske mreže).
- 5) Sposobnost osiguravanja odgovarajućih struktura planiranja, procjene troškova i motivacije u odnosu na rad sustava, kao i strateških ulaganja vezanih za tranziciju u buduće sustave održive energije.

U usporedbi s prethodnim generacijama, temperature na strani polaza smanjena je na 70 °C i niže, kako bi se povećala energetska učinkovitost. Potencijalni izvori topline su otpadna toplina iz industrije, kogeneracijska postrojenja na otpad, elektrane na biomasu, sustavi geotermalne i solarne energije (centralno solarno grijanje), velike dizalice topline, otpadna toplina iz rashladnih sustava i ostali izvori topline. S tim izvorima energije i velikim pohranama toplinske energije, uključujući sezonske spremnike toplinske energije, očekuje se da će CTS-i 4. generacije osigurati fleksibilnost za uravnoteženje proizvodnje energije iz vjetra i solarne energije[8][15][16].

### **3.2.5. Peta generacija**

Peta generacija CTS distribuira toplinu na temperaturi zemlje, time se minimiziraju gubici topline prema tlu i smanjuje potreba za dodatnom izolacijom. Svaka zgrada spojena na mrežu koristi svoju lokalnu dizalicu topline za dobivanje topline iz mreže kada joj je potrebno grijanje, a koristi tu istu dizalicu topline za predaju topline mreži kada joj je potrebno hlađenje. Odnosno ovaj sustav karakterizira decentralizirane dizalice topline. U razdobljima istovremene potrebe za hlađenjem i grijanjem to omogućava korištenje otpadne topline iz hlađenja s onim zgradama koje imaju potrebe za grijanjem. Poželjno je da se temperatura unutar mreže regulira izmjenom topline s vodospremnikom ili drugim nisko-temperaturnim izvorom vode kako bi ostala unutar temperaturnog raspona okoline [16][17].



Slika 7. Razvoj CTS [8]

Buduća infrastruktura daljinskog grijanja i hlađenja ne bi trebala biti projektirana samo za sadašnji energetska sustav, već i za budući. Jedan od budućih izazova bit će integracija kogeneracijskih postrojenja sa sektorom električne energije kao i sa sektorom prometa. U budućnosti će se takav sustav nazivati pametnim energetska sustavom, odnosno energetska sustav u kojem su električne, toplinske i plinske mreže kombinirane i koordinirane zajedno kako bi se omogućila sinergija i postiglo optimalno rješenje za svaki pojedinačni sektor kao i za cjelokupni energetska sustav. Prijelaz sa sadašnjih sustava baziranih na fosilnim gorivima na buduće održive energetska sustave zahtijeva složenu integraciju intermitirajućih obnovljivih izvora energije. To također podrazumijeva preispitivanje i redizajn energetska sustava. U pametnim energetska sustavima fokus je na integraciji sektora električne energije, grijanja, hlađenja i sektora transporta te na njihovom fleksibilnom korištenju [8][10].

### 3.3. Integracija dizalice topline u CTS

Integracija dizalica topline u CTS smatra se implementacijom obnovljivih izvora energije što bi omogućilo EU-u da postigne svoje buduće energetska i klimatske ciljeve [28]. Integracija

dizalice topline u energetske sustav omogućava povezanost električne mreže i mreže grijanja i hlađenja za bolju ukupnu energetske učinkovitost i fleksibilnost [29]. Integracija dizalice topline u budućnosti će imati veliku ulogu u kontekstu pametnih mreža i budućih urbanih energetske sustava. Korištenje dizalice topline u različitim aplikacijama, uključujući njihovu integraciju u CTS, u Europi stalno se povećava. Dizalica topline koja koristi OIE predlaže se kao korak prema zamjeni kotlova na fosilna goriva. Očekuje se da će CTS-i četvrte generacije, uz OIE i sezonske spremnike toplinske energije, omogućiti fleksibilnu proizvodnju energije iz vjetra i sunca. To znači kada bi bilo puno vjetra i sunca onda bi se uz pomoć dizalice topline viškovi električne energije pretvorili u toplinu i pohranili u spremnicima toplinske energije. Stoga se velike dizalice topline s naprednim CTS-ima četvrte generacije smatraju ključnom tehnologijom za pametne energetske sustave s visokim udjelom obnovljive energije [8][28].

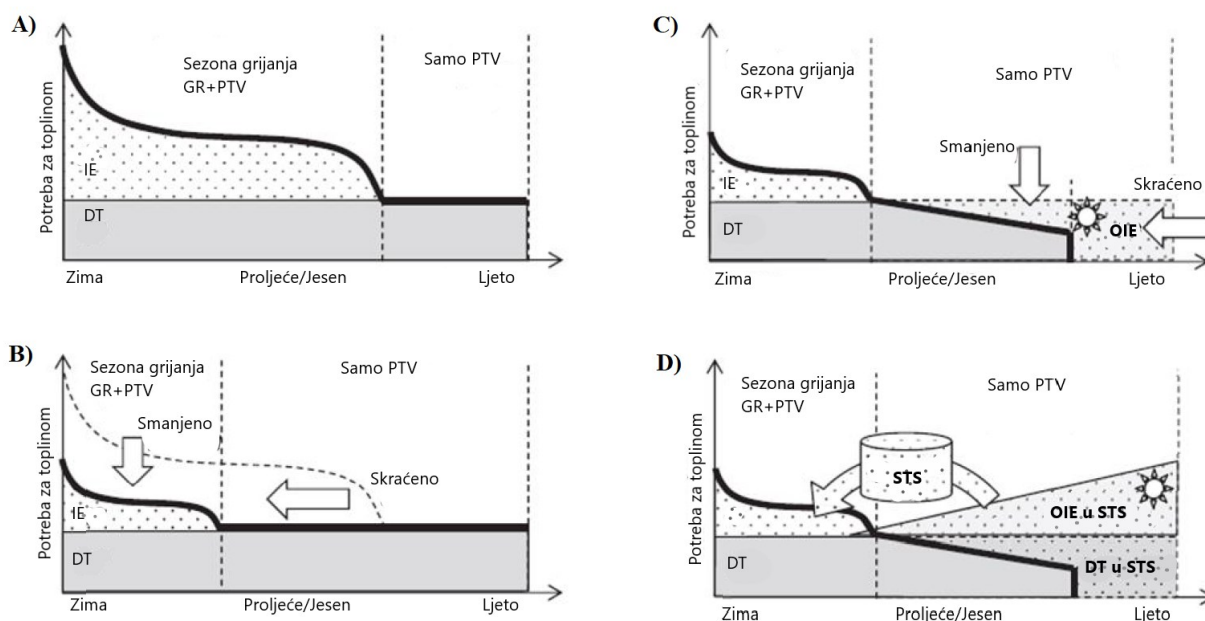
Postoje najmanje četiri scenarija koja se mogu prepoznati pri integraciji dizalice topline u CTS [5][30]:

1. Integracija dizalice topline u postojeću mrežu bez značajnih promjena
  2. Integracija dizalice topline kao proširenje mreže
  3. Dubinska obnova postojećeg sustava
  4. Projekt novog sustava CTS na dizalici topline.
- 
1. Integracija dizalice topline u postojeću mrežu ovisi uglavnom o tehničkim parametrima mreže i dostupnosti izvora topline za dizalicu topline. Postoje dvije kritične prijetnje u postojećim CTS-ima: visoke temperature radnog medija i nedostatak odgovarajućih izvora topline za dizalicu topline u urbaniziranim područjima. Uobičajeno rješenje je postavljanje dizalice topline na postojeći centralni izvor topline (konvencionalni CHP, kotao itd.) ili na lokalnom izvoru topline. Tako postavljena jedinica dizalice topline surađuje s postojećim izvorom topline, u serijskoj ili paralelnoj vezi, kao sustav s više izvora topline s različitim udjelima toplinskog kapaciteta. Prednost takve integracije je povećati učinkovitost CTS-a, povećati korištenje OIE i smanjiti emisije stakleničkih plinova.
  2. Za drugi scenarij, gdje je dizalica topline smještena u proširenu mrežu, takva integracija dizalice topline povećava toplinski kapacitet mreže te ona zadovoljavanja zahtjeva za grijanjem i hlađenjem novih potrošača.

3. Treći scenarij podrazumijeva veliku obnovu mreže kako bi se tehnički parametri mreže i profil potrebe za grijanjem mogao redizajnirati te time maksimizirala implementacija dizalice topline. Ove promjene uključuju velike troškove, iziskuje puno vremena za zamjenu komponenti sustava (kao što je toplinski izvor, cjevovodna mreža, trafostanice i instalacije grijanja) i moguću obnovu ovojnice zgrade potrošača. Troškovi obnove ovise o tehničkim uvjetima postojećeg sustava i potrebi dizalici topline za novim izvorom topline.
4. Posljednji scenarij je projektiranje novog CTS kojeg opskrbljuju jedinice dizalice topline. Za takav scenarij bit će pripremljeni svi tehnički parametri i tehnologije za opskrbu toplinom iz dizalica topline, uključujući proizvodnju, distribuciju i potrošnju topline. Za takve sustave se može postići visoka učinkovitost i gotovo nulta emisija stakleničkih plinova.

### 3.3.1. Profili potrebe za toplinom

Varijacija profila potrebe za toplinom izravno određuje potrebni toplinski kapacitet, način integracije i potrebni način rada dizalica topline.



Slika 8. Varijacije profila potrebe za toplinom [5]

DT - dizalica topline

IE - dodatni izvor energije

STS - sezonski toplinski spremnici

PTV - potrošna topla voda

OIE - obnovljivi izvori energije

GR - potreba za grijanjem

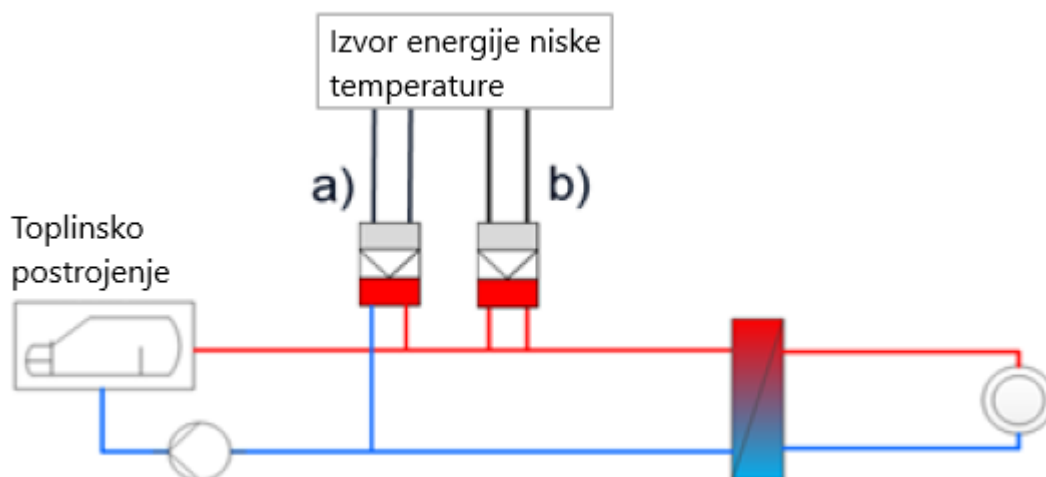
- A) Slika 8.A Pretpostavlja se da je potražnja za PTV približno stabilna tijekom cijele godine, javlja se zahtjev za grijanjem samo u sezoni grijanja i to varira ovisno o vanjskoj temperaturi. Mrežu CTS napajaju dva izvora topline u paralelnom načinu rada. Dizalica topline pokriva bazno opterećenje, podržana fosilnim gorivom kao dodatnim izvorom topline.
- B) Slika 8.B Mreža ima smanjenu potrebu za grijanjem zbog energetski obnovljene, učinkovite zgrade u mreži sustava. Smanjenje potrebe za grijanjem omogućuje da sezona grijanja bude skraćena i temperatura u sustava manja. Kao i u prethodnom slučaju mreža daljinskog grijanja napaja više izvora topline povezanih u paralelnom načinu rada.
- C) Sljedeći slučaj prikazan je na Slika 8.C), gdje se daljnji smanjeni i skraćeni profil potrebe za grijanjem postiže korištenjem više OIE (npr. solarni kolektori), uz energetski učinkovite, obnovljene zgrade. Ljetni zahtjevi za grijanjem će se i smanjiti i skratiti. dizalica topline i u ovom slučaju pokriva bazna opterećenja i radi u načinu integracije više izvora topline u paralelnom načinu rada ( s OIE i malim udio dodatne topline temeljene na fosilnim gorivima).[5][32]
- D) I na kraju, Slika 8.D prikazuje potrebe za grijanjem za sustav kojeg napaja dizalica topline uz paralelni način rada sa OIE (solarni kolektori) i sezonskim spremnikom topline, bez upotrebe ikakvih fosilnih goriva. U tom slučaju dizalica topline i OIE mogu paralelno puniti spremnik topline za vrijeme ljeta, kako bi se pohranjena toplina iskoristila tijekom sezone grijanja. Spremnik topline omogućuje dizalici topline da radi punim toplinskim kapacitetom tijekom cijele godine s visokim faktorom sezonskog učinka. [5][33]

### 3.3.2. Načini

Dizalice topline mogu se integrirati na različite načine ovisno o potrebama i mogućnostima u toplinskim mrežama. U načelu se može napraviti razlika između decentralizirane i centralizirane integracije. Ako postoji samo jedna ili nekoliko glavnih točaka napajanja s velikim kapacitetom postojećih postrojenja, obično se radi o centraliziranoj integraciji. Ako postoje manje proizvodne tehnologije ili se toplina distribuira na više lokacija u mreži, radi se o decentraliziranoj integraciji. Pri integraciji dizalica topline, razlikuje se korištenje vanjskog ili unutarnjeg izvora topline. Vanjski izvori odnose se na izvore topline, koji u sustav unose

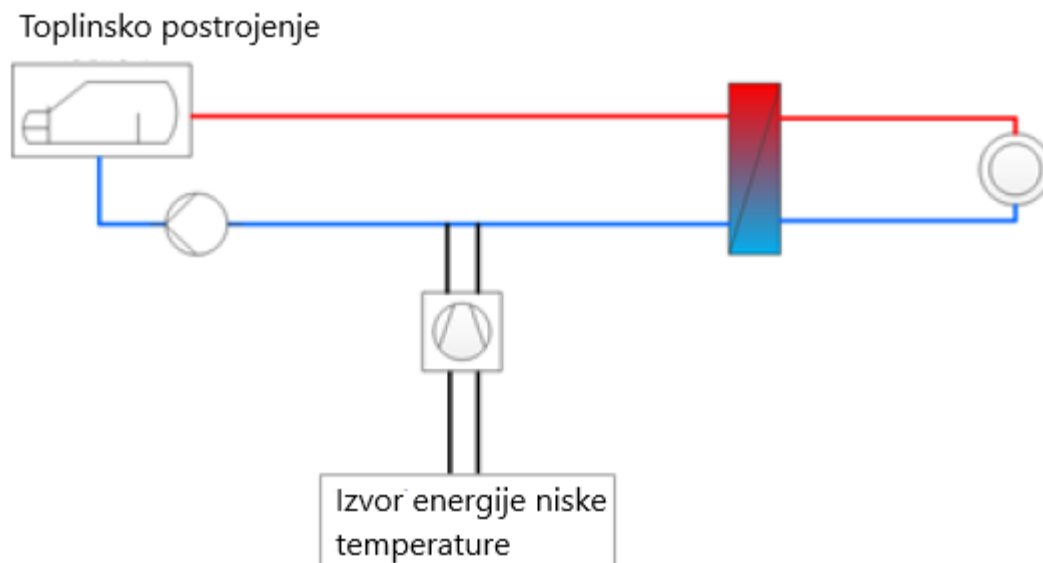
energiju izvana. Nasuprot tome, unutarnji izvori ne donose dodatnu obnovljivu energiju izravno u sustav. Kod unutarnjeg izvor topline mreža daljinskog grijanja služi kao izvor topline, (npr. za pripremu PTV) uz dodatno hlađenje povratnog toka. Sljedeće slike prikazuju različite koncepte integracije.

Slika 9. prikazuje integraciju dizalice topline s vanjskim izvorom topline na polaznom vodu CTS. Ovim se konceptom u sustav daljinskog grijanja dovodi dodatna energija izvana. Dizalica topline se može na mrežu spojiti paralelno (a) ili serijski (b). Integracijom u polaz, dizalica topline osigurava najviše temperature, što smanjuje učinkovitost. Osim toga, pri vrlo visokim temperaturama kondenzacije moraju se koristiti posebna rashladna sredstva. Prednost ove opcije je što ne utječe na postojeća toplinska postrojenja.



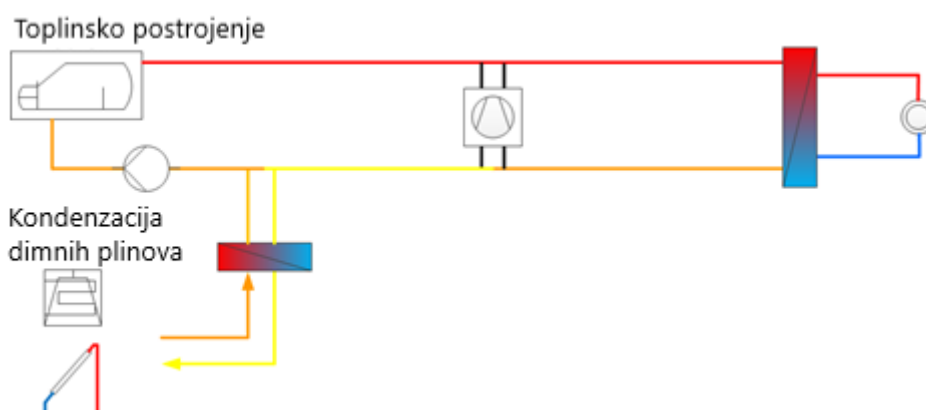
**Slika 9. Dizalica topline s vanjskim izvorom na polaznom vodu [26]**

Slika 10. prikazuje integraciju dizalice topline s vanjskim izvorom topline na povratnom vodu CTS. Niža temperatura povrata ima pozitivan učinak na učinkovitost sustava. Međutim, prilikom spajanja na povratni vod potrebno je paziti da postojeća toplinska postrojenja rade s višim temperaturama povrata.



**Slika 10. Dizalica topline s vanjskim izvorom na povratnom vodu [26]**

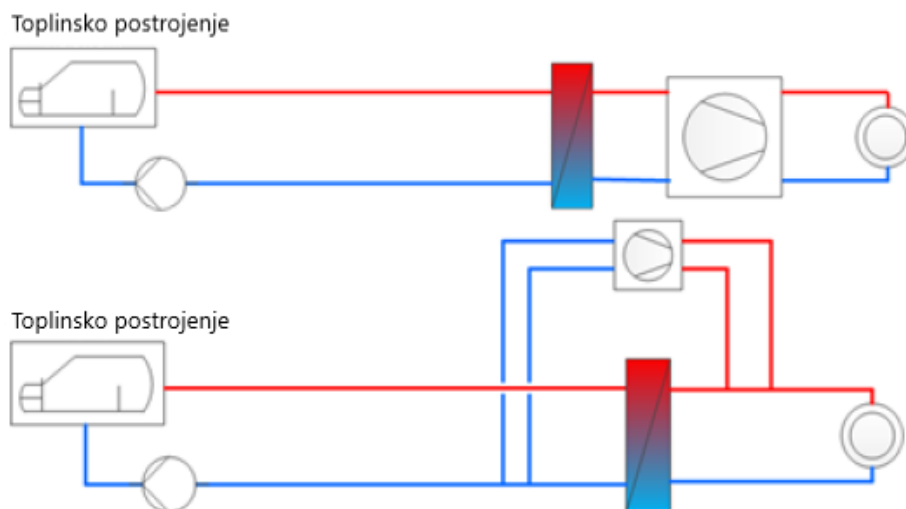
Na Sliku 11. se vidi integracija dizalice topline s unutarnjim izvorom topline. Dizalica topline koristi povratni vod CTS-a kao izvor topline i opskrbljuje polazni vod toplinom. Kao rezultat toga, dodatna obnovljiva energija se ne dovodi u sustav izravno (osim ako se koristi električna energija dobivena iz OIE za pogon dizalice topline). Međutim, hlađeni povratni vod omogućuje integraciju dodatnih izvora energije poput solarnih toplinskih sustava ili otpadne topline iz postrojenja za kondenzaciju dimnih plinova. Tako se u sustav dovodi dodatna obnovljiva energija.



**Slika 11. Integracija dizalice topline s unutarnjim izvorom topline na povratnom vodu [26]**

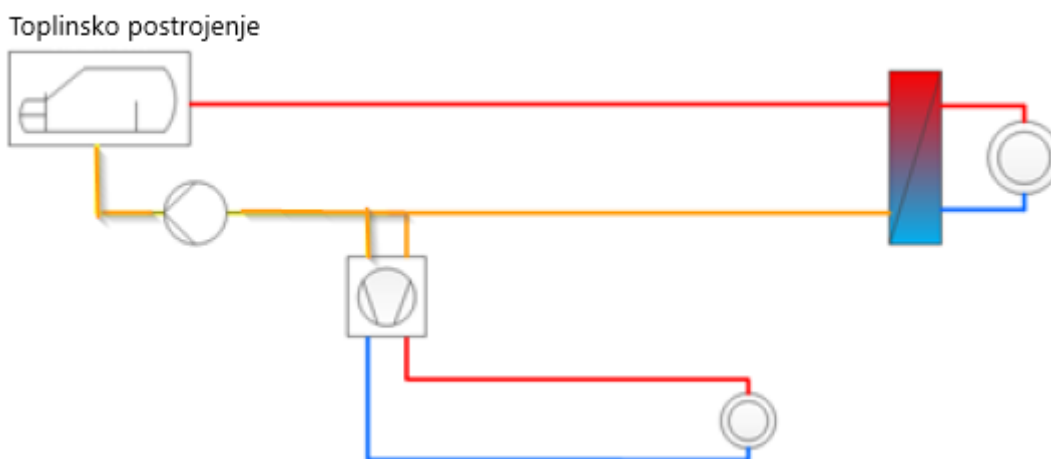
Za povećanje kapaciteta, dizalice topline mogu se integrirati kao što je prikazano na Sliku 12. Na slici su prikazane dvije mogućnosti povećanja temperature na pojedinim dijelovima mreže.

Temperatura se povećava na sekundarnoj mreži. Na taj način se udaljena područja mogu opskrbiti toplinom bez potrebe za povećanjem temperature u cijeloj mreži. Ovo decentralizirano povećanje temperature omogućuje priključivanje dodatnih potrošača na mrežu.



**Slika 12. Integracija dizalice topline s unutarnjim izvorom za povećanje temperature sekundarne mreže [26]**

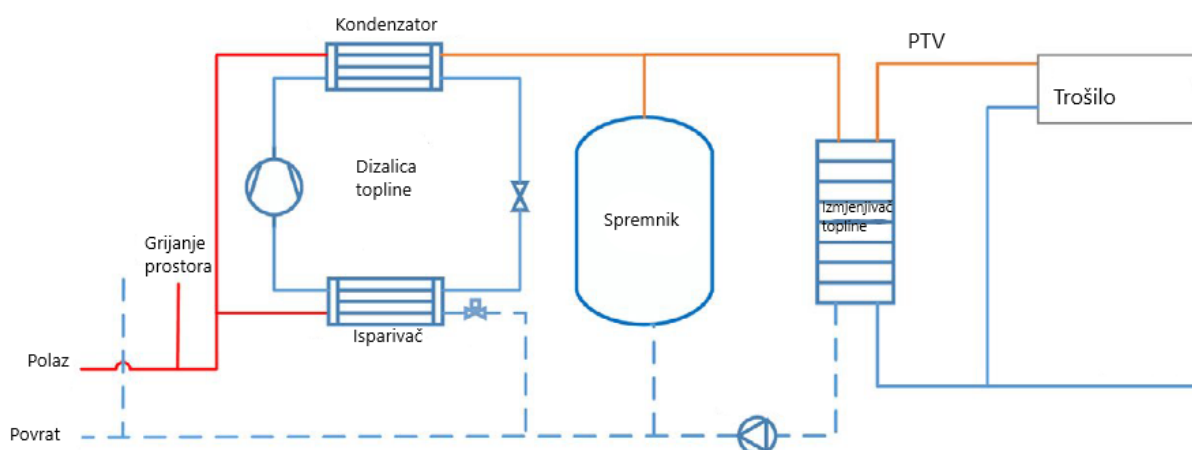
Slika 13. prikazuje sličan koncept integracije dizalice topline za opskrbu toplinom sekundarnih mreža. U ovom slučaju opskrba mreže je u cijelosti pokrivena dizalicom topline, koja koristi povrat CTS kao izvor topline.



**Slika 13. Integracija dizalice topline s unutarnjim izvorom na povratnom vodu koja opskrbljuje sekundarnu mrežu [26]**



U velikim zgradama ili zgradama s cirkulacijom PTV-a potrebno je održavati temperaturu cirkulacije na 50 °C, što zahtijeva temperaturu polaza CTS veću od 55 °C. Taj se problem može izbjeći korištenjem mikro-booster dizalica topline za zagrijavanje cirkulacijske petlje na 50 °C. Dodatna dizalica topline je nepohodna u kombinaciji s ultra niskim i jako nisko temperaturnim CTS-ima. Istraživanja pokazuju da su temperature polaza od 45 do 40 °C dovoljne da osiguraju 80 % godišnje potrebe grijanja. To znači da se gubici u mreži mogu smanjiti za 25% na godišnjoj razini.



Slika 14. Mikro-booster dizalica topline [26]

#### 4. PROCJENA TOPLINSKOG I RASHLADNOG OPTEREĆENJA BLOKA 19

Blok 19 je blok zgrada u centru grada Zagrebu koji omeđuju ulice Frankopanska, Dalmatinska, Medulićeva i Ilica. Arhitektura Bloka 19 je formirana tijekom druge polovine 19. i početkom 20. stoljeća. Blok se nalazi neposredno uz najstarije podgrađe srednjovjekovnog Gradeca i očuvana je stara struktura parcelacije i izgradnje [6].

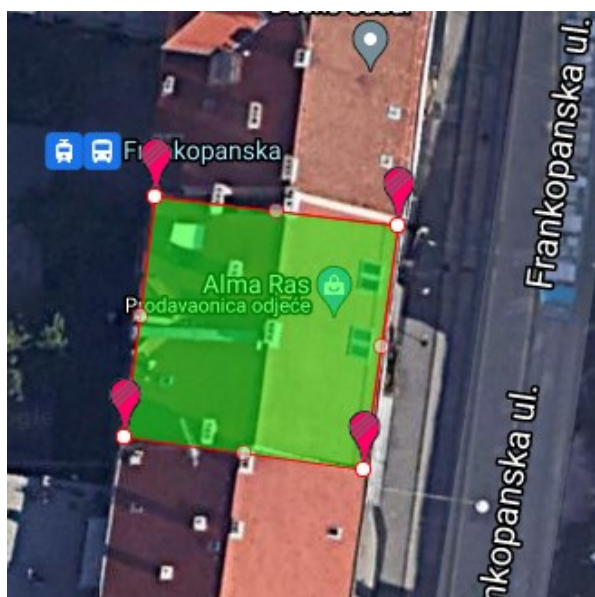


Slika 15. Lokacija-Blok 19

To je područje donjeg grada koje je oštećeno potresom te bi se nad tim područjem radila temeljita obnova objekata u Programu cjelovite obnove povijesne jezgre Grada Zagreba koji je predložio Zavod za prostorno uređenje Grada Zagreba. Zavod, koji podržava najnaprednije klimatski neutralne politike i aktivnosti, okupio je 120 stručnjaka s 12 fakulteta i instituta i izradio idejni projekt obnove Bloka 19 kao primjera na osnovu kojega bi se radila obnova od potresa. Razlaže se kako bi Blok 19 bio koncipiran kao Umjetnički blok s postojećim (od potresa saniranom i ojačanom) građevinama po obodu, dok se u unutrašnjosti bloka substandardne i oštećene zgrade uklanjaju te se formira parkovna površina, unutar koje se planira javna izgradnja paviljonskog tipa, s kulturnom, društvenom, umjetničkom namjenom. Zanimljivi ciljevi za ovaj rad bi bili povećanje trajnosti zgrada u prostoru, povećanje energetske učinkovitosti, primjena obnovljivih izvora energije i smanjenje količine građevinskog otpada. U tom smislu sanaciju štete nastale potresom treba kroz sveobuhvatnu i cjelovitu obnovu pretvoriti u priliku za podizanje kvalitete života unutar povijesne jezgre grada Zagreba [6].

#### 4.1. Procjena neto korisne površine svih građevina Bloka 19

Za procjenu toplinskog i rashladnog opterećenja Bloka 19, prvo se procijenila neto korisna površina svih građevina Bloka 19. Taj podatak se dobio uz pomoć alat „Google Maps Area Calculator Tool“ [34]. Prvo se označe rubovi građevine za koju se želi procijeniti površina na kojoj leži (vidi Slika 16.). Zatim se ta površina pomnoži brojem etaža i dobije se bruto površina građevine. Podatak o broju etaža procijenjen je uz pomoć alata „Google Earth“ (vidi Slika 17.) i fotografija s terena.



Slika 16. Površina karakteristične zgrade Bloka 19 [34]



Slika 17. Karakteristična zgrada Bloka 19 u prostoru [35]

Nakon provedene procjene površine svih objekata Bloka 19, procijenjena je ukupna bruto površina od 61.365,00 m<sup>2</sup>. Da bi se dobila neto korisna površina, ukupna bruto površina umanjena je s faktorom 0,75. Odnosno, time se kompenzira površina koju zauzimaju pregradni i vanjski zidovi. Neto korisna površina svih objekata Bloka 19 iznosi:

$$A_k = 0,75 * 61.365 = 46.024,00 \text{ m}^2$$

#### 4.2. Proračun toplinskog opterećenja Bloka 19

Za proračun toplinskog opterećenja Bloka 19 odabrana je jedna karakteristična zgrada Bloka 19. za koje je izračunato toplinsko opterećenje. Zatim se toplinsko opterećenje podijelilo sa neto površinom tog objekta i dobilo karakteristično toplinsko opterećenje po jedinici površine za objekte Bloka 19. Za ukupno toplinsko opterećenje Bloka 19, toplinsko opterećenje po jedinici površine je pomnoženo sa prethodno dobivenom neto površinom. Opis karakteristične zgrade Bloka 19 je starija zgrada građena početkom 20. stoljeća. Odlikuje se duguljastim sobama, debelim zidovima i visokim stropovima, prozorski otvori u takvim kućama najčešće imaju pravokutni vertikalni oblik i prilično su velikih dimenzija. Dvokrilni prozor standardnih veličina 1200x1950 mm [36]. Zgrada za koju se proveo proračun duga je 14,5 m, široka 13,8 m, a visoka 14,6 m. Ima četiri etaže: prizemlje, 2 kata i grijano potkrovlje. Iz Tablica 1. možemo vidjeti prosječne koeficijente prolaska topline za tipične vanjske konstrukcije u određenom razdoblju gradnje te moguća poboljšanja povećanjem toplinske zaštite [37].

Tablica 1. Koeficijenti prolaska topline za karakterističnu zgradu [37]

VANJSKI ZID, PREMA GARAŽI ILI TAVANU			VANJSKI ZID S TOPLINSKOM IZOLACIJOM I ZAVRŠNOM ŽBUKOM (ETICS SUSTAV, kamena vuna)						
materijal	d [cm]	U [W/m <sup>2</sup> K]	d=8 cm	d=10 cm	d=12 cm	d=14 cm	d=16 cm	d=18 cm	d=20 cm
KARAKTERISTIČNO ZA RAZDOBLJE DO 1940.g. KONTINENTALNA HRVATSKA			U, [W/m <sup>2</sup> K]						
Puna opeka (obostrano ožbukana)	30	1,89	0,41	0,35	0,30	0,26	0,23	0,21	0,19
	45	1,40	0,38	0,32	0,28	0,25	0,22	0,20	0,18
	60	1,16	0,36	0,31	0,27	0,24	0,21	0,19	0,18
	80	0,87	0,33	0,28	0,25	0,22	0,20	0,18	0,17

POD NA TLU			POD NA TLU TOPLINSKI IZOLIRAN ŽBUKOM (ETICS SUSTAV, kamena vuna)						
materijal	d [cm]	U [W/m <sup>2</sup> K]	d=8 cm	d=10 cm	d=12 cm	d=14 cm	d=16 cm	d=18 cm	d=20 cm
KARAKTERISTIČNA VANJSKA OVOJNICA DO 1970.g.			U, [W/m <sup>2</sup> K]						
POD NA TLU (obostrano ožbukana)	17	2,67	0,42	0,35	0,30	0,26	0,23	0,20	0,19
STROP PREMA NEGRIJANOM TAVANU ILI PODRUMU			STROP PREMA NEGRIJANOM TAVANU toplinski izoliran						
materijal	d [cm]	U [W/m <sup>2</sup> K]	d=8 cm	d=10 cm	d=12 cm	d=14 cm	d=16 cm	d=18 cm	d=20 cm
KARAKTERISTIČNA VANJSKA OVOJNICA DO 1970.g.			U, [W/m <sup>2</sup> K]						
Drveni strop 40 cm s ispunom od pijeska ili šute, obloga od punih opečnih elemenata 6 cm	50	1,16	0,33	0,28	0,25	0,22	0,20	0,18	0,16
Puna opeka (obostrano) ožbukana)	35	1,46	0,38	0,32	0,28	0,24	0,22	0,20	0,18
KOSI KROV (STAMBENI PROSTOR ISPOD KROVA)			STROP PREMA NEGRIJANOM TAVANU toplinski izoliran						
materijal	d [cm]	U [W/m <sup>2</sup> K]	d=8 cm	d=10 cm	d=12 cm	d=14 cm	d=16 cm	d=18 cm	d=20 cm
KARAKTERISTIČNA VANJSKA OVOJNICA OD 1970.g.			U, [W/m <sup>2</sup> K]						
Drvene grede ispunjene t.i. 5 cm	7,5	0,63	0,27	0,24	0,21	0,19	0,18	0,16	0,15
Opečni elementi + betonska ploča	d= 20 cm (14+6)	1,92	0,40	0,33	0,28	0,25	0,22	0,20	0,18
Beton iznutra ožbukan	16	4,05	0,44	0,36	0,30	0,26	0,23	0,20	0,18

Koeficijent prolaska topline za prozor preuzet je iz priručnika [37] za 1-struko ostakljenje (4 mm) bez brtvljenja s drvenim okvirom i iznosi 5,2 W/m<sup>2</sup>K.

Proračun je proveden u računalnom programu „IntegraCAD“ koji koristi normu HRN EN 12831. Prikazana je samo glavna jednadžba za proračun projektnog toplinskog opterećenja grijanja za svaku prostoriju i glasi:

$$\Phi_{HL,i} = \Phi_{T,i} + \Phi_{V,i} + \Phi_{RH,i} \quad (4.1)$$

$\Phi_{T,i}$  - transmisijski gubici topline prostorije [W]

$\Phi_{V,i}$  - ventilacijski gubici topline prostorije [W]

$\Phi_{RH,i}$  - toplina za zagrijavanje zbog prekida grijanja [W]

Kao ulazni podatak za proračun potrebne su unutarnje projektne temperature prostorija, koja je odabrana u skladu sa normom HRN EN 12831 [38]. Vanjska projektna temperatura i središnja godišnja temperatura odabrana je za grad Zagreb-Grič [39].

$\vartheta_{\text{int}}$  unutarnja projektna temperatura  $\vartheta_{\text{int}} = 20$  [°C]

$\vartheta_e$  vanjska projektna temperatura  $\vartheta_{\text{int}} = -9,8$  [°C]

$\bar{\vartheta}_e$  srednja godišnja vanjska temperatura  $\bar{\vartheta}_e = 12,6$  [°C]

Uvedene su sljedeće pretpostavke:

- jako zaklonjena zgrada
- obiteljska zgrada
- stupanj zabrtvljenosti je srednji
- teška konstrukcija (debeli zidovi)
- broj izmjena zraka je  $n_{50} = 4 \text{ h}^{-1}$

#### 4.2.1. Blok 19 prije obnove

Rezultati proračuna prikazani su u Tablica 2.

**Tablica 2. Rezultati proračuna toplinskih gubitaka**

Etaža	Transmisijski toplinski gubici [W]	Ventilacijski toplinski gubici [W]	Gubici prekida grijanja [W]	Ukupni toplinski gubici [W]
<b>Prizemlje</b>	23.996	5.713	1.600	31.309
<b>Kat 1</b>	8.407	5.713	1.600	15.720
<b>Kat 2</b>	8.407	5.713	1.600	15.720
<b>Krov</b>	9.188	2.856	1.600	13.644

Ukupni projektne toplinski gubici u grijanju za karakterističnu zgradu iznose:

$$\Phi_{HL,z} = 76\,393 \text{ W}$$

Neto korisna površina zgrade je:

$$A_{k,z} = 640 \text{ m}^2$$

Ukupni projektni toplinski gubici po jedinici površine iznose:

$$q_{HL,z} = \frac{\Phi_{HL,z}}{A_{k,z}} \quad (4.2)$$

$$q_{HL,z} = \frac{76\,393}{640} = 119,36 \text{ W/m}^2$$

Ukupno toplinsko opterećenje bloka:

$$\Phi_{HL} = q_{HL,z} A_k \quad (4.3)$$

$$\Phi_{HL} = 119,36 * 46024 = 5.493.612 \text{ W}$$

#### 4.2.2. Bloka 19 nakon obnove

Ako bi se implementirao učinkovit, sofisticiran sustav daljinskog grijanja, obnovio bi se i sustav predaje te sama ovojnica Bloka 19. Zato će se proračun provesti i za obnovljenu ovojnicu.

Za obnovu ovojnice odabrana je kamena vuna kao izolacija debljine 10 cm na podu, 12 cm na zidovima i 14cm na krovu. Prozori imaju 2-struko izolacijsko staklo (4/16/4 mm) s plinovitim punjenjem, premazom niske emisije i 3-strukim brtvljenjem. U tablici su prikazane maksimalne dopuštene vrijednosti koeficijenata prolaska topline prema («Narodne novine«, broj 128/2015).

**Tablica 3. Koeficijenti prolaska topline za obnovljenu ovojnicu [37]**

Vrsta	U (W/m <sup>2</sup> K)	Tehnički propis U (W/m <sup>2</sup> K)
Vanjski zid	0,3	0,3
Pod prema tlu	0,350	0,4
Krov	0,25	0,25
Prozor	1,40	1,60

Rezultati su prikazani u Tablica 4.

**Tablica 4. Rezultati proračuna toplinskih gubitaka – obnovljena ovojnica**

Etaža	Transmisijski toplinski gubici [W]	Ventilacijski toplinski gubici [W]	Gubici prekida grijanja [W]	Ukupni toplinski gubici [W]
<b>Prizemlje</b>	3576	5713	1120	10409
<b>Kat 1</b>	1737	5713	1120	8570
<b>Kat 2</b>	1737	5713	1120	8570
<b>Krov</b>	1399	2856	1120	5375

Ukupni projektni toplinski gubici za karakterističnu zgradu sa obnovljenom ovojnicom iznose:

$$\Phi_{HL,z} = 32.924 \text{ W}$$

$$q_{HL,z} = \frac{32924}{640} = 51,44 \text{ W/m}^2$$

Ukupno toplinsko opterećenje bloka za obnovljenu ovojnicu iznosi:

$$\Phi_{HL} = 51,44 * 46024 = 2.367.596 \text{ W}$$

#### 4.2.3. Ogrjevni učin pripreme PTV

Proračun iz [37] za potreban ogrjevni učin pripreme PTV, temelji se na maksimalnoj potrebi za toplom vodom za vrijeme jednoga sata koji uzima u obzir broj tuševa i istovremenost korištenja  $\varphi$ . Potrošnja se pretpostavlja od 50 litara pa tuširanju. Vrijednosti faktora istovremenosti  $\varphi$  se određuje iskustveno ili približno iz tablice 5.15 iz [37]. Broj tuševa se pretpostavlja da je jedan na 80 m<sup>2</sup> što je ukupno 575 tuševa u Bloku 19.

$$\Phi_{PTV} = 3,5 \varphi n_t \quad (4.4)$$

$\varphi$  – faktor istovremenosti, uzima se  $\varphi = 0,2$  [-]

$n_k$  – broj tuševa

$$\Phi_{PTV} = 3,5 * 0,2 * 575 = 402,5 \text{ kW}$$



Opskrba PTVom je zamišljena tako da su spremnici PTV spojeni na CTS s kojim izmjenjuju toplinu u izmjenjivaču blizu spremnika. Spremnici se nalazi u podstanicama koje su raspoređene po Bloku i opskrbljuju dio zgrada/kuća.

### 4.3. Proračun rashladnog opterećenja Bloka 19

Proračun rashladnog opterećenja će se provesti samo za obnovu Bloka 19 jer za postojeći sustav predaje topline nije moguće implementirati hlađenje prostorija. Proračun je proveden u računalnom programu „IntegraCAD“ koji koristi normu VDI 2078. Program računa rashladno opterećenje za karakterističan (projektni) dan (23. srpnja). Program uzima u obzir vanjsko i unutarnje toplinsko opterećenje, kao što toplinski dobitci od rasvjete, ljudi, uređaja, transmisijom kroz vanjske zidove i krov, solarni toplinski dobitci kroz prozore. Ulazni parametri kao što su dimenzije zidova i koeficijenti prolaza topline navedeni su u proračunu grijanja.

Rezultate proračuna mogu se vidjeti u Tablica 5.

**Tablica 5. Toplinski dobitci po prostorijama**

Etaža	Ukupni toplinski dobitci [W]
Prizemlje	6.601
Kat 1	6.601
Kat 2	6.601
Krov	4.478
<b>Ukupno</b>	<b>24.281</b>

Ukupno rashladno opterećenje za karakterističnu zgradu iznose:

$$\Phi_{CL,z} = 24.281 \text{ W}$$

Neto korisna površina zgrade je:

$$A_{k,z} = 640 \text{ m}^2$$

Rashladno opterećenje po jedinici površine iznose:

$$q_{CL,z} = \frac{\Phi_{CL,z}}{A_{k,z}} \quad (4.5)$$

$$q_{CL,z} = \frac{24\,281}{640} = 37,94 \text{ W/m}^2$$

Ukupno rashladno opterećenje Bloka:

$$\Phi_{CL} = q_{CL,z} A_k \quad (4.6)$$

$$\Phi_{CL} = 37,94 * 46024 = 1.746.141 \text{ W}$$

## 5. DIMENZIONIRANJE CENTRALNOG TOPLINSKOG SUSTAVA

### 5.1. Proračun dizalice topline

Temperaturni režim ogrjevnog medija u sustavu grijanja iznosi 80/65 °C za neobnovljenu ovojnicu, a za obnovljenu ovojnicu iznosi 65/55 °C. Toplinski izvor koji nam je na raspolaganju je podzemna voda konstantne temperature 13,5 °C. Između podzemne vode i kruga dizalice topline postavljen je sekundarni krug vode. Temperatura vode na ulazu u međuizmjenjivač je 6 °C, a na izlazu je 10 °C. Za sustav nakon obnove Bloka odabrana je jednostupanjska kompresija iz razloga što je manja razlika između temperature polaza i povrata te je potreba za manje složenim sustavom ekonomski opravdana. Postoje primjeri u praksi za sustave koji imaju slične uvjete rada kao što je dizalica topline morska voda –voda ugrađena u Norveškom gradu Stavangeru za grijanje poslovno-stambenog naselja Byfjordparken [40].

Sve vrijednosti termodinamičkih svojstava radne tvari, vode i glikolne smjese određene su pomoću računalnog programa Microsoft Excel i računalnog dodatka CoolProp.

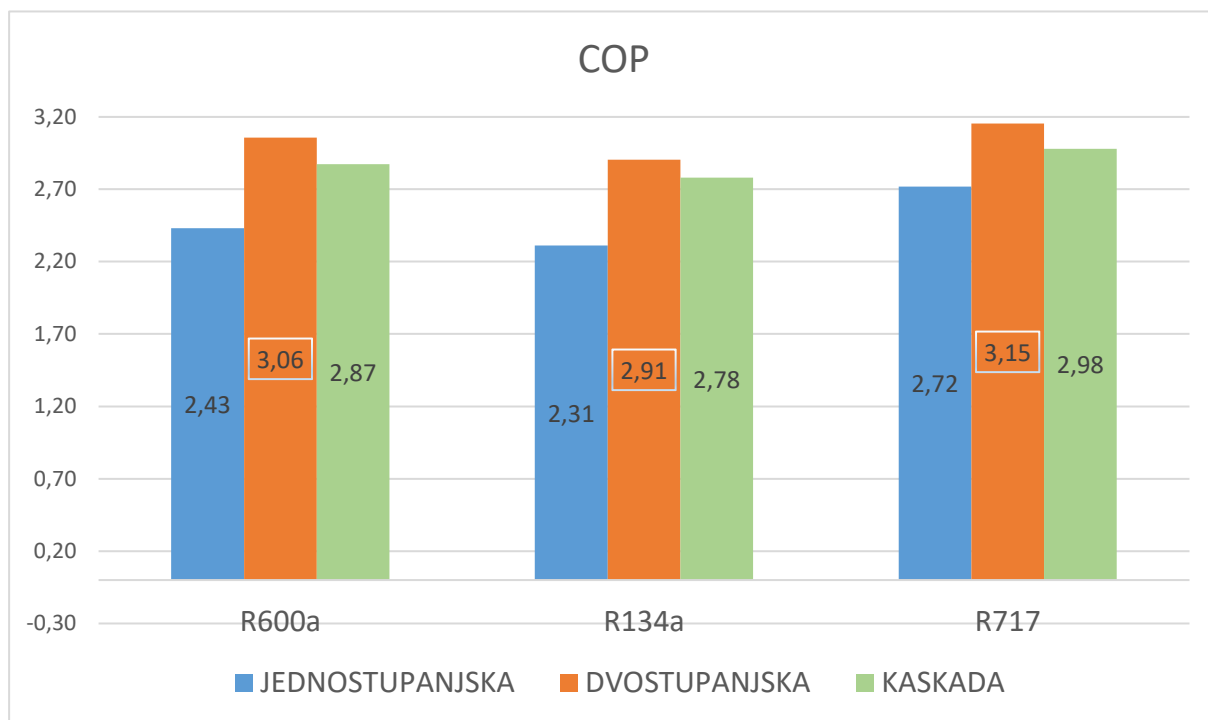
Za sustav prije obnove Bloka, napravila se analiza sljedećih sustava:

- jednostupanjska kompresija
- dvostupanjska kompresija
- kaskadna dizalica

Za analizu svi sustavi imaju iste navedene parametre:

- Temperatura isparavanja (kod kaskade donji krug)  $\vartheta_i = 4 \text{ °C}$
- Temperatura kondenzacije (kod kaskade gornji krug)  $\vartheta_k = 82 \text{ °C}$
- Pothlađenje na kondenzatoru  $\Delta\vartheta_{pot} = 3 \text{ °C}$
- Pregrijanje na isparivaču  $\Delta\vartheta_{pre} = 4 \text{ °C}$

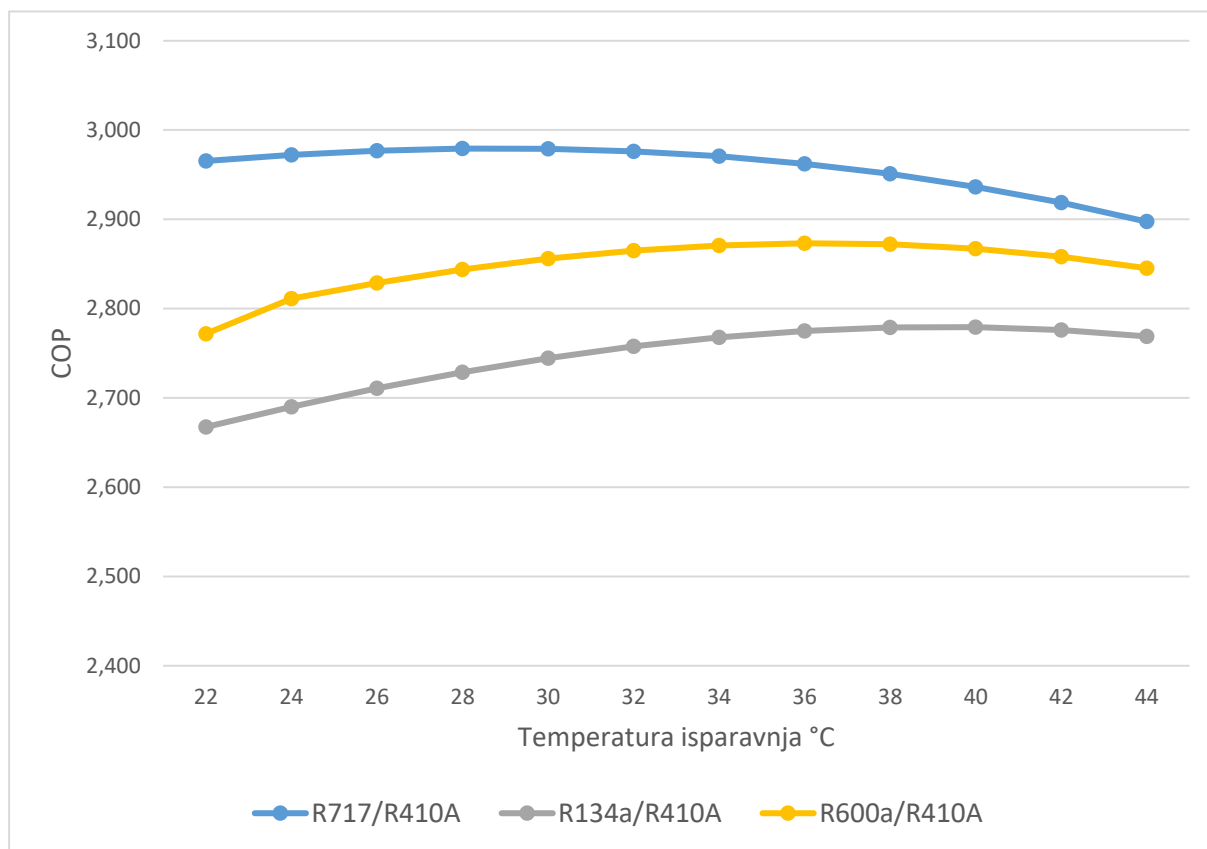
Izentropski stupanj djelovanja kompresora iznosi 0,75, a za jednostupanjsku kompresiju uzet je manji izentropski stupanj djelovanja 0,68 zbog većeg omjera tlakova koje kompresor mora savladati. Kod radne tvari R717 (amonijak) nije predviđeno pregrijanje radne tvari. Na Slika 18. možemo vidjeti vrijednosti COP-a za različite izvedbe dizalice topline. Za kaskadni sustav, radna tvar za donji krug je R410A.



**Slika 18. Usporedba COP za različite sustave dizalica topline**

(Napomena: zbog tehničkih razloga jednostupanjska kompresija pri navedenim uvjetima nije ostvariva)

Kod kaskadnog sustava treba obratiti pozornost pri odabiru temperature isparavanja/kondenzacije u zajedničkom izmjenjivaču topline. Da bi se uspješno izmijenila sva toplina između radnih tvari, a da pritom površine izmjenjivača ne budu prevelike, razlika temperature isparavanja (RT gornjeg kruga) i kondenzacija (RT donjeg kruga) iznosi 3 °C. Na Slika 19. možemo vidjeti da optimalna temperatura isparavanja ovisi o odabiru radnih tvari, odnosno ona iznosi za R717/R410A 28 °C, dok za R134a/R410A iznosi 38 °C.



**Slika 19. Ovisnost COP-a o temperaturi isparavanja za različite parove radnih tvari u kaskadnom sustavu.**

### 5.1.1. Dvostupanjska kompresija - prije obnove

Prema procjeni toplinskog opterećenja bloka on iznosi 5.493.612 kW. Učin kondenzatora je uvećan još za potreban učin PTV. Odabrane su četiri dizalice topline, svaka učinka grijanja 1500 kW. Sustav dizalice topline izveden je kao dvostupanjska kompresija s mješalištem zbog velike razlike temperatura izvora i ponora topline, a samim time i tlakova, te se ostvaruje najveći COP za iste parametre.

Kao radna tvar odabran je amonijak. Amonijak gledajući s energetskog i ekološkog stajališta gotovo nezamjenjiv u industrijskim postrojenjima. Utjecaj amonijaka na okoliš je zanemariv, nema utjecaja na razgradnju okoliša ( $ODP = 0$ ) niti na efekt staklenika ( $GWP = 0$ ). Treba napomenuti da je otrovan u smjesi sa zrakom i jako korozivno djeluje na bakar uz najmanje prisustvo vlage [20].

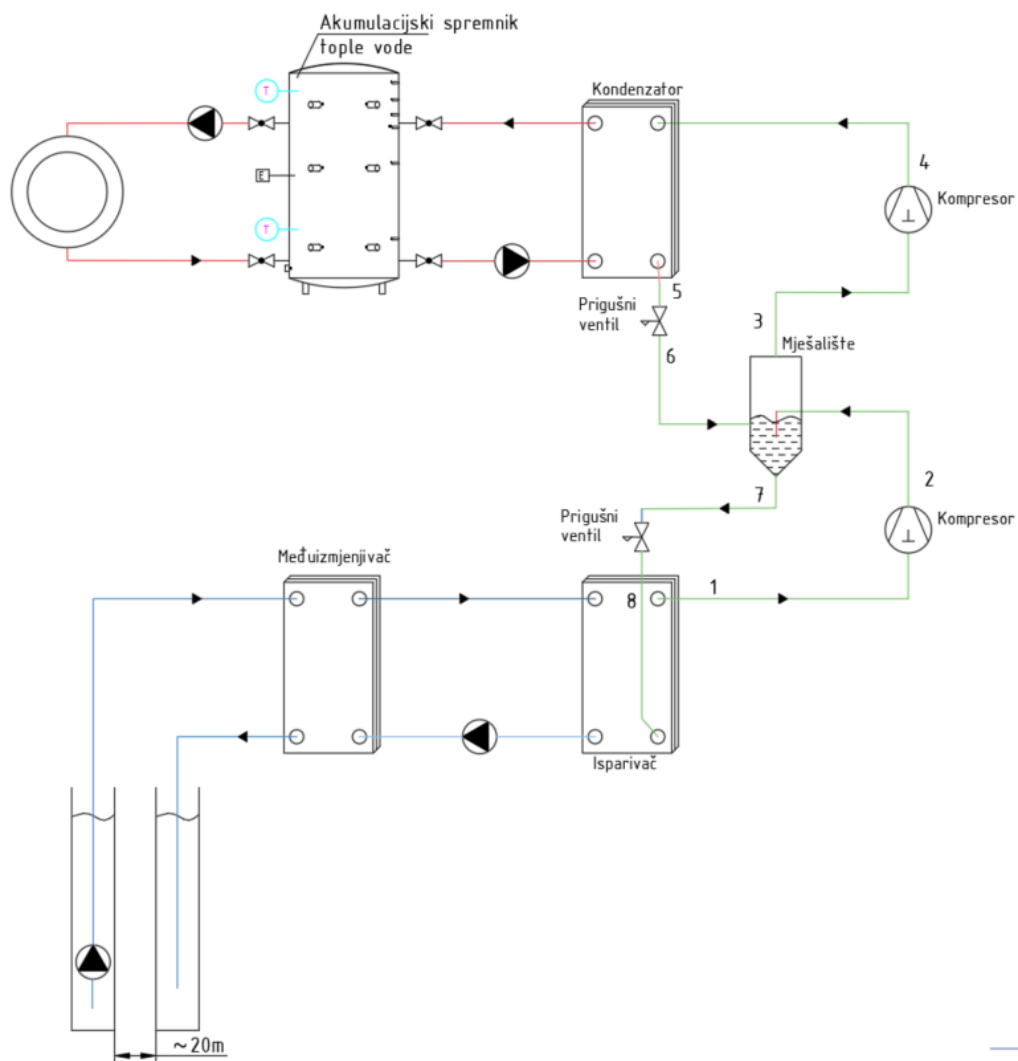
Ulazni podaci:

- Radna tvar: R717
- Temperatura isparavanja  $\vartheta_i = 4\text{ }^\circ\text{C}$
- Temperatura kondenzacije  $\vartheta_k = 82\text{ }^\circ\text{C}$
- Pothlađenje na kondenzatoru  $\Delta\vartheta_{pot} = 3\text{ }^\circ\text{C}$
- Pregrijanje na isparivaču  $\Delta\vartheta_{pre} = 0\text{ }^\circ\text{C}$
- Izentropski stupanj djelovanja  $\eta = 0,75$

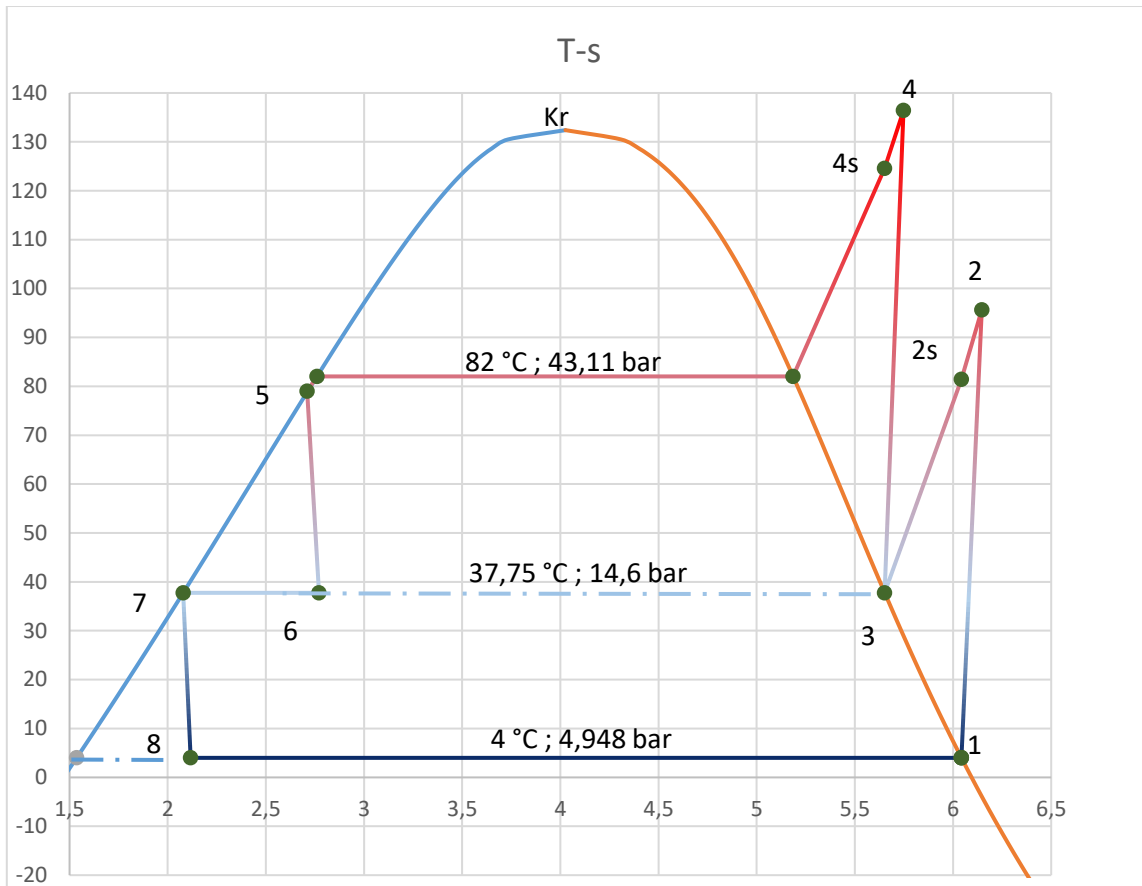
Optimalni međutlak:

$$p_m = \sqrt{p_i p_k} \quad (5.1)$$

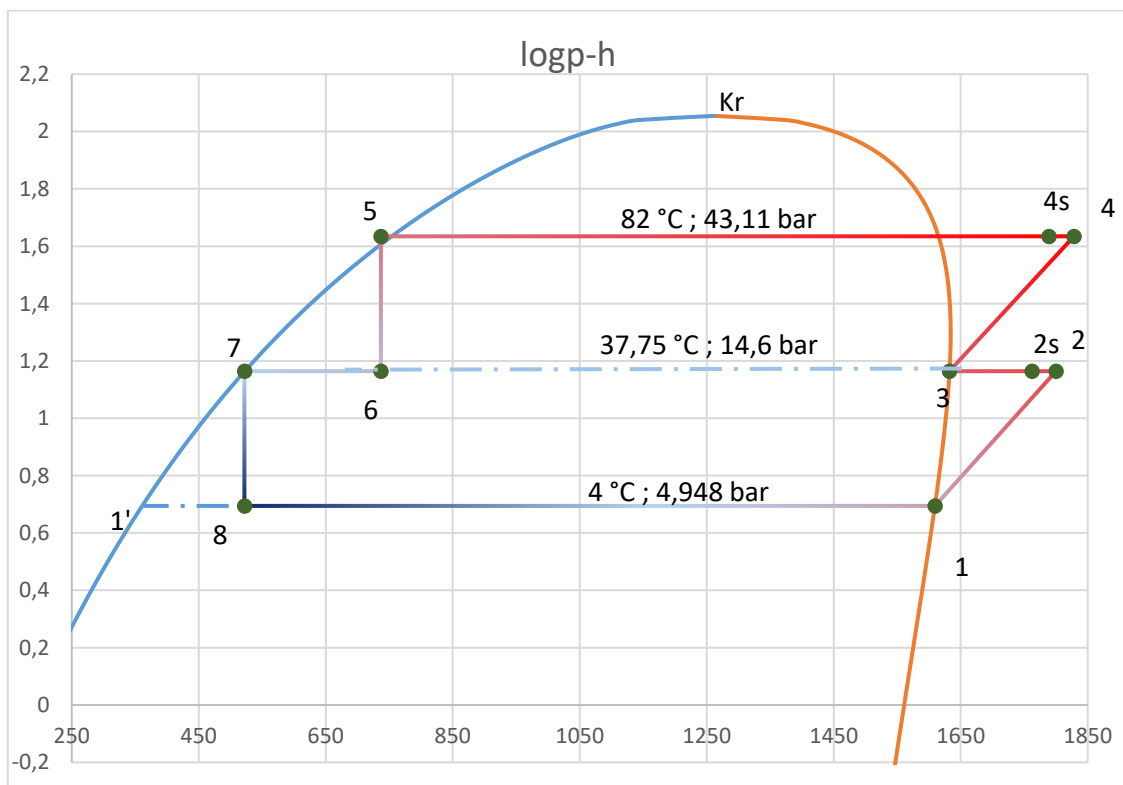
Na Slika 20 nalazi se shema dizalice topline u režimu grijanja.



Slika 20. Shema kaskadne dizalice topline u režimu grijanja



Slika 21. Karakteristične točke u T-s dijagramu (dvostupanjska)



Slika 22. Karakteristične točke u log(p)-h dijagramu (dvostupanjska)

Nakon definiranja radnih parametara, karakteristične točke prikazane su u Tablica 6.

**Tablica 6. Veličine stanje za karakteristične točke**

točka	$\vartheta$ , °C	p, bar	h, kJ/kg	s, kJ/(kgK)
1'	4	4,948	361,0	1,5361
1''	4	4,948	1609,4	6,043
1	4	4,948	1609,4	6,043
2	100,5	14,60	1813,0	6,1807
2s	81	14,60	1762,1	6,043
3	37,75	14,60	1632,4	5,6522
4	140,5	43,11	1841,5	5,7799
4s	125	43,11	1789,2	5,6522
4''	82,00	43,11	1615,1	5,1856
4'	82,00	43,11	754,0	2,76
5	79	43,11	736,7	2,7109
6	37,75	14,60	736,7	2,7697
7	37,75	14,60	521,9	2,0787
8	4	4,948	521,9	2,1171

Točka 2:

$$\eta = \frac{h_{2s} - h_1}{h_2 - h_1} \quad (5.2)$$

$$h_2 = h_1 + \frac{h_{2s} - h_1}{\eta}$$

Postupak za točku 4 je isti kao za točku 2.

Točka 6:

$$s_6 = s_{4'} + (s_{4''} - s_{4'}) \frac{h_6 - h_{4'}}{h_{4''} - h_{4'}} \quad (5.3)$$

Postupak za točku 8 je isti kao za točku 6.

Učin kondenzatora

$$\Phi_k = \frac{\Phi_{HL} + \Phi_{PTV}}{4} = 1474,3 \approx 1500 \text{ kW}$$

$$\Phi_k = q_{mg}(h_4 - h_5) = 1500 \text{ kW} \quad (5.4)$$

Maseni protok radne tvari gornjega kruga:

$$q_{mg} = \frac{\Phi_k}{h_4 - h_5} = 1,358 \text{ kg/s}$$

Bilanca energije u mješalištu

$$q_{md}h_2 + q_{mg}h_6 = q_{mg}h_3 + q_{md}h_7 \quad (5.5)$$

Maseni protok radne tvari donjeg kruga:

$$q_{md} = q_{mg} \frac{h_3 - h_6}{h_2 - h_7} = 0,942 \text{ kg/s}$$

Učin isparivača:

$$\Phi_i = q_{md}(h_1 - h_8) = 1024,33 \text{ kW} \quad (5.6)$$

Snaga kompresora gornjega kruga:

$$P_{kg} = q_{mg}(h_4 - h_3) = 283,94 \text{ kW} \quad (5.7)$$

Snaga kompresora donjeg kruga:

$$P_{kd} = q_{md}(h_2 - h_1) = 191,73 \text{ kW} \quad (5.8)$$

Faktor grijanja:

$$COP = \frac{\Phi_k}{P_{kg} + P_{kd}} = \frac{1500}{283,94 + 191,73} = 3,153 \quad (5.9)$$

- Temperatura polaza vode za grijanje  $\vartheta_{pol} = 80 \text{ }^\circ\text{C}$
- Temperatura povrata vode za grijanje  $\vartheta_{pov} = 65 \text{ }^\circ\text{C}$

Srednja temperatura vode za grijanje:

$$\vartheta_{sr} = \frac{\vartheta_{pol} + \vartheta_{pov}}{2} = 72,5 \text{ }^\circ\text{C} \quad (5.10)$$



Termodinamička svojstva vode za grijanje pri srednjoj temperaturi 72,5 °C

$$\begin{aligned} \text{gustoća} & \rho = 976,32 \text{ kg/m}^3 \\ \text{specifični toplinski kapacitet} & c = 4,1916 \text{ kJ/(kgK)} \end{aligned}$$

$$\Phi_k = q_{mw}c(\vartheta_{pol} - \vartheta_{pov}) = 1500 \text{ kW} \quad (5.11)$$

Maseni protok vode za grijanje:

$$\begin{aligned} q_{mw} &= \frac{\Phi_k}{c(\vartheta_{pol} - \vartheta_{pov})} = 23,86 \text{ kg/s} \\ q_{vw} &= \frac{q_{mw}}{\rho} = 0,02444 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} = 87,97 \text{ m}^3/\text{h} \end{aligned} \quad (5.12)$$

- Temperatura vode na ulazu u međuizmjenjivač  $\vartheta_{wmu} = 6 \text{ °C}$
- Temperatura vode na izlazu iz međuizmjenjivač  $\vartheta_{wmi} = 10 \text{ °C}$

Termodinamička svojstva vode pri srednjoj temperaturi 8 °C

$$\begin{aligned} \text{gustoća} & \rho = 999,85 \text{ kg/m}^3 \\ \text{specifični toplinski kapacitet} & c = 4,199 \text{ kJ/(kgK)} \end{aligned}$$

$$\Phi_i = q_{mwm}c(\vartheta_{wmi} - \vartheta_{wmu}) = 1024,33 \text{ kW} \quad (5.13)$$

Maseni protok vode:

$$\begin{aligned} q_{mwm} &= \frac{\Phi_i}{c(\vartheta_{wmi} - \vartheta_{wmu})} = 61,0 \text{ kg/s} \\ q_{vwm} &= \frac{q_{mwm}}{\rho} = 0,061 \text{ m}^3/\text{s} = 219,6 \text{ m}^3/\text{h} \end{aligned}$$

- temperatura podzemne vode  $\vartheta_{pod} = 13,5 \text{ °C}$
- promjena temperature podzemne vode u međuizmjenjivaču  $\Delta\vartheta_{pod} = 4 \text{ °C}$

Termodinamička svojstva podzemne vode pri srednjoj temperaturi 11,5 °C

$$\begin{aligned} \text{Gustoća} & \rho = 999,55 \text{ kg/m}^3 \\ \text{Specifični toplinski kapacitet} & c = 4,193 \text{ kJ/(kgK)} \end{aligned}$$

$$\Phi_{mi} = \Phi_i = q_{mpod} c \Delta\vartheta_{pod} = 1024,3 \text{ kW} \quad (5.14)$$

Maseni protok podzemne vode:

$$q_{mpod} = \frac{\Phi_{mi}}{c \Delta\vartheta_{pod}} = 61,08 \text{ kg/s}$$

$$q_{vpod} = \frac{q_{mpod}}{\rho} = 0,0611 \text{ m}^3/\text{s} = 219,97 \text{ m}^3/\text{h}$$

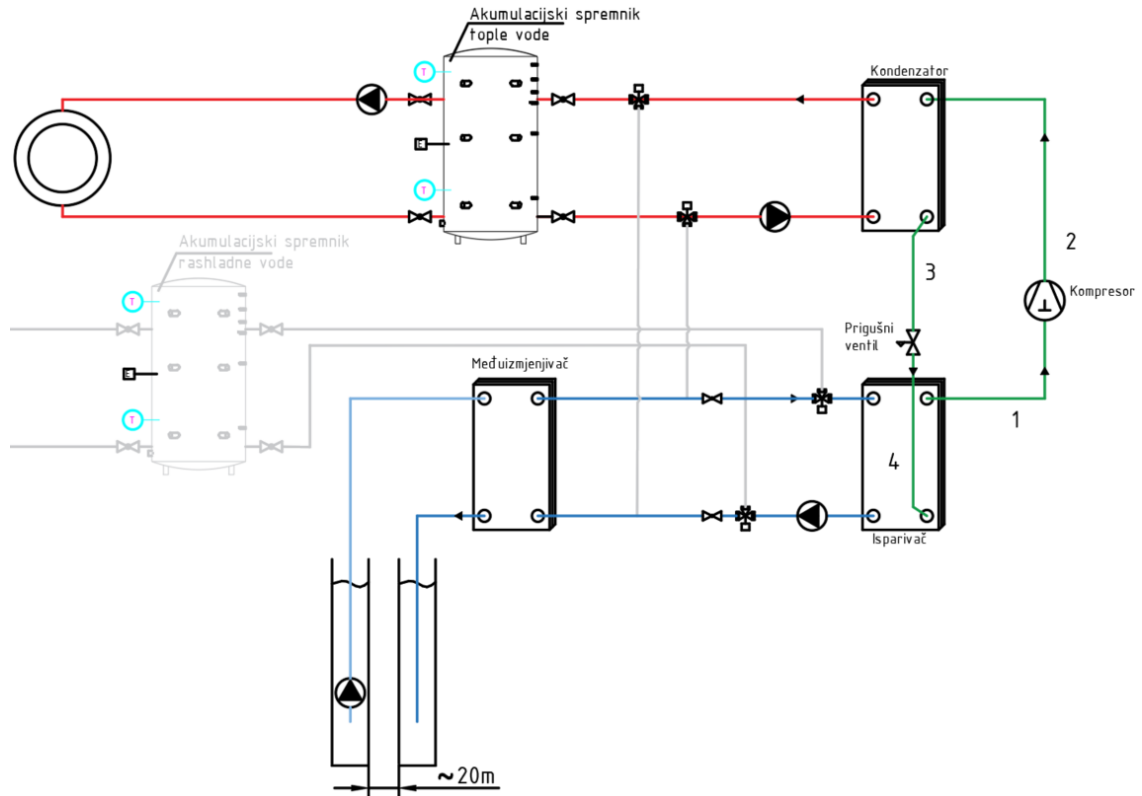
### 5.1.2. Bloka 19 nakon obnove

Kao radna tvar odabran je ugljikovodik izobutan R600a. Utjecaj izobutana na okoliš je zanemariv, nema utjecaja na razgradnju okoliša ( $ODP = 0$ ) i gotovo zanemarivo pridonosi globalnom zatopljenju ( $GWP = 3$ ). Budući da su ugljikovodici zapaljivi postoji određeni stupanj zabrinutosti pri njihovim korištenjem. Međutim, danas se dobro poznaje kako sa njim treba postupiti pa je rizik jako mali. Oni se koriste u europskim zemljama već dugi niz godina [20].

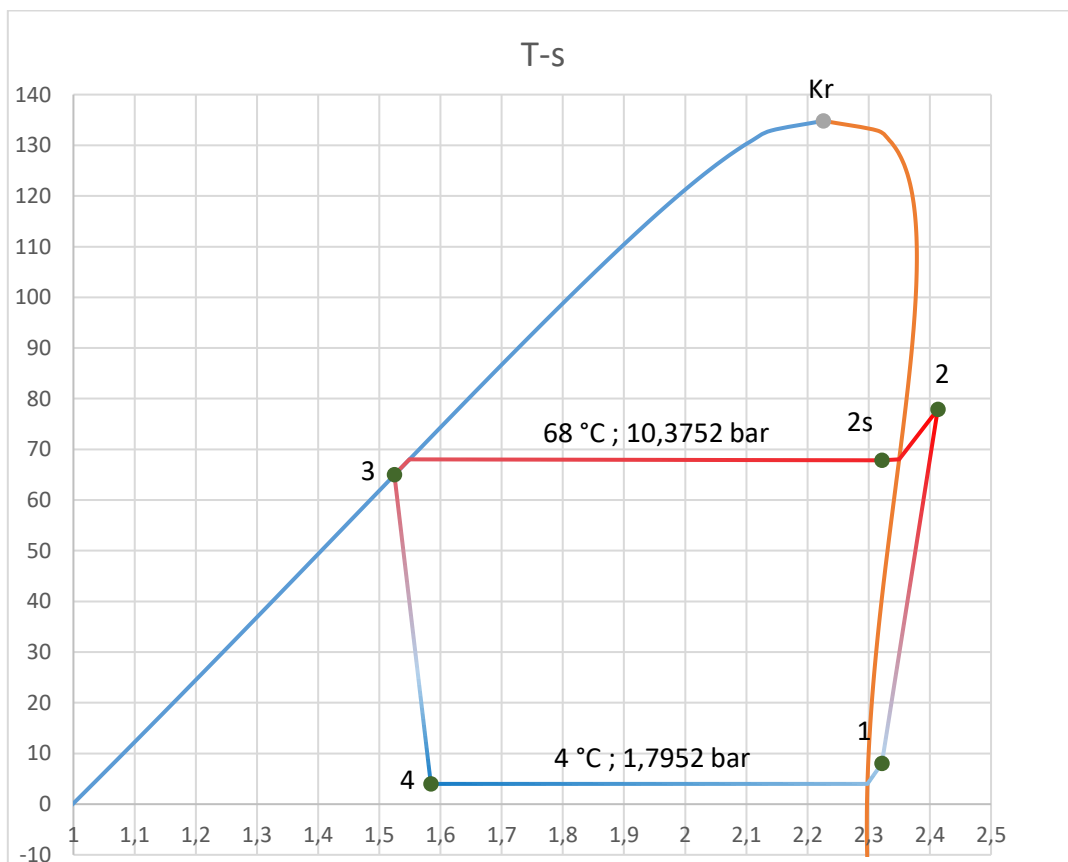
#### 5.1.2.1. Režim grijanja

Prema procjeni toplinskog opterećenja bloka on iznosi 2.367.596 W i 402,5 kW za pripremu PTV-a. Planirane su dvije dizalice topline te je toplinski učinak pojedinog kondenzatora jednak polovini ukupnog toplinskog opterećenja.

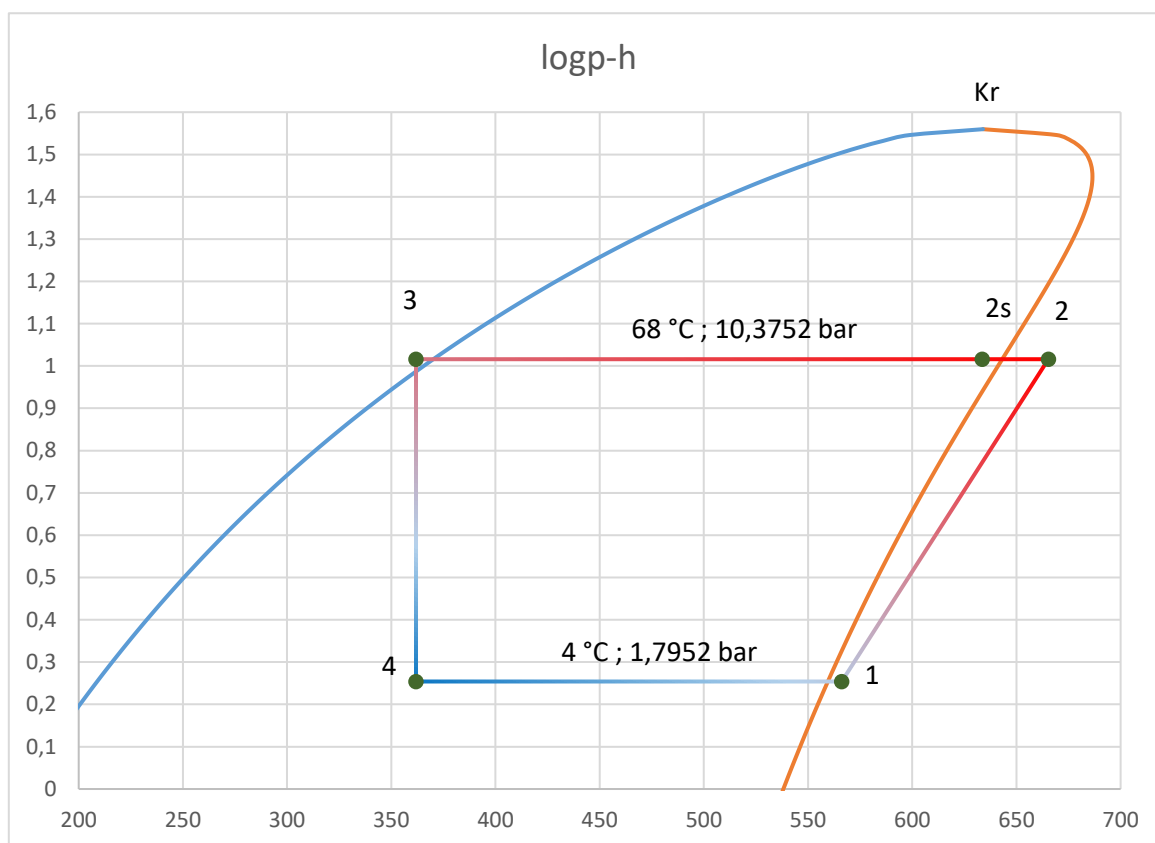
- Radna tvar: R600a
- Temperatura isparavanja  $\vartheta_i = 4 \text{ }^\circ\text{C}$
- Temperatura kondenzacije  $\vartheta_k = 68 \text{ }^\circ\text{C}$
- Pothlađenje na kondenzatoru  $\Delta\vartheta_{pot} = 3 \text{ }^\circ\text{C}$
- Pregrijanje na isparivaču  $\Delta\vartheta_{pre} = 4 \text{ }^\circ\text{C}$
- Izentropski stupanj djelovanja  $\eta = 0,68$



Slika 23. Shema jednostupanjske dizalice topline u režimu grijanja



Slika 24. Karakteristične točke u T-s dijagramu



Slika 25. Karakteristične točke u log(p)-h dijagramu

Nakon definiranja radnih parametara, karakteristične točke prikazane su u Tablica 6.

Tablica 7. Veličine stanje za karakteristične točke u režimu grijanja

točka	$\vartheta$ , °C	p, bar	h, kJ/kg	s, kJ/(kgK)
1'	4	1,7952	208,85	1,032
1''	4	1,7952	559,51	2,298
1	8	1,7952	<u>566,11</u>	2,3216
2	77,9	10,375	665,34	2,4129
2''	68	10,375	643,18	2,3498
2s	68	10,375	633,58	2,3216
2'	68	10,375	370,17	1,5491
3	65	10,375	361,86	1,5247
4	4	1,7952	361,86	1,5844

$$h_2 = h_1 + \frac{h_{2s} - h_1}{\eta}$$

$$s_4 = s_{1'} + (s_{1''} - s_{1'}) \frac{h_4 - h_{1'}}{h_{1''} - h_{1'}}$$

Učin kondenzatora:

$$\Phi_k = \frac{\Phi_{HL} + \Phi_{PTV}}{2} = \frac{2367,6 + 402,5}{2} = 1385,52 \text{ kW} \approx 1400 \text{ kW}$$

Maseni protok radne tvari:

$$q_m = \frac{\Phi_k}{h_2 - h_3} = 4,613 \text{ kg/s}$$

Učin isparivača:

$$\Phi_i = q_m(h_1 - h_4) = 942,3 \text{ kW}$$

Snaga kompresora:

$$P_k = q_m(h_2 - h_1) = 457,7 \text{ kW}$$

Faktor grijanja:

$$COP = \frac{\Phi_k}{P_k} = \frac{1400}{457,7} = 3,058$$

- temperatura polaza vode za grijanje  $\vartheta_{pol} = 65 \text{ }^\circ\text{C}$
- temperatura povrata vode za grijanje  $\vartheta_{pov} = 55 \text{ }^\circ\text{C}$

Termodinamička svojstva vode za grijanje pri srednjoj temperaturi  $60 \text{ }^\circ\text{C}$

gustoća	$\rho = 983,3 \text{ kg/m}^3$
specifični toplinski kapacitet	$c = 4,185 \text{ kJ/(kgK)}$

Maseni protok vode za grijanje:

$$q_{mw} = \frac{\Phi_k}{c(\vartheta_{pol} - \vartheta_{pov})} = 33,45 \text{ kg/s}$$

$$q_{vw} = \frac{q_{mw}}{\rho} = 0,03402 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} = 122,49 \text{ m}^3/\text{h}$$

- Temperatura vode na ulazu u međuizmjenjivač  $\vartheta_{wm,u} = 6 \text{ }^\circ\text{C}$
- Temperatura vode na izlazu iz međuizmjenjivač  $\vartheta_{wm,i} = 10 \text{ }^\circ\text{C}$

Termodinamička svojstva vode pri srednjoj temperaturi  $8 \text{ }^\circ\text{C}$

Gustoća  $\rho = 999,85 \text{ kg/m}^3$

Specifični toplinski kapacitet  $c = 4,19867 \text{ kJ/(kgK)}$

$$\Phi_i = q_{m,wm} c (\vartheta_{wm,i} - \vartheta_{wm,u}) = 942,26 \text{ kW}$$

Maseni protok vode:

$$q_{m,wm} = \frac{\Phi_i}{c(\vartheta_{wm,i} - \vartheta_{wm,u})} = 56,1 \text{ kg/s}$$

$$q_{v,wm} = \frac{q_{m,wm}}{\rho} = 0,05611 \text{ m}^3/\text{s} = 202 \text{ m}^3/\text{h}$$

- Temperatura podzemne vode  $\vartheta_{pod} = 13,5 \text{ }^\circ\text{C}$
- Promjena temperature podzemne vode u međuizmjenjivaču  $\Delta\vartheta_{pod} = 4 \text{ }^\circ\text{C}$

Termodinamička svojstva podzemne vode pri srednjoj temperaturi  $11,5 \text{ }^\circ\text{C}$

Gustoća  $\rho = 999,55 \text{ kg/m}^3$

Specifični toplinski kapacitet  $c = 4,1929 \text{ kJ/(kgK)}$

$$\Phi_{mi} = \Phi_i = q_{mpod} c \Delta\vartheta_{pod} = 942,26 \text{ kW}$$

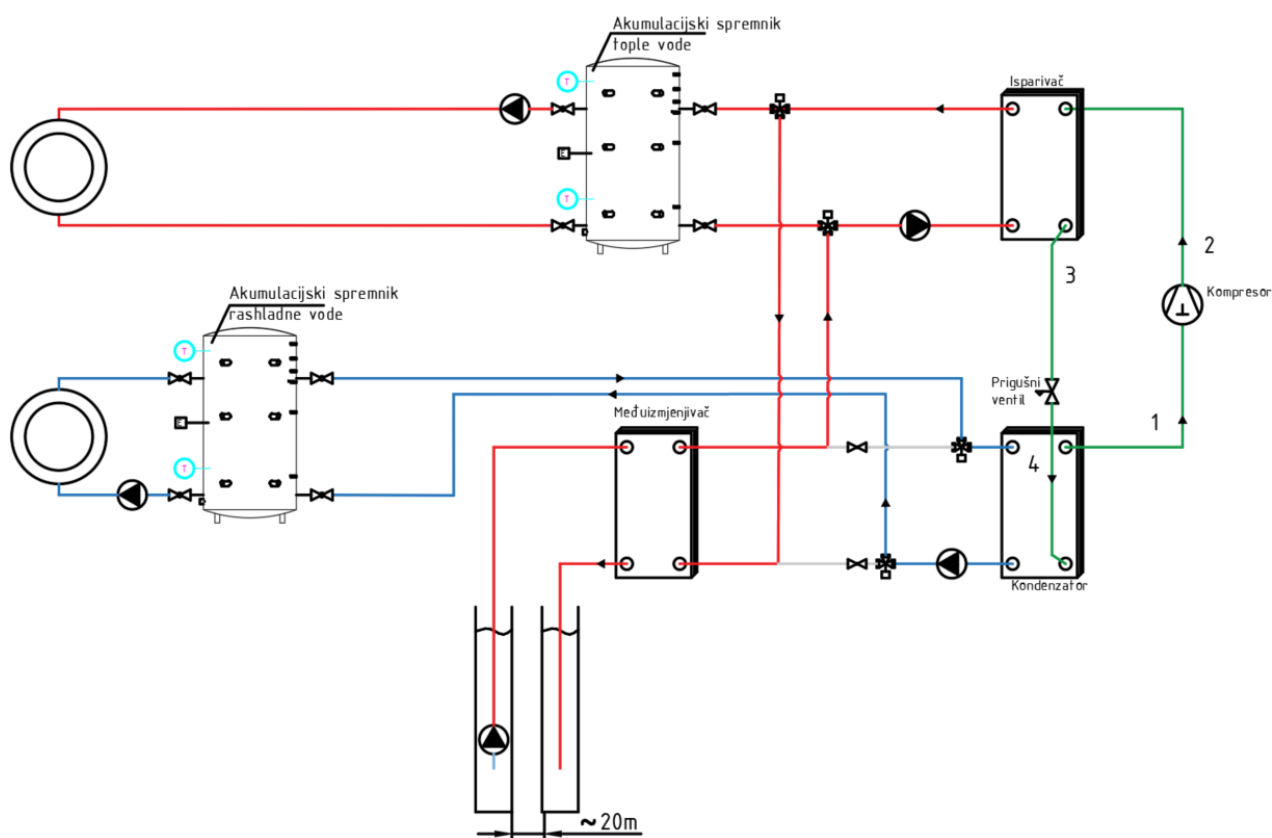
Maseni protok podzemne vode:

$$q_{mpod} = \frac{\Phi_{mi}}{c \Delta\vartheta_{pod}} = 56,18 \text{ kg/s}$$

$$q_{vpod} = \frac{q_{mpod}}{\rho} = 0,0562 \text{ m}^3/\text{s} = 202,346 \text{ m}^3/\text{h}$$

## 5.1.2.2. Režim hlađenja

CTS izveden je kao četvero cijevni sustav zbog mogućnosti istovremenog grijanja i hlađenja. Dizalica topline nema prekretni ventil na strani radne tvari odnosno ne mijenjaju se uloge izmjenjivača topline (kondenzatora i isparivača) pri promjeni režima. Režim hlađenja je izveden tako da voda koja struji između isparivača i međuzmjenjivača, ne ide više prema međuzmjenjivaču nego preko troputnih ventila ide prema spremniku rashladne vode. U režimu hlađenja pokriva se potrebna ogrjevna energija za pripremu PTV-a, a višak se vodi prema podzemnoj vodi koja služi kao toplinski ponor. Izlazni parametri su isti osim temperature isparavanja. Ona je nešto malo veća jer je temperaturni režim hlađenja 7/13 °C. Snaga učina isparivača jednaka je polovini procijenjenog rashladnog opterećenja bloka.



Slika 26. Shema jednostupanjske dizalice topline u režimu hlađenja

Dijagrami su slični kao i za režim grijanja koji su prikazani na Slika 24. i Slika 25.

Tablica 8. Veličine stanje za karakteristične točke u režimu hlađenja

točka	$\vartheta, ^\circ\text{C}$	$p, \text{bar}$	$h, \text{kJ/kg}$	$s, \text{kJ}/(\text{kgK})$
1'	5	1,8577	211,16	1,0403
1"	5	1,8577	560,85	2,2982
1	9	1,8577	567,48	2,3219
2	77,6	10,375	664,82	2,4114
2"	68	10,375	643,18	2,3498
2s	68	10,375	633,68	2,3219
2'	68	10,375	370,17	1,5491
3	65	10,375	361,86	1,5247
4	5	1,8577	361,86	1,5824

Učin isparivača:

$$\Phi_i = \frac{\Phi_{CL}}{2} = \frac{1746,141}{2} = 873,071 \approx 880 \text{ kW}$$

Maseni protok radne tvari:

$$q_m = \frac{\Phi_i}{h_1 - h_4} = 4,28 \text{ kg/s}$$

Učin kondenzatora:

$$\Phi_k = q_m(h_2 - h_1) = 1296,6 \text{ kW}$$

Snaga kompresora:

$$P_k = q_{mg}(h_2 - h_1) = 416,6 \text{ kW}$$

Faktor hlađenja:

$$\text{EER} = \frac{\Phi_i}{P_k} = \frac{880}{416,6} = 3,112$$

Kako je za režim grijanja veće toplinsko opterećenje, nije potrebno računati protoke za druge dijelove sustava jer ako će zadovoljiti za grijanje, zadovoljiti će i za hlađenje.



## 5.2. Cjevovodi

Za dimenzioniranje cjevovoda koristiti će se formula:

$$v_c = \frac{q_v}{A_c} \quad (5.15)$$

$$A_c = \frac{D_u^2 \pi}{4} \quad (5.16)$$

$v_c$  – Brzina fluida u cijevi

$q_v$  – Volumni protok

$A_c$  – Površina poprečnog presjeka cijevi

$D_u$  – Unutarnji promjer cijevi

### 5.2.1. Bloka 19 prije obnove

**Tablica 9. Usisni vod (isparivač-kompresorD)**

Maseni protok RT	0,9419	kg/s
Gustoća RT	3,952	kg/m <sup>3</sup>
Volumni protok	0,2383	m <sup>3</sup> /s
Dimenzija cijevi	DN	150
Stvarna brzina	13,49	m/s

**Tablica 10. Tlačni vod (kompresorD-mješalište)**

Maseni protok RT	0,9419	kg/s
Gustoća RT	8,582	kg/m <sup>3</sup>
Volumni protok	0,1098	m <sup>3</sup> /s
Dimenzija cijevi	DN	100
Stvarna brzina	13,75	m/s

**Tablica 11. Usisni vod (mješalište-kompresorG)**

Maseni protok RT	1,3576	kg/s
Gustoća RT	11,253	kg/m <sup>3</sup>
Volumni protok	0,1207	m <sup>3</sup> /s
Dimenzija cijevi	DN	100
Stvarna brzina	15,12	m/s

**Tablica 12. Tlačni vod (kompresorG-kondenzator)**

Maseni protok RT	1,3576	kg/s
Gustoća RT	24,911	kg/m <sup>3</sup>
Volumni protok	0,0545	m <sup>3</sup> /s
Dimenzija cijevi	DN	80
Stvarna brzina	10,20	m/s

**Tablica 13. Vod kondenzator-mješalište**

Maseni protok RT	1,3576	kg/s
Gustoća RT	508,48	kg/m <sup>3</sup>
Volumni protok	0,0027	m <sup>3</sup> /s
Dimenzija cijevi	DN	65
Stvarna brzina	0,69	m/s

**Tablica 14. Mješalište-isparivač**

Maseni protok RT	0,9419	kg/s
Gustoća RT	583,29	kg/m <sup>3</sup>
Volumni protok	0,0016	m <sup>3</sup> /s
Dimenzija cijevi	DN	50
Stvarna brzina	0,78	m/s

Dimenzije ostalih cijevi

**Tablica 15. Voda za grijanje**

Maseni protok vode	23,86	kg/s
Gustoća vode za grija	976,3	kg/m <sup>3</sup>
Volumni protok vode	0,0244	m <sup>3</sup> /s
Odabrana cijev	DN	200
Stvarna brzina	0,748	m/s

**Tablica 16. Sekundarni krug vode**

Maseni protok vode	60,99	kg/s
Gustoća vode	999,9	kg/m <sup>3</sup>
Volumni protok vode	0,0610	m <sup>3</sup> /s
Odabrana cijev	DN	300
Stvarna brzina	0,846	m/s

**Tablica 17. Podzemna voda-usis**

Maseni protok vode	61,08	kg/s
Gustoća vode	999,6	kg/m <sup>3</sup>
Volumni protok vode	0,0611	m <sup>3</sup> /s
Odabrana cijev	DN	250
Stvarna brzina	1,202	m/s

**Tablica 18. Podzemna voda-povrat**

Maseni protok vode	30,54	kg/s
Gustoća vode	999,6	kg/m <sup>3</sup>
Volumni protok vode	0,0306	m <sup>3</sup> /s
Odabrana cijev	DN	150
Stvarna brzina	1,053	m/s

**5.2.2. Bloka 19 nakon obnove**

Cijevi će se dimenzionirati u režimu grijanja zbog većeg toplinskog opterećenja.

**Tablica 19. Usisni vod (isparivač-kompresor)**

Maseni protok RT	4,6132	kg/s
Gustoća RT	4,743	kg/m <sup>3</sup>
Volumni protok	0,9727	m <sup>3</sup> /s
Dimenzija cijevi	DN	300
Stvarna brzina	13,49	m/s

**Tablica 20. Tlačni vod (kompresor-kondenzator)**

Maseni protok RT	4,6132	kg/s
Gustoća RT	25,408	kg/m <sup>3</sup>
Volumni protok	0,1816	m <sup>3</sup> /s
Dimenzija cijevi	DN	150
Stvarna brzina	10,27	m/s

**Tablica 21. Vod kondenzator/isparivač**

Maseni protok RT	4,6132	kg/s
Gustoća RT	495,266	kg/m <sup>3</sup>
Volumni protok	0,0093	m <sup>3</sup> /s
Dimenzija cijevi	DN	125
Stvarna brzina	0,76	m/s

Dimenzije ostalih cijevi

**Tablica 22. Voda za grijanje**

Maseni protok vode	33,45	kg/s
Gustoća vode	983,2	kg/m <sup>3</sup>
Volumni protok vode	0,034	m <sup>3</sup> /s
Odabrana cijev	DN	200
Stvarna brzina	1,041	m/s

**Tablica 23. Sekundarni krug vode**

Maseni protok vode	56,10	kg/s
Gustoća vode	999,9	kg/m <sup>3</sup>
Volumni protok vode	0,0561	m <sup>3</sup> /s
Odabrana cijev	DN	300
Stvarna brzina	0,778	m/s

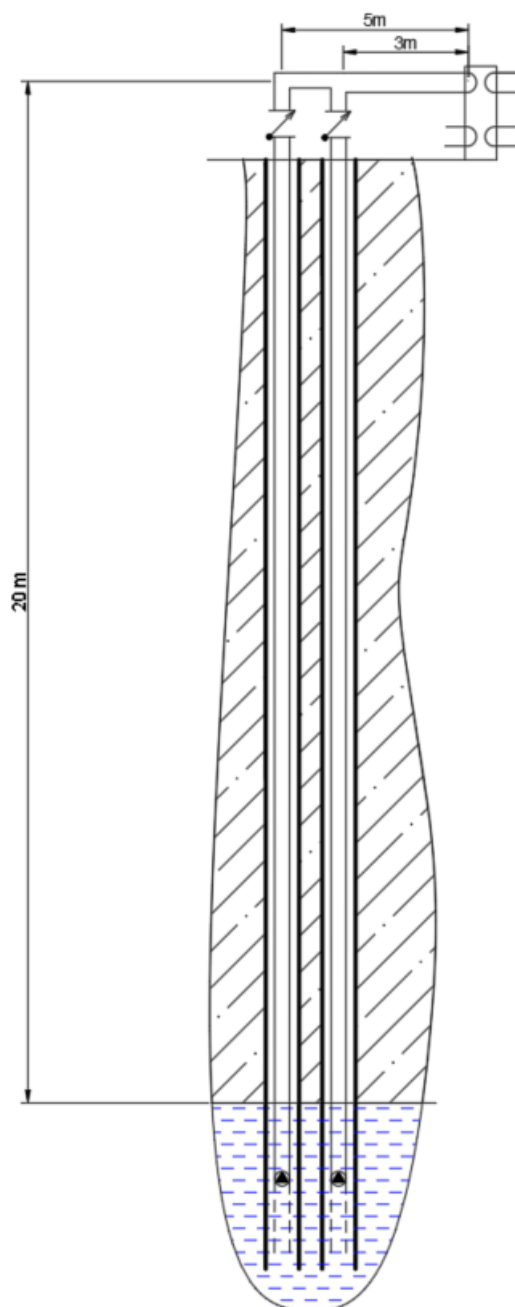
**Tablica 24. Podzemna voda-uisis**

Maseni protok vode	56,18	kg/s
Gustoća vode	999,6	kg/m <sup>3</sup>
Volumni protok vode	0,0562	m <sup>3</sup> /s
Odabrana cijev	DN	250
Stvarna brzina	1,106	m/s

Tablica 25. Podzemna voda-povrat

Maseni protok vode	28,09	kg/s
Gustoća vode	999,6	kg/m <sup>3</sup>
Volumni protok vode	0,0281	m <sup>3</sup> /s
Odabrana cijev	DN 150	
Stvarna brzina	1,060	m/s

### 5.3. Odabir potopne pumpe



Slika 27. Shema pozicije potopne pumpe

Izdašnost bunara nije dovoljno velika da opskrbi potreban protok podzemne vode. Zato je opskrba izvedena sa dvije potopne pumpe po dizalici topline. Da bi se odabrala pumpa, potrebna su dva podatka. Visina dobave pumpe i ukupni protok fluida. Ukupna visina dobave pumpe jednaka je visini linijskih i lokalnih gubitaka usisne cijevi, padu tlaka u izmjenjivaču i visinskoj razlici između slobodne površine podzemne vode i priključka međuizmjenjivača.

$$h_p = h + \lambda \frac{L}{D} \frac{v^2}{2g} + K \frac{v^2}{2g} + h_{mi} \quad (5.17)$$

Gdje je:

$h$  - Visinska razlika

$\lambda$  - faktor trenja

$L$  - duljina cjevovoda

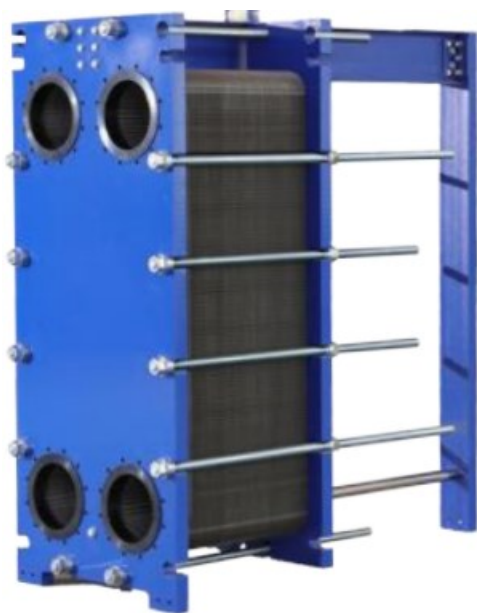
$D$  - unutarnji promjer cjevovoda

$v$  - brzina strujanja fluida

$h_{mi}$  – visina gubitaka u međuizmjenjivaču

### 5.3.1. Bloka 19 prije obnove

Za međuizmjenjivač odabran je brtvljeni pločasti međuizmjenjivač Funke FP 42 prikazan na Slika 28.



Slika 28. Pločasti međuizmjenjivač

Vertikalna udaljenost između priključaka	$L_v$	941 mm
Horizontalna udaljenost između priključaka	$L_h$	290 mm
Debljina ploče (lamele)	$t_{pl}$	0,8 mm
Promjer priključka	$D_p$	150 mm
Razmak između ploča	$b$	2,3 mm
Faktor povećanja površine	$\varphi$	1,15
Kut nabora ploče	$\beta$	60°
Ukupan broj ploča	$N_{pl,uk}$	222

Ukupan broj ploča je izračunat na sljedeći način.

Koeficijent prolaza topline u međuzmjenjivaču je odabran iskustveno i iznosi,

$$k = 3300 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}}$$

- Temperatura vode na ulazu u međuzmjenjivač  $\vartheta_{wm,u} = 6 \text{ }^\circ\text{C}$
- Temperatura vode na izlazu iz međuzmjenjivač  $\vartheta_{wm,i} = 10 \text{ }^\circ\text{C}$
- Temperatura podzemne vode na ulazu u međuzmjenjivač  $\vartheta_{pod,u} = 13,5 \text{ }^\circ\text{C}$
- Temperatura podzemne vode na izlazu u međuzmjenjivač  $\vartheta_{pod,i} = 9,5 \text{ }^\circ\text{C}$

Srednja logaritamska razlika temperatura za protustrujni izmjenjivač iznosi,

$$\Delta\vartheta_{sr,log} = \frac{(\vartheta_{pod,u} - \vartheta_{wm,i}) - (\vartheta_{pod,i} - \vartheta_{wm,u})}{\ln \frac{(\vartheta_{pod,u} - \vartheta_{wm,i})}{(\vartheta_{pod,i} - \vartheta_{wm,u})}} = 3,5 \text{ }^\circ\text{C} \quad (5.18)$$

Potrebna površina za izmjenu topline,

$$A_{potr} = \frac{\Phi_{mi}}{k \Delta\vartheta_{sr,log}} = \frac{1024330}{3300 * 3,5} = 88,7 \text{ m}^2 \quad (5.19)$$

Korisna širina i visina izmjenjivačke ploče,

$$L_w = L_h + D_p = 290 + 150 = 440 \text{ mm} \quad (5.20)$$

$$L_p = L_v - D_p = 941 - 150 = 791 \text{ mm} \quad (5.21)$$

Površina jedne ploče,

$$A_{pl} = L_w L_p \varphi = 0,4 \text{ m}^2 \quad (5.22)$$

Potreban broj ploča,

$$N_{pl,uk} = \frac{A_{potr}}{A_{pl}} = 221,58 \cong 222 \quad (5.23)$$

Visina gubitaka u međuzmjenjivaču se računa prema Kakaç, S.; Liu, H.; Pramuanjaroenkij A. [41] koji uzimaju u obzir pad tlaka unutar izmjenjivača i pad tlaka u priključcima. Pada tlaka u izmjenjivaču iznosi,

$$\Delta p_c = 4 f \frac{L_{eff} N_p}{D_h} \frac{G_{pod}^2}{2 \rho_{pod}} \left( \frac{\mu_b}{\mu_w} \right)^{-0,17} \quad (5.24)$$

Gdje je:

$L_{eef} = L_v = 0,941$  m efektivna duljina prolaza fluida, jednaka je vertikalnoj udaljenosti između priključaka

$N_p = 1$  broj prolaza

$D_h \cong 2 b = 0,0046$  m hidraulički promjer

$$\left(\frac{\mu_b}{\mu_w}\right)^{-0,17} \cong 1$$

$G_{pod}$  gustoća masenog toka

$f$  faktor trenja

Gustoća masenog toka podzemne vode  $G_{pod}$  iznosi,

$$G_{pod} = \frac{q_{mpod}}{N_{pr,pod} A_{kanal}} \quad (5.25)$$

Ukupan broj prolaza u izmjenjivaču za podzemnu vodu,

$$N_{pr,pod} = \frac{N_{pl,uk}}{2} = 111 \quad (5.26)$$

Poprečni presjek kanala,

$$A_{kanal} = b L_w \quad (5.27)$$

$$A_{kanal} = 1012 \text{ mm}^2$$

$$G_{pod} = 546,1 \frac{\text{kg}}{\text{s m}^2}$$

Faktor trenja  $f$  prema Muley i Mangliku iznosi,

$$\begin{aligned} f &= (2,917 - 0,1277 \beta + 2,016 * 10^{-3} * \beta) \\ &* (5,474 - 19,02 \varphi + 18,93 \varphi^2 - 5,341 \varphi^3) \\ &* \text{Re}^{-\left\{0,2+0,0577*\sin\left[\left(\pi\frac{\beta}{45}\right)+2,1\right]\right\}} \end{aligned} \quad (5.28)$$

Reynoldsov broj podzemne vode unutar izmjenjivača,

$$Re_{pod} = \frac{G_{pod} D_h}{\mu_w} \quad (5.29)$$

$\mu_w$  – dinamička viskoznost podzemne vode

$$Re_{pod} = 2007,6$$

$$f = 0,2684$$

$$\Delta p_c = 32768 \text{ Pa}$$



Pad tlaka u priključcima:

$$\Delta p_p = 1,4 N_p \frac{G_p^2}{2 \rho_{pod}} \quad (5.30)$$

Gustoća masenog toka u priključku:

$$G_p = \frac{q_{mpod}}{\frac{\pi D_p^2}{4}} = 3456 \frac{\text{kg}}{\text{s m}^2}$$

$$\Delta p_p = 8365 \text{ Pa}$$

Ukupan pad tlaka za pločasti međuzmjenjivač iznosi,

$$h_{mi} = \frac{\Delta p_c}{\rho_{pod} g} + \frac{\Delta p_p}{\rho_{pod} g} - Lv = 3,254 \text{ m}$$

**Tablica 26. Ulazni podaci za proračun linijskih i lokalnih gubitaka**

	DN 250	DN 150	
Volumni protok	61,1	20,4	l/s
Promjer cjevovoda podzemne vode	254,4	150	mm
Brzina strujanja	1,202	1,053	m/s
Duljina usisnog cjevovoda	3	22	m
Visina hrapavost stjenke cijevi	0,007		mm
Dinamička viskoznost podzemne vode	0,001251		Pa s
Gustoća podzemne vode	999,56		kg/m <sup>3</sup>

Za linijske gubitke potreban je iznos Reynoldsovog broja unutar dobavne cijevi

$$Re = \frac{\rho_{pod} v_{pod} D_{u,pod}}{\mu} \quad (5.31)$$

$$Re_{DN250} = \frac{999,56 * 1,202 * 0,2544}{0,001251} = 244268$$

$$Re_{DN150} = 126162$$

uz  $Re > 5000$ , jednačba za izračun faktora trenja prema Swamee-Jain glasi:

$$\lambda = \frac{1,325}{\left[ \ln \left( \frac{k}{3,7 D} + \frac{5,74}{Re^{0,9}} \right) \right]^2} \quad (5.32)$$

k – visina hrapavosti stjenke cijevi

$$\lambda_{DN250} = \frac{1,325}{\left[ \ln \left( \frac{0,007}{3,7 * 2544} + \frac{5,74}{244268^{0,9}} \right) \right]^2} = 0,0152$$

$$\lambda_{DN150} = 0,0173$$

- Lokalni otpor koljena 0,4
- Broj koljena 2 komada
- Lokalni otpor T komada 1
- Broj T komada 1 komada
- Lokalni otpor ventila 10
- Broj ventila 1 komad
- Visinska razlika 20 m

Ukupna visina dobave pumpe,

$$h_p = 20 + 0,0152 \frac{3}{0,2544} \frac{1,2023^2}{2 * 9,81} + 0,0173 \frac{22}{0,150} \frac{1,053^2}{2 * 9,81} + (0,4 * 2 + 1 * 1 + 10 * 1) \frac{1,202^2}{2 * 9,81} + 3,254 = 24,28 \text{ m}$$

Protok pumpe je poznat,

$$q_{vp} = \frac{q_{vpod}}{2} = 61,1 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} = 20,4 \frac{\text{l}}{\text{s}}$$

Odabrana je pumpa SP 77-2 proizvođača Grundfos koja se može vidjeti na Slika 29.



**Slika 29. Potopna pumpa**

### 5.3.2. Bloka 19 nakon obnove

Za međuzmjenjivač odabran je isti brtvljeni pločasti međuzmjenjivač Funke FP 42 prikazan na Slika 28.

Vertikalna udaljenost između priključaka	$L_v$	941 mm
Horizontalna udaljenost između priključaka	$L_h$	290 mm
Debljina ploče (lamelle)	$t_{pl}$	0,8 mm
Promjer priključka	$D_p$	150 mm
Razmak između ploča	$b$	2,3 mm
Faktor povećanja površine	$\varphi$	1,15
Kut nabora ploče	$\beta$	60°
Ukupan broj ploča	$N_{pl,uk}$	204

Potrebna površina izmjenjivača,

$$A_{potr} = \frac{\Phi_{mi}}{k \Delta\vartheta_{sr,log}} = \frac{942260}{3300 * 3,5} = 81,6 \text{ m}^2$$

Potreban broj ploča,

$$N_{pl,uk} = \frac{A_{potr}}{A_{pl}} = 203,83 \cong 204$$

Ukupan broj prolaza u izmjenjivaču za podzemnu vodu,

$$N_{pr,pod} = \frac{N_{pl,uk}}{2} = 102$$

Gustoća masenog toka u izmjenjivaču,

$$G_{pod} = 544 \frac{\text{kg}}{\text{s m}^2}$$

$$Re_{pod} = 2001,68$$

$$f = 0,269$$

$$\Delta p_c = 32567 \text{ Pa}$$

Gustoća masenog toka u priključku,

$$G_p = \frac{q_{mpod}}{\frac{\pi D_p^2}{4}} = 1589,6 \frac{\text{kg}}{\text{s m}^2}$$

$$\Delta p_p = 1769,6 \text{ Pa}$$

Ukupan pad tlaka za pločasti međuzmjenjivač iznosi,

$$h_{mi} = \frac{\Delta p_c}{\rho_{pod} g} + \frac{\Delta p_p}{\rho_{pod} g} - L_v = 2,561 \text{ m}$$

Tablica 27. Ulazni podaci za proračun linijskih i lokalnih gubitaka

	DN 250	DN 150	
Volumni protok	56,2	18,7	l/s
Promjer cjevovoda podzemne vode	254,4	150	mm
Brzina strujanja	1,2021	1,0602	m/s
Duljina usisnog cjevovoda	3	22	m
Visina hrapavost stjenke cijevi	0,007		mm
Dinamička viskoznost podzemne vode	0,001251		Pa s
Gustoća podzemne vode	999,56		kg/m <sup>3</sup>

Za linijske gubitke potreban je iznos Reynoldsovog broja unutar dobavne cijevi

$$Re_{DN250} = \frac{999,56 * 1,2021 * 0,2544}{0,001251} = 224696$$

$$Re_{DN150} = 127028$$

uz  $Re > 5000$ , jednadžba za izračun faktora trenja prema Swamee-Jain glasi:

k – visina hrapavosti stjenke cijevi

$$\lambda_{DN250} = 0,01545$$

$$\lambda_{DN150} = 0,01732$$

- Lokalni otpor koljena 0,4
- Broj koljena 2 komada
- Lokalni otpor T komada 1
- Broj T komada 1 komada
- Lokalni otpor ventila 10
- Broj ventila 1 komad
- Visinska razlika 20 m

Ukupna visina dobave pumpe:

$$h_p = 20 + 0,01545 \frac{3}{0,2544} \frac{1,2021^2}{2 * 9,81} + 0,01732 \frac{22}{0,150} \frac{1,060^2}{2 * 9,81} + (0,4 * 1 + 1 * 1 + 10 * 1) \frac{1,2021^2}{2 * 9,81} + 3,102 = 23,99 \text{ m}$$

Protok podzemne vode je poznat:

$$q_{vpod} = 202,3 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} = 56,2 \frac{\text{l}}{\text{s}}$$

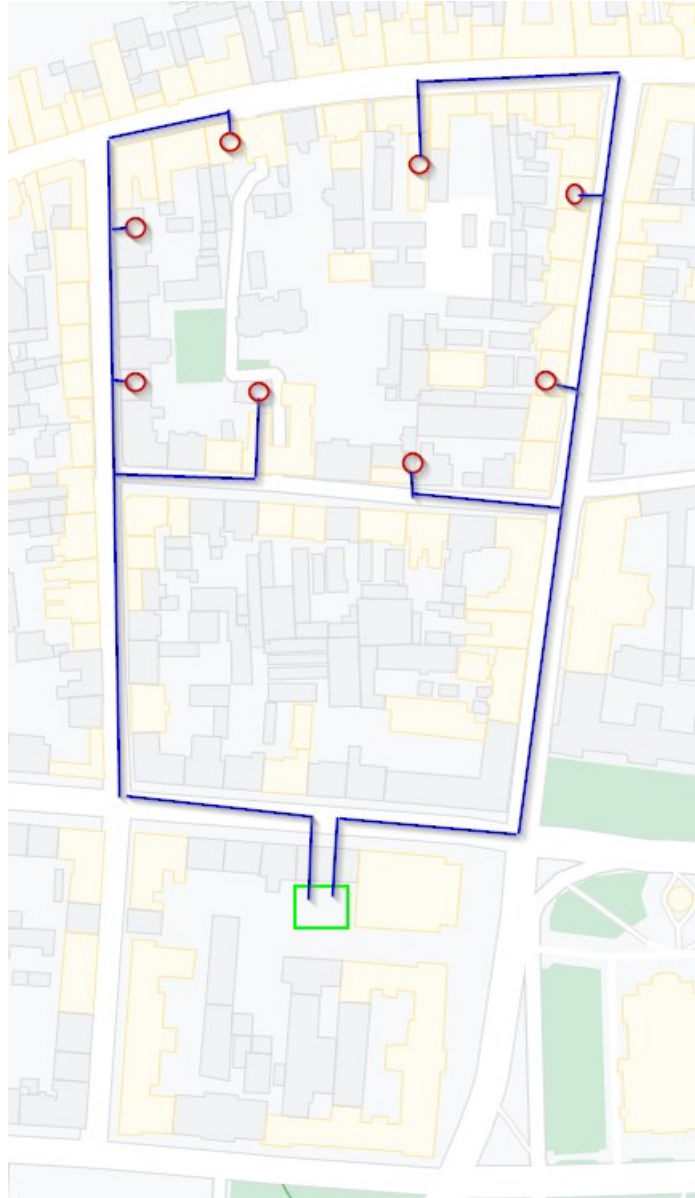
Protok pumpe:

$$q_{vp} = \frac{q_{vpod}}{2} = 67,4 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} = 18,7 \frac{\text{l}}{\text{s}}$$

Odabrana je pumpa SP 77-2 proizvođača Grundfos.

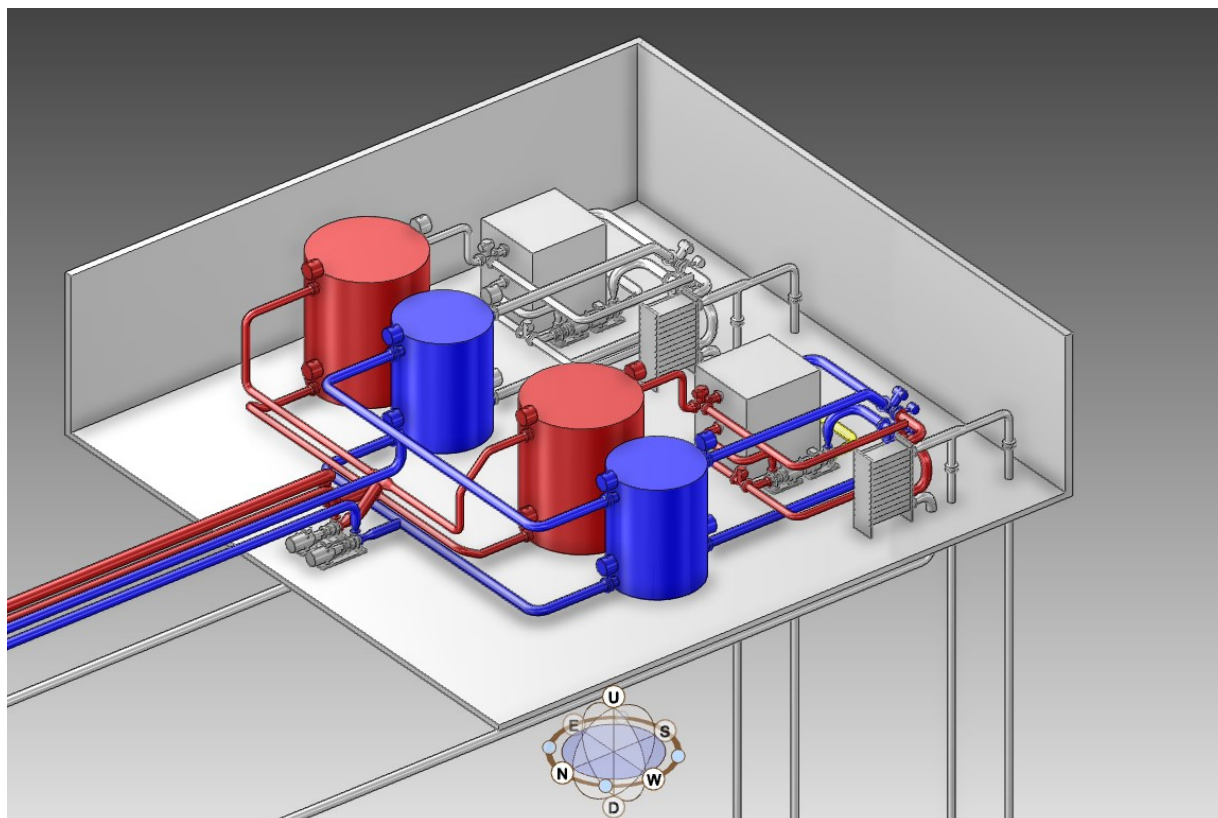
#### 5.4. Odabir pumpe CTSa

Zbog nemogućnosti opskrbe podzemnom vodom, strojarnica nije smještena na samom lokalitetu Bloka 19. Iz elaborata Bačani, Posavec [43] utvrđuje se da bi potrebnu izdašnost podzemne vode mogli ostvariti ako bi strojarnica bila smještena dva bloka južnije. Voda se centralnim pumpama dobavlja u podstanice, a lokalnim pumpama raspoređuje od podstanice do pojedinih objekata.



**Slika 30. Položaj strojarnice i podstanice**

Na Slika 30. zelenom bojom je označena strojarnica, crvenom podstanice, a plavom cjevovod CTS-a. Za mrežu su odabrane čelične bešavne cijevi. Do prvog račvanja je cijev većeg promjera, a zatim manjeg.



Slika 31. Dispozicijski prikaz strojarnice

#### 5.4.1. Blok 19 prije obnove

Tablica 28. Ulazni podaci za proračun linijskih i lokalnih gubitaka

	DN 250	DN 200	
Volumni protok	47,71	23,86	l/s
Promjer cjevovoda podzemne vode	254,4	204	mm
Brzina strujanja	0,9615	0,7476	m/s
Duljina usisnog cjevovoda	600	340	m
Visina hrapavost stjenke cijevi	0,007		mm
Dinamička viskoznost vode	0,00039012		Pa s
Gustoća vode	976,32		kg/m <sup>3</sup>

Reynoldsovog broja,

$$Re_{DN250} = \frac{976,32 * 0,9615 * 0,2544}{0,00039012} = 612150$$

$$Re_{DN200} = 381694$$

uz  $Re > 5000$ , jednadžba za izračun faktora trenja prema Swamee-Jain glasi,

$$\lambda_{DN250} = \frac{1,325}{\left[\ln\left(\frac{0,007}{3,7 * 254,4} + \frac{5,74}{612150^{0,9}}\right)\right]^2} = 0,0131$$

$$\lambda_{DN200} = \frac{1,325}{\left[\ln\left(\frac{0,007}{3,7 * 204} + \frac{5,74}{381694^{0,9}}\right)\right]^2} = 0,0142$$

Visinska razlika je -1,5 m. Polaz je spojen na vrhu spremnika a povrat na dnu spremnika.

DN 250

- Lokalni otpor koljena 0,4
- Broj koljena 20 komada
- Lokalni otpor T komada 1
- Broj T komada 12 komada
- Lokalni otpor ventila 10
- Broj ventila 1 komad

DN 200

- Broj koljena 10 komada
- Broj ventila 1 komad

Ukupna visina dobave pumpe,

$$h_p = 0,0131 \frac{600}{0,2544} \frac{0,9615^2}{2 * 9,81} + (0,4 * 20 + 1 * 12 + 10 * 1) \frac{0,9615^2}{2 * 9,81} + 0,0142 \frac{340}{0,204} \frac{0,7476^2}{2 * 9,81} + (0,4 * 10 + 10 * 1) \frac{0,7476^2}{2 * 9,81} - 1,5 = 2,44 \text{ m}$$

Protok pumpe,

$$q_{vp} = \frac{q_{vw} * 2}{2} = 175,9 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

Odabrana je pumpa kao proizvod Grundfos NKE 150-200/210-158 prikazana na Slika 32.





**Slika 32. Pumpa za mrežu daljinskog grijanja**

#### *5.4.1.1. Odabir ostalih cirkulacijskih pumpi*

1. Cirkulacijska pumpa sekundarnog kruga vode

$$h_p = 0,975 \text{ m}$$

$$q_v = 219,6 \text{ m}^3/\text{h}$$

Odabrana je pumpa NBE 150-200/210-158.

2. Cirkulacijska pumpa kruga vode za grijanje

$$h_p = 0,895 \text{ m}$$

$$q_v = 88,0 \text{ m}^3/\text{h}$$

Odabrana je pumpa NBE 100-160/176.

#### **5.4.2. Blok 19 nakon obnove**

##### *5.4.2.1. Odabir pumpe za grijanje*

Tablica 29. Ulazni podaci za proračun linijskih i lokalnih gubitaka

	DN 250	DN 150	
Volumni protok	0,034	0,017	m <sup>3</sup> /s
Promjer cjevovoda podzemne vode	254,4	150	mm
Brzina strujanja	0,6694	0,9627	m/s
Duljina usisnog cjevovoda	600	340	m
Visina hrapavost stjenke cijevi	0,007		mm
Dinamička viskoznost vode	0,000466		Pa s
Gustoća vode	983,2		kg/m <sup>3</sup>

Reynoldsov broja,

$$Re_{DN250} = \frac{983,2 * 0,6694 * 0,2544}{0,000466} = 359262$$

$$Re_{DN150} = \frac{976,32 * 0,9627 * 0,15}{0,000466} = 304655$$

$$\lambda_{DN250} = \frac{1,325}{\left[ \ln \left( \frac{0,007}{3,7 * 254,4} + \frac{5,74}{359262^{0,9}} \right) \right]^2} = 0,01425$$

$$\lambda_{DN150} = \frac{1,325}{\left[ \ln \left( \frac{0,007}{3,7 * 150} + \frac{5,74}{304655^{0,9}} \right) \right]^2} = 0,01486$$

Visinska razlika je -1,5 m. Polaz je spojen na vrhu spremnika a povrat na dnu spremnika.

DN 250

- Lokalni otpor koljena 0,4
- Broj koljena 20 komada
- Lokalni otpor T komada 1
- Broj T komada 12 komada
- Lokalni otpor ventila 10
- Broj ventila 2 komad

DN 150

- Broj koljena 10 komada
- Broj ventila 1 komad

Ukupna visina dobave pumpe:

$$h_p = 0,01425 \frac{600}{0,2544} \frac{0,6694^2}{2 * 9,81} + (0,4 * 4 + 1 * 12 + 10 * 1) \frac{0,6694^2}{2 * 9,81} \\ + 0,01486 \frac{340}{0,15} \frac{0,9627^2}{2 * 9,81} + (0,4 * 2 + 10 * 1) \frac{0,9627^2}{2 * 9,81} - 1,5 = 2,2 \text{ m}$$

Protok pumpe:

$$q_{vp} = \frac{q_{vw} * 2}{2} = 122,5 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

Odabrana je pumpa NKE 100-160/169 proizvođača Grundfos prikazana na Slika 32.

#### 5.4.2.2. Odabir pumpe za hlađenje

**Tablica 30. Ulazni podaci za proračun linijskih i lokalnih gubitaka**

	DN 200	DN 125	
Volumni protok	0,02098	0,01049	m <sup>3</sup> /s
Promjer cjevovoda podzemne vode	204	125	mm
Brzina strujanja	0,642	0,8549	m/s
Duljina usisnog cjevovoda	600	340	m
Visina hrapavost stjenke cijevi	0,007		mm
Dinamička viskoznost vode	0,0013059		Pa s
Gustoća vode	999,7		kg/m <sup>3</sup>

Reynoldsov broja,

$$Re_{DN200} = \frac{999,7 * 0,642 * 0,204}{0,0013059} = 100255$$

$$Re_{DN125} = \frac{999,7 * 0,8549 * 0,125}{0,0013059} = 81808$$

$$\lambda_{DN200} = \frac{1,325}{\left[ \ln \left( \frac{0,007}{3,7 * 204} + \frac{5,74}{100255^{0,9}} \right) \right]^2} = 0,01806$$

$$\lambda_{DN125} = \frac{1,325}{\left[ \ln \left( \frac{0,007}{3,7 * 125} + \frac{5,74}{81808^{0,9}} \right) \right]^2} = 0,01893$$

Visinska razlika je 1,5 m. Polaz je spojen na dnu spremnika a povrat na vrhu spremnika.

DN 200

- Lokalni otpor koljena 0,4
- Broj koljena 20 komada

- Lokalni otpor T komada 1
- Broj T komada 12 komada
- Lokalni otpor ventila 10
- Broj ventila 1 komad

DN 125

- Broj koljena 10 komada
- Broj ventila 1 komad

Ukupna visina dobave pumpe:

$$h_p = 0,01806 \frac{600}{0,204} \frac{0,642^2}{2 * 9,81} + (0,4 * 20 + 1 * 2 + 10 * 1) \frac{0,642^2}{2 * 9,81} + 0,01893 \frac{340}{0,125} \frac{0,8549^2}{2 * 9,81} + (0,4 * 2 + 10 * 1) + 1,5 = 5,7 \text{ m}$$

Protok pumpe:

$$q_{vp} = \frac{q_{vw} * 2}{2} = 75,5 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

Odabrana je pumpa kao proizvod NKE 80-160/175 proizvođača Grundfos prikazana na Slika 32.

#### 5.4.2.3. Ostale pumpe

##### 3. Cirkulacijska pumpa sekundarnog kruga vode

$$h_p = 0,845 \text{ m}$$

$$q_v = 202 \text{ m}^3/\text{h}$$

Odabrana je pumpa NBE 150-200/218.

##### 4. Cirkulacijska pumpa kruga vode za grijanje

$$h_p = 1,72 \text{ m}$$

$$q_v = 122,5 \text{ m}^3/\text{h}$$

Odabrana je pumpa NBE 100-160/176.

## 5.5. Volumen akumulacijskih spremnika

Volumen spremnika je jednak 10-20 litara po kW učinku. Broj spremnika je jednak broju dizalica toplina za pojedini sustav. Tip i volumen spremnika prikazani su u Tablica 31. a primjer spremnika se može vidjeti na Slika 33.

**Tablica 31. Odabir akumulacijskih spremnika**

	učin dizalice topline (kW)	odabrani tip spremnika	promjer (m)	visina (m)	volumen (l)
spremnik tople vode-prije obnove	1500	T 430-197	3,5	3,3	20500
spremnik tople vode- nakon obnova	1400	T 430-197	3,5	3,3	20500
spremnik rashladne vode- obnova	880	T 4125-115	3	2,8	11800

Svi spremnici su od proizvođača Haase Tank GmbH .



Slika 33. Akumulacijski spremnik vode

## 6. EKONOMSKA I EKOLOŠKA ANALIZA

Ekonomska i ekološka analiza provedena je za 2 slučaja. Prvi slučaj je kada se Blok 19 ne bi energetske obnovio te bi se sustav daljinskog grijanja i hlađenja implementirao u trenutno stanje Bloka. Pretpostavlja se da nema hlađenja objekata jer tipični sustavi hlađenja su mono-split sustavi kojima je vanjska jedinica na ovojnici objekta. Kako bi se sačuvala kulturna baština stare jezgre Grada Zagreba takva ugradnja je zabranjena. Drugi slučaj je kada bi došlo do energetske obnove. Cijena sanacije ovojnice, podsustava predaje topline i podsustav razvoda topline od podstanica nije uzet u obzir. U ovom slučaju postoji hlađenje objekata, ali se za nju neće provesti ekonomska i ekološka analiza jer se nema na temelju čega pokazati isplativost. Hlađenje objekata je ostvareno da bi se povećala toplinska ugodnost i podigla kvaliteta života.

### 6.1. Proračun potrebne toplinske energije za grijanje i hlađenje

Godišnja potrebna toplinska energija za grijanje  $Q_{H,nd}$  i hlađenje  $Q_{C,nd}$  je izračunata prema HRN EN ISO 13790. Proračun je proveden kao kvazistacionarni proračun na bazi mjesečnih vrijednosti. Sustavi su s nekontinuiranim radom. Proračun nije detaljno prikazan već samo njegove glavne jednadžbe i konačni rezultati. Proračun će se provesti za već navedenu karakterističnu zgradu Bloka 19 te će se takvo stanje usvojiti za cijeli Blok.

Proračun godišnje potrebne toplinske energije za grijanje,

$$Q_{H,nd,cont} = Q_{Tr} + Q_{Ve} - \eta_{H,gn}(Q_{int} + Q_{sol}) \quad (6.1)$$

Proračun godišnje potrebne toplinske energije za hlađenje,

$$Q_{C,nd} = Q_{int} + Q_{sol} - \eta_{C,ls}(Q_{Tr} + Q_{Ve}) \quad (6.2)$$

gdje su:

$Q_{Tr}$  – izmijenjena toplinska energija transmisijom za proračunsku zonu, kWh

$Q_{Ve}$  – potrebna toplinska energija za ventilaciju/klimatizaciju za proračunsku zonu, kWh

$Q_{int}$  – unutarnji toplinski dobici zgrade (uređaji, rasvjeta, ljudi), kWh

$Q_{sol}$  – toplinski dobici od Sunčeva zračenja (kWh).

$\eta_{H,gn}$  – faktor iskorištenja toplinskih dobitaka

$\eta_{C,ls}$  – faktor iskorištenja toplinskih gubitaka

Potrebne toplinska energija za pripremu PTV-a,

$$Q_{PTV} = \frac{Q_{W,A,a}}{365} * A_k * d \quad (6.3)$$

$Q_{W,A,a} = 16 \text{ kWh/m}^2$  za zgrade s više od 3 stambene jedinice (prema PECZ NN 36/10).

$$Q_{PTV} = \frac{16}{365} * 46024 * 365 = 736.384 \text{ kWh}$$

### 6.1.1. Prije obnove Bloka 19

#### 6.1.1.1. Grijanje

Tablica 32. Rezultati proračuna godišnje potrebne toplinske energije za grijanje

Mjesec	1	2	3	4	5	6
<i>Q<sub>int</sub></i>	2857	2580	2857	2765	2857	2765
<i>Q<sub>sol</sub></i>	1819	3299	6976	9596	12828	13685
<i>Q<sub>Tr</sub></i>	20585	16712	14536	9652	5312	4462
<i>Q<sub>Ve</sub></i>	22483	17911	14778	8679	3031	1345
<b><i>Q<sub>h,nd,a</sub></i></b>	<b>24196</b>	<b>16876</b>	<b>9288</b>	<b>1490</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
Mjesec	7	8	9	10	11	12
<i>Q<sub>int</sub></i>	2857	2857	2765	2857	2765	2857
<i>Q<sub>sol</sub></i>	14259	12108	9034	5431	2090	1160
<i>Q<sub>Tr</sub></i>	3725	3222	5525	10469	14835	20288
<i>Q<sub>Ve</sub></i>	0	-379	3423	9600	15279	22104
<b><i>Q<sub>h,nd,a</sub></i></b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>4889</b>	<b>14920</b>	<b>24555</b>

Ukupna godišnja potrebna toplinska energija za grijanje karakteristične zgrade,

$$Q_{H,nd,cont} = 96213 \text{ kWh}$$

Što iznosi po jedinici površine,

$$q_{H,nd,cont} = \frac{Q_{H,nd,cont}}{A_k} = \frac{96213}{640} = 150,33 \text{ kWh/m}^2$$

Ukupna godišnja potrebna toplinska energija za grijanje Bloka 19,



$$Q_H = q_{H,nd,cont} * 46024 = 6.918.917 \text{ kWh}$$

Zbog gubitaka u podsustavima razvoda i predaje topline, potrebna toplinska energija je uvećana za 30 % da bi se dobila toplinska energija na ulazu u podsustav razvoda,

$$Q_{H,dis,in} = Q_H * 1,30 = 8.994.593 \text{ kWh}$$

## 6.1.2. Nakon obnove Bloka 19

### 6.1.2.1. Grijanje

Tablica 33. Rezultati proračuna godišnje potrebne toplinske energije za grijanje

Mjesec	1	2	3	4	5	6
<i>Q<sub>int</sub></i>	2857	2580	2857	2765	2857	2765
<i>Q<sub>sol</sub></i>	1451	2288	4488	6001	7897	8381
<i>Q<sub>Tr</sub></i>	4089	3271	2731	1652	660	928
<i>Q<sub>Ve</sub></i>	12647	10075	8313	4882	1705	756
<b><i>Q<sub>h,nd,a</sub></i></b>	7461	4790	2037	141	0	0
Mjesec	7	8	9	10	11	12
<i>Q<sub>int</sub></i>	2857	2857	2765	2857	2765	2857
<i>Q<sub>sol</sub></i>	8737	7488	5691	3588	1600	1062
<i>Q<sub>Tr</sub></i>	920	647	725	1818	2815	4022
<i>Q<sub>Ve</sub></i>	0	0	1925	5400	8595	12434
<b><i>Q<sub>h,nd,a</sub></i></b>	0	0	0	750	3945	7617

Ukupna godišnja potrebna toplinska energija za grijanje karakteristične zgrade,

$$Q_{H,nd,cont} = 26741 \text{ kWh}$$

Što iznosi po jedinici površine,

$$q_{H,nd,cont} = \frac{Q_{H,nd,cont}}{A_k} = \frac{26741}{640} = 41,78 \text{ kWh/m}^2$$

Ukupna godišnja potrebna toplinska energija za grijanje Bloka 19,

$$Q_H = q_{H,nd,cont} * 46024 = 1.923.031 \text{ kWh}$$

Potrebna toplinska energija sada je uvećana za 15 % jer su se smanjili gubici u podsustavima razvoda i predaje topline.

$$Q_{H,dis,in} = Q_H * 1,15 = 2.211.486 \text{ kWh}$$

### 6.1.2.2. Hlađenje

**Tablica 34. Rezultati proračuna godišnje potrebne toplinske energije za hlađenje**

Mjesec	1	2	3	4	5	6
<i>Q<sub>int</sub></i>	2857	2580	2857	2765	2857	2765
<i>Q<sub>sol</sub></i>	1451	2288	4488	6001	7897	8381
<i>Q<sub>Tr</sub></i>	5269	4337	3911	2794	1840	1070
<i>Q<sub>Ve</sub></i>	15489	12642	11155	7632	4547	2131
<b><i>Q<sub>h,nd,a</sub></i></b>	0	0	0	736	3517	5670
Mjesec	7	8	9	10	11	12
<i>Q<sub>int</sub></i>	2857	2857	2765	2857	2765	2857
<i>Q<sub>sol</sub></i>	8737	7488	5691	3588	1600	1062
<i>Q<sub>Tr</sub></i>	705	794	1867	2998	3957	5202
<i>Q<sub>Ve</sub></i>	924	1208	4675	8242	11345	15276
<b><i>Q<sub>h,nd,a</sub></i></b>	7064	5922	2092	305	0	0

Ukupna godišnja potrebna toplinska energija za hlađenje karakteristične zgrade,

$$Q_{C,nd,cont} = 25306 \text{ kWh}$$

Što iznosi po jedinici površine,

$$q_{C,nd,cont} = \frac{Q_{C,nd,cont}}{A_k} = \frac{25306}{640} = 39,54 \text{ kWh/m}^2$$

Ukupna godišnja potrebna toplinska energija za hlađenje Bloka 19,

$$Q_C = q_{C,nd,cont} * 46024 = 1.819.841 \text{ kWh}$$

$$Q_{C,dis,in} = Q_C * 1,15 = 2.092.817 \text{ kWh}$$

## 6.2. Analiza prije obnove Bloka 19

Prateći trend sustava grijanja usvojeno je da su za postojeće sustave grijanja najčešći plinski bojleri u omjeru 70% konvencionalni plinski bojleri, 30% kondenzacijski plinski bojleri [44].

Faktor grijanja i hlađenja određen je iskustveno. Za cijenu električne energije odabran je tarifni element plavi jedinstveni [45]. Cijena plina dobivena je od Gradske plinare Zagreb [46]. Za potrošnju pomoćnih uređaja ubraja se električna energija utrošena za pogon pumpi, ventilatora, pomoćnih grijača. Emisija CO<sub>2</sub> dobivena je umnoškom potrebne toplinske i električne energije s faktorom emisija CO<sub>2</sub> preuzetog sa stranica Ministarstva [47].

**Tablica 35. Godišnja analiza sustava prije obnove**

sustav	plin konv.	plin kond.	ukupno	CTS
Potrebna toplinska energija za grijanje i PTV [MWh]	6.811,7	2.919,3	9.731,0	9.731,0
Učinkovitost, faktor grijanja	0,8	0,9		3,7
Utrošena energija [MWh]	8.514,6	3243,7	11.758,3	2.630,0
Cijena energenta [kn/kWh]	0,349	0,349		0,520
Trošak grijanja [kn]	2.973.726	1.132.848	4.106.574	1.367.597
Potrošnja el. en. pomoćnih uređaja [kWh]	8.515	16.218	24.733	125.838
Pogonski troškovi [kn]	4.428	8.434	12.861	65.436
Emisija CO <sub>2</sub> [tona]	1.877	718	2.595	618

Implementacijom CTS-a ukupna godišnja ušteda iznosi 2.686.402,16 kn.

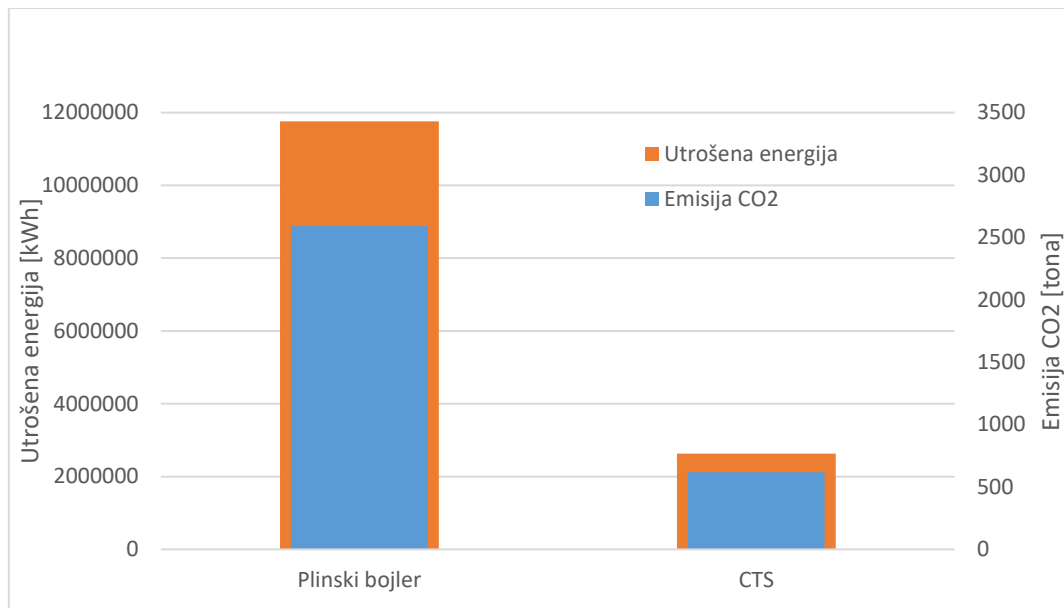
**Tablica 36. Troškovnik CTS-a prije obnove**

	jedinica mjere	količina	cijena [kn]	ukupna cijena [kn]
Polaganje cijevi u zemlju	m	1.100	1.400	1.540.000,00
Troškovi bušotina	m	450	4.500	2.025.000,00
Čelična cijev DN 300 s izolacijom	m	80	710	56.800,00
Čelična cijev DN 250 s izolacijom	m	1.160	510	591.600,00
Čelična cijev DN 200 s izolacijom	m	700	420	294.000,00
Čelična cijev DN 150 s izolacijom	m	240	240	57.600,00
Pumpa CTSa GRUNDFOS NK 150-200/218	kom	2	56950	113.900,00
Potopna pumpa GRUNDFOS SP 77-2	kom	12	31527	378.324,00
Pumpa kruga sekundarne vode GRUNDFOS NBE 150-200/210	kom	4	48230	192.920,00
Pumpa kruga vode za grijanje GRUNDFOS NBE 100-160/169	kom	4	28513	114.052,00
Dizalica topline	kom	4	1225000	4.900.000,00
Spremnik tople vode Hase T 425-115	kom	4	143500	574.000,00
Armatura i automatika	komplet	4	600000	2.400.000,00
Instalacijski radovi	sat	10000	120	1.200.000,00
Međuizmjenjivač	kom	4	90000	360.000,00
Podstanica	kom	8	350.000	2800000
<b>Ukupno</b>				<b>17.598.196,00 kn</b>

Jednostavni period povrata investicije

$$PPI = \frac{17.598.196,00}{2.686.402,16} = 6,6 \text{ godina}$$

U analizu nije uključen razvod sustava grijanja po stambeno poslovnim prostorima.

Slika 34. Utrošak energije i emisija CO<sub>2</sub> prije obnove

### 6.3. Analiza nakon obnove Bloka 19

Tablica 37. Godišnja analiza sustava nakon obnove

sustav	plin konv.	plin kond.	ukupno	CTS-grijanje	CTS-hlađenje
Potrebna toplinska energija za grijanje i PTV [MWh]	2063,51	884,36	2947,87	2947,87	2092,82
Učinkovitost, faktor grijanja/hlađenja	0,8	0,9		3,9	3,9
Utrošena energija [MWh]	2579,39	982,62	3562,01	755,86	536,62
Cijena energenta [kn/kWh]	0,349	0,349		0,520	0,520
Trošak grijanja [kn]	900.851	343.181	1.244.032	393.049	279.042
Potrošnja el. en. pomoćnih uređaja [kWh]	2.579	4.913	7.493	72.370	9.078
Pogonski troškovi [kn]	1.341	2.555	3.896	37.632	4.721
Emisija CO <sub>2</sub> [tona]	568,2	216,8	785,0	194,5	128,1

Implementacijom CTS-a ukupna godišnja ušteda iznosi 533.483,38 kn ako bi se uzeo u obzir hlađenje, a kada bi se gledao trošak CTS- samo za grijanje, godišnja ušteda iznosi 817.246,19 kn.

Tablica 38. Troškovnik CTS-a nakon obnove

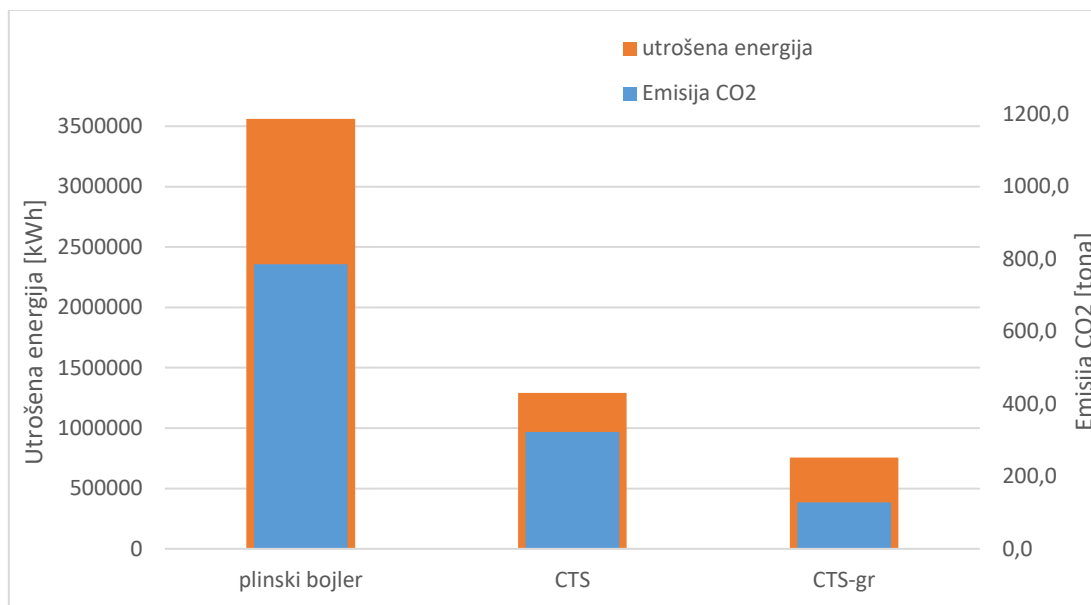
	jedinica mjere	količina	cijena [kn]	ukupna cijena [kn]
Troškovi polaganja cijevi u zemlju	m	1.100	1.400	1.540.000,00
Troškovi bušotina	m	220	4.500	990.000,00
Čelična cijev DN 300 s izolacijom	m	80	710	56.800,00
Čelična cijev DN 250 s izolacijom	m	1.200	510	612.000,00
Čelična cijev DN 200 s izolacijom	m	1.240	420	520.800,00
Čelična cijev DN 150 s izolacijom	m	860	240	206.400,00
Čelična cijev DN 125 s izolacijom	m	700	160	112.000,00
Pumpa CTSa za grijanje GRUNDFOS NB 100-160/176	kom	2	34.852	69.704,00
Pumpa CTSa za hlađenje GRUNDFOS NBE 80-160/175	kom	2	30.375	60.750,00
Potopna pumpa GRUNDFOS SP 60-3	kom	6	31.512	189.072,00
Pumpa kruga sekundarne vode GRUNDFOS NBE 100-160/176	kom	2	57.837	115.674,00
Pumpa kruga vode za grijanje GRUNDFOS NBE 100-160/169	kom	2	28.313	56.626,00
Dizalica topline 1400 kW	kom	2	1.100.000	2.200.000,00
Spremnik tople vode Hasse T 422-87	kom	2	143.500	2.87.000,00
Spremnik rashladne vode Hasse T 417-48	kom	2	82.600	165.200,00
Armatura i automatika	komplet	2	500.000	1.000.000,00
Instalacijski radovi	sat	9.000	120	1.080.000,00
Međuzmjenjivač	kom	2	80.000	180.000,00
Podstanica	kom	8	310.000	2.480.000,00
<b>Ukupno</b>			<b>10.382.026,00 kn</b>	

Period povrata investicije za sustav grijanja i hlađenja iznosi,

$$PPI = \frac{10.382.026,00}{533.483,38} = 19,5 \text{ godina}$$

U analizu nije uključen razvod sustava grijanja/hlađenja po stambeno poslovnim prostorima.

Kada bi se gledao samo sustav grijanja iznosi 11,2 godina.



**Slika 35. Utrošak energije i emisija CO<sub>2</sub> nakon obnove**

## 6.4. SWOT analiza

### 6.4.1. Prednosti

Glavna prednost centraliziranog toplinskog sustava s dizalicom topline je ta što doprinosi niskougličnom razvoju gospodarstva. Smanjuje se potrošnja topline zbog veće energetske učinkovitosti i uveliko se smanjuje emisija CO<sub>2</sub>. Time bi se ostvarili energetske i klimatski ciljevi Europske Unije.

Omogućava povezanost elektroenergetskog sustava sa sustavom grijanja i hlađenja. To znači kada postoji viškovi proizvodnje električne energije tada dizalice topline rade i proizvode toplinsku energiju koju skladište u spremnicima (rad tijekom noći). To olakšava upotreba intermitentnih izvora energije i smanjuje cijenu proizvodnje toplinske energije.

Pružna potrošačima mogućnost grijanja i hlađenja u kulturnim cjelinama grada gdje hlađenje prostora nije praktično za implementirati.

Nudi sigurnost opskrbe i smanjuje ovisnost za energentima koje uvozimo.

### 6.4.2. Nedostaci

Implementacija centraliziranog toplinskog sustava s dizalicom topline iziskuje velike novčane investicije te je povrat investicije relativno visok.

Vrijeme trajanje radova kopanja tla radi polaganja cijevi bi otežalo kretanje centrom grada što bi rezultiralo privremenim nezadovoljstvom drugih građana.

Izdašnost vode je relativno mala na lokalitetu Bloka 19. Odmicanjem prema jugu, odnosno prema Savi, izdašnost podzemnih voda je sve veća [43]. Na Slika 36. može se vidjeti dostupnost podzemnih voda u blizini Bloka 19.



**Slika 36. Dostupnost podzemne vode [43]**

### **6.4.3. Prilike**

Cijene fosilnih goriva kontinuirano se mijenjaju. Tendencija je rast cijene te bi uz stagnaciju ili eventualni pad cijene električne energije, porasla isplativost projekta, odnosno stvaranje uvjeta da CTS-i postanu profitabilni ovisi o razini cijena energenata. Cijenu energenata je moguće mijenjati provedbom politike što na razini Hrvatske tako i na razini EU. Provedba strategije energetskog razvoja Republike Hrvatske olakšava razvoj implementacije CTS-a jer će odrediti mjere, aktivnosti i dinamiku provedbe energetske politike u narednim godinama.

Jedan od izazova, što je ujedno i prijetnja, je podizanje svijesti o sustavima daljinskom grijanja i hlađenja. Sliku CTS-a treba unaprijediti, posebno među ne-potrošačima takvih sustava putem obrazovnih kampanja.



#### **6.4.4. Prijetnje**

U Hrvatskoj je još uvijek trend grijanje na fosilnim gorivima. Nedostatak energetskeg planiranja i nedostatak zakonodavnog okvira za dekarbonizaciju sustava usporava razvitak i implementaciju daljinskih sustava grijanja i hlađenja s dizalicom topline.

Promjena razina podzemne vode u značajnoj mjeri ovisi o vodostajima rijeke Save [43]. Tako bi pri veliki sušama, razina podzemne vode pala što bi rezultiralo većom visinom dobave potopnih pumpa i većom potrošnjom energije. Zbog toga se potopna pumpa blago predimensionira kako ne bi došlo do nemogućnosti crpljenja podzemne vode.

## **7. ZAKLJUČAK**

Projektirana su dva centralizirana toplinska sustava. Jedan sustav za trenutno stanje Bloka 19, a drugi nakon eventualne energetske obnove. Prvi sustav pokriva samo potrebe grijanja prostora. Hlađenja prostora nije moguće jer trenutna tijela za predaju topline većinom su radijatori, a oni ne mogu pokriti rashladno opterećenje. Za prvi sustav odabrane su četiri dizalice topline nazivne snage 1500 kW, a za drugi sustav dvije dizalice topline nazivne snage 1400 kW. Cijena investicije prvog sustava skoro je dva puta veća od drugog sustava, ali je povrat investicije prvog sustava (6,6 godina) znatno manji od drugog sustava (19,5 godina). Glavni razlog je veća ušteda energije u odnosu na trenutne sustave grijanja (plinski bojleri). Na godišnjoj razini ušteda za prvi sustav iznosi 2.686.402,16 kn, a za drugi sustav 533.483,38 kn, što je znatno manje. Drugi razlog je taj što je kod drugog sustava omogućeno i hlađenje prostora što iziskuje veliku potrošnju energije, a time i porast troškova. Kada se ne bi uzimalo u obzir hlađenje prostora povrat investicije je tada 11,2 godina. Hlađenjem prostora povećava se toplinska ugodnost i kvaliteta života.

Emisija ugljičnog dioksida se znatno smanjila. Za prvi sustav implementacijom CTS-a smanjena je emisija ugljičnog dioksida za malo više od četiri puta. Za drugi sustav, uz dodatno hlađenje, smanjena je emisija ugljičnog dioksida za više od dva puta na godišnjoj razini. To bi doprinijelo postizanju energetske i ekološke ciljeve Republike Hrvatske.

**LITERATURA**

- [1] Mohamed Hany Abokersh, Kangkana Saikia, Luisa F. Cabeza, Dieter Boer, Manel Vall`es, Flexible heat pump integration to improve sustainable transition toward 4th generation district heating, Energy Conversion and Management, 2020
- [2] <https://www.odyssee-mure.eu/publications/efficiency-by-sector/overview/final-energy-consumption-by-sector.html>
- [3] <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fbuil.2016.00022/full>
- [4] Ahmad Arabkoohsar, Ali Sulaiman Alsagri, A new generation of district heating system with neighborhood-scale heat pumps and advanced pipes, a solution for future renewable based energy systems, 2019, <https://www.sciencedirect.com>
- [5] M.A. Sayegh , P. Jadwiszczak , B.P. Axcell , E. Niemierka , K. Bry«s , H. Jouhara , Heat pump placement, connection and operational modes in European district heating, Energy & Buildings (2018), doi:  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0378778817338410>
- [6] Nives Mornar, Jadranka Veselić Bruvo, PROGRAM CJELOVITE OBNOVE POVIJESNE JEZGRE ZAGREBA – prva projekcija, ožujak 2021
- [7] <https://ppiaf.org/sectors/district-heating-cooling>
- [8] Henrik Lunda, Sven Werner, Robin Wiltshire, Svend Svendsen, Jan Eric Thorsene, Frede Hvelplunda, Brian Vad Mathiesen, 4th Generation District Heating (4GDH): Integrating smart thermal grids into future sustainable energy systems, 2014
- [9] <https://www.euroheat.org/knowledge-hub/district-energy-explained/>
- [10] H. Lund, Renewable energy systems: a smart energy systems approach to the choice and modeling of 100% renewable solutions, (2nd ed.), Academic Press, Burlington, USA (2014)
- [11] Persson U., Werner S.; District heating in sequential energy supply; Applied Energy Vol. 95, (2012)
- [12] Energiforsk, Energiforsk, <https://energiforsk.se/en/programmes/thermal-energy-storage/flexibility-options-from-district-heating-illustrations-1/>
- [13] CIBSE (2013) TM54, Evaluating Operational Energy Performance of Buildings at the Design Stage, (London: Chartered Institution of Building Services Engineers).

- [14] Fraunhofer et al. (2015 - ongoing); Study on Mapping and analyses of the current and future (2020 - 2030) heating/cooling fuel deployment (fossil/renewables); ENER/C214-641.
- [15] S. Werner, S. Frederiksen, District heating and cooling, (1st ed.), Studentlitteratur AB (2013)
- [16] [https://www.wikiwand.com/en/District\\_heating](https://www.wikiwand.com/en/District_heating)
- [17] [https://www.icax.co.uk/Heat\\_Sharing.html](https://www.icax.co.uk/Heat_Sharing.html)
- [18] <https://www.euroheat.org/knowledge-hub/district-energy-croatia/>
- [19] [https://keepwarmeurope.eu/fileadmin/user\\_upload/Learning\\_Centre/Regional\\_virtual\\_study\\_visits/KeepWarm\\_DHS\\_Hrvatska\\_Goran\\_Krajacic.pdf](https://keepwarmeurope.eu/fileadmin/user_upload/Learning_Centre/Regional_virtual_study_visits/KeepWarm_DHS_Hrvatska_Goran_Krajacic.pdf)
- [20] V. Soldo, Skripta iz kolegija Dizalice topline s OIE, 2020.
- [21] C. Kian Jon, C. Siaw Kiang, "Heat Pump Drying Systems," in Handbook of Industrial Drying, Third Edition, 2006.
- [22] I. Sarbu, C. Sebarchievici, "Solar-assisted heat pump systems. Heat pump systems for sustainable heating and cooling", 2016.
- [23] Bach B, Werling J, Ommen T, Münster M, Morales JM, Elmegaard B. Integration of large-scale heat pumps in the district heating systems of Greater Copenhagen. Energy 2016;107:321–34. URL:  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0360544216304352?via%3Dihub>
- [24] Gaur, Ankita Singh; Fitiwi, Desta Z.; Curtis, John A. (2019) : Heat pumps and their role in decarbonising heating sector: A comprehensive review, ESRI Working Paper, No. 627, The Economic and Social Research Institute (ESRI), Dublin
- [25] Pensini A, Rasmussen CN, Kempton W. Economic analysis of using excess renewable electricity to displace heating fuels. Applied Energy 2014;131:530–43.  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0306261914004772?via%3Dihub>
- [26] Roman Geyer, Diego Hangartner, Markus Lindahl, Svend Vinther Pedersen, Heat Pumps in District Heating and Cooling Systems – Final Report, Heat Pump Centre, c/o RISE – Research Institutes of Sweden, October 2019.
- [27] [https://www.wikiwand.com/en/Seasonal\\_thermal\\_energy\\_storage](https://www.wikiwand.com/en/Seasonal_thermal_energy_storage)
- [28] Critoph R.E.; Gas driven heat pumps: Market potential, support measures and barriers to development of the UK market; University of Warwick, November 2013.

- [29] Fischer D., Madani H.; On heat pumps in smart grids: A review; *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 70 (2017), str. 342–357, <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.11.182>.
- [30] Maxwell V., Sperling K., Hvelplund F.; Electricity cost effects of expanding wind power and integrating energy sectors; *International Journal of Sustainable Energy Planning and Management* 2015; 6; page 31-48, <http://dx.doi.org.5279/ijsepm.2015.6.4>.
- [31] Wiltshire R.; *Advanced District Heating and Cooling (DHC) Systems*; 2016
- [32] A. Molyneaux, G. Leyland, D. Favrat; Environomic multi-objective optimisation of a district heating network considering centralized and decentralized heat pumps; *Energy* 35 (2010), str. 751–758.
- [33] Foster S. et al; *Heat Pump in district heating Final report, DECC by Element Energy and Carbon Alternatives*; 2016.
- [34] <https://www.daftlogic.com/projects-google-maps-area-calculator-tool.htm>
- [35] <https://earth.google.com/>
- [36] <https://maddy-murk.ru/hr/rozy/standartnyi-okonnyi-proem-kakie-razmery-nuzhno-soblyusti-pri/>
- [37] Priručnik za energetska certificiranje zgrada, UNDP, 2016.
- [38] HRN EN 12831, Sustavi grijanja u zgradarstvu – metoda proračuna projektnog toplinskog opterećenja
- [39] <https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/dodatni/432856.pdf>
- [40] P. K. Vuger, *Mini daljinski sustav grijanja s dizalicom topline*, 2. Tematski dan o dizalicama topline, Zagreb 2021.
- [41] Kakaç, S.; Liu, H.; Pramuanjaroenkij A. (2012) *Heat exchangers: Selection, Rating, and Thermal Design*. Boca Raton: CRC Press, Taylor & Francis Group
- [42] [https://www.funke.de/pdf/en/funke\\_phe\\_en-gb.pdf](https://www.funke.de/pdf/en/funke_phe_en-gb.pdf)
- [43] Bačani A., Posavec K., *Elaborat o zonama zaštite izvorišta Grada Zagreba*, Rudarsko-geološko-naftni fakultet,
- [44] J. Pugar, M. Petanjek, M. Elezović, Podaci o energetskej učinkovitosti u kućanstvima i uslugama u 2012, a Državni zavod za statistiku Republike Hrvatske
- [45] <https://www.hep.hr/elektra/kucanstvo/tarifne-stavke-cijene/1547>
- [46] [http://www.gpz-opskrba.hr/pregled-cijena-po-distribucijskim-podrucjima-gpz-opskrbe/1735?energetski\\_subjekt\\_id=1](http://www.gpz-opskrba.hr/pregled-cijena-po-distribucijskim-podrucjima-gpz-opskrbe/1735?energetski_subjekt_id=1)

- [47] [https://mpgi.gov.hr/UserDocsImages/dokumenti/EnergetskaUcinkovitost/meteoroloski\\_podaci/FAKTORI\\_primarne\\_energije.pdf](https://mpgi.gov.hr/UserDocsImages/dokumenti/EnergetskaUcinkovitost/meteoroloski_podaci/FAKTORI_primarne_energije.pdf)

## **PRILOZI**

### **I. Tehnička dokumentacija**