

Pilot postrojenje za ispitivanje radnih značajki dizalice topline zrak-voda u relevantnom okruženju

Milat, Luka

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:235:602464>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-02-06**

Repository / Repozitorij:

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



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

DIPLOMSKI RAD

Luka Milat

Zagreb, 2021.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU

FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

DIPLOMSKI RAD

Mentori:

Prof.dr.sc. Vladimir Soldo

Dr.sc. Luka Boban

Student:

Luka Milat

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 pruženoj prilici i savjetima prilikom izrade ovog rada. Također, zahvaljujem se komentoru dr.sc. Luki Bobanu čiji su savjeti pomogli u podizanju kvalitete rada.

Zahvaljujem se svim kolegama s kojima sam proveo bezbroj sati u zapadnoj zgradi fakulteta, s kojima sam se družio i s kojima sam učio podupirajući jedni druge.

Zahvaljujem se svim svojim voljenim osobama, prijateljima i poznanicima koji su trpili moje žalopojke za vrijeme studiranja.

Za kraj, zahvaljujem se svojoj obitelji, bratu Anti, sestrama Kristini i Ani, ocu Milivoju i majki Vjeri. Oni su mi pružili bezuvjetnu podršku stoga ovaj rad pišem njima u čast jer su najviše oni patili na ovaj ili onaj način za vrijeme mog studiranja.

Luka Milat



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

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



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

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

DIPLOMSKI ZADATAK

Student: **Luka Milat** JMBAG: 0035206404

Naslov rada na hrvatskom jeziku: **Pilot postrojenje za ispitivanje radnih značajki dizalice topline zrak-voda u relevantnom okruženju**

Naslov rada na engleskom jeziku: **Pilot system for investigation of air-to-water heat pump performance in relevant environment**

Opis zadatka:

S ciljem razvoja dizalice topline pokrenut je IRI2 projekt *Istraživanje i razvoj dizalice topline zrak-voda s prirodnom radnom tvari i naprednim sustavom otapanja isparivača*, sufinanciran sredstvima iz Europskog fonda za regionalni razvoj. Nositelj projekta je tvrtka Frigo Plus d.o.o., dok je partner na projektu Fakultet strojarstva i brodogradnje. Radne značajke dizalice topline zrak-voda koja se planira razviti u sklopu projekta, ispitivat će se i pratiti u relevantnom okruženju na FSB-u.

U radu je potrebno dimenzionirati pilot postrojenje s dizalicom topline zrak-voda za grijanje i hlađenje dviju računalnih učionica na FSB-u ukupne površine 150 m² te kontrolne sobe površine 50 m². Ogrjevno rashladna tijela u računalnim učionicama su ventilokonvektori dok se stropni paneli koriste za grijanje i hlađenje tehničke sobe. Temperaturni režim ventilokonvektorskog grijanja je 45/40 °C, dok je temperaturni režim ventilokonvektorskog hlađenja 7/12 °C.

Rad treba sadržavati:

1. Proračun toplinskog i rashladnog opterećenja kondicioniranih učionica i kontrolne sobe.
2. Dimenzioniranje komponenti sustava: akumulacijskih spremnika, cirkulacijskih pumpi, cjevovoda, ventilokonvektora.
3. Dimenzioniranje površinskog stropnog sustava grijanja i hlađenja kontrolne sobe te dimenzioniranje ventilacijskog sustava kontrolne sobe.
4. Shemu spajanja i automatske regulacije.
5. Dispozicijski crtež opreme u kontrolnoj sobi.

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

Zadatak zadan: Datum predaje rada: Predviđeni datumi obrane:
 6. svibnja 2021. 8. srpnja 2021. 12. – 16. srpnja 2021.

Zadatak zadali: Predsjednik Povjerenstva:
 Prof. dr. sc. Vladimir Soldo *V Soldo*
 Dr. sc. Luka Boban *L Boban* Prof. dr. sc. Tanja Jurčević Lulić *T Jurčević*

Sadržaj

POPIS SLIKA.....	V
POPIS TABLICA	VII
POPIS TEHNIČKE DOKUMENTACIJE	VIII
POPIS OZNAKA.....	IX
POPIS KRATICA.....	XII
SADRŽAJ.....	XIII
SUMMARY	XIV
1. UVOD.....	1
2. OSNOVE RADA DIZALICA TOPLINE	3
2.1. Toplinski spremnici dizalica topline.....	7
2.1.1. Dizalica topline s tlom kao toplinskim spremnikom	8
2.1.2. Dizalica topline s vodom kao toplinskim spremnikom.....	9
2.1.3. Dizalica topline sa zrakom kao toplinskim spremnikom.....	10
3. KONDICIONIRANI PROSTOR – UČIONICE FSB-a	13
4. PROJEKTNI TOPLINSKI GUBICI I DOBICI.....	16
4.1. Proračun projektnih toplinskih gubitaka prema EN12831.....	16
4.2. Proračun projektnih toplinskih dobitaka prema VDI 20178.....	17
4.3. Rezultati proračuna za režim grijanja i hlađenja.....	19
5. PROJEKTIRANJE SUSTAVA GRIJANJA I HLAĐENJA	21
5.1. Dimenzioniranje ogrjevnih i rashladnih tijela u niskom prizemlju	21
5.2. Dimenzioniranje ogrjevnih i rashladnih tijela visokog prizemlja.....	25
5.3. Komponente ispitne linije	27
5.3.1. Međuspremnik	27
5.3.2. Razdjelnik/sabirnik	29
5.3.3. Cirkulacijske pumpe i cjevovodi sustava.....	29
5.3.4. Kombinirani separator	37

5.3.5. Ekspanzijska posuda	37
5.3.6. Dodatna armatura sustava	39
5.3.7. Odabrani elementi sustava	39
5.4. Spajanje dizalice topline s ispitnom linijom	42
5.5. Opremanje ispitne linije mjernom opremom	46
5.5.1. Mjerenje temperature i vlažnosti	47
5.5.2. Mjerenje tlaka	47
5.5.3. Mjerenje toplinske energije.....	47
5.5.4. Mjerene električne veličine.....	47
5.5.5. Regulacija i pohrana podataka	47
5.5.6. Odabrana mjerna oprema	48
6. SUSTAV VENTILACIJE.....	51
7. TEHNIČKI OPIS SUSTAVA.....	57
7.1. PRIPREMA OGRJEVNE I RASHLADNE VODE	57
7.2. SUSTAV VENTILACIJE.....	61
8. ZAKLJUČAK.....	62
9. LITERATURA	63

POPIS SLIKA

Slika 1. Shema dizalice topline (lijevo) i prikaz ciklusa u log p-h dijagramu (desno) [5]	3
Slika 2. Faktor sezonske učinkovitosti sustava [6]	5
Slika 3. Monovalentni način rada dizalice topline [7]	6
Slika 4. Bivalentno-paralelni način rada dizalice topline [7].....	7
Slika 5. Bivalentno-alternativni način rada dizalice topline [7]	7
Slika 6. Vertikalno polaganje izmjenjivača topline [8]	8
Slika 7. Horizontalno polaganje izmjenjivača topline [9]	9
Slika 8. Spajanje dizalice topline s crpnim i upojnim bunarom	10
Slika 9. Shematski prikaz sustava zrak-voda dizalica topline [10].....	11
Slika 10. Primjer komercijalne dizalice topline zrak- voda kompaktne izvedbe [12]	12
Slika 11. Postojeće stanje sjevero-istočnog pročelja visokog prizemlja.....	13
Slika 12. Postojeće stanje sjevero-istočnog pročelja niskog prizemlja.....	13
Slika 13. 3D model predmetnih prostorija s pogledom "izvana"	14
Slika 14. 3D model predmetnih prostorija s pogledom "iznutra"	14
Slika 15. Rezultati simulacije grijanja i hlađenja.....	20
Slika 16. Moduli stropnog grijanja i hlađenja proizvođača Variotherm [13]	21
Slika 17. Detektor kondenzacije stropa [14].....	22
Slika 18. Razdjelnik Variotherm VT107 [15].....	22
Slika 19. Kanalni izmjenjivač [16]	23
Slika 20. Kazetni ventilokonvektor proizvođača Midea [17]	25
Slika 21. Kazetni ventilokonvektor proizvođača Daikin [18]	26
Slika 22. Smjer strujanja vode u procesu grijanja(lijevo) i hlađenja (desno)	28
Slika 23. Dijagram radne krivulje pumpe grane 1	31
Slika 24. Dijagram radne krivulje pumpe grane 2	32
Slika 25. Dijagram radne krivulje pumpe grane 3	34
Slika 26. Dijagram radne krivulje pumpe primarnog kruga	36
Slika 27. Armaflex izolacija cjevovoda [19]	37
Slika 28. Shema spajanja dizalica toplina sa sustavom grijanja i hlađenja	42
Slika 29. Shema dizalice topline.....	43
Slika 30. T-s dijagram procesa grijanja dizalicom topline u projektnoj točki	45
Slika 31. 3D model svih elemenata sustava grijanja i hlađenja u ispitnoj stanici	46

Slika 32. Lossnay LGH-50RVX-E rekuperator proizvođača Mitsubishi Electric[28]	51
Slika 33. CB200/3,0 električni grijač proizvođača Systemair [29]	52
Slika 34. Nepovratna zaklopka RSK 200 proizvođača Systemair [31]	53
Slika 35. FZ žaluzina proizvođača Klimaoprema [30]	53
Slika 36. Istrujna rešetka tip OAH proizvođača Klimaoprema [30].....	53
Slika 37. EC 100 D ventilator proizvođača Maico [32].....	54
Slika 38. Karakteristična krivulja i radna točka ventilatora.....	55
Slika 39. 3D prikaz ventilacijskog sustava	56

POPIS TABLICA

Tablica 1. Tehnički podaci komercijalne dizalice topline zrak-voda [12].....	12
Tablica 2. Površine projektiranih prostorija.....	15
Tablica 3. Koeficijenti prolaza topline građevinskih elemenata i stolarije.....	15
Tablica 4. Broj izmjena zraka po prostorijama.....	16
Tablica 5. Rezultati proračuna po prostorijama.....	17
Tablica 6. Rezultati proračuna toplinskih dobitaka.....	19
Tablica 7. Rezultati proračuna potrebe za grijanjem i hlađenjem po svakoj prostoriji.....	20
Tablica 8. Popis instaliranog ogrjevnog i rashladnog učina u prostorijama.....	23
Tablica 9. Stanja dobavnog zraka prije i poslije prolaska kroz rekuperator.....	24
Tablica 10. Rezultati proračuna kanalnog grijača/hladnjaka.....	24
Tablica 11. Tehnički opis ventilokonvektora [18].....	26
Tablica 12. Popis instaliranog učina u prostorijama.....	27
Tablica 13. Pad tlaka kritične dionice grane 1.....	30
Tablica 14. Proračun pada tlaka kritične dionice grane 2.....	31
Tablica 15. Proračun pada tlaka kritične dionice grane 3.....	33
Tablica 16. Tehnički podaci naručenog pločastog izmjenjivača.....	35
Tablica 17. Proračun pada tlaka primarnog kruga cjevovoda.....	35
Tablica 18. Tehničke karakteristike rada odabranih pumpi.....	36
Tablica 19. Ukupan volumen vode u sustavu.....	38
Tablica 20. Proračun volumena ekspanzijske posude.....	38
Tablica 21. Prikaz elemenata sustava ispitne linije.....	40
Tablica 22. Izračunati podaci procesa pri projektnim uvjetima.....	44
Tablica 23. Radne točke procesa u projektnim uvjetima.....	45
Tablica 24. Prikaz komponenti mjerne opreme.....	48
Tablica 25. Proračun istrujnih otvora.....	52
Tablica 26. Proračun pada tlaka dobavnog kanala.....	54
Tablica 27. Proračun pada tlaka odsisnog kanala.....	55

POPIS TEHNIČKE DOKUMENTACIJE

- 1-07-2021 Shema ispitne linije
- 2-07-2021 Shema usponskih vodova
- 3-07-2021 Cijevni razvod po niskom prizemlju
- 4-07-2021 Prikaz modula stropnog grijanja i hlađenja
- 5-07-2021 Cijevni razvod po visokom prizemlju
- 6-07-2021 Prikaz ventilacije

POPIS OZNAKA

Oznaka	Jedinica	Opis
A_r	m^2	Površina prostorije
c_p	kJ/kgK	Specifični toplinski kapacitet
DN	-	Nazivni promjer cjevovoda
d_u	mm	Unutarnji promjer cjevovoda
e	-	Koeficijent zaklonjenosti zgrade
h_{dod}	m	Dodatna visina
h_i	kJ/kg	Specifična entalpija zraka u prostoru
h_o	kJ/kg	Specifična entalpija vanjskog zraka
h_{sys}	m	Visina sustava od ekspanzijske posude do najviše točke instalacije
k	W/m^2K	Koeficijent prolaza topline
k_v	-	Vrijednost protoka vode pri razlici tlaka 1 bar
L	m	Dužina
n	$1/h$	Broj izmjena zraka u jednom satu u prostoriji
n_v	-	Postotak širenja vode
n_{50}	h^{-1}	Broj izmjena zraka pri razlici tlaka od 50 Pa
p_e	bar	Projektni krajnji tlak
p_{sv}	bar	Tlak sigurnosnog ventila
p_0	bar	Primarni tlak ekspanzijske posude
R	Pa/m	Linijski pad tlaka
t_i	$^{\circ}C$	Temperatura zraka u prostoru
t_o	$^{\circ}C$	Temperatura vanjskog zraka
V_A	L	Volumen vode u sustavu
V_e	L	Volumen širenja vode
V_N	L	Volumen ekspanzijske posude
$V_{n,min}$	L	Minimalni volumen ekspanzijske posude
V_v	L	Dodatni volumen vode
\dot{V}_{VZ}	m^3/h	Volumni protok vanjskog zraka
v	m/s	Brzina strujanja vode
Z	Pa	Lokalni pad tlaka
$Q_{C,nd}$	J	Potrebna toplinska energija za hlađenje

\dot{Q}_G	W	Toplinski gubici
\dot{Q}_{GR}	kW	Rashladni kapacitet grijača
$Q_{H,nd}$	J	Potrebna toplinska energija za grijanje
\dot{Q}_{HL}	kW	Rashladni kapacitet hladnjaka
$\dot{Q}_{T,H}$	W	Osjetni i latentni toplinski dobici
$\dot{Q}_{VZ,C}$	W	Rashladni učin potreban za ohlađivanje vanjskog zraka na temperaturu prostorije
$\dot{Q}_{VZ,H}$	W	Ogrjevni učin potreban za zagrijavanje vanjskog zraka na temperaturu prostorije
q	W/m	Specifični toplinski tok
q_m	l/s	Maseni protok vode kroz kanalni grijač/hladnjak
q_v	L/h	Volumni protok vode
Δp	kPa	Pad tlaka armature
Δp_{gh}	kPa	Pad tlaka na strani vode kroz kanalni grijač/hladnjak
ε	-	Korekcijski faktor za visinu
ζ	-	Koeficijent lokalnog otpora
ϑ_{int}	°C	Unutarnja projektna temperatura
$\vartheta_{p,lj}$	°C	Unutarnja projektna ljetna temperatura u kondicioniranom prostoru
$\vartheta_{p,z}$	°C	Unutarnja projektna zimska temperatura u kondicioniranom prostoru
λ	W/mK	Toplinska vodljivost izolacijskog elementa
ρ_z	kg/m ³	Gustoća zraka
Φ_{HL}	W	Ukupni projektni toplinski gubici
$\Phi_{HL,nett}$	W	Projektni toplinski gubici bez ponovnog zagrijavanja
Φ_{ins}	W	Instalirani rashladni ili ogrjevni učinak kanalnog grijača/hladnjaka
Φ_{need}	W	Potrebni rashladni ili ogrjevni učin za održavanje projektnih uvjeta u prostoru
Φ_{RH}	W	Projektni toplinski gubici zbog ponovnog zagrijavanja
Φ_T	W	Ukupni transmisivski gubici
Φ_{Te}	W	Transmisivski gubici prema vanjskom okolišu
$\Phi_{V,inf}$	W	Projektni infiltracijski gubici

$\Phi_{V,\min}$	W	Projektni ventilacijski gubici
$\Phi_{V,\text{su}}$	W	Projektni gubici uslijed mehaničke ventilacije
$\varrho_{p,lj}$	%	Unutarnja projektna ljetna relativna vlažnost
$\varrho_{p,z}$	%	Unutarnja projektna zimska relativna vlažnost

POPIS KRATICA

COP	Faktor grijanja (eng. <i>Coefficient of performance</i>)
RT	Radna tvar
EU	Europska Unija
EER	Faktor hlađenja (eng. <i>Energy efficiency ratio</i>)
SCOP	Sezonski faktor grijanja (eng. <i>Seasonal coefficient of performance</i>)
SEER	Sezonski faktor hlađenja (eng. <i>Seasonal energy efficiency ratio</i>)
SPF	Faktor sezonske učinkovitosti sustava (eng. <i>Seasonal performance factor</i>)
FSB	Fakultet strojarstva i brodogradnje
MGIPU	Ministarstvo graditeljstva i prostornog uređenja
SGH	Stropno grijanje i hlađenje
MR	Mjerni raspon
PLC	Upravljački sistem (eng. <i>programmable logic controller</i>)
GViK	Grijanje, ventilacija i klimatizacija
PTV	Potrošna topla voda

SADRŽAJ

U ovom radu provedena je energetska analiza ispitnog laboratorija za određivanje sezonske učinkovitosti dizalice topline u relevantnom okruženju. Istraživanje je dio IRI 2 projekta pod nazivom *Razvoj dizalice topline zrak voda s prirodnom radnom tvari i naprednim sustavom otapanja isparivača* (KK.01.2.1.02.0132), sufinanciran sredstvima iz Europskog fonda za regionalni razvoj, ERDF.

Za potrebe ostvarivanja ciljeva projekta, na Fakultetu strojarstva i brodogradnje projektiran je sustav s dizalicom topline zrak-voda za grijanje i hlađenje 200 m² fakultetskog prostora. Proračun projektnog toplinskog opterećenja predmetnih učionica proveden je prema normi HRN EN 12831, dok je proračun projektnog rashladnog opterećenja proveden prema normi VDI 2078. Proračun je proveden u računalnom programu AX3000. Projektno toplinsko opterećenje za sezonu grijanje iznosi 24,7 kW, dok za sezonu hlađenja projektno toplinsko opterećenje iznosi 11,3 kW. Proračunom prema normi HRN EN 13790 dobivene su vrijednosti godišnje toplinske energije za grijanje kondicioniranih prostora u iznosu od 12321 kWh, dok za hlađenje potrebna godišnja toplinska energija iznosi 5460 kWh. Na ispitnoj liniji testirat će se prvi prototipovi hrvatskih proizvođača dizalica topline pri nisko-temperaturnim i srednje-temperaturnim režimima te će se određivati sezonska učinkovitost dizalice topline. U ispitivanom prostoru predviđen je sustav stropnog grijanja i hlađenja te grijanje i hlađenje pomoću ventilokonvektora, odnosno kanalnog izmjenjivača.

Dizajnirani sustav opremljen je sofisticiranom mjernom opremom kako bi se mogli pratiti svi relevantni parametri rada dizalice topline te upravljačkom opremom s mogućnošću prikupljanja podataka u stvarnom vremenu i beskontaktnim upravljanjem. Nadalje, izvedbom sustava predviđena je mogućnost ispitivanja učinkovitosti komercijalnih dizalica topline dostupnih na tržištu u relevantnom okruženju.

Ključne riječi: grijanje, hlađenje, dizalica topline, ispitni laboratorij

SUMMARY

In this paper, an energy analysis of a test laboratory for determination of the seasonal efficiency of a heat pump in a relevant environment is made. The research is part of the IRI 2 project entitled Development of an air-to-water heat pump with natural refrigerant and an advanced evaporator defrost system (KK.01.2.1.02.0132), co-financed by the European Regional Development Fund, ERDF.

In order to achieve the project goals, system was designed on Faculty of mechanical engineering and naval architecture with an air-to-water heat pump for heating and cooling of total area of 200 m². The calculation of the design heat load of the subject was performed according to the standard HRN EN 12831, while the calculation of the design cooling load was performed according to the standard VDI 2078. The calculation was performed in the computer program AX3000. The design heat load for the heating season is 24,7 kW, while for the cooling season the design heat load is 11,3 kW. According to the calculation to the standard HRN EN 13790, the values of annual thermal energy for heating conditioned rooms in the amount of 12321 kWh were obtained, while the required annual thermal energy for cooling is 5460 kWh. The first prototypes of the Croatian heat pump manufacturers for low and medium temperature regimes application will be tested on the test line, and the seasonal efficiency of the heat pump will be determined. In the examined area, a ceiling heating and cooling system, as well as heating and cooling by means of a fan coil, ie a duct exchanger, are planned.

Designed system is equipped with sophisticated measuring equipment to monitor all relevant parameters of the heat pump and control equipment with real-time data collection and contactless control. Furthermore, the design of the system envisages the possibility of testing the efficiency of commercial heat pumps available on the market in the relevant environment.

Keywords: heating, cooling, heat pump, test laboratory

1. UVOD

Izgaranje ugljena, prirodnog plina i nafte, za proizvodnju električne energije i topline, najveći je pojedinačni izvor globalnih emisija stakleničkih plinova (eng. GHG – greenhouse gas) koji se smatraju glavnim uzročnicima globalnog zatopljenja. Jedna od posljedica globalnog zatopljenja su i klimatske promjene koje negativno utječu na naš okoliš, povećavaju frekventnost i intenzitet ekstremnih vremenskih uvjeta što se očituje u pojavi toplinskih valova, požarima, poplavama, sušama te pojavom snažnih oluja. U slučaju daljnjeg zagrijavanja Zemlje, pretpostavlja se da može doći i do otapanja velikih ledenjaka što će za posljedicu imati naglo povećanje razine mora koje bi ugrozilo obalni pojas. Pariški sporazum o klimatskim promjenama, koji je potpisalo 194 države, među kojima i države članice EU, za cilj ima ograničavanje globalnog zatopljenja u vidu smanjenja prirasta prosječne temperature zraka znatno ispod 2°C, po mogućnosti na 1,5°C, do 2040. godine kako bi se izbjegle katastrofalne posljedice klimatskih promjena. Kako bi se taj cilj ostvario, nužno je smanjenje emisija stakleničkih plinova napuštanjem proizvodnje energije pomoću fosilnih goriva te se podliježe ostvarivanju veće energetske učinkovitosti sustava i uporabi obnovljivih izvora energije [1].

Od ukupne potrošnje energije, gotovo 40% potrošeno je u sektoru zgradarstva, od čega se 78,6% troši na postizanje toplinske ugodnosti pomoću sustava za grijanje, ventilaciju i klimatizaciju (GViK) te u sustavima za zagrijavanje potrošne tople vode (PTV) [2]. S obzirom na značaj sektora zgradarstva u globalnoj potrošnji energije, uvode se kriteriji za izgradnju novih te obnovu postojećih objekata koji za cilj imaju smanjenje potrošnje energije. Od 2021. godine, europskom direktivom EPBD 2010/31/EU obvezuje se gradnja nZEB zgrada vrlo visokih energetske svojstava. Minimalno 30% godišnje isporučene energije treba biti proizvedeno iz obnovljivih izvora energije na samoj zgradi ili u njezinoj blizini [3].

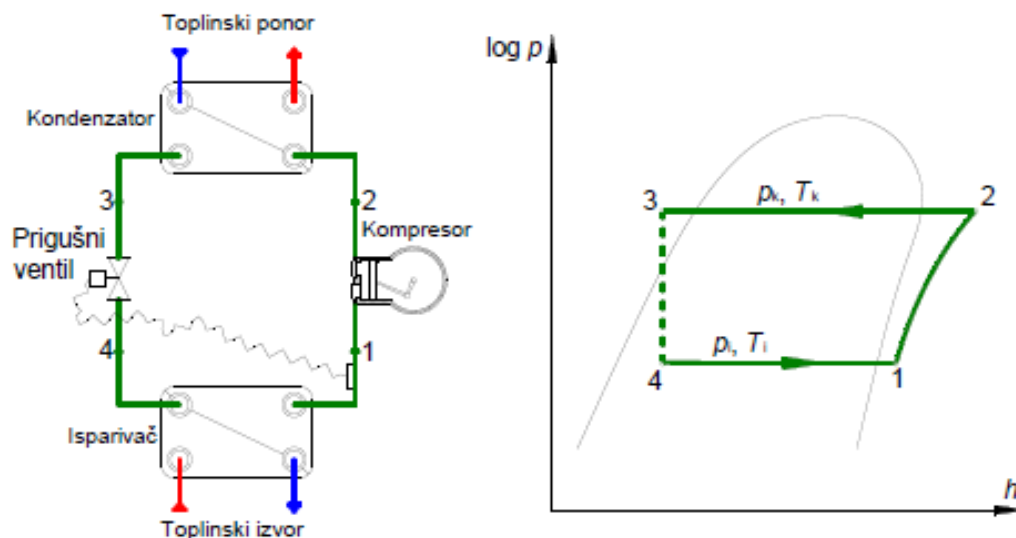
Iako sama nije izvor energije, sve popularniji uređaji za ostvarivanje tih uvjeta su dizalice topline. Dizalice topline proizvode toplinsku ili rashladnu energiju, ovisno o potrebi, pri čemu je proizvedena energija nekoliko puta veća od utrošene pogonske električne energije. Na osnovu toga, spadaju u obnovljive izvore energije čime doprinose u smanjenju emisija stakleničkih plinova. Dizalice topline imaju široku primjenu u industriji, transportu i zgradarstvu, a pritom su ekološki prihvatljive za upotrebu. Već niz godina, bilježi se prosječni godišnji prirast broja ugrađenih jedinica u iznosu od 12 % [4]. S povećanjem broja ugrađenih jedinica sve više se ulaže i u sam razvoj i usavršavanje tehnologije. Također

odgovorne institucije (ministarstva, vladine agencije) daju novčane poticaje kako bi povećali implementaciju istih.

Ispitivanje učina dizalice topline, omjera utrošene i dobivene energije te ostalih radnih karakteristika najčešće provode sami proizvođači na vlastitim ispitnim stanicama za potrebe razvoja proizvoda. Radne karakteristike dizalica toplina mjere se i računaju u ispitnim stanicama prema standardnim uvjetima koji ne obuhvaćaju sve karakteristike rada dizalice topline, nego samo rad u pojedinim točkama koje se koriste za usporedbu različitih uređaja. Povjerenje u točnost deklariranih ocjena kvalitete dizalica toplina postiže se ispitivanjima provedenima u ispitnoj stanici neovisnog instituta ili laboratorija. Zbog navedenih razloga cilj ovog rada je projektiranje ispitne stanice u sklopu projekta FSB IRI 2 u kojoj će se dizalice topline koristiti za grijanje i hlađenje pojedinih prostorija kako bi se dobila predodžba o ponašanju i kvaliteti istih.

2. OSNOVE RADA DIZALICA TOPLINE

Uređaji, koji korištenjem ljevokretnog procesa omogućuju prijenos topline sa spremnika niže temperature na spremnik više temperature, nazivaju se dizalicama topline. Takav prijenos topline moguće je ostvariti ako se radnoj tvari dovodi kompenzacijski rad. Kod kompresijskih dizalica topline, najčešćih u upotrebi, potreban rad ostvaruje se kompresorom koji je pogonjen električnom energijom. Osnovni elementi dizalice topline su: kompresor, kondenzator, prigušni/ekspanzijski ventil i isparivač (Slika 1.).



Slika 1. Shema dizalice topline (lijevo) i prikaz ciklusa u log p-h dijagramu (desno) [5]

Radna tvar (RT) struji između osnovnih komponenti sustava dizalice topline. U isparivaču kapljevita RT isparava (promjena agregatnog stanja) preuzimajući toplinu s toplinskog izvora. Izlaskom iz isparivača, RT se nalazi u pregrijanom stanju (1) te ulazi u kompresor. U kompresoru se RT komprimira s tlaka isparavanja na tlak kondenzacije (2). Povećanjem tlaka RT-i povisuje se energetska razina čime se omogućuje prijelaz topline između radne tvari i toplinskog spremnika. RT potom struji kroz kondenzator gdje se najvećim dijelom oslobađa latentna toplina koja se predaje toplinskom ponoru. Predajom topline u kondenzatoru se mijenja agregatno stanje RT-i iz parnog u kapljevito (3). Nakon kondenzatora RT se nalazi u stanju pothlađene kapljevine te prolaskom kroz kapljevinski vod ulazi u prigušni element u kojem se prigušuje na tlak isparavanja (4). Smanjenjem tlaka pada i temperatura stoga radna tvar ulazi u isparivač u stanju mokre pare. Ponovnim prolaskom kroz isparivač ciklus se ponavlja. Dizalica topline može imati i mogućnost prekretnog rada, tj. može raditi i kao ogrijevni i kao rashladni uređaj.

Izmjena topline između izvora i ponora topline izvodi se direktno ili indirektno (pomoću posrednog prijenosnika energije). U direktnoj izmjeni toplina predana na isparivaču ili kondenzatoru se direktno izmjenjuje s ogrjevnim/rashladnim medijem. Indirektna izvedba se koristi kako bi se izbjegli dugi cjevovodi radne tvari te zaštitio sustav od mogućih nečistoća. S dužim cjevovodima radne tvari, povećava se pad tlaka pri čemu dolazi do nepoželjnog većeg kompresijskog omjera, odnosno većom uloženom snagom. S druge strane, upotrebom posrednog prijenosnika energije, sustav koristi dodatan izmjenjivač topline što snižava energetska efikasnost sustava. Najčešći korišteni posredni mediji su otopina glikola i voda. Iako glikol ima niži toplinski kapacitet od vode, često se koristi u sustavima gdje može doći do zamrzavanja vode zbog smanjene točke leđišta. Glikol se također koristi u sustavima s tlo kao toplinskim izvorom te u sustavima sa zrakom u kompaktnoj izvedbi dizalice topline gdje je predviđen dulji prekid rada.

Dizalice topline proizvode toplinsku energiju koja je nekoliko puta veća od utrošene pogonske energije (najčešće električne) pri čemu je veći dio energije preuzet iz okoliša. Učinkovitost (kvaliteta) procesa, određuje se preko faktora grijanja, odnosno faktora hlađenja.

Faktor grijanja, COP, definiran je kao omjer toplinskog toka predanog ogrjevnom mediju na kondenzatoru i privedene snage kompresora:

$$COP = \frac{\phi_k}{P} \quad (1)$$

Faktor hlađenja, EER, definiran je kao omjer toplinskog toka preuzetog na isparivaču i privedene snage kompresora:

$$EER = \frac{\phi_i}{P} \quad (2)$$

Pomoću navedenih veličina, omogućava se pregled učinkovitosti dizalice topline pri radnim točkama, a za ocjenu učinkovitosti sustava tijekom sezone grijanja ili hlađenja, upotrebljavaju se sezonski faktori grijanja (SCOP) i hlađenja (SEER). Navedeni faktori računaju se omjerom isporučene toplinske energije za grijanjem (ili hlađenjem) te godišnjom potrošnjom električne energije za pogon sustava.

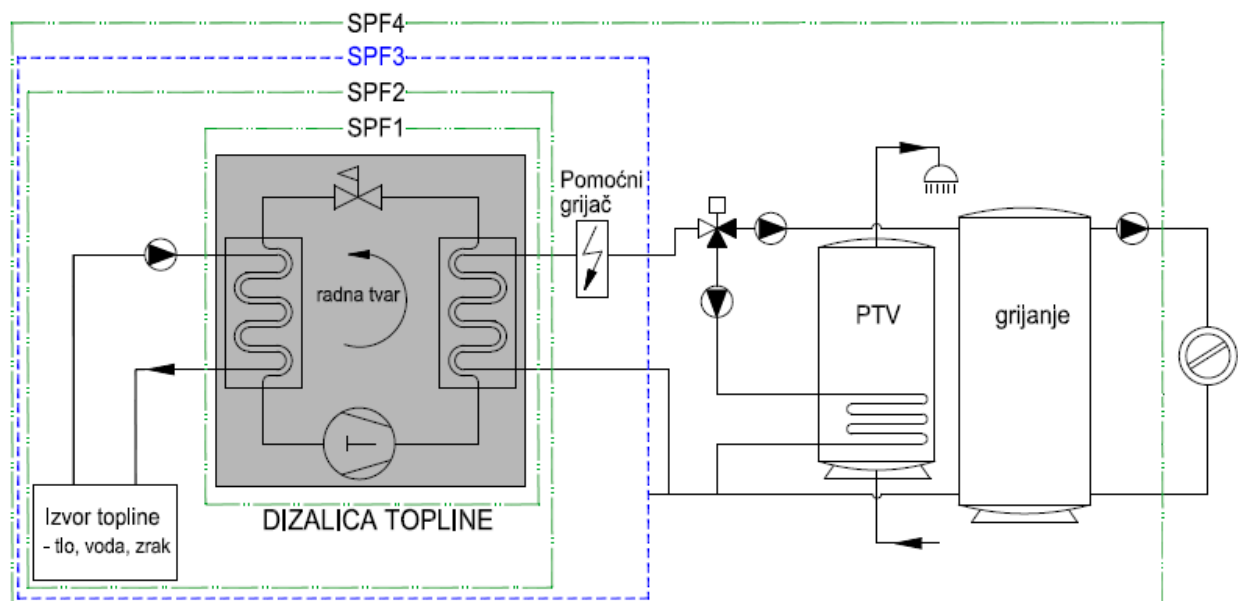
S obzirom da kompresor dizalice topline nije jedini potrošač energije u sustavima proizvodnje toplinske energije, uveden je faktor sezonske učinkovitosti sustava (eng. season performance factor -SPF) kojim se računa omjer isporučene korisne energije te uložene

energije. Dodatnih potrošači u sustavima proizvodnje toplinske energije mogu biti pumpe, ventilatori, pomoćni grijači, regulacija komponenti i sustava, itd.

$$SPF = \frac{\sum_{god}(Q_{isp})}{\sum_{god}(E_{utr})} \quad (3)$$

Razlikuju se 4 granice sustava kojima se obuhvaća više energijskih tokova shematski prikazano na slici 2.

1. SPF_1 – obuhvaća samo isporučenu toplinsku energiju te utrošenu energiju za pogon dizalice topline
2. SPF_2 – obuhvaća utrošenu toplinsku energiju na strani izvora topline
3. SPF_3 – obuhvaća električni grijač kojim se dogrijava radni medij po potrebi
4. SPF_4 – obuhvaća sve pomoćne komponente sustava na strani toplinskog izvora i ponora

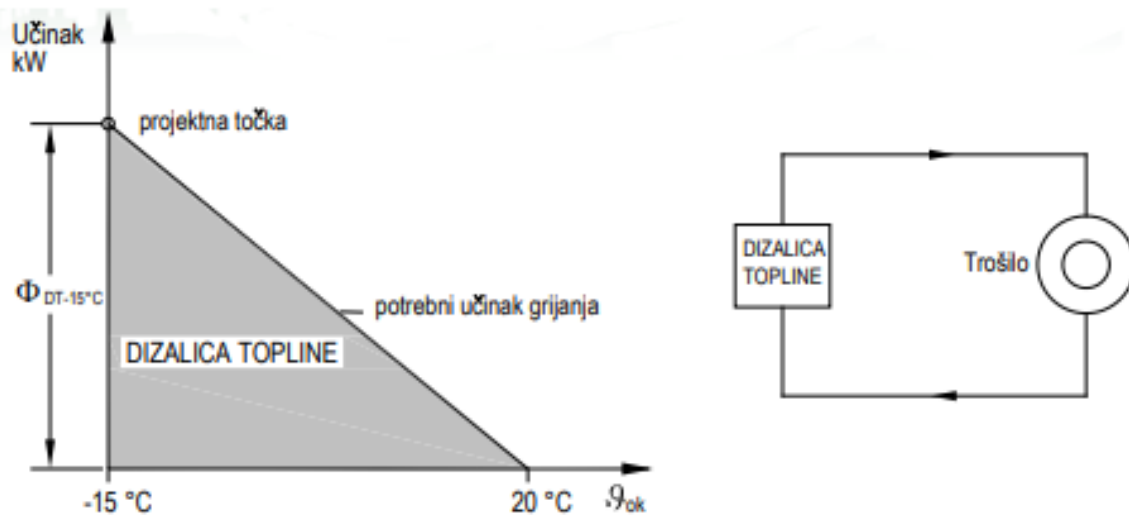


Slika 2. Faktor sezonske učinkovitosti sustava [6]

Učinkovitost cjelokupnog sustava također ovisi o načinu spajanja dizalice topline sa sustavom grijanja i hlađenja. Naime, dizalice topline ne moraju biti jedini izvor energije te se razlikuju 3 načina rada:

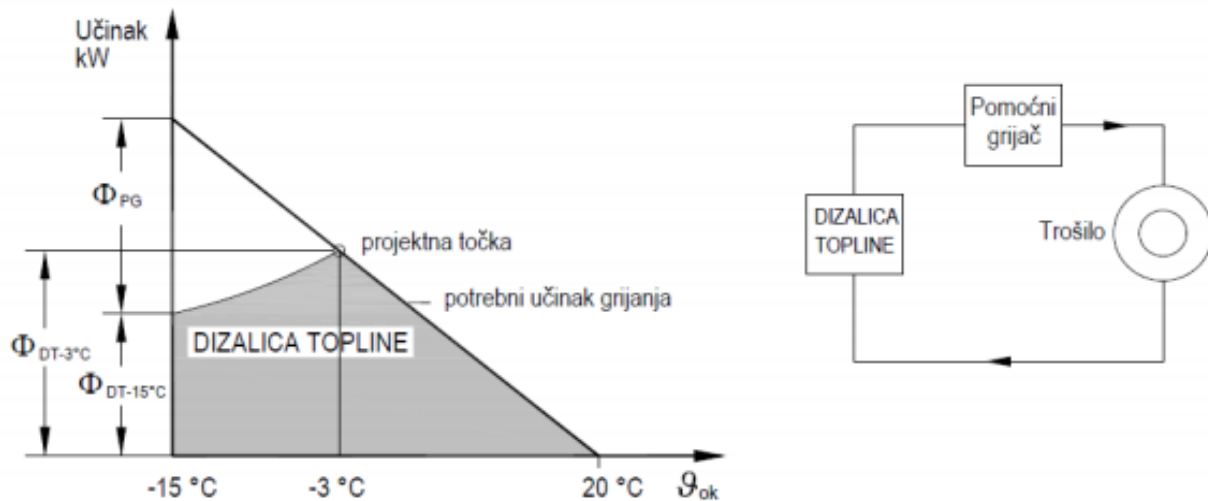
- Monovalentni
- Bivalentno-paralelni
- Bivalentno-alternativni

Kod monovalentnog načina rada (Slika 3.), svi toplinski gubici pokriveni su dizalicom topline koja je odabrana prema vanjskoj projektnoj temperaturi. Ovakav način rada je karakterističan za dizalice topline s tlom ili vodom kao toplinskim izvorom, dok se za zrak-voda sustave češće koriste bivalentni načini rada.



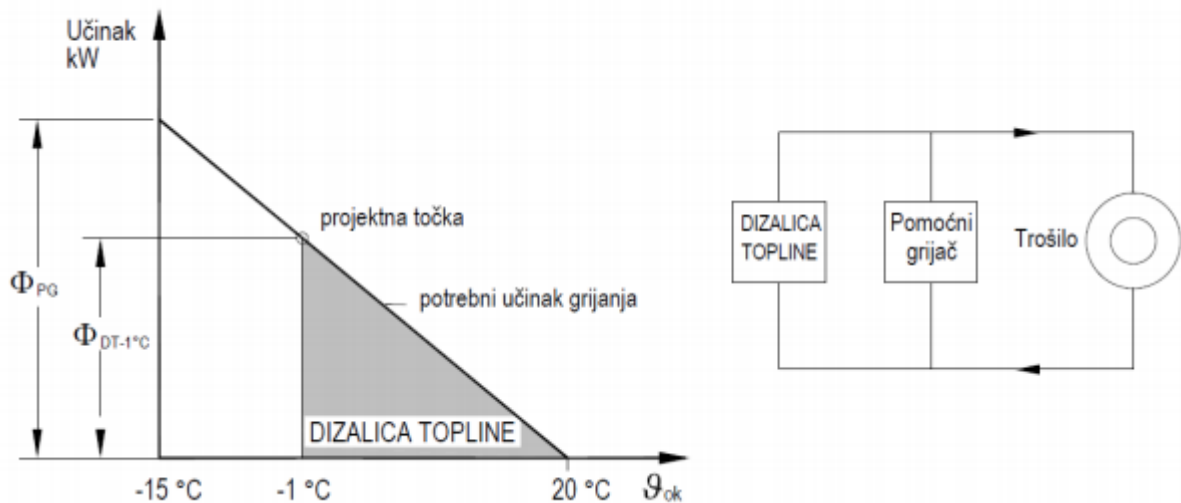
Slika 3. Monovalentni način rada dizalice topline [7]

Kod bivalentno-paralelnog načina rada (Slika 4.), dizalica topline može raditi uz podršku pomoćnog grijača, odnosno dizalica topline je jedini izvor topline do određene vrijednosti vanjske temperature zraka kada se paralelno uključuje još jedan toplinski izvor. Najčešće je to električni grijač, a može biti i neki drugi, poput plinskog kotla. Ovakav način projektiranja dizalice topline sa zrakom kao izvorom topline je najčešći.



Slika 4. Bivalentno-paralelni način rada dizalice topline [7]

Bivalentno-alternativni način rada (Slika 5.) zasniva se na korištenju dizalice topline do određene vrijednosti vanjske temperature. S daljnjim padom vanjske temperature zraka, uključuje se drugi izvor topline koji je onda jedini u radu. Ovakav tip sustava je uobičajen za visokotemperaturne režime grijanja.



Slika 5. Bivalentno-alternativni način rada dizalice topline [7]

2.1. Toplinski spremnici dizalice topline

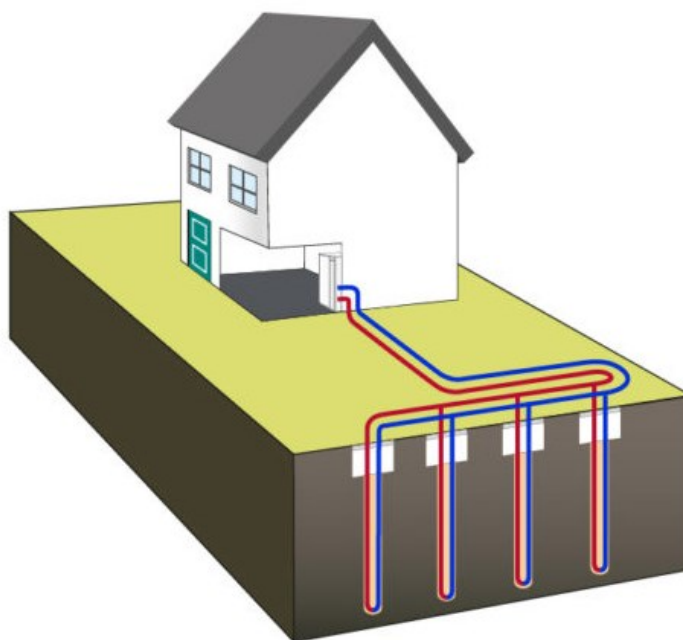
Promatrajući toplinske izvore u toplovodnim sustavima, dizalice topline se mogu podijeliti u tri osnovne skupine:

- Tlo-voda
- Voda-voda

- Zrak-voda

2.1.1. Dizalica topline s tлом kao toplinskim spremnikom

Tlo, kao izvor topline, primjenjiv je već i pri malim dubinama jer ima prilično konstantnu temperaturu tokom cijele godine. Temperatura zemlje na 2 m dubine se kreće između 7 i 13°C [7]. Konstantna temperatura tla omogućava stalan rad dizalice topline u projektnoj točki te veću učinkovitost sustava u odnosu na zrak kao izvor topline. Kvaliteta izmjene topline između radnog medija i tla (specifični učinak izmjenjivača) ovisi o parametrima tla (sastav, kvaliteta, dubina, toplinska provodnost...) te o načinu polaganja cijevi izmjenjivača. Izmjenjivači mogu biti položeni vertikalno ili horizontalno pri čemu odabir polaganja najčešće ovisi o funkcionalnosti izvođenja (dostupni prostor), željenoj temperaturi (dubini) te cijeni izvođenja radova. Načini polaganja cijevi izmjenjivača prikazani su na slikama 6 i 7.



Slika 6. Vertikalno polaganje izmjenjivača topline [8]

Uzimanjem ili predajom topline, tlu se smanjuje ili povećava prosječna temperatura. Do regeneracije tla (ponovno povećanje/smanjenje temperature) dolazi ponajprije zahvaljujući Sunčevom zračenju, kiši ili rosi. Jednako tako tijekom zimskog razdoblja može doći do pojave zamrzavanja tla što isto utječe na temperaturu izvora topline stoga je potrebno koristiti dizalice topline tokom cijele godine (i u režimu grijanja i u režimu hlađenja) kako ne bi došlo do lokalnog pothlađenja ili pregrijanja tla (sustavno može doći do pada učinkovitosti sustava). Prije same ugradnje izmjenjivača u tlo potrebno je procijeniti kvalitetu (toplinska svojstva) tla kako bi se ugradio izmjenjivač odgovarajućih dimenzija. Za procjenu kvalitete

tla koristi se TRT (eng thermal response test) gdje se korištenjem električnog grijača poznatog učina zagrijava voda u optoku. Potom se voda hladi prolaskom kroz bušotinu te se mjeri temperatura polaza i povrata vode na osnovu čega se procjenjuje efektivna toplinska vodljivost tla. Nakon procjene kvalitete tla pristupa se samoj izvedbi izmjenjivača (bušenje ili otkop) što ujedno predstavlja i najveći trošak kod ugradnje ove skupine dizalica topline.

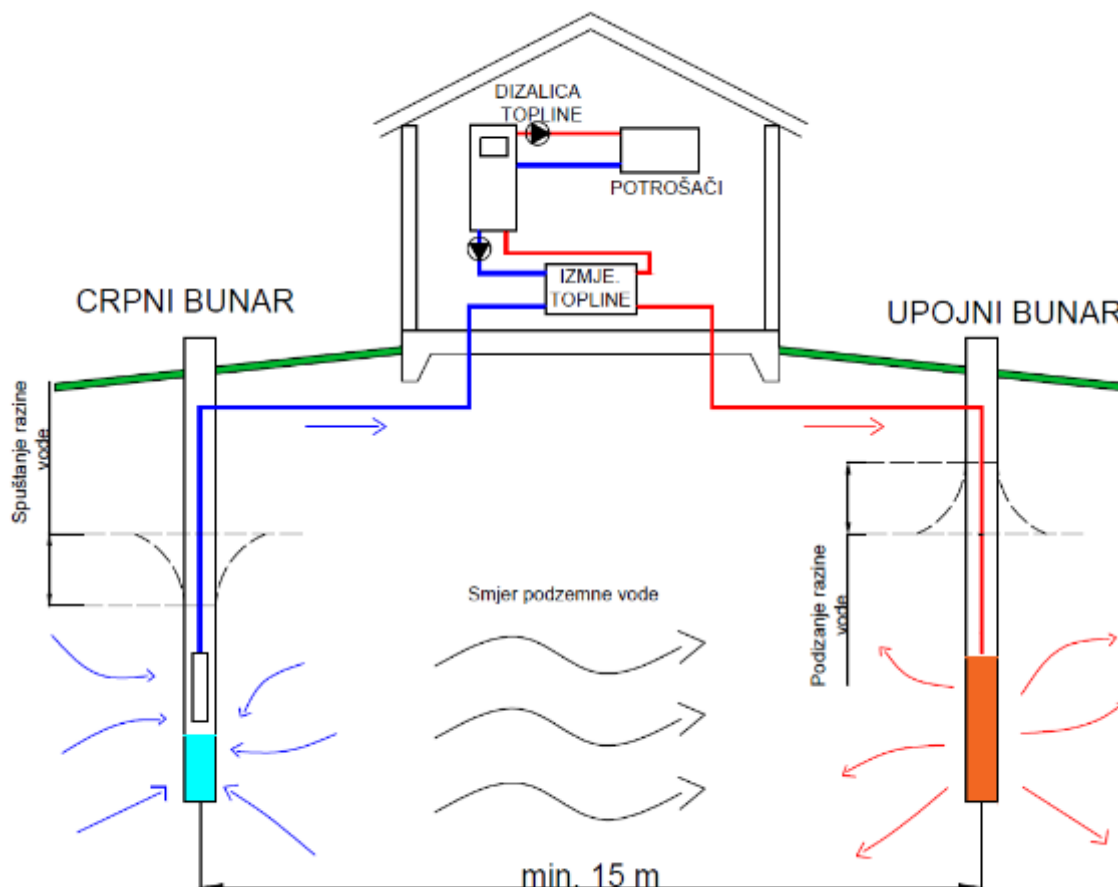


Slika 7. Horizontalno polaganje izmjenjivača topline [9]

2.1.2. Dizalica topline s vodom kao toplinskim spremnikom

Voda, koja također posjeduje odlična toplinska svojstva (visoka toplinska provodnost, konstantna visoka temperatura tijekom godine), je također vrlo atraktivan izvor topline, ali nije svugdje jednako dostupna. Naselja koja se nalaze u blizini površinski voda (potok, rijeka, jezera i mora) mogu koristiti te iste vode kao izvor/ponor topline. U zimskim uvjetima temperatura vode kreće se oko 4°C na dnu (inverzija vode). Uporaba podzemnih voda kao izvora topline pruža najbolje parametre rada jer je temperatura vode tokom cijele godine uglavnom konstantna između 10 i 14°C [7]. Za eksploataciju vode najčešće se koriste dva bunara, crpni i upojni pri čemu je bitno osigurati čim veći razmak između ova dva bunara, ne manji od 10 m, kako nebi došlo do utjecanja jednog bunara na drugi. Potopna pumpa obično se ugrađuje do dubine od 25 m (što ponajprije ovisi o samoj dubini vodonosnika) kako bi se smanjili pogonski troškovi pumpe, a ispod nje se ostavlja slobodna visina bunara koja omogućuje nakupljanje pijeska i nečistoća. Potrebna je filtracija zamućene vode koja se dovodi na izmjenjivač dizalice topline kako bi se spriječilo začepljenje izmjenjivača i osigurao funkcionalan rad dizalice topline. Dizalice topline s vodom najčešće imaju velike

troškove održavanja (veće od zraka). Također je kod same izvedbe potrebno zatražiti od nadležnih institucija (Hrvatske vode) dozvolu za korištenje podzemnih voda. U slučaju povećane uporabe podzemnih voda, može doći do zagrijavanja podzemnih voda i narušavanja ekosustava zbog čega je potrebno koristiti sustav tijekom cijele godine. Na slici 8 prikazana je shema dizalice topline voda-voda koja koristi podzemnu vodu kao izvor topline.



Slika 8. Spajanje dizalice topline s crpnim i upojnim bunarom

2.1.3. Dizalica topline sa zrakom kao toplinskim spremnikom

Zrak je najrasprostranjeniji i najpristupačniji ogrjevni spremnik za dizalice topline. Dizalice topline zrak-voda (Slika 9.) obično se upotrebljavaju za niskotemperaturno grijanje kako bi se ostvarila što veća učinkovitost sustava. Zrak iako je najčešće korišten izvor topline, ima određenih nedostataka s obzirom na to da je zimi, kada je najveća potreba za grijanjem, temperatura zraka najniža, a ljeti, kada je najveća potreba za hlađenjem, temperatura zraka najviša. Također, temperatura zraka tijekom jednog dana često varira stoga je potrebna kvalitetna regulacija kako bi se ostvario čim ekonomičniji rad. Najčešće se ugrađuju s međuspremnikom kako bi se smanjilo uključivanje i isključivanje kompresora dizalice

topline ili se direktno povezuju s inercijskim ogrijevnim tijelima poput panelnog grijanja/hlađenja. Tijekom sezone grijanja, kada se javljaju niske temperature okolišnog zraka mogu se javiti problemi vezani uz stvaranje naslaga leda na isparivaču. Kako led ima veliki otpor prolazu topline, potrebno je isti otopiti, što zahtijeva dodatnu energiju koju je potrebno utrošiti za odleđivanje (smanjenje učinkovitosti). Uz led, nečistoće na orebrenim sekcijama isparivača poput prašine ili lišća mogu značajno sniziti koeficijent prolaza topline izmjenjivača uslijed čega dolazi do smanjenja učina.



Slika 9. Shematski prikaz sustava zrak-voda dizalice topline [10]

Glavne prednosti dizalice topline zrak-voda su malen prostor koji zauzimaju i jednostavnost ugradnje. Izvođenje sustava dizalice topline zrak-voda za iste kapacitete u usporedbi s drugim toplinskim izvorima, višestruko su jeftiniji od ostalih tipova te ne zahtijevaju posebne administrativne dozvole zbog čega su prihvatljivije investitorima. Nadalje, razvojem tehnologije materijala i radnih tvari, omogućio se rad dizalica toplina zrak-voda i pri vrlo niskim temperaturama čime je eliminiran glavni nedostatak u procesu njihovog rada. Primjenom frekventne regulacije rada kompresora u sustavu dizalice topline omogućuje se veća učinkovitost u odnosu na intermitirajuću regulaciju. Uporabom ove vrste regulacije, moguće je ostvariti manje temperaturne razlike između toplinskih spremnika u slučaju djelomičnog opterećenja, što za posljedicu ima manji kompresijski omjer, odnosno manju

potrošnju energije za pogon kompresora. Također, sa smanjenjem intermitirajućeg načina rada kompresora, produkuje se vijek trajanja dizalice topline uz manje poteškoća u radu [11].

Daljnja poboljšanja (povećanje efikasnosti) ostvarila su se implementacijom različitih postupaka odleđivanja isparivača poput: odleđivanja toplim zrakom, električno odleđivanje te prekretnjem procesa. Također, u većoj implementaciji dizalice topline zrak-voda pridonijelo je i smanjenje buke vanjske jedinice. Jedan od primjera komercijalnih tipova dizalice topline zrak-voda prikazan je na slici 10, dok su tehničke karakteristike prikazane u tablici 1.



Slika 10. Primjer komercijalne dizalice topline zrak- voda kompaktne izvedbe [12]

Tablica 1. Tehnički podaci komercijalne dizalice topline zrak-voda [12]

Veličina	Iznos	Jedinica
Ogrjevni učin	9,82	kW
Snaga kompresora, grijanje	2,68	kW
Rashladni učin	11,6	kW
Snaga kompresora, hlađenje	3,56	kW
COP	3,66	-
EER	3,26	-
SCOP [Temperatura vode 55°C]	3,37	-
Jačina zvuka	62	dBa
Dimenzije vanjske jedinice	870x1380x460	mm

Podaci za grijanje odnose se na vanjsku temperaturu zraka -7 °C i temperaturni režim vode 45/40 °C. Podaci za hlađenje odnose se na vanjsku temperaturu zraka 35 °C i temperaturni režim vode 7/12 °C.

3. KONDICIONIRANI PROSTOR – UČIONICE FSB-a

Prije samog osnivanja testne linije bilo je potrebno odrediti lokaciju postavljanja i način ispitivanja dizalica toplina. S obzirom da se u većini neovisnih mjernih stanica, dizalice topline ispituju s umjetnim potrošačima, odlučeno je dizajnirati sustav koji bi ispitivao dizalice topline u realnim radnim uvjetima. U sklopu projekta FSB IRI2, za ispitivanje su odabrane prostorije u sjevernoj zgradi Fakulteta strojarstva i brodogradnje u Zagrebu. Uz tehničku sobu, još će se kondicionirati tri učionice i ured ukupne površine 200 m² na dvije etaže (nisko prizemlje i visoko prizemlje). Dvije računalne učionice nalaze se na visokom prizemlju iznad tehničke sobe, zajedno s uredom, kabinetom i ulaznim prostorom, dok se na niskom prizemlju nalazi jedna manja učionica i tehnička soba. Prikaz postojećeg stanja nalazi se na slikama 11 i 12.



Slika 11. Postojeće stanje sjevero-istočnog pročelja visokog prizemlja

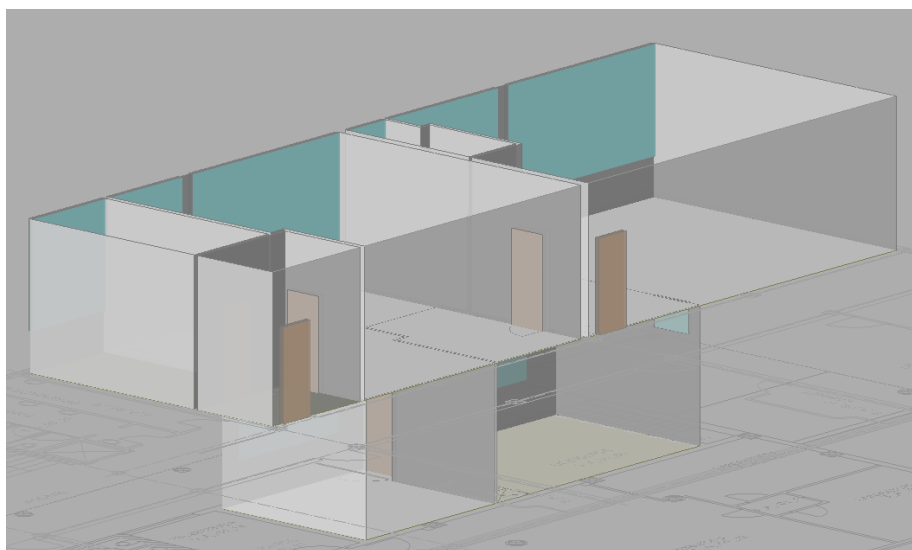


Slika 12. Postojeće stanje sjevero-istočnog pročelja niskog prizemlja

S istočne strane zgrade nema nikakvih otvora na visokom prizemlju, dok je na niskom prizemlju manji prozor postavljen na spoju stropa i zida. Sjeverna strana je prožeta prozorima te se u nisko prizemlje ulazi preko vanjskih aluminijskih vrata. Prozor na istočnom pročelju niskog prizemlja se sastoji od PVC okvira i dvostrukog stakla, dok su prozori na sjevernom pročelju rađeni od aluminijskog okvira te dvostrukog izolirajućeg stakla s jednim staklom niske emisije. Nisko prizemlje nalazi se na povišenom podu, a ispod njega nalazi se toplinska stanica za cijelu zgradu. S unutarne strane učionica i tehničke sobe, nalazi se grijani hodnik i prostorije, a dio poda visokog prizemlja je izložen vanjskom zraku. Na slikama 13 i 14 prikazan je 3D model promatranih prostorija napravljen u računalnom programu AX3000, dok su površine prostorija prikazane u tablici 2.



Slika 13. 3D model predmetnih prostorija s pogledom "izvana"



Slika 14. 3D model predmetnih prostorija s pogledom "iznutra"

Tablica 2. Površine projektiranih prostorija

PROSTORIJA	POVRŠINA
-	m ²
TEHNIČKA SOBA	18
UČIONICA	28
URED	12
ULAZ	6
UČIONICA	58
KABINET	5
UČIONICA	67

Vanjska ovojnica zgrade nije izolirana već je izvedeno samo žbukanje, a ispunjena je rađena od opeke debljine 25 cm. Unutarnji nosivi zidovi su također izvedeni od opeke, debljine 25 cm dok su pregradni debljine 12 cm. Stropnu konstrukciju sačinjavaju armirano-betonska rebra i ploče između rebara debljine 15 cm čineći sitnorebričastu konstrukciju stropa. Zatvorena je s oplatom od dasaka i slojem trstike i žbuke čime se postižu vrlo dobra izolacijska svojstva. Promatrane prostorije visokog prizemlja su pravokutnog presjeka ukupne dužine 20 m, širine 7,5 m i visine 3,5 m, dok su prostorije niskog prizemlja dugačke 11 m, široke 4,5 m i visoke 3,2 m. Koeficijenti prolaza topline građevinskih elemenata nalaze se u tablici 3 te ne zadovoljavaju Tehnički propis o racionalnoj uporabi energije i toplinskoj zaštiti u zgradama, izuzev stolarije. U planu je energetska obnova i postavljanje toplinske izolacije na zgradu.

Tablica 3. Koeficijenti prolaza topline građevinskih elemenata i stolarije

Konstrukcija	Koeficijent prolaza topline [W/m ² K]
Međukatna konstrukcija	1,47
Vanjski zid	1,87
Unutarnji zid 1	2,22
Unutarnji zid 2	1,87
Vanjska vrata	1,7
Unutarnja vrata	2
Prozori	1,7

4. PROJEKTNI TOPLINSKI GUBICI I DOBICI

Za odabir odgovarajućih ogrjevnih i rashladnih tijela te kapaciteta izvora topline proveden je proračun toplinskog opterećenja.

Ogrjevni učin potreban za zagrijavanje prostorije do željenih uvjeta, računa se prema normi HRN EN 12831. Tom normom uzimaju se u obzir transmisijski i ventilacijski gubici te gubici potrebni za zagrijavanje uslijed prekida grijanja dok se unutarnji dobici i vanjski solarni dobici zanemaruju zbog sigurnosti. U ljetnom razdoblju, rashladni učin potreban za održavanje unutarnjih projektnih uvjeta u prostoru u odnosu na vanjske projektne uvjete računa se prema normi VDI 2078 kojom se u obzir uzimaju transmisijski, ventilacijski, solarni i unutarnji dobici.

Proračun projektnih toplinskih gubitaka i dobitaka proveden je u računalnom programu AX3000.

4.1. Proračun projektnih toplinskih gubitaka prema EN12831

Kako bi se isprojektirao sustav grijanja zgrade javne namjene, potrebno je poznavati projektne toplinske gubitke ispitivanih prostorija pri projektnim uvjetima korištenja. Vanjska projektna temperatura odabrana je prema podacima od Ministarstva graditeljstva i prostornog uređenje koja za grad Zagreb, Grič iznosi $-9,8\text{ }^{\circ}\text{C}$. Sve ispitivane prostorije su grijane te je njihova unutarnja projektna temperatura postavljena na $20\text{ }^{\circ}\text{C}$. Zgrada je definirana kao zgrada srednje masivnosti sa srednjom kvalitetom zabrtvljenosti i blagom zaklonjenosti. S obzirom na predviđene prekide u grijanju prostora i pad temperature u iznosu od 3 K, predviđen je faktor zagrijavanja u iznosu od 20 W/m^2 . Također, u niskom prizemlju, u tehničkoj sobi i učionici se izvodi ventilacija pri čemu je potrebno izračunati i ventilacijske gubitke. Broj izmjena zraka po pojedinim prostorijama dan je u tablici 4.

Tablica 4. Broj izmjena zraka po prostorijama

OZNAKA	PROSTORIJA	n
NP.1	TEHNIČKA SOBA	2
NP.2	UČIONICA	2
VP.1	URED	1
VP.2	ULAZ	0
VP.3	UČIONICA	2
VP.4	KABINET	0
VP.5	UČIONICA	2

Proračun je proveden u programskom paketu AX3000, a bazira se na grafičkom označavanju građevinskih elemenata. Za gubitke preko toplinskih mostova, program provodi korekciju dodavanjem $0,05 \text{ W/m}^2\text{K}$ na postojeće iznose koeficijenta prolaza topline. Izračunati prosječni gubici svedeni na kvadrat površine prostorija iznose 116.5 W/m^2 što je u skladu s očekivanim vrijednostima s obzirom na veće vrijednosti toplinske provodnosti zidova i podova od onih preporučenih prema MGIPU. U tablici 5 prikazani su rezultati proračuna po prostorijama, dok je proračun svake prostorije prikazan u prilogu A.

Tablica 5. Rezultati proračuna po prostorijama

OZNAKA	PROSTORIJA	ϑ_{int}	A_r	Φ_{Te}	Φ_T	$\Phi_{V,mi}$	$\Phi_{V,inf}$	$\Phi_{V,su}$	$\Phi_{HL,nett}$	Φ_{RH}	Φ_{HL}
-	-	°C	m ²	W	W	W	W	W	W	W	W
NP.1	TEHNIČKA SOBA	20	21,2	834	541	0	140	245	926	370	1296
NP.2	UČIONICA	20	32,2	1979	1507	0	316	490	2312	556	2868
VP.1	URED	20	13,4	760	760	407	98	0	1167	236	1402
VP.2	ULAZ	20	7,2	0	0	0	0	0	0	128	128
VP.3	UČIONICA	20	57,8	2312	2312	3681	663	0	5993	1067	7059
VP.4	KABINET	20	6,5	423	423	0	44	0	467	105	572
VP.5	UČIONICA	20	73,7	5404	5404	4628	833	0	10032	1341	11374

Glavni parametri koji utječu na toplinske gubitke prostorija su temperaturna razlika vanjske i unutarnje projektne temperature, potom ventilacijski, odnosno infiltracijski gubici. Iz priloženog je vidljiv velik utjecaj infiltracijskih gubitaka koji povećavaju projektne gubitke u gotovo istom iznosu kao i transmisijski gubici što se objašnjava s potrebom za većom izmjenom zraka u prostoru. S obzirom da je riječ o učionicama i uredima, imaju veće zahtjeve za čistim zrakom zbog potrebe za manjom koncentracijom ugljikovog dioksida u prostoru koji smanjuje koncentraciju osoba u slučaju povišenog udjela u zraku. Iz rezultata se vidi da potreba za grijanjem navedenih prostorija iznosi 24,7 kW.

4.2. Proračun projektnih toplinskih dobitaka prema VDI 20178

Proračun projektnog rashladnog opterećenja zgrade provodi se prema normi VDI 2078 u programskom paketu AX3000. U odnosu na normu EN12831 u kojoj su zanemareni solarni dobitci te sama tromost zgrade prilikom zagrijavanja građevnih elemenata i stolarije te njihove predaje topline prostoru, prilikom proračunavanja toplinskih dobitaka oni značajno utječu na toplinsko opterećenje te se uzimaju u obzir.

Norma razlikuje unutarnje i vanjske toplinske dobitke, odnosno transmisijske, solarne i ventilacijske dobitke. Unutarnji toplinski dobici se unose u program te ih sačinjava unutarnja rasvjeta, elementi opreme i uređaja koji se nalaze unutar prostorija te prisutnost ljudi i intenzitet njihova rada u istim prostorijama. Vanjski toplinski dobici se očituju u razlici temperatura vanjskog okoliša i unutarnje projektne temperature te Sunčevog zračenja. S obzirom na manju temperaturnu razliku, najveći utjecaj ima Sunčevo zračenje koje s određenim vremenskim odmakom doprinosi toplinskom opterećenju. Taj vremenski odmak ovisi o masivnosti građevnih elemenata zgrade jer prilikom predaje energije zračenjem, stolarija i građevni elementi akumuliraju tu energiju te im raste temperatura. Nakon što njihova temperatura postane veća od temperature zraka u prostoru, onda dolazi do konvektivnog prijenosa topline na unutarnji zrak čime zračenje postaje opterećenje. Vremenski odmak zbog akumulacije topline u prostoru uzima se u obzir preko faktora toplinskog opterećenja koji je ovisan o masivnosti prostorije, početku i trajanju toplinskog opterećenja, kutu i orijentaciji upada sunčevog zračenja i ostalim parametrima. S obzirom na različiti intenzitet sunčeva zračenja tokom dana, proračun se provodi za više sati za karakterističan dan određenog mjeseca tokom više mjeseci.

Projektna temperatura prostorija u sezoni hlađenja iznosi 26 °C. Snaga električne rasvjete je pretpostavljena na 5 W/m², dok je električna snaga računala 200 W/računalu. S obzirom na različiti intenzitet korištenja u uredima postavljen je faktor upotrebe 0,5, dok je u računalnim učionicama faktor upotrebe postavljen na 0,35. Također postavljeni su dobici od ostale opreme u učionicama i uredima u iznosu od 100 W, dok je u tehničkoj sobi dodan iznos od 700 W zbog opreme koja se korigira s faktorom 0,5 poput pumpi, monitora za pregled podataka, PLC-a i ostale elektroničke opreme. U tablici 6 prikazani su unutarnji, vanjski i latentni dobici, broj ljudi u prostorijama te ukupni projektni dobici prostorija. Računalni softver AX3000 zbraja sve komponente toplinskog opterećenja pojedine prostorije u istom vremenskom trenutku pri čemu se projektne opterećenja ne pojavljuju nužno u istom trenutku. Podaci iz tablice nisu dani u istom trenutku, već predstavljaju najveće projektne toplinske dobitke pojedine prostorije koji se pojavljuju u različitim trenucima tokom dana s obzirom na različito Sunčevo zračenje tokom dana.

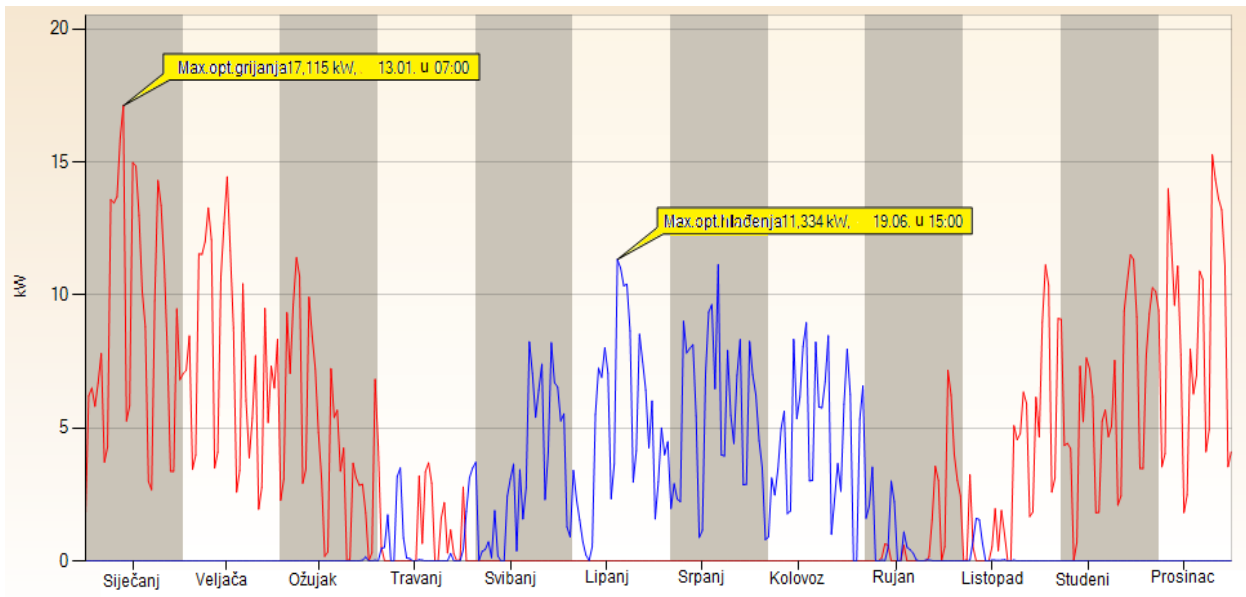
Tablica 6. Rezultati proračuna toplinskih dobitaka

OZNAKA	PROSTORIJA	BROJ LJUDI	UNUTARNJI DOBICI	VANJSKI DOBICI	LATENTNI DOBICI	UKUPNI DOBICI
-	-	-	W	W	W	W
NP.1	TEHNIČKA SOBA	2	862	393	90	1345
NP.2	UČIONICA	13	1012	661	585	2258
VP.1	URED	1	266	332	45	643
VP.2	ULAZ	0	0	0	0	0
VP.3	UČIONICA	13	1930	1004	585	3519
VP.4	KABINET	0	0	149	0	149
VP.5	UČIONICA	16	2298	1592	720	4610

Iz dobivenih podataka može se zaključiti kako najveći utjecaj na ukupno toplinsko opterećenje imaju unutarnji dobitci. Razlog tomu jest sjeverna orijentacija prostorija te manji utjecaj Sunčevih zraka na rashladno opterećenje. Neovisno o manjem utjecaju, ono i dalje predstavlja značajno opterećenje te na svaku prostoriju utječe na vrijeme pojave najvećih toplinskih dobitaka. Podaci iz tablice nisu dani u istom trenutku, već predstavljaju najveće projektne toplinske dobitke pojedine prostorije koji se pojavljuju u različitim trenucima tokom dana s obzirom na različito Sunčevo zračenje tokom dana. Proračun svake prostorije prikazan je u prilogu B.

4.3. Rezultati proračuna za režim grijanja i hlađenja

Kako bi se odredilo projektno rashladno opterećenje zgrade, potrebno je odrediti vremenski trenutak u kojem je najveći zbroj toplinskih opterećenja svih prostorija na godišnjoj razini. Iz tog razloga u računalnom programu AX3000 pokrenuta je simulacija kojom je određen trenutak najvećeg rashladnog opterećenja 19.6. u 15:00 te iznosi 11,3 kW što se vidi iz priloženog grafa na slici 17. Također, uzimajući u obzir sve unutarnje dobitke, najveće ogrjevno opterećenje bi bilo 13.01. u 7:00 te ono iznosi 17,1 kW. Problem koji se javlja kod grijanja jest da postoji mogućnost ne korištenja računala koji su najveći pojedinačni proizvođači toplinske energije u prostorijama čime se za dimenzioniranje opreme i izvora energije ipak koristi projektno opterećenje. Popis svih projektnih opterećenja prikazan je u tablici 7.



Slika 15. Rezultati simulacije grijanja i hlađenja

Tablica 7. Rezultati proračuna potrebe za grijanjem i hlađenjem po svakoj prostoriji

OZNAKA	PROSTORIJA	POTREBA ZA HLAĐENJEM	POTREBA ZA GRIJANJEM
-	-	W	W
NP.1	TEHNIČKA SOBA	1345	1296
NP.2	UČIONICA	2258	2868
VP.1	URED	643	1402
VP.2	ULAZ	0	128
VP.3	UČIONICA	3519	7059
VP.4	KABINET	149	572
VP.5	UČIONICA	4610	11374

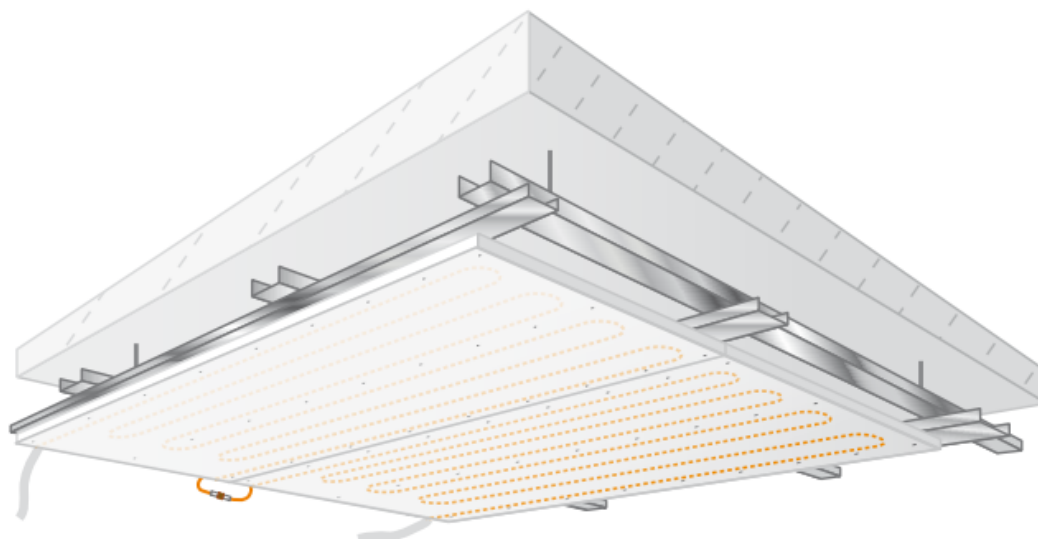
5. PROJEKTIRANJE SUSTAVA GRIJANJA I HLAĐENJA

Prije samog projektiranja ogrjevnih i rashladnih tijela, pažnja je najviše posvećena tehničkoj sobi iz razloga što je primaran cilj bio dizajnirati sustav koji omogućuje ispitivanje rada dizalice topline zrak-voda u realnim uvjetima. Iz tog razloga, postavljeni su neki dodaci sustavu koji će biti objašnjeni u nastavku. Kako bi se simulirali što realniji uvjeti, odlučeno je da će se koristiti različiti sustavi za grijanje i hlađenje na niskom prizemlju i visokom prizemlju. U nastavku će se prikazati odabir i dimenzioniranje svih elemenata potrebnih za vodni sustav grijanja i hlađenja.

5.1. Dimenzioniranje ogrjevnih i rashladnih tijela u niskom prizemlju

Kao ogrjevna i rashladna tijela u niskom prizemlju odabrano je panelno, odnosno stropno grijanje i hlađenje. Osnovni mehanizam izmjene topline između cijevi i prostora jest zračenjem. Stropno grijanje, odnosno hlađenje (SGH) omogućuje ravnomjerniju razdiobu temperature zraka u prostoru s visokom razinom toplinske ugodnosti te se primjenjuje u niskotemperaturnim sustavima grijanja i hlađenja.

SGH je u izvedbi postavljanja na suho, odnosno cijevi se polažu u konstrukciju. Odabrani su paneli kao proizvod Variotherm model ModulStandard koji se postavljaju na stropnu ovješenu podkonstrukciju (Slika 16.). Paneli imaju pravilan razmak između cijevi u duljini od 75 mm, širine 625 mm, dužine 2000 mm.



Slika 16. Moduli stropnog grijanja i hlađenja proizvođača Variotherm [13]

U panele se polažu cijevi PEX-Al-PEX dimenzija 11,6x1,5 mm, a razvod od razdjelnika do panela je dimenzija 16x2 mm. Razvod ne smije biti duži od 120 m. PEX-Al-PEX cijevi su rađene od umreženog polietilena s aluminijskim slojem što im omogućava veću fleksibilnost zbog čega se mogu stavljati i na gušći razmak od preporučenog minimalnog od 90 mm.

S obzirom da se sustav koristi i za hlađenje, postoji opasnost od pojave kondenzacije stoga se ugrađuje detektor kondenzacije stropa prikazan na slici 17. U prostorijama se postavljaju zidni kontroleri kao proizvod Siemens model QMX3.P74 s mogućnošću mjerenja temperature, relativne vlažnosti i koncentracije CO₂. Sobni zidni kontroleri povezani su sa regulatorima za upravljanje stropnim grijanjem i hlađenjem te u slučaju povišene razine relativne vlage u prostoru, šalju signal ventilima i povisuju temperaturu polaza.



Slika 17. Detektor kondenzacije stropa [14]

Kako bi se sustav mogao preciznije regulirati, postavljaju se zasebni razdjelnici za svaku prostoriju. Razdjelnici su postavljeni podstropno ispred kojih se nalaze prolazni regulacijski ventili kojima se regulira protok vode. Odabrani su razdjelnici kao proizvod Variotherm, model VT107. Sastoje se od dva spojna bloka, dva termometra, odzračnika, zračne komore za toplinsku izolaciju te ugrađenim termopogonskim ventilima i indikatorima protoka za balansiranje. Razdjelnik je prikazan na slici 18.



Slika 18. Razdjelnik Variotherm VT107 [15]

Proračun SGH proveden je u Variothermovom računalnom softveru za dimenzioniranje SGH pri čemu je temperaturni režim grijanja 35/30 °C, a hlađenja 17/21 °C. Unutarnja zimska

projektna temperatura iznosi 20 °C, a ljetna 26 °C. U tablici 8 prikazan je instalirani ogrjevni i rashladni učin u prostorijama. Cjelokupni proračun stropnog grijanja i hlađenja prikazan je u prilogu C, dok je raspored panela prikazan na crtežu 4.

Tablica 8. Popis instaliranog ogrjevnog i rashladnog učina u prostorijama

OZNAKA	PROSTORIJA	PROJEKTNI GUBICI	PROJEKTNI DOBICI	INSTALIRANI OGRJEVNI UČIN	INSTALIRANI RASHLADNI UČIN
-	-	W	W	W	W
NP.1	TEHNIČKA SOBA	1296	1345	1020	795
NP.2	UČIONICA	2868	2258	1564	1219

Uz maksimalno dopušteno postavljanje panela, vidljivo je da instalirani učin nije dostatan da pokrije projektirane gubitke i dobitke stoga se uz sustav SGH dodaje i kanalni grijač/hladnjak.

Postavljen je kanalni grijač/hladnjak kao proizvod Systemair tip PGK 40-20-3-2,0 (Slika 19.) povezan na ventilacijski sustav u prostorijama. U zimskom režimu dogrijava dobavljeni zrak u prostor, a u ljetnom režimu bi mu primarna svrha bila odvlaživanje uz hlađenje po potrebi. Vanjski zrak prolazi kroz rekuperator te se kondicionira prolaskom kroz kanalni grijač/hladnjak i ubacuje se u prostor.



Slika 19. Kanalni izmjenjivač [16]

Za dimenzioniranje izmjenjivača potrebno je savladati gubitke dogrijavanja, odnosno dobitke ohlađivanja vanjskog zraka na stanje zraka u prostoru te svladavanje osjetnih i latentnih opterećenja u prostoru izraženih jednadžbama 1 za hlađenje i 2 za grijanje. Indeks *C* označava režim hlađenja, a indeks *H* režim grijanja.

$$\dot{Q}_{HL} = \dot{Q}_{OPT,C} + \dot{Q}_{VZ,C} \quad (4)$$

$$\dot{Q}_{GR} = \dot{Q}_{OPT,H} + \dot{Q}_{VZ,H} \quad (5)$$

gdje je:

\dot{Q}_{OPT} – toplinsko opterećenje prostorije [W]

\dot{Q}_{VZ} – toplina potrebna za dovođenje vanjskog zraka na temperaturu zraka u prostoru [W]

$$\dot{Q}_{VZ,C} = \dot{V}_{VZ} * \rho_z (h_o - h_i) \quad (6)$$

$$\dot{Q}_{VZ,H} = \dot{V}_{VZ} * \rho_z * c_p (t_i - t_o) \quad (7)$$

Proračun hladnjaka je izražen preko razlike entalpija, dok je proračun grijača izražen s razlikom temperatura zbog sigurnosti. Protok zraka je isti za dobavu i odsis zraka te iznosi 360 m³/h. Proračun kanalnog grijača/hladnjaka proveden je u računalnom programu proizvođača Systemair koji daje podatke za hlađenje, nakon čega se uz poznati protok i temperaturni režim odredi učin za grijanje. Određeni unutarnji projektni uvjeti su:

- Za zimu: $\vartheta_{p,z} = 20^{\circ}\text{C}$, $\varphi_{p,z} = 40\%$
- Za ljeto: $\vartheta_{p,lj} = 26^{\circ}\text{C}$, $\varphi_{p,lj} = 60\%$

Rekuperator ima stupanj povrata topline 80 % te stupanj povrata entalpije 68 % ljeti, a 72% zimi. Stanja zraka prije i nakon prolaska kroz rekuperator dana su u tablici 9, gdje je s eksponentom 1 označeno stanje dobavnog zraka prije prolaska kroz rekuperator, a s eksponentom 2 poslije rekuperatora. Temperaturni režim u hlađenju iznosi 7/12 °C, dok je u grijanju 45/40 °C. Proračun grijača/hladnjaka dan je u tablici 10. Zbog upotrebe istog izmjenjivača i istog protoka, padovi tlaka vode su pretpostavljeni isti za režim grijanja i hlađenja.

Tablica 9. Stanja dobavnog zraka prije i poslije prolaska kroz rekuperator

	ϑ_1	ϑ_2	h_1	h_2	φ_1	φ_2
	°C	°C	kJ/kg	kJ/kg	%	%
Zima	4	16,8	7,3	32,4	26	42
Ljeto	30,7	27	75,6	62,55	63	65

Tablica 10. Rezultati proračuna kanalnog grijača/hladnjaka

	\dot{Q}_{VZ}	\dot{Q}_{OPT}	\dot{Q}_{need}	\dot{Q}_{ins}	q_m	Δp_{gh}
	W	W	W	W	l/s	kPa
Zima	394	1580	1974	2334	0,114	3,1
Ljeto	507	1589	2096	2140	0,113	3,1

Kanalni grijač/ hladnjak se regulira preko tlačno neovisnog balans ventila, koji je povezan na zidni sobni kontrolor. Primarno je korištenje sustava stropnog grijanja i hlađenja. Kanalni grijač/hladnjak je povezan s ventilokonvektorom u susjednoj prostoriji na istu vertikalnu.

Kako bi se moglo provoditi ispitivanje dizalice topline u slučaju suficita rashladne energije, u telefonsku centralu pored tehničke sobe ugrađuje se kazetni ventilokonvektor MKD 500 kao proizvod Midea (Slika 20.). Rashladni kapacitet ventilokonvektora iznosi 4,5 kW te će se upravljati njime iz tehničke sobe. Ispred se nalazi tlačno neovisni balans ventil s kojim se otvara ili zatvara dotok vode. S obzirom da će se ventilokonvektor koristiti samo u slučaju viška rashladne energije, ne ulazi u proračun primarnog kruga za pad tlaka cijevovoda. Na crtežu 3 prikazan je razvod cijevne i kondenzne mreže po niskom prizemlju.



Slika 20. Kazetni ventilokonvektor proizvođača Midea [17]

5.2. Dimenzioniranje ogrjevnih i rashladnih tijela visokog prizemlja

Kao ogrjevna i rashladna tijela, u visokom prizemlju postavljaju se kazetni ventilokonvektori u podstropnoj izvedbi kao proizvod Daikin iz serije FWF-BT (Slika 21.). U ured na visokom prizemlju postavlja se jedan ventilokonvektor ogrjevnog snage 2,4 kW, a rashladne 1,7 kW, dok se u ostale prostorije postavljaju ventilokonvektori ogrjevnog snage 3,3 kW, a rashladne 3,0 kW. Kondenzat koji nastaje u režimu hlađenja odvodi se pomoću standardno ugrađene pumpe za odvod s visinom dobave do 600 mm. Tehnički podaci prikazani su u tablici 11. Raspored ventilokonvektora u prostorijama prikazan je na crtežu 5 u prilogu E.



Slika 21. Kazetni ventilokonvektor proizvođača Daikin [18]

Tablica 11. Tehnički opis ventilokonvektora [18]

Ventilokonvektor		FWF-BT03	FWF-BT02
Dimenzije [LxBxh]	mm	575x575x285	575x575x285
Težina	kg	19	19
Protok zraka -max	m ³ /h	468	468
Ukupna razina zvučne snage	dB(A)	38	38
Pad tlaka vode	kPa	18	7
Frekvencija	Hz	50	50
Napon	V	220-440	220-440
Ogrjevni učin	kW	3,3	2,4
Rashladni učin	kW	3	1,7

Regulacija se provodi na strani zraka promjenom brzine vrtnje ventilatora i na strani vode povećanjem ili smanjenjem protoka vode preko regulacijsko balansirajućeg ventila neovisnog o promjeni diferencijalnog tlaka. U prostorijama su postavljeni sobni zidni kontroleri kao proizvod Siemens model QMX3.P74. Moguća je ručna regulacija protoka zraka te automatska kojom se prvo regulira protok zraka, potom dotok vode.

Zimski režim rada ventilokonvektora je 45/40 °C, dok je ljetni 7/12 °C. Unutarnja zimska projektna temperatura je 20 °C, a ljetna 26 °C. U tablici 12 prikazani su podaci instaliranog učina u prostorijama i projektnih gubitaka i dobitaka.

Tablica 12. Popis instaliranog učina u prostorijama

OZNAKA	PROSTORIJA	PROJEKTNI GUBICI	PROJEKTNI DOBICI	INSTALIRANI OGRJEVNI UČIN	INSTALIRANI RASHLADNI UČIN
-	-	W	W	W	W
VP.1	URED	1402	643	2400	1700
VP.2	ULAZ	128	203	0	0
VP.3	UČIONICA	7059	3519	6600	6000
VP.4	KABINET	572	149	0	0
VP.5	UČIONICA	11374	4610	9900	9000

Ukupni projektni toplinski gubici iznose 20,5 kW dok je instalirani ogrjevni učin 18,9 kW. Razlog tomu je što kroz prostorije prolaze vertikalne postojećeg sustava grijanja te radijatori koji bi se koristili u slučaju nedostatne toplinskog učina ili u vremenima kada se sustav neće koristiti zbog mogućih različitih ispitivanja dizalice topline. U režimu hlađenja vidljivo je da je instalirani rashladni učin veći za 45% u odnosu na projektne dobitke prostorija što će omogućiti korisnicima i niže temperature u prostoru koje će moći prilagoditi po vlastitim željama. Prilikom dostizanja postavne temperature u prostoru, regulacijski ventil će zatvoriti dotok vode kroz ventilokonvektor čime će porasti tlak vode u sustavu, odnosno smanjiti će se brzina okretaja pumpe.

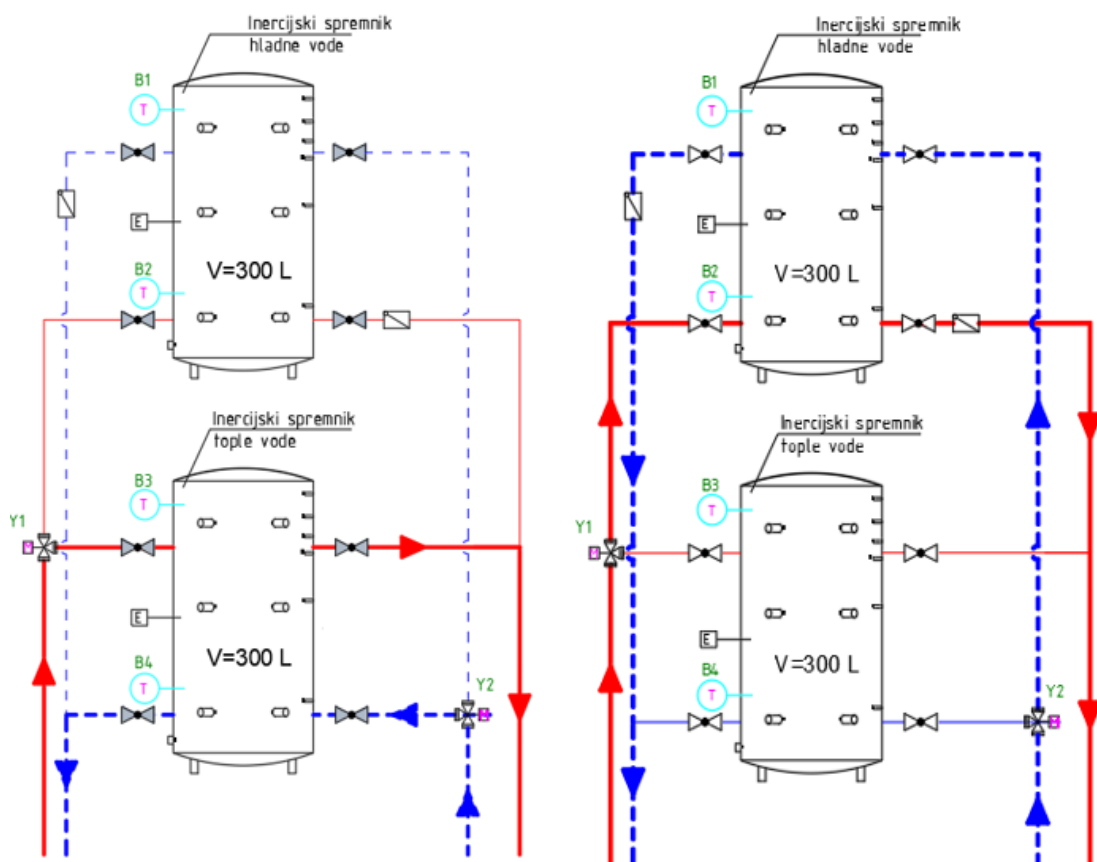
5.3. Komponente ispitne linije

Ispitna linija sastoji se od mjerne opreme, regulacijskih elemenata, međuspremnik, ispitivanog elementa (dizalice topline) te dodatnih elemenata u sustavu.

5.3.1. Međuspremnik

U sustav se ugrađuju međuspremnici koji se koriste za poboljšanje pogonskih uvjeta i hidrauličku zaštitu dizalice topline. Omogućuju ravnomjerniji rad dizalice topline smanjenjem učestalosti paljenja i gašenja kompresora pri djelomičnim opterećenjima. Akumuliranje toplinske energije omogućava lakše pokrivanje vršnih opterećenja i pokrivanje opterećenja sustava u slučaju nepredviđenih zastoja. Također, u slučaju noćnog korištenja spremnika, moguće je i ostvarivanje ušteda u vidu niže tarife električne energije. Standardna inženjerska praksa predlaže dimenzioniranje međuspremnik na temelju instaliranog učina izvora topline 5-20 L/kW. S obzirom da će se spremnik koristiti za grijanje i hlađenje potrebna je dvostruka funkcija izolacije, odnosno toplinska i antikondenzacijska izolacija. Za potrebe ispitivanja i daljnjih mjerenja te budućih mogućnosti upotrebe ispitne stanice za

dizalice topline, odabrana su dva spremnika koja bi radila ili u grijanju ili hlađenju, kapaciteta 300 L svaki. Također, ostavlja se prostor za kombinacije ispitivanja i mjerenja dviju dizalica topline istovremeno. Na slici 21 prikazani su smjerovi toka strujanja vode prilikom ljetnog i zimskog režima. U inercijskom spremniku hladne vode postavljen je električni grijač pomoću kojeg bi se ispitivale dizalice topline u režimu hlađenja predstavljajući dodatan potrošač, odnosno rashladno opterećenje. U inercijskom spremniku tople vode postavljen je električni grijač kao nadopuna ogrjevnog sustava u slučaju ispitivanja dizalice topline nižeg kapaciteta. Također, ostavlja se prostor za kombinacije ispitivanja i mjerenja dviju dizalica topline istovremeno.



Slika 22. Smjer strujanja vode u procesu grijanja (lijevo) i hlađenja (desno)

Crvenom bojom označen je smjer strujanja polaznog voda, dok je plavom bojom prikazan smjer strujanja povratnog voda. S oznakama Y1 i Y2 prikazani su troputni ventili pomoću kojih se regulira smjer strujanja vode. Oznakama B1 i B2 prikazani su temperaturni osjetnici postavljeni u inercijskom spremniku hladne vode, dok su s oznakama B3 i B4 prikazani temperaturni osjetnici u inercijskom spremniku tople vode kojima se mjere temperature na ulazu i izlazu iz spremnika.

5.3.2. Razdjelnik/sabirnik

Sva ogrjevna i rashladna tijela preko vertikalna spajaju se na razdjelnik s tri kruga grijanja/hlađenja. Spajanje preko razdjelnika omogućuje zatvaranje protoka vode u pojedinoj vertikali u slučaju propuštanja ili ne korištenja prostora te za jednostavnije mjerenje potrošnje energije pojedinih dijelova ispitivanog sustava. Razdjelnik je smješten u kutu tehničke sobe, a pad tlaka iznosi 1000 Pa.

5.3.3. Cirkulacijske pumpe i cjevovodi sustava

Hidraulička pumpa je sastavni dio sustava grijanja i hlađenja kojoj se izvana dovodi mehanički rad koji se pretvara u energiju radnog fluida. Za pogon pumpe obično se koriste elektromotori te je bitno praćenje potrošnje električne energije za utvrđivanje faktora sezonske učinkovitosti sustava. Cirkulacijske pumpe rade na principu okretanja lopatica kojima usisavaju volumen fluida te mu predaju energiju, odnosno povisuju tlak koji omogućava svladavanje lokalnih i linijskih padova tlaka. Kako bi se odabrala odgovarajuća pumpa, potrebno je odrediti kritičnu dionicu kroz koju će biti najveći pad tlaka te sve lokalne padove tlaka od armature koja se nalazi na toj dionici. Prilikom dimenzioniranja cjevovoda moraju se slijediti preporuke minimalne i maksimalne brzine strujanja vode za određenu veličinu cjevovoda te linijskog pada tlaka koji nastaje. Uvjeti brzine strujanja osiguravaju funkcionalnost sustava, dok uvjeti linijskog pada tlaka osiguravaju udobnost, odnosno sprječavaju nastajanje buke u prostoru. Preporuke po linijskom padu tlaka su:

- 40-100 Pa/m za spojeve s ogrjevnim tijelima
- 100-200 Pa/m za glavne grane cjevovoda

U praksi se postavljaju dimenzije cjevovoda koje bi imale linijski pad tlaka u iznosu i od 150 Pa/m u spojevima s ogrjevnim tijelima s obzirom da su to samo preporuke.

Kako bi se odabrala pumpa, potrebno je odrediti kritičnu dionicu kroz koju će biti najveći pad tlaka te sve lokalne padove tlaka od armature koja se nalazi na toj dionici. Poznavajući k_v vrijednosti koja prikazuje protok vode u m^3/h kroz armaturni element pri razlici tlaka od 1 bar moguće je odrediti sve padove tlaka u elementima pomoću jednadžbe 5.

$$\Delta p = \left(\frac{q_v}{100 * k_v} \right)^2 \quad (8)$$

Gdje je:

q_v – volumni protok [L/h]

Δp – pad tlaka [kPa]

Zbog mogućih promjena prilikom izvođenja radova, u proračunu ukupnog pada tlaka na kritičnim dionicama povećani su izračunati gubici za 15 %.

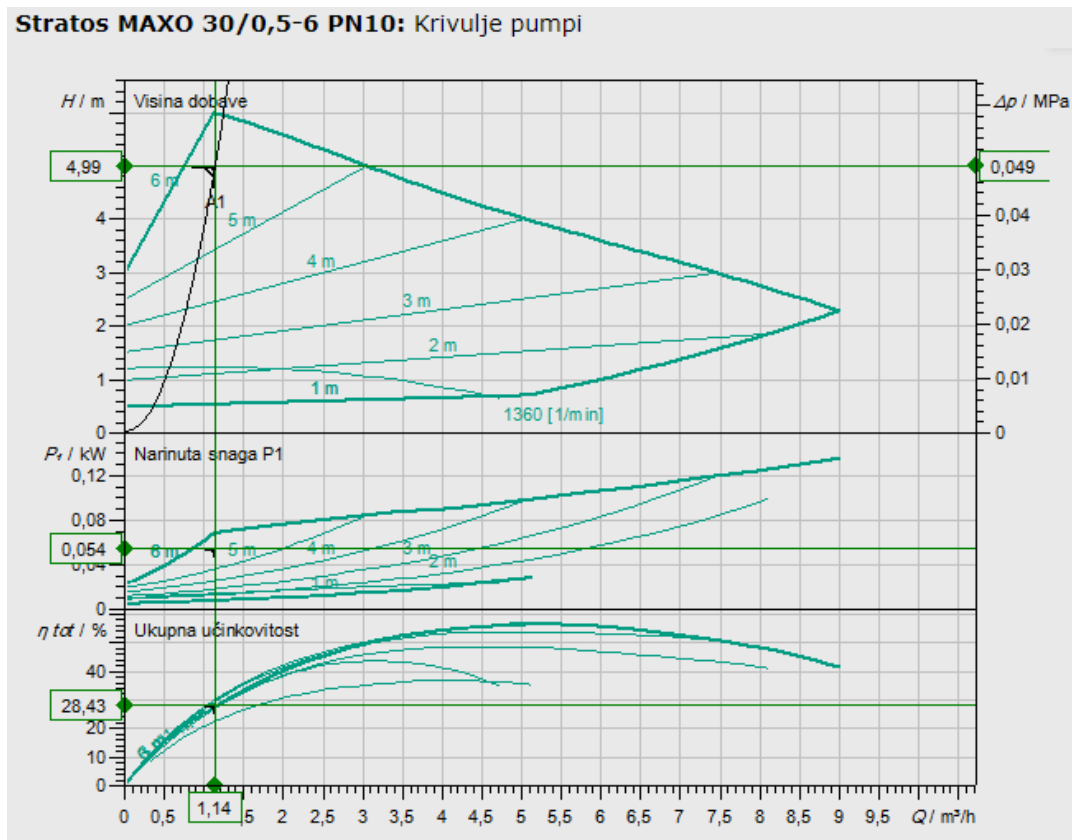
Sekundarni krug se sastoji od 3 grane. Grana 1 dobavlja vodu do kanalnog grijača/hladnjaka u niskom prizemlju te kazetnog ventilokonvektora u telefonskoj centrali. Grana 2 dobavlja vodu za stropno grijanje i hlađenje u niskom prizemlju, dok grana 3 dobavlja vodu u ventilokonvektore na visokom prizemlju. Grana 1 i 3 su odvojene zbog jednostavnijeg mjerenja potrošnje energije, a grana 2 zbog različitog temperaturnog režima. Na svakoj grani nalazi se po 5 zapornih ventila, filter za vodu, nepovratni ventil te kalorimetri.

Grana 1 sastoji se od cijevnog razvoda u niskom prizemlju te povezuje kanalni izmjenjivač i ventilokonvektor u telefonskoj centrali s razdjelnikom. Pad tlaka kroz kanalni grijač/hladnjak iznosi 3100 Pa, dok kroz ventilokonvektor iznosi 16 000 Pa u režimu hlađenja, čime je kritična dionica grane 1 upravo do bližeg ventilokonvektora nego udaljenijeg grijača/hladnjaka jer linijski i lokalni gubici ne nadoknađuju razliku. Proračun pada tlaka kritične dionice grane 1 prikazan je u tablici 13.

Tablica 13. Pad tlaka kritične dionice grane 1

Grana 1													
	L	Učinak	m*c	protok vode	DN	du	v	R	RL	ζ	Z	RL+Z	
dionica	m	W	J/K	kg/s	mm	mm	m/s	Pa/m	Pa	-	Pa	Pa	
1	5,6	6640	1,328	0,3168	Cuφ35x1,5	32	0,394	76,323	427,41	3	232,83	660,24	
2	4,6	4500	0,9	0,2147	Cuφ28x1,5	25	0,438	125,383	576,76	7	669,79	1246,56	
								Δp armature i ostalih elemenata u Pa					
									Ventilokonvektor			16000	
									Balans ventil			19700	
									Zaporni ventil			700	
									Zaporni ventili			500	
									Nepovratni ventil			936	
									Odvajač nečistoća			350	
									Kalorimetar			800	
									Razdjelnik			1000	
									Zaporni ventil			600	
									Zaliha 15%			6373,9	
									Σ			48867 Pa	

Na osnovu dobivenih rezultata odabrana je pumpa Stratos MAXO 30/0,5-6 PN10 kao proizvod Wilo. Na slici 23 prikazana je radna točka pumpe.



Slika 23. Dijagram radne krivulje pumpe grane 1

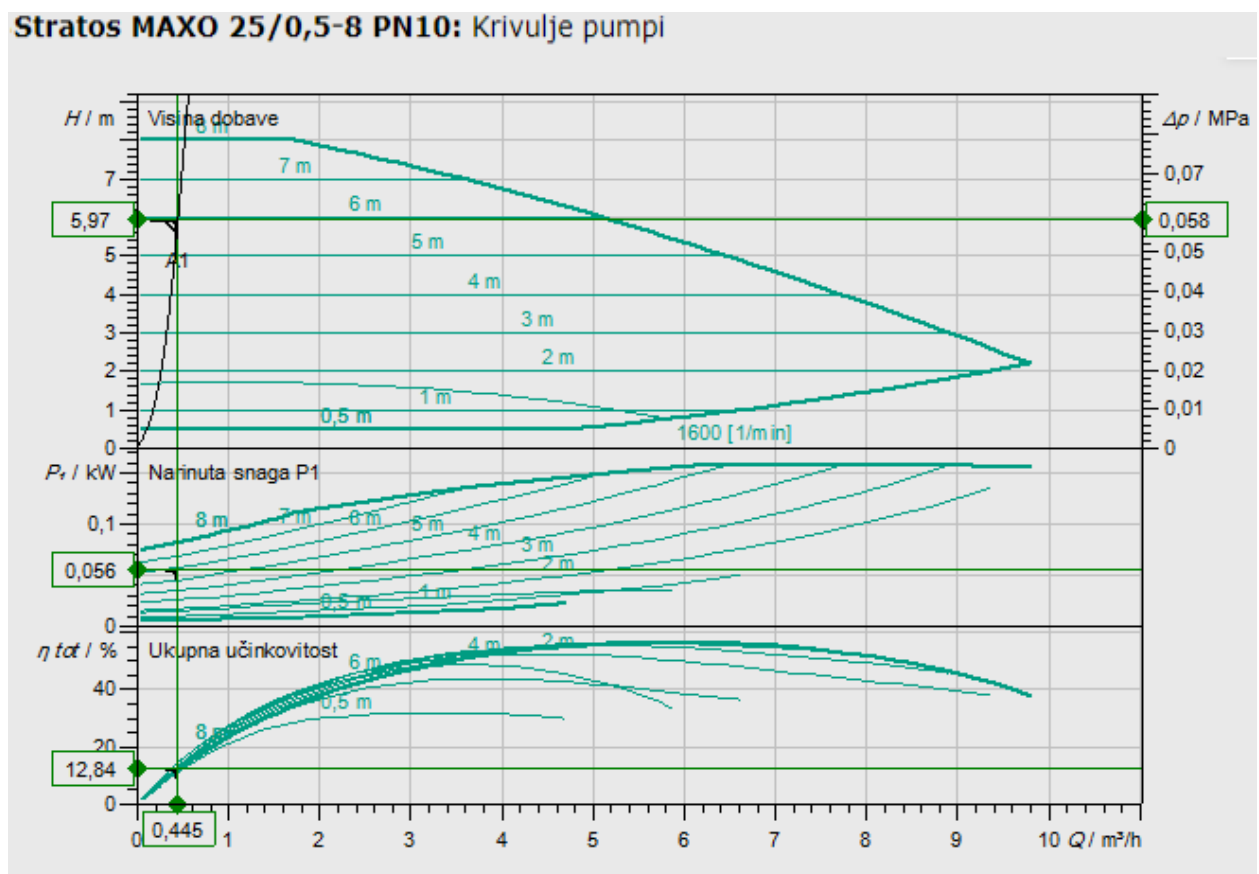
Grana 2 ima na povratnom vodu postavljen tlačno neovisan regulacijski ventil sa značajnijim padom tlaka te prolazne ventile ispred razdjelnika kojima se osigurava dostatan dotok vode. Uz razmjerno iste duljine cjevovoda prema razdjelnicima, veći pad tlaka je na dionici do razdjelnika A koji osigurava razvod po stropu učionice u režimu grijanja. Proračun pada tlaka nalazi se u tablici 14.

Tablica 14. Proračun pada tlaka kritične dionice grane 2

Grana 2												
	L	Učinak	$m \cdot c$	protok vode	DN	d_u	v	R	RL	ζ	Z	RL+Z
dionica	m	W	J/K	kg/s	mm	mm	m/s	Pa/m	Pa	-	Pa	Pa
1	15,5	2584	0,5168	0,1236	Cu \varnothing 22x1	20	0,396	119,7	1855,26	7	545,05	2400,3
2	1,2	1564	0,3128	0,0748	Cu \varnothing 22x1	20	0,239	50,5	60,58	5	142,63	203,2
									Δp armature i ostalih elemenata u Pa			
									Stropno			24500

Zaporni ventil	720
Zaporni ventili	1400
Prolazni ventil	2890
Nepovratni ventili	640
Odvajač nečistoća	160
Balans ventil	15400
Kalorimetar	870
Razdjelnik	1000
Zaporni ventil	600
Zaliha 15%	7617,53
Σ	58401 Pa

Odabrani model pumpe za granu 2 je Stratos MAXO 25/0,5-8 PN10 kao proizvod Wilo. Na slici 24 prikazana je karakteristika pumpe i cjevovoda te radna točka.



Slika 24. Dijagram radne krivulje pumpe grane 2

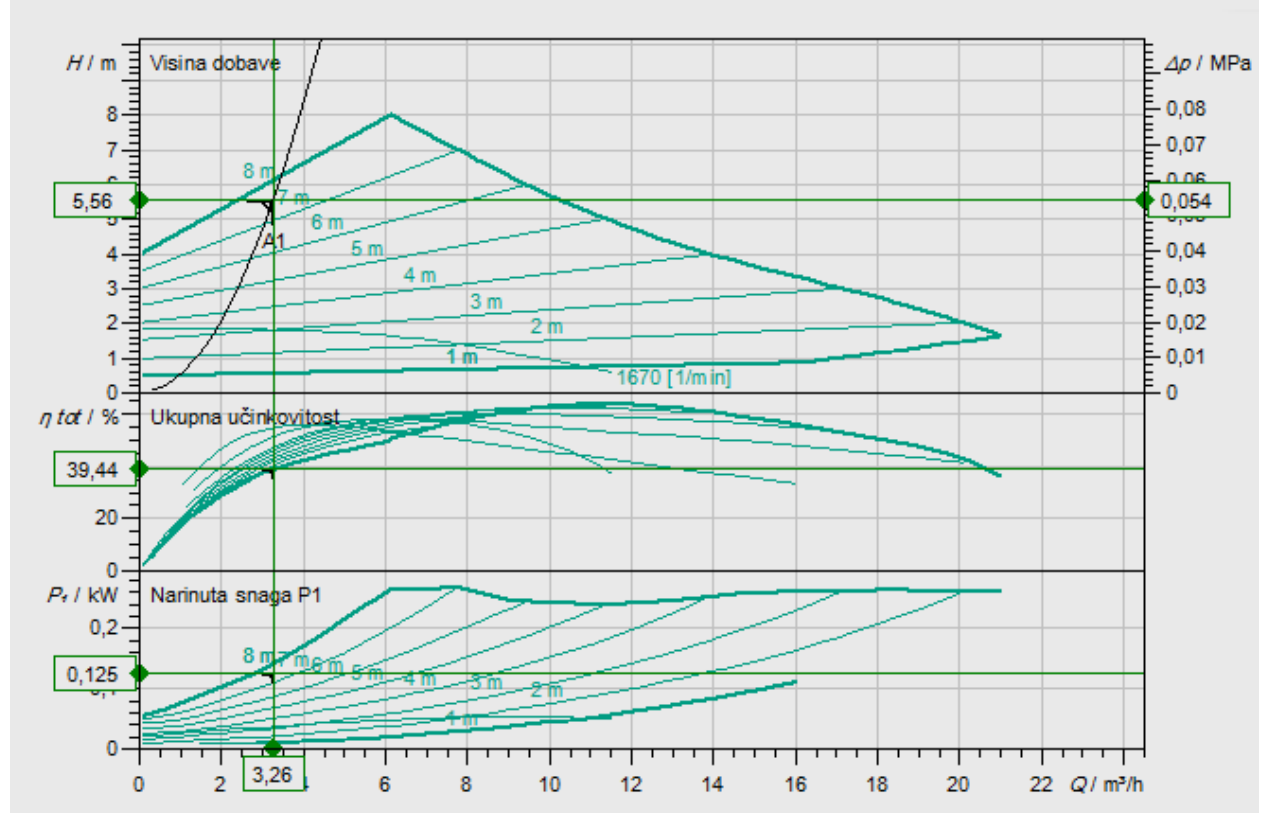
Grana 3 predstavlja cijevni razvod ventilokonvektora po prostorijama na visokom prizemlju. Kritičnu dionicu predstavlja cijevni razvod do najudaljenijeg ventilokonvektora, smještenog u prostoriji VP.5. Proračun pada tlaka kritične dionice grane 3 prikazan je u tablici 15.

Tablica 15. Proračun pada tlaka kritične dionice grane 3

Grana 3												
	L	Učinak	$m \cdot c_w$	protok vode	DN	du	v	R	RL	ζ	Z	RL+Z
dionica	m	W	J/K	kg/s	mm	mm	m/s	Pa/m	Pa	-	Pa	Pa
1	20,4	18900	3,78	0,9054	Cuφ54x2	50	0,465	47,99	979,05	8	857,94	1836,99
2	3,8	16500	3,3	0,7904	Cuφ54x2	50	0,406	37,75	143,44	3,5	286,07	429,52
3	5,4	13200	2,64	0,6323	Cuφ42x2	38	0,562	94,28	509,09	0,5	78,40	587,49
4	10,9	9900	1,98	0,4743	Cuφ42x2	38	0,422	56,75	618,61	0,5	44,10	662,71
5	5,4	6600	1,32	0,3162	Cuφ35x1,5	32	0,397	63,11	340,77	0,5	38,97	379,74
6	6	3300	0,66	0,1581	Cuφ28x1,5	25	0,325	60,81	364,85	4,5	235,40	600,25
								<u>Δp armature i ostalih elemenata u Pa</u>				
								Ventilokonvektor				18000
								Balans ventil				18500
								Zaporni ventil				380
								Zaporni ventili				425
								Nepovratni ventil				671
								Odvajač nečistoća				317
								Kalorimetar				2000
								Razdjelnik				1000
								Zaporni ventil				600
								Zaliha 15%				6958,5
								Σ				53348 Pa

Na osnovu dobivenih rezultata odabrana je pumpa Stratos MAXO 40/0,5-8 PN6/10 kao proizvod Wilo s radnom točkom pumpe prikazanom na slici 25.

Stratos MAXO 40/0,5-8 PN6/10: Krivulje pumpe



Slika 25. Dijagram radne krivulje pumpe grane 3

Primarni krug sastoji se od cijevnog razvoda koji povezuje pločasti izmjenjivač topline glikol-voda s međuspremnikom. Na cjevovod su povezani još: regulacijski elementi, armatura, kombinirani spremnik i pločasti izmjenjivač.

S obzirom na veliku promjenu u površini nastujavanja fluida, pad tlaka kroz akumulacijski spremnik se zanemaruje.

Prilikom ispitivanja dizalica toplina, moguć je prekid rada sustava pri čemu može doći do zaleđivanja vode u cjevovodu koji prolazi kroz slobodnu okolinu. U svrhu zaštite sustava od zaleđivanja vode i pucanja cjevovoda, ugrađuje se pločasti izmjenjivač glikol/voda koji služi kao posredni medij za predviđenu ugradnju monoblok kompaktne dizalice topline. Izvodi se po narudžbi, a tehničke specifikacije su prikazane u tablici 16.

Tablica 16. Tehnički podaci naručenog pločastog izmjenjivača

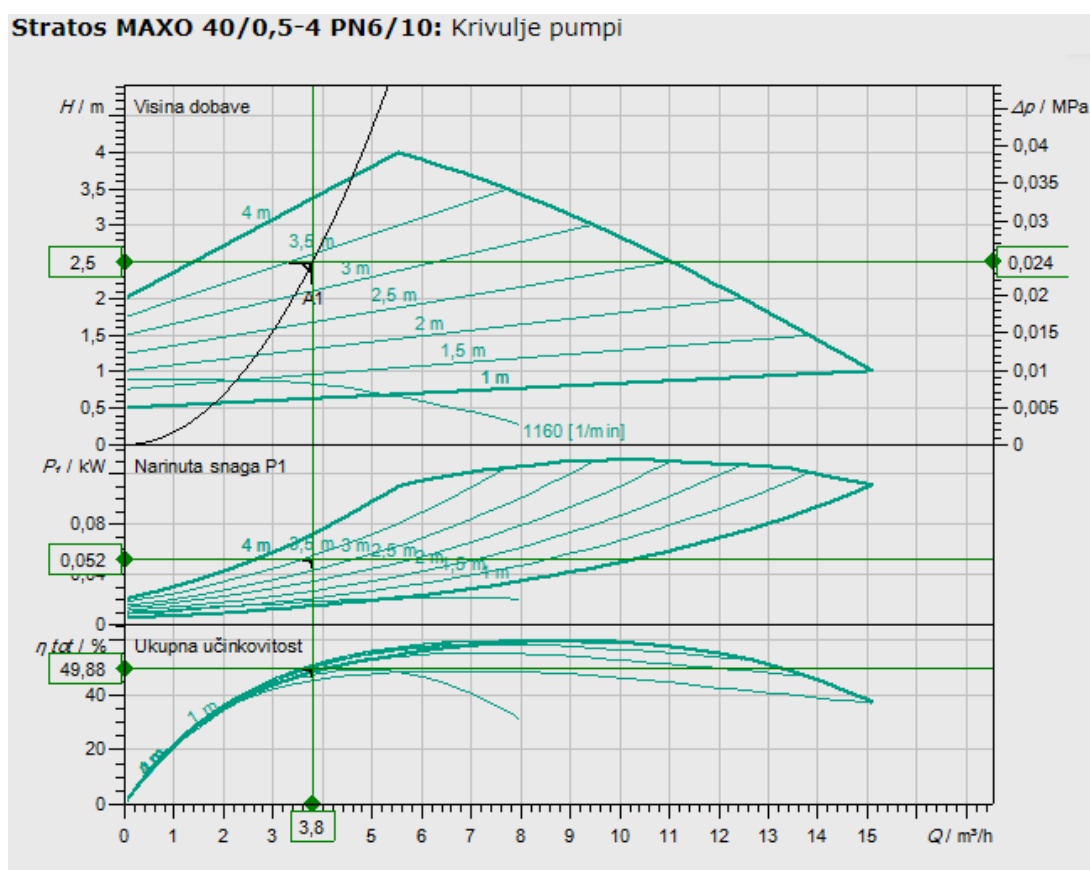
Pločasti izmjenjivač glikol-voda			
Veličina	Jedinica	Strana glikola	Strana vode
Maseni protok	kg/s	1,26	1,05
Volumni protok	m ³ /h	4,37	3,84
Ulazna temperatura	°C	48	39,6
Izlazna temperatura	°C	43	45
Pad tlaka	kPa	8,54	8,4
Kapacitet	kW	23,8	
Dimenzije	mm	528x246x107,5	

Proračun pada tlaka primarnog kruga cjevovoda nalazi se u tablici 17.

Tablica 17. Proračun pada tlaka primarnog kruga cjevovoda

Primar												
	L	Učinak	m*c _w	protok vode	DN	du	v	R	RL	ζ	Z	RL+Z
dionica	m	W	J/K	kg/s	mm	mm	m/s	Pa/m	Pa	-	Pa	Pa
1	14,65	23819	4,41	1,056	Cup54x2	50	0,54	63,14	925,01	15	2190,3	3115,29
								Δp armature i ostalih elemenata u Pa				
								Pločasti izmjenjivač		8400		
								Kombinirani separator		500		
								Zaporni ventili		1050		
								Kalorimetar		6428		
								Troputni ventil		904		
								Nepovratni ventil		913		
								Zaliha 15%		3196,544		
								Σ		24507 Pa		

Na osnovu dobivenih rezultata odabrana je pumpa Stratos MAXO 40/0,5-4 PN6/10 kao proizvod Wilo s radnom točkom prikazanom na slici 26.



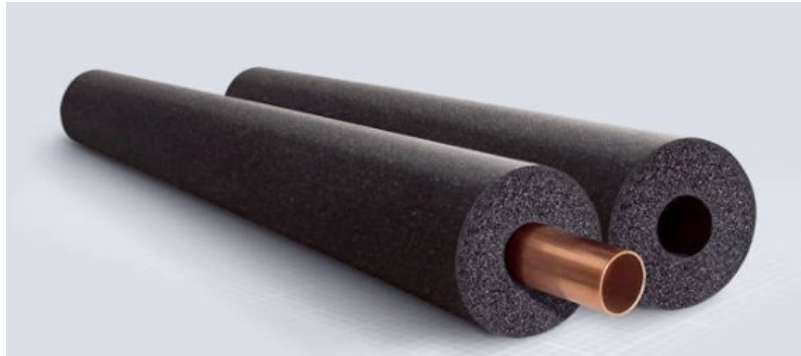
Slika 26. Dijagram radne krivulje pumpe primarnog kruga

U tablici 18 prikazani su radni parametri svih odabranih pumpi u sustavu. Sve pumpe imaju mogućnost povezivanja s upravljačkim ormarom kojem šalju podatke o potrošnji električne energije.

Tablica 18. Tehničke karakteristike rada odabranih pumpi

Pumpe		Stratos MAXO 30/0,5-6 PN10	Stratos MAXO 25/0,5-8 PN10	Stratos MAXO 40/0,5-8 PN6/PN10	Stratos MAXO 40/0,5-4 PN6/10
Protok vode	m 3 /h	1,14	0,445	3,26	3,8
Pad tlaka	kPa	48,87	58,48	54,45	24,5
Visina dobave	m	4,99	5,97	5,56	2,5
Električna snaga	W	54	56	125	52

Svi odabrani cjevovodi oblažu se u 19 mm Armaflex izolacije (Slika 27.) kako bi se spriječila kondenzacija na stijenci cjevovoda te smanjili toplinski gubici.



Slika 27. Armaflex izolacija cjevovoda [19]

5.3.4. Kombinirani separator

Na primarnom krugu postavljen je kombinirani separator za visokoučinkovito uklanjanje čestica prljavštine u cjevovodu i mjehurića zraka. U separator su ugrađeni supermagneti koji privlače željezne čestice i čiste sustav omogućavajući dugovječnost pumpi, kontrolne opreme i ostalih elemenata sustava. Također, omogućuju zadržavanje projektnih uvjeta i smanjuje gubitke izmjene topline. Pad tlaka kroz kombinirani separator iznosi 500 Pa.

5.3.5. Ekspanzijska posuda

Ekspanzijska posuda u sustavu grijanja i hlađenja služi za preuzimanje dodatnog volumena nastalog uslijed promjene temperature vode. Ekspanzijska posuda štiti sustav od pucanja cjevovoda uslijed prirasta tlaka zbog prevelikog volumena vode, ili od manjka vode u sustavu. Ugrađuje se u povratni vod te moraju biti zaštićene od smrzavanja. S obzirom da je pozicija ekspanzijske posude u grijanom prostoru, nema opasnosti od smrzavanja, a zbog većeg širenja volumena vode u zimskom režimu, ekspanzijska posuda odabrana je prema režimu grijanja. Zapremnina ekspanzijske posude određuje se prema jednadžbi 9.

$$V_{n, min} = (V_e + V_v) * \frac{p_e + 1}{p_e - p_o} \quad (9)$$

gdje je:

$V_{n, min}$ - minimalni volumen zatvorene ekspanzijske posude [L]

V_e – Volumen širenja vode u litrama izazvan povišenjem temperature vode od 10°C do maksimalne temperature polaznog voda [L]

$$V_e = \frac{n * V_A}{100} \quad (10)$$

V_A – ukupni volumen vode u sustavu

n – postotak širenja vode u instalaciji ovisan o temperaturi – za zagrijavanje vode do 45 °C, $n=0,935$ % [17]

V_v – dodatni volumen (zaliha) - oko 0,5 % volumena vode u instalaciji, minimalno 3 litre

p_e – projektni kranji tlak, povezan s točkom otvaranja sigurnosnog ventila. Za sustave koji rade pri tlakovima manjim od 5 bar procjenjuje se na 0,5 bar ispod tlaka sigurnosnog ventila (2,5 bar)

p_o – primarni tlak ekspanzijske posude, za instalacije do 10 m iznosi 1 bar

Za izračun volumena širenja vode, potrebno je poznavati ukupan volumen vode u sustavu, koji je prikazan u tablici 19.

Tablica 19. Ukupan volumen vode u sustavu

Element sustava	Volumen [L]
Ventilokonvektori	208
Cijevni razvod	125.3
Izmjenjivač glikol-voda	9.1
Kombinirani spremnik	10
Stropno grijanje/hlađenje	42.7
Akumulacijski spremnici	600
Ukupno (V_A)	995.1

Ukupni volumen vode u sustavu iznosi 995 L te je u tablici 20 prikazan proračun minimalnog volumena ekspanzijske posude.

Tablica 20. Proračun volumena ekspanzijske posude

V_e	h_{sys}	h_{dod}	V_a	n	V_v	p_0	p_e	p_{sv}	V_{nmin}	V_n
9.3	5	2	995.1	0.935	4.98	1	2.5	3	33.32	35
L	m	m	L	%	L	bar	bar	bar	L	L

Na osnovu proračuna odabrana je ekspanzijska posuda zapremnine 35 L.

5.3.6. Dodatna armatura sustava

Ostala armatura u sustavu odnosi se na ventile koji osiguravaju pravilan rad sustava te mjernu i regulacijsku opremu koja će biti objašnjena u daljnjem tekstu. Korišteni ventili na ispitnoj liniji su:





- zaporni ventili (leptir klapne)
- nepovratni ventili
- troputni ventili



Zaporni ventili služe za lakše održavanje i zamjenu opreme te za odabiranje načina rada sustava. Pomoću nepovratnih ventila osigurava se pravilan smjer strujanja vode te zaštita pumpi. Upotrebom troputnih ventila regulira se režim rada u kondicioniranim prostorijama. U razvodu grana potrošača nalaze se još tlačno neovisni regulacijski balans ventili, ručni balans ventili s termopogonom te filteri.

5.3.7. Odabrani elementi sustava

Odabrani elementi ispitne linije prikazani su u tablici 21. Odabrani elementi prikazanih specifikacija, služe za stvarnaje i raspodjelu toplinskog opterećenja ispitivane dizalice topline. S obzirom na mogućnost ispitivanja više dizalica topline zadani su protoci i pad tlaka kroz elemente u poglavlju 5.3.3. U sklopu projekta FSB IRI 2 radi se dizalica topline uz naprednu regulaciju odleđivanja isparivača koja će se prva ispitivati na opisanoj ispitnoj liniji. U nastavku će biti objašnjeno spajanje dizalice toplice s ispitnom linijom.

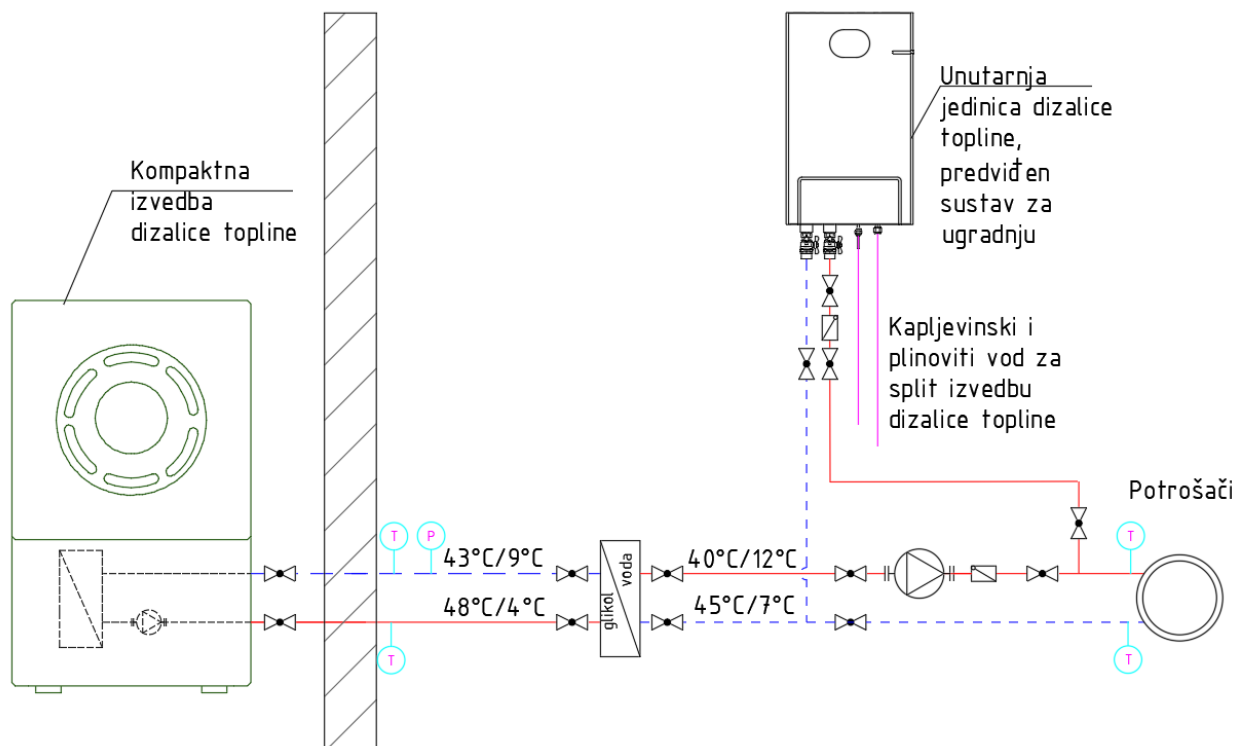
Tablica 21. Prikaz elemenata sustava ispitne linije

Element sustava	Tehničke specifikacije	Slika
Meduspremnik	Kao proizvod Pacetti Tanko-G Radna temperatura: Od -10 °C do 99 °C Radni tlak: 1-8bar Ukupna visina: 1562 mm Vanjski promjer: 650 mm [20]	
Pumpa	Kao proizvod Wilo, serija Stratos MAXO* Max. radni tlak: 10 bar Visina dobave: 8 m Max. količina protoka: 21 m ³ /h Nazivna snaga: 229 W Mrežni priključak: 1-230 V *Opisana pumpa je Stratos MAXO 40/0,5-8 PN6/PN10 [21]	
Razdjelnik /sabirnik	Kao proizvod Maring HV 80/200-3 Protok vode: 5,3 m ³ /h Max. radna temperatura: 85/90 °C Max. radni tlak: 6 bara Ugradbena duljina: 1175 mm [22]	
Kombinirani separator	Kao proizvod Flamcovent Clean Smart EcoPlus 2" Max. radni tlak: 10 bar Radna temperatura: -10 do 120 °C Za brzine strujanja do 3 m/s [23]	

<p>Ekspanzijska posuda</p>	<p>Kao proizvod Imera R 35 Radna temperatura: -10 do 100 °C Max. radni tlak: 8 bara Dimenzije (ϕxh): 365x440 mm</p> <p>[24]</p>	
<p>Zaporni ventil</p>	<p>Kao proizvod Zetkama zBUT Max. radni tlak: 10 bar Radna temperatura: -40 °C do 110 °C</p> <p>[25]</p>	
<p>Nepovratni ventil</p>	<p>Kao proizvod Zetkama zCHE Max. radni tlak: 16 bar Radna temperatura: -10 do 200 °C</p> <p>[25]</p>	
<p>Troputni ventil</p>	<p>Kao proizvod Siemens VXF42.50-40 Max. radni tlak: 16 bar Radna temperatura: -10 do 150 °C Udio propuštanja: 0-0,02%</p> <p>[14]</p>	

5.4. Spajanje dizalice topline s ispitnom linijom

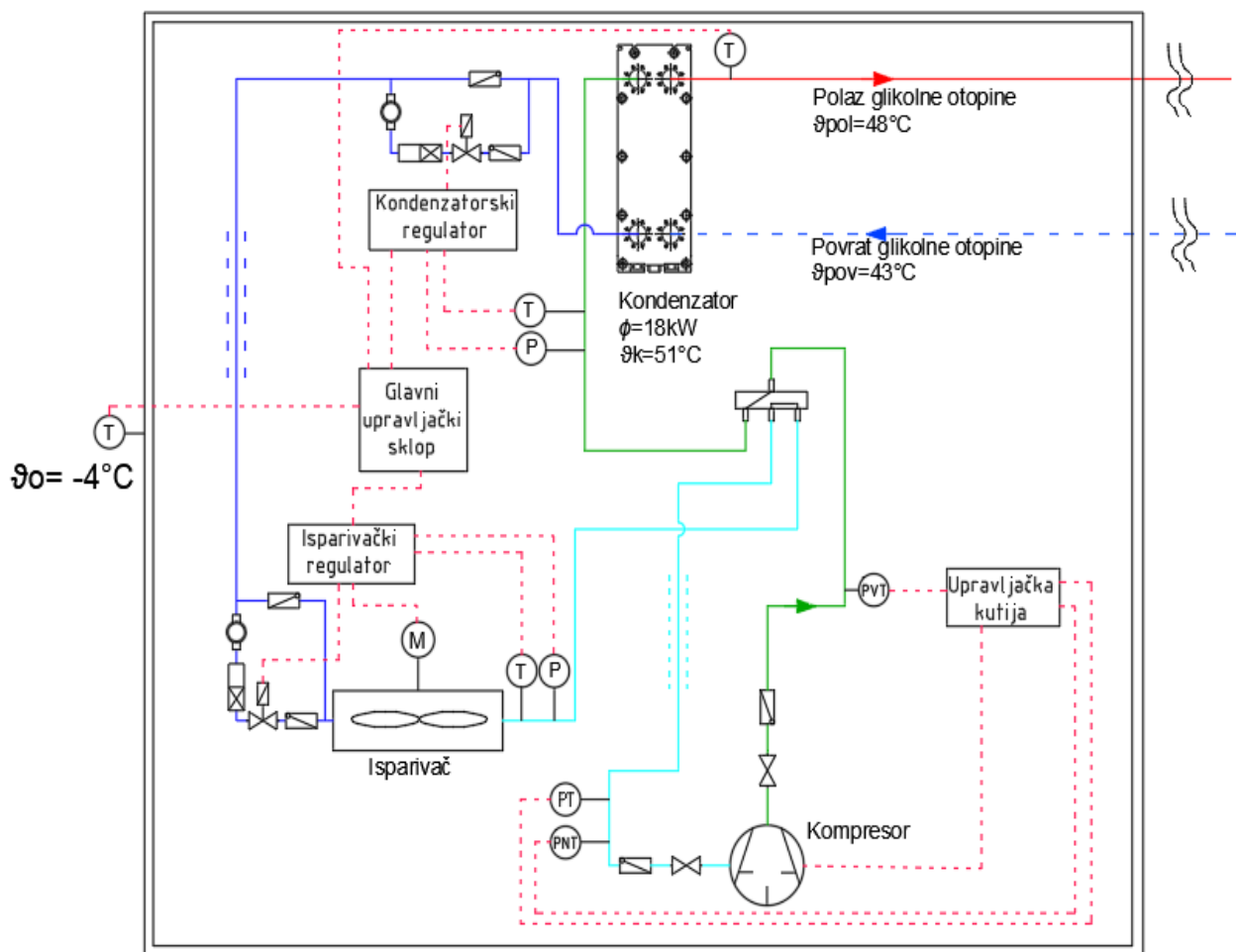
Projektirane prostorije namijenjene su za ispitivanje rada dizalice topline zrak-voda. S obzirom na različite varijante, poput monoblok kompaktne izvedbe i split izvedbe dizalice topline, predvidjele su se mogućnosti spajanja dizalice topline na primarni krug sustava grijanja i hlađenja. Iz tog razloga, postavlja se pločasti izmjenjivač topline glikol-voda, dok se za split izvedbu omogućuje direktno spajanje s primarnim krugom. Otopina glikola omogućuje zaštitu sustava od zaleđivanja vode i pucanja cjevovoda prilikom zimskih mjeseci s obzirom na nižu točku leđišta. Također, glikol nije izložen tipičnim nečistoćama koje se pojavljuju u sustavima s vodom te nije potrebna filtracija ili kemijsko tretiranje. Na slici 28 prikazana je shema spajanja dizalice topline. Preko zapornog ventila određuje se koja dizalica će biti u pogonu.



Slika 28. Shema spajanja dizalice topline sa sustavom grijanja i hlađenja

Dizalice topline će se isporučivati s vlastitom ugrađenom pumpom koje će zadovoljavati uvjet postizanja dobavne visine od barem 2,5 m i protokom 3,8 m³/h. Prilikom režima grijanja, vodu će zagrijavati do temperature 45 °C maksimalno, a u režimu hlađenja će hladiti do 7 °C. Prilikom režima grijanja, vodu će zagrijavati do temperature 45 °C maksimalno, a u režimu hlađenja će hladiti do 7 °C. Ako bi se odabir kapaciteta dizalice topline temeljio na vršnom opterećenju, većinu vremena njen kapacitet bi premašivao potrebe za grijanjem čime

je njen rad potrebno regulirati. Iz tog razloga, proveden je proračun dizalice topline koja bi radila do -4°C vanjske temperature u iznosu od 18 kW ogrjevne snage. U slučaju nedostatka kapaciteta, odnosno niže okolišne temperature, palio bi se električni grijač čime bi dizalica radila u bivalentno-paralelnom radu. Shema uobičajene dizalice topline manjeg kapaciteta prikazana je na slici 26. S oznakom T označeno je mjerenje temperature, dok su s oznakama P, PVT i PNT označena mjerna mjesta mjerenja tlaka. S oznakom M prikazan je motor ventilatora isparivača u režimu grijanja. U prilogu D prikazan je dispozicijski crtež tehničke sobe, dok je u prilogu E na crtežu 1 prikazana shema tehničke sobe.



Slika 29. Shema dizalice topline

Temperature u procesu pretpostavljene su na sljedeći način:

Temperatura kondenzacije:

$$\vartheta_k = \vartheta_{pol} + 3^{\circ}\text{C} \quad (11)$$

gdje je:

ϑ_{pol} – polazna temperatura medija

Temperatura pothlađenja kapljevine:

$$\vartheta_{pot} = \vartheta_k - 3 \text{ } ^\circ\text{C} \quad (12)$$

Temperatura isparavanja radne tvari:

$$\vartheta_{isp} = \vartheta_o - 7 \text{ } ^\circ\text{C} = -4 - 7 = -11 \text{ } ^\circ\text{C} \quad (13)$$

gdje je:

ϑ_o – vanjska postavna temperatura projektiranja dizalice topline [$-4 \text{ } ^\circ\text{C}$]

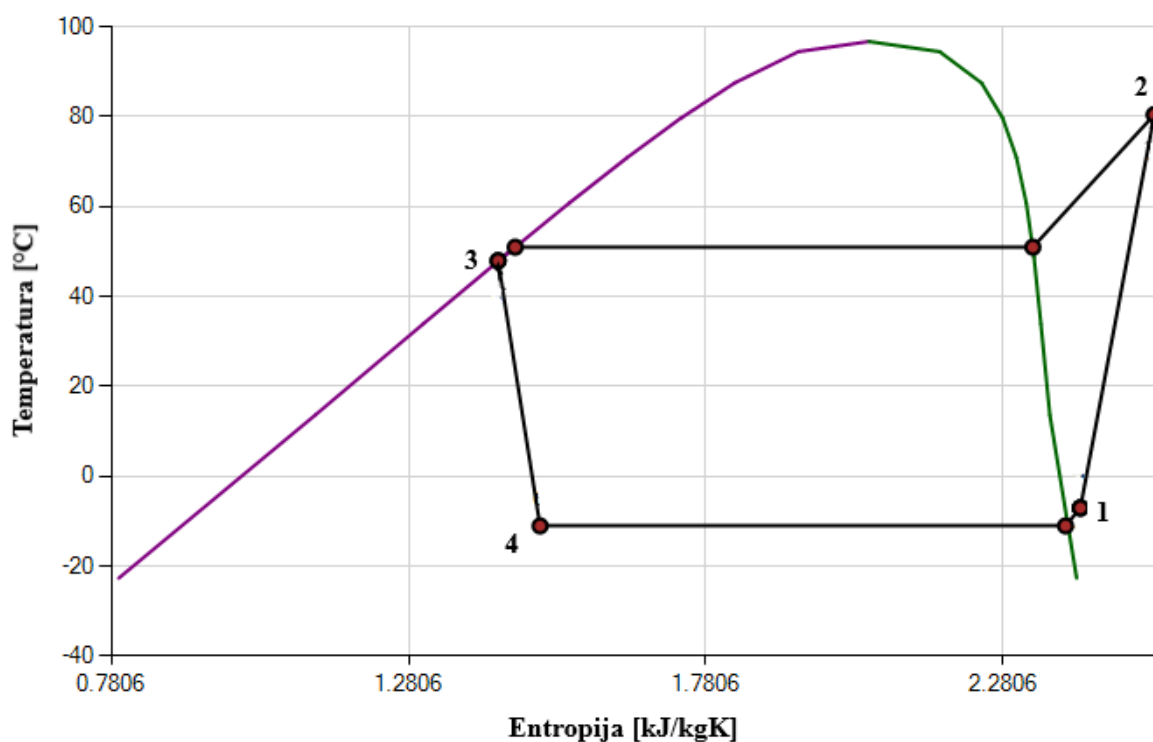
Temperatura pregrijanja radne tvari:

$$\vartheta_{pr} = \vartheta_{isp} + 4 \text{ } ^\circ\text{C} = -11 + 4 = -7 \text{ } ^\circ\text{C} \quad (14)$$

Temperatura kondenzacije će biti viša zbog upotrebe dodatnog izmjenjivača te je polazna temperatura medija $48 \text{ } ^\circ\text{C}$. Proračun ogrjevnog procesa izveden je u računalnom softveru Genetron Properties za dizalicu topline s propanom kao radnom tvari. Izračunati podaci prikazani su u tablici 22. Dok je proces rada sustava prikazan na slici 30, a točke procesa u tablici 23.

Tablica 22. Izračunati podaci procesa pri projektним uvjetima

Veličina	Jedinica	Podaci
Temperatura isparavanja	$^\circ\text{C}$	-11
Temperatura kondenzacije	$^\circ\text{C}$	51
Snaga kompresora	kW	6,11
Učink isparivača	kW	11,89
Učink kondenzatora	kW	18
COP	-	2,947

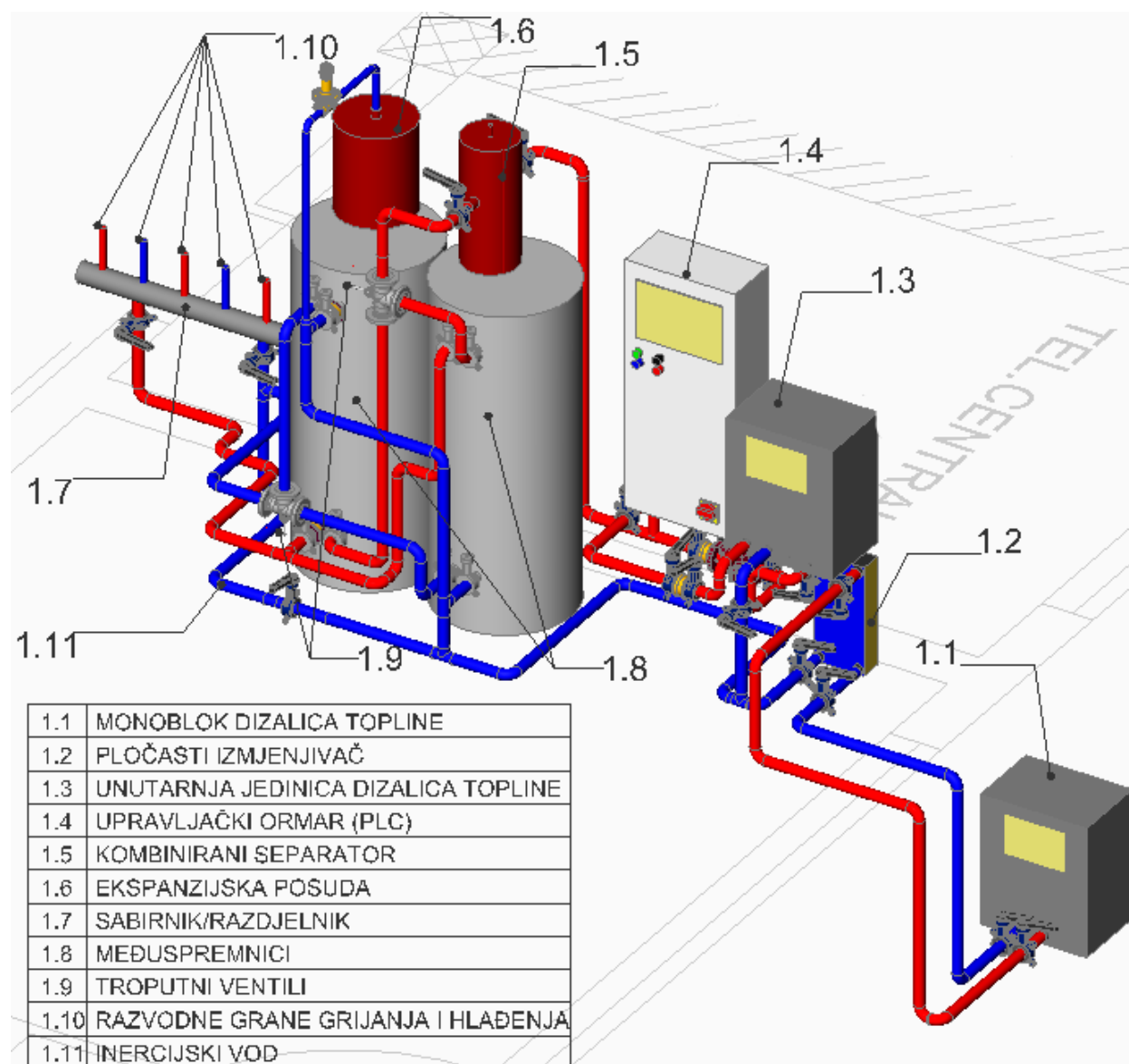


Slika 30. T-s dijagram procesa grijanja dizalicom topline u projektnoj točki

Tablica 23. Radne točke procesa u projektnim uvjetima

Veličina	Jedinica	1	2	3	4
p	kPa	334	1750,9	1750,9	334
T	°C	-7	80,49	48	-11
h	kJ/kg	569,12	691,61	330,63	330,63
s	kJ/kgK	2,4109	2.5355	1,4308	1,5014

3D prikaz cijele Tehničke sobe s kompletnom armaturom nalazi se na slici 31 gdje je s oznakom 1.3 prikazano predviđeno mjesto za ugradnju unutarnje jedinice dizalice topline. S oznakom 1.11 prikazan je inercijski vod kojim se omogućuje eksperimentalno ispitivanje sustava bez korištenja cirkulacijske pumpe dizalice topline pomoću kojeg se mogu ostvariti veće sezonske učinkovitosti sustava. Inercijski vod se upotrebljava otvaranjem zapornog ventila na inercijskom vodu čime povratna voda ulazi direktno u dizalicu topline.



Slika 31. 3D model svih elemenata sustava grijanja i hlađenja u ispitnoj stanici

5.5. Opremanje ispitne linije mjernom opremom

U bilo kojem razvoju proizvoda, nužno je osigurati praćenje ponašanja proizvoda. Također i korisnici žele dobiti proizvod koji bi radio po navedenim karakteristikama te je bitno pružiti što preciznije podatke. Mjerna oprema u sustavu koristi se kao sastavni dio regulacije armature te za mjerenje relevantnih parametara rada dizalice topline koji se zapisuju na mjernom uređaju ili računalu. Pomoću računala omogućava se praćenje pojedinih parametara procesa na osnovu kojih se mogu provoditi analize i donositi zaključci. Ispitna linija opremljena je osjetnicima temperature, tlaka i vlažnosti, mjerilima toplinske i električne energije, zidnim kontrolerima te upravljačkim ormarom (PLC).

5.5.1. Mjerenje temperature i vlažnosti

Mjerenja temperature u ispitnoj stanici provode se pomoću cijevnih osjetnika temperature LG-Ni 1000. Za mjerenje temperature u međuspremnicima koristi se osjetnik duljine 150 mm, dok se za temperature polaznog i povratnog cjevovoda, polaznog voda krugova potrošača te sabirnika i razdjelnika upotrebljava osjetnik duljine 100 mm. Svi termometri su umetnuti u elemente kako bi se što preciznije mjerila temperatura. Stanje vanjskog zraka mjeri se pomoću osjetnika vlažnosti i temperature visoke preciznosti i brzog odgovora.

5.5.2. Mjerenje tlaka

Tlak u sustavu se mjeri u sabirniku. Pretvornik tlaka koristi piezoelektrični efekt, odnosno primjenom sile ili pritiska, kristal (najčešće kvarc) se iteže ili komprimira te se naboj na materijalu mijenja i preraspodjeljuje. Jedna strana materijala postaje pozitivno nabijena, a druga negativno. Na mjerenje ne utječu temperaturne promjene, a podaci se zapisuju u 0-10 V izlaznom signalu.

5.5.3. Mjerenje toplinske energije

Na grane cjevovoda i primarni krug ugrađuju se kalorimetri s mogućnošću zapisa informacija na PLC. Kalorimetri koriste ultrazvučno mjerilo protoka i Pt500 sonde za mjerenje temperature te time omogućuju mjerenje toplinske snage i isporučene toplinske energije. Pt500 sonde su otpornički termometri visoke preciznosti. Mjerenjem toplinske energije određuje se iskoristivost postrojenja.

5.5.4. Mjerene električne veličine

Digitalni multimetri koriste se za mjerenje električne snage i utrošene električne energije regulacijskih elemenata i dizalica topline, ventilatora vanjske jedinice, pumpi i kompresora. Multimetri se sastoje od sondi kojima se može mjeriti struja, napon, otpor i druge funkcije.

5.5.5. Regulacija i pohrana podataka

U prostorijama se postavljaju zonski regulatori s mogućnošću mjerenja temperature, relativne vlažnosti i koncentracije CO₂. Zonski regulatori komuniciraju s ogrijevnim tijelima pomoću kojih se ostvaruju traženi uvjeti u prostoru. Sve informacije se prikazuju na zaslonu regulatora te se zapisuju na PLC-u s kojim su povezani bežično.



Za upravljanje cijelim sustavom i zapisivanje svih prikupljenih informacija koristi se PLC (eng. Programmable Logic Controller) ormar s mogućnošću daljinskog upravljanja te ispisom rezultata u stvarnom vremenu. Upotrebom daljinskog upravljanja, moguće je pratiti




ponašanje sustava i određivati parametre u sobama bez potrebe dolaska u tehničku sobu. Svi regulacijski elementi su povezani s PLC-om žično ili bežično te se na osnovu mjerenih veličina šalju signali koji se pretvaraju u oblik prikladan za prikazivanje i pohranu na računalu.



5.5.6. Odabrana mjerna oprema

Odabrana mjerna oprema prikazana je u tablici 24. U tablici su prikazane specifikacije i mjerne točnosti te slike mjerne opreme.

Tablica 24. Prikaz komponenti mjerne opreme

Komponenta	Specifikacije	Slika
Otpornički termometri	<p>Termometar tip Lg-Ni1000</p> <p>Mjerni raspon (MR): -30 do 130 °C</p> <p>Točnost mjerenja: +/- 1,3 °C MR [26]</p>	
Osjetnik relativne vlažnosti i temperature	<p>QFA3160 kao proizvod Siemens</p> <p>MR temperature: -40 do 70 °C</p> <p>MR relativne vlažnosti: 0-100 %</p> <p>Točnost mjerenja: +/- 2 % relativne vlage (23 °C) +/- 0,3 °C MR (23 °C) +/- 0,6 °C MR (15 do 35 °C) +/- 0,8 °C MR (-35 do 70 °C) [14]</p>	

<p>Pretvarač tlaka</p>	<p>QBE2003 – P10 kao proizvod Siemens Mjerni raspon: 0-10 bar Napajanje: 24 V AC Točnost mjerenja: $\pm 0,3$ % MR</p> <p>[14]</p>	
<p>Kalorimetar</p>	<p>Serijski UH50 kao proizvod Siemens Mjerni raspon: Nominalni protok od 0,6-150 m³/h Točnost mjerenja: ± 2 % MR</p> <p>[14]</p>	
<p>Mjerilo električne energije</p>	<p>Kao proizvod Schrack tip NA96+ Frekvencija: $\pm 0,15$ Hz Snaga: $\pm 0,5$ % Napon: $\pm 0,2$ % Jakost struje: $\pm 0,2$ % Očitavanje vrijednosti na displayu svakih 1,1 sekundu</p> <p>[27]</p>	

<p>Zonski regulator</p>	<p>Kao proizvod Siemens tip QMX3.P74 Mogućnost mjerenja temperature, relativne vlage i udjela CO₂ u prostoru Mjerni raspon: Temperatura: 0-50 °C Relativna vlaga: 0-95 % CO₂: 400-10000 ppm Točnost mjerenja: +/- 0,2 °C (25°C) temperatura +/- 4 % relativna vlažnost +/- 30 ppm (23°C)</p> <p>[14]</p>	
<p>Upravljački ormar (PLC)</p>	<p>EMP/DDC elektroupravljački ormar* Izrada ormara od čeličnog lima Ormar sadrži svu potrebnu el.opremu uključujući ugrađeni DDC regulator PXC 100 Signalizacija stanja uređaja prikazana je na operatorskom ekranu osjetljivom na dodir. Dimenzije: ŠxVxD = 800x1200x300 mm</p> <p>*Podaci su dobiveni od ponuđača opreme</p>	

6. SUSTAV VENTILACIJE

Sustav ventilacije osmišljen je za strojarnicu i učionicu smještenu u niskom prizemlju zgrade. Prirodna ventilacija narušava toplinsku ugodnost zbog neravnomjerne raspodjele zraka u prostoru i nemogućnosti kontrole brzine strujanja zraka. Također, moderna stolarija ima jako dobru zabrtvljenost čime se smanjuje dotok vanjskog zraka, stoga je napredno rješenje upotreba prisilne ventilacije.

S obzirom na dostupan prostor za ugradnju i preporuke prema normi HRN EN12831, odlučeno je u prostorijama osigurati barem 2 izmjene zraka na sat. Također kako bi se smanjila potrošnja energije, odlučeno je koristiti sustav s povratom topline čime je odabran rekuperator Lossnay LGH-50RVX-E kao proizvod Mitsubishi Electric prikazan na slici 32. Odabrani rekuperator ima papirnatu izmjenjivačku površinu kojim ujedno omogućava i povrat vlage.



Slika 32. Lossnay LGH-50RVX-E rekuperator proizvođača Mitsubishi Electric[28]

Kako bi se sustav zaštitio od zamrzavanja, ispred rekuperatora postavlja se električni grijač CB200/3,0 kao proizvod Systemair prikazan na slici 33. Električni grijač se pali kada je temperatura vanjskog zraka niža od 2 °C te zagrijava zrak do temperature 4 °C. Proračun grijača napravljen je u računalnom softveru proizvođača Systemair kojim je određen pad tlaka u iznosu od 5 Pa.

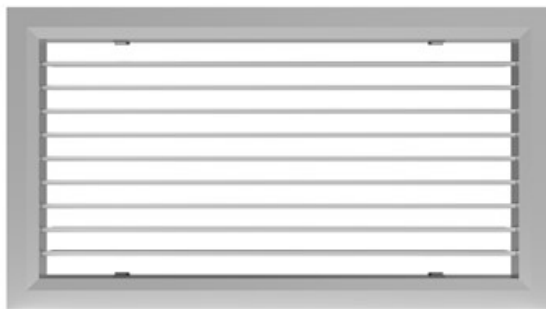


Slika 33. CB200/3,0 električni grijač proizvođača Systemair [29]

Prolaskom kroz rekuperator, dobavni zrak se po potrebi kondicionira pomoću kanalnog grijača/hladnjaka nakon čega se kroz istrujne otvore zrak ubacuje u prostor. Proračun istrujnih otvora napravljen je u internetskom softveru proizvođača Klimaoprema, a dimenzionirani su na način da brzina na istrujnom otvoru ne prelazi 2 m/s, a na dometnoj udaljenosti da brzina strujanja zraka ne prelazi 0,3 m/s. Istrujni otvori se postavljaju na 0,3 m udaljenosti od stropa. Domet u učionici je 6 m dok je u tehničkoj sobi 4,8 m. Proračun istrujnih otvora dan je u tablici 25, a na slici 34 prikazan je odabrani istrujni otvor.

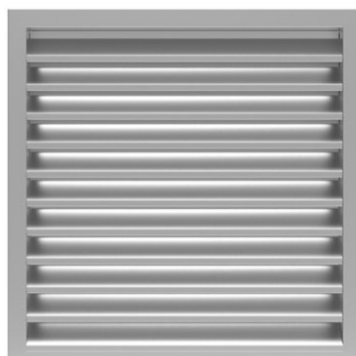
Tablica 25. Proračun istrujnih otvora

Prostorija	Vrsta	Model rešetke	Brzina na izlazu iz istrujnog otvora [m/s]	Brzina zraka na dometnoj udaljenosti [m/s]	Pad tlaka [Pa]
Učionica	Istrujna rešetka	OAH-2-UR-525x225-RAL	<1	0.3	<4
	Odsisna rešetka	OAH-1-UR-325x225-RAL			<4
Strojarnica	Istrujna rešetka	OAH-2-UR-425x125-RAL	1.1	0.27	<4
	Odsisna rešetka	OAH-1-UR-325x125-RAL			<4



Slika 36. Istrujna rešetka tip OAH proizvođača Klimaoprema [30]

Za otpadni i svježi zrak odabrane su žaluzine FZ kao proizvod Klimaoprema prikazane na slici 35. Odabrani tip i dimenzije za obje žaluzine su FZ-385x300-UR. Na žaluzinu otpadnog zraka spaja se i odsisni kanal zraka iz WC-a, zbog čega se na kanal otpadnog zraka iz prostora postavlja nepovratna zaklopka RSK 200 kao proizvod Systemair prikazana na slici 36. Nepovratna zaklopka se postavlja kako bi se spriječilo prestrujavanje zraka iz jednog u drugi kanal.



Slika 35. FZ žaluzina proizvođača Klimaoprema [30]



Slika 34. Nepovratna zaklopka RSK 200 proizvođača Systemair [31]

Za odsisnu ventilaciju WC-a odabran je ventilator EC 100 D kao proizvod Maico prikazan na slici 37.



Slika 37. EC 100 D ventilator proizvođača Maico [32]

Sustav je dimenzioniran tako da brzina strujanja zraka u kanalima ne premašuje brzinu od 3,5 m/s, kako ne bi došlo do stvaranja prekomjerne buke. Glavne komponente za kondicioniranje zraka su električni grijač, rekuperator topline i kanalski hladnjak/grijač. Odabrana dobava zraka iznosila je po dvije izmjene zraka u prostorijama, međutim zbog karakteristike ventilatora i pada tlaka u kanalima stvarna projektna dobava zraka proračunata je iterativnim postupkom te iznosi 240 m³/h za učionu te 120 m³/h za tehničku sobu. Na sljedećoj tablici prikazan je pad tlaka kritične dionice, te valja napomenuti kako je prikazani pad tlaka jednak i za drugu dionicu zbog toga što je sustav proračunski izbalansiran iterativni postupkom. Lokalni padovi tlaka ventilacijskih elemenata su proračunati u računalnom softveru ASHRAE Database. Proračun pada tlaka dobavnog i odsisnog kanala prikazan je u tablicama 26 i 27.

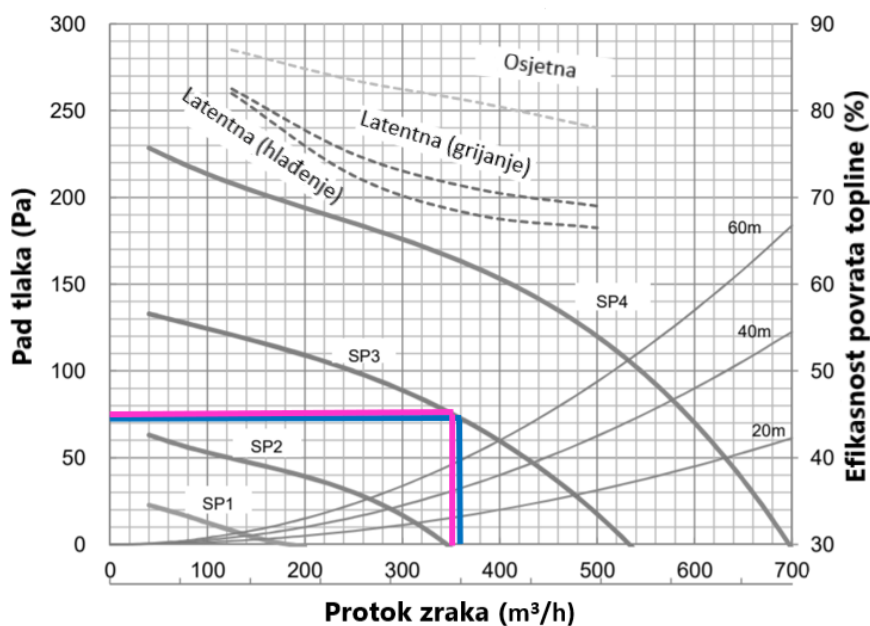
Tablica 26. Proračun pada tlaka dobavnog kanala

DOBAVA												
Dionica	L	\dot{V}_{VZ}	W	H	D_{eq}	D	A	R	R*L	$\Sigma \zeta$	Z	ΔP_{uk}
–	m	m ³ /h	mm	mm	mm	mm	m ²	Pa/m	Pa	–	Pa	Pa
1	2,33	360	–	–	–	200	0,0314	0,73	1,71	1,37	8,36	10,07
	0,26	360	200	200	218,63	–	0,0400	0,42	0,11	2,67	10,05	10,16
2	0	240	200	200	218,63	–	0,0400	0,20	0,00	0,83	1,39	1,39
											Ulazna rešetka FZ	10
											Električni grijač	5
											PGK 40-20	28
											OAH rešetka	4
											Ukupni pad tlaka	68,62

Tablica 27. Proračun pada tlaka odsisnog kanala

ODSIS												
Dionica	L	\dot{V}_{VZ}	W	H	D_{eq}	D	A	R	R*L	$\Sigma \zeta$	Z	ΔP_{uk}
–	m	m^3/h	mm	mm	mm	mm	m^2	Pa/m	Pa	–	Pa	Pa
1	1,3	350	–	–	–	200	0,0314	0,70	0,91	2,62	15,11	16,02
2	0,11	234	200	200	218,63	–	0,0400	0,19	0,02	0,27	0,43	0,45
											FZ izlazna rešetka	10
											Nepovratna zaklopka	39
											OAH odsisna rešetka	4
											Ukupni pad tlaka	69,47

Na osnovu pada tlaka preko karakteristične krivulje rekuperatora određena je količina dobavljenog zraka u prostor i odsisnog zraka. Karakteristična krivulja odabranog rekuperatora prikazana je na slici 38 te je na njoj označena projektna radna točka za dobavu (plava) i odsis (roza).

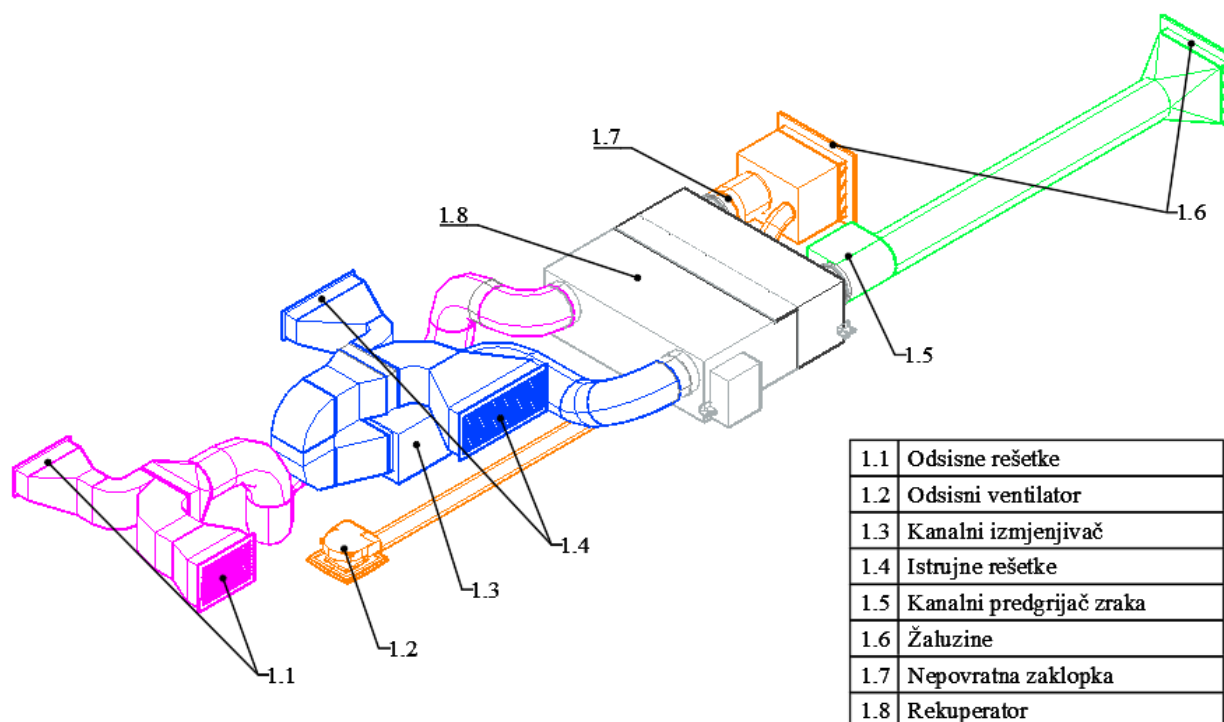


Slika 38. Karakteristična krivulja i radna točka ventilatora

Prema ASHRAE Standard 62, preporučeni ventilacijski minimum po osobi za disanje u zatvorenom prostoru iznosi $30 \text{ m}^3/h$, što znači da bi uvjeti u učionici bili dostatni za 8 ljudi. Rekuperator ima mogućnost rada u 4 brzine, a projektna je treća, čime u slučaju potrebe korisnika za većom količinom zraka, ručno mogu povećati dobavu zraka koja bi u maksimalnoj brzini iznosila $490 \text{ m}^3/h$. S time bi se u učionicu dobavljalo $330 \text{ m}^3/h$, dok bi se

u tehničku sobu dobavljalo $160 \text{ m}^3/\text{h}$ čime bi ventilacijski sustav mogao zadovoljavati 11 korisnika u učionici.

3D prikaz ventilacijskog sustava prikazan je na slici 39 dok se na crtežu 6 u prilogu E nalazi nacrt sa svim oznakama. Zelenom bojom prikazan je kanal svježeg zraka, dok je narančastom prikazan kanal otpadnog zraka. Tlačni kanal prikazan je plavom bojom, a rešetke su smještene u središtu prostorije pri čemu se na rešetkama nalaze krljica kojima se zrak usmjerava prema prozorima, dok se odsis provodi uz zidove prostorija čime se ostvaruje kruženje i veća difuzivnost zraka u prostoru. Odsisni kanal prikazan je rozom bojom.



Slika 39. 3D prikaz ventilacijskog sustava

7. TEHNIČKI OPIS SUSTAVA

Predmetne prostorije u sklopu zgrade FSB-a, ukupne korisne površine 200 m², nalaze se na području Zagreba i sastoje od ukupno dvije etaže. Sve prostorije su grijane i hlađene, uključujući prostor tehničke sobe u kojoj će se prikupljati podaci prilikom rada sustava. Na etaži niskog prizemlja nalazi se još jedna učionica te telefonska centrala koja nema zahtjeve na grijanje i hlađenje, već će služiti za ispitivanje sustava. Na etaži visokog prizemlja nalaze se dvije računalne učionice i ured. Projektni toplinski gubici prostorija izračunati su prema normi HRN EN 12831 te iznose 24,7 kW, dok su projektni toplinski dobici izračunati prema normi VDI 2078 te iznose 11,3 kW. Sustav grijanja i hlađenja izveden je kao centralni vodni s prisilnom cirkulacijom preko panelnog grijanja i hlađenje te upotrebe ventilokonvektora. Na etaži niskog prizemlja predviđena je mehanička ventilacija s upotrebom kanalnog izmjenjivača za dogrijavanje ili odvlaživanje prostora po potrebi.

7.1. PRIPREMA OGRJEVNE I RASHLADNE VODE

Kao izvor toplinskog i rashladnog učina koristi se dizalica topline zrak-voda nazivnog ogrjevnog učina 18 kW pri vanjskoj temperaturi -4°C i temperaturnim režimom vode 45/40 °C. U hlađenju se koristi ista dizalica topline s temperaturnim režimom 7/12°C. Testna stanica omogućava ispitivanje više dizalica topline pri čemu se preko zapornog ventila određuje koja će biti u pogonu. Split izvedbe dizalice topline se trebaju isporučivati s vlastitom ugrađenom pumpom koja zadovoljava uvjet postizanja dobavne visine od 2,5 m te protoka 3,8 m³/h. Kompaktne izvedbe dizalice topline postavljaju se u vanjskom okolišu ispred tehničke sobe te su indirektno povezane s ogrjevnim/rashladnim sustavom preko izmjenjivača glikol/voda. Odabrani pločasti izmjenjivač je kao proizvod Funke GPLK 70-40-H-30 s priključkom DN50 postavljen u tehničkoj sobi. Pad tlaka glikolnog kruga iznosi 9,4 kPa (bez pada tlaka u dizalici topline), dok protok iznosi 4,3 m³/h. Glikolni krug se koristi kako bi se zaštitio sustav od smrzavanja vode u cjevovodu uslijed prekida u radu u zimskom režimu. Cjevovod koji prolazi kroz slobodnu okolinu izolira se prvo s 19 cm toplinske izolacije tipa Armafleks te s 20 mm mineralne vune. Sve zajedno se oblači u aluminijski lim u svrhu zaštite od toplinskih gubitaka te potencijalnih mehaničkih oštećenja. U primarnom krugu, cirkulaciju ogrjevne/rashladne vode omogućava pumpa kao proizvod Wilo tip Stratos MAXO 40/0,5-4 PN6/10.

Na polaznom vodu primarnog kruga ugrađen je kombinirani separator zraka i odvajač nečistoća kao proizvod Flamcovent Clean Smart EcoPlus 2" pomoću kojeg se uklanjaju

nečistoće u cjevovodu, omogućava održavanje projektnih uvjeta te dugovječnost sustava. Voda se prolaskom kroz kombinirani separator dobavlja do međuspremnik ogrjevne/rashladne vode kao proizvod Pacetti Tanko-G zapremnine 300 L. Međuspremnik služi za akumuliranje topline čime se smanjuje učestalost pokretanja dizalice topline te za jednostavnije pokrivanje vršnih opterećenja. Sustav se sastoji od dva međuspremnik pri čemu se koriste odvojeno za akumuliranje tople i hladne vode. U oba međuspremnik ugrađeni su električni grijači snage 5 kW koji bi u režimu grijanja po potrebi dogrijavali vodu, a u režimu hlađenja bi služili kao dodatan potrošač kako bi se moglo vršiti ispitivanje dizalice topline u slučaju da ne bude potrošača, odnosno korisnika u prostoru. Pomoću troputnih ventila regulira se u koji će se spremnik voda dobavljati koji su spojeni na PLC ormar. Također, omogućava se daljnje ispitivanje sustava s dva različita spremnik. Iz međuspremnik se dobavlja voda do razdjelnika kao proizvod MARING HV 80/200-3 koji dijeli protok na 3 cirkulacijska kruga: krug visokog prizemlja, krug niskog prizemlja i krug stropnog grijanja/hlađenja. Na povratnom vodu nalazi se ekspanzijska posuda IMERA R 35 zapremnine 35 L. Svi cjevovodi primarnog kruga izrađeni su od bakrenih cijevi te se izoliraju paronepropusnom izolacijom Armaflex debljine 19 mm.

Cirkulaciju vode kroz krug niskog prizemlja osigurava frekventno regulirana pumpa kao proizvod Wilo tip Stratos MAXO 30/0,5-6 PN10. Temperaturni režim grijanja je 45/40 °C, a hlađenja 7/12 °C. Cirkulacijski krug obuhvaća kanalni izmjenjivač kao proizvod Systemair tip PGK 40-20-3-2,0 u ventilacijskom sustavu i ventilokonvektor kao proizvod Midea tip MKD 500 smješten u telefonskoj centrali. Na povratnom vodu kanalnog izmjenjivača postavljen je tlačno neovisni balans ventil kao proizvod Frese tip Optima Compact DN20 High 4,0 s pogonom 0-10V što mu omogućuje precizniju regulaciju. Ventil je povezan sa zonskim regulatorom kao proizvod Siemens tip QMX3.P74 s KNX komunikacijom s mogućnošću mjerenja temperature, relativne vlažnosti i udjela CO₂ u prostoru. U slučaju potrebe za grijanjem, regulator izdaje nalog aktuatoru ventila koji otvara dotok vode. Potom se s aktuatora signal šalje na PLC koji pokreće pumpu. Ukoliko temperatura u prostoru postane previsoka, ventil smanjuje količinu propuštene vode. U slučaju potrebe za odvlaživanjem, u prostoru se nalaze detektori kondenzacije stropa kao proizvod Siemens tip QXA2100 koji šalju signal na zonski regulator. Prema tome, regulator u komunikaciji s ventilom propušta vodu u izmjenjivač kojom se odvlažuje i/ili hladi po potrebi. Ogrjevni učin izmjenjivača iznosi 2,3 kW, dok rashladni iznosi 2,1 kW. Nadalje, u telefonskoj centrali postavljen je ventilokonvektor rashladnog učina 4,5 kW. Na povratnom vodu postavljen je

tlačno neovisan balans ventil kao proizvod Frese tip Optima Compact DN25 Low 5,5 s on/off pogonom. Taj ventilokonvektor se koristi isključivo u režimu hlađenja u svrhu ispitivanja dizalice topline. Na PLC-u se odredi upotreba ventilokonvektora pri čemu ventil propusti vodu. Ukupan protok vode grane niskog prizemlja iznosi 1,14 m³/h, a voda cirkulira u bakrenim cijevi Cu ϕ 35x1,5 koje su izolirane s 19 mm Armaflexa. Na povratnom vodu ugrađen je kalorimetar kao proizvod Siemens tip UH50 nazivnog protoka 1,5 m³/h.

Cirkulacijski krug stropnog grijanja/hlađenja opremljen je frekventno reguliranom pumpom kao proizvod Wilo tip Stratos MAXO 25/0,5-8 PN10. Kako bi se održao projektni temperaturni režim grijanja 35/30 °C, odnosno hlađenja 17/21 °C, koristi se temperaturni osjetnik u polaznom vodu i tlačno neovisni balans ventil kao proizvod Frese tip Optima Compact DN15 Low 5,0 s pogonom 0-10V. Ventil je postavljen na povratnom vodu poslije bypassa te prigušenjem omogućuje prestrujavanje, odnosno miješanje povratne i polazne vode s razdjelnika. Zajedno s pumpom povezani su s PLC-om koji daje nalog aktuatoru za propuštanje više ili manje vode kroz bypass. Regulacija toplinskog/rashladnog učina po prostorijama je izvedena preko zasebnih razdjelnika za tehničku sobu i učionicu. Ispred razdjelnika nalaze se prolazni regulacijski ventili koji omogućavaju razdjelnicima potrebnu količinu vode za pravilan rad sustava. Na razdjelnicima se nalaze ventili s termopogonima koji osiguravaju dostatnu količinu vode u svakoj petlji sustava. Petlje stropnog grijanja/hlađenja ugrađene su na ovješenu podkonstrukciju u sustavu ugradnje na suho. Cijevi koje vode od razdjelnika do petlje su PEX-AL-PEX ϕ 16x2 mm, dok su cijevi u petljama PEX-AL-PEX ϕ 11,6x1,5 mm. U prostorijama se nalaze sobni regulatori koji su povezani s kanalnim izmjenjivačem. Primarno se koristi stropno grijanje/hlađenje, dok se kanalni izmjenjivač koristi ovisno o potrebi. U slučaju suficita ogrjevnog ili rashladnog energije, šalje se signal s regulatora na razdjelnik pri čemu termopogoni zatvaraju i otvaraju ventile, odnosno protok u petljama. Instaliran je ukupan ogrjevnog učin 2,5 kW, dok je rashladni učin 2 kW. Ukupan protok grane stropnog grijanja/hlađenja iznosi 0,445 m³/h, a voda cirkulira u bakrenim cijevima Cu ϕ 22x1 koje su izolirane s 13 mm Armaflexa prema razdjelnicima. Na povratnom vodu ugrađen je kalorimetar kao proizvod Siemens tip UH50 nazivnog protoka 0,6 m³/h.

Cirkulacijski krug grane visokog prizemlja opremljen je frekventnom reguliranom pumpom kao proizvod Wilo tip Stratos MAXO 40/0,5-8 PN6/10. Temperaturni režim grijanja je 45/40 °C, a hlađenja 7/12 °C. Pumpa dobavlja vodu iz razdjelnika prema kazetnim dvocijevnim

ventilokonvektorima kao proizvod Daikin iz serije FWF-BT smještenima u prostorijama etaže visokog prizemlja. Postavljeni ventilokonvektori u učionicama imaju ogrjevni učin 3,3 kW, dok je rashladni 3,0 kW. Na povratnom vodu ventilokonvektora nalaze se tlačno neovisni balans ventili kao proizvod Frese tip Optima Compact DN 20 High 2,5. U uredu je postavljen kazetni ventilokonvektor ogrjevnog učina 2,4 kW, a rashladnog 1,7 kW te su na povratnom vodu ugrađeni tlačno neovisni balans ventili kao proizvod Frese tip Optima Compact DN 15 High 2,5. U prostorijama su postavljeni zonski regulatori kao proizvod Siemens tip QMX3.P74 s KNX komunikacijom s mogućnošću mjerenja temperature, relativne vlažnosti i udjela CO₂ u prostoru. Regulatori su povezani s ventilokonvektorima i aktuatorima balans ventila, pri čemu ovisno o potrebi izdaju naloge za smanjenjem brzine strujanja zraka, a u slučaju zadovoljenja potrebe, izdaju nalog aktuatorima balans ventila koji pritvaraju i otvaraju protok kroz ventilokonvektor. Prilikom zatvaranja ventila, pumpi se šalje signal koja se prilagođava i smanjuje protok. Instaliran je ukupan ogrjevni učin 18,9 kW, dok je rashladni učin 16,7 kW. Ukupan protok grane visokog prizemlja iznosi 3,26 m³/h, a voda cirkulira u bakrenim cijevima Cu ϕ 22x1 koje su izolirane s 19 mm Armaflexa prema razdjelnicima. Na povratnom vodu ugrađen je kalorimetar kao proizvod Siemens tip UH50 nazivnog protoka 3,5 m³/h.

Regulacija temperature polazne vode provodi se preko PLC-a koji prima podatke o temperaturi i vlazi u prostorijama preko zonskih regulatora, temperature polaza vode u ograncima cjevovodima te temperaturi i relativnoj vlazi vanjskog zraka. Ako je temperatura u međuspremnicima zadovoljavajuća za grijanje/hlađenje prostorija, pumpa u primarnom krugu smanjuje protok vode koja se zagrijava preko glikolnog izmjenjivača. U slučaju potrebe energije za grijanjem, PLC šalje signal pumpama i dizalici topline koje povećavaju kapacitet te obratno u slučaju suficita energije. PLC ormar omogućuje ispis događaja u stvarnom vremenu te prikuplja podatke svih mjerenih veličina ispitne stanice. Mjerenja temperature na ispitnoj stanici provodi se pomoću cijevnih otporničkih osjetnika temperature LG-Ni 1000. Svi termometri su umetnuti u elemente kako bi se što preciznije mjerila temperatura. Stanje vanjskog zraka mjeri se pomoću osjetnika vlažnosti i temperature visoke preciznosti i brzog odgovora. Tlak u sustavu se mjeri u sabirniku i razvodu glikolnog kruga koristeći piezoelektrični efekt. Ugrađeni kalorimetri koriste ultrazvučno mjerilo protoka i Pt500 sonde za mjerenje temperature pomoću kojih informacija se odredi potrošnja toplinske energije. Za mjerenje potrošnje električne energije regulacijskih elemenata i dizalice topline koriste se

digitalni multimetri. Postavljene pumpe u sustavu imaju mogućnost ispisivanja podataka na PLC. Svi podaci se ispisuju na računalo s PLC-a u tekstualnom obliku.

7.2. SUSTAV VENTILACIJE

Za potrebe kondicioniranja prostorija niskog prizemlja osmišljen je jednostavan sustav prisilne ventilacije. Zrak se dobavlja u prostor pomoću rekuperatora s papirnatom izmjenjivačkom površinom kao proizvod Mitsubishi Electric tip LGH-50RVX-E. Odabrani rekuperator ima mogućnost rada u 4 brzine okretaja lopatica, a projektna je treća kojom se u prostor dobavlja 360 m³/h zraka. Osjetni povrat topline iznosi 81%, dok latentni u grijanju iznosi 72%, odnosno 68% u hlađenju. Upotrebljavaju se kanali okruglog i kvadratnog poprečnog presjeka. Zrak se u prostorije ubacuju preko zidne rešetke kao proizvod Klimaoprema tip OAH. Na kanalu tlačnog zraka ugrađen je kanalni izmjenjivač koji je povezan sa zonskim regulatorom. Na kanalu sježeg zraka postavljen je električni grijač kao proizvod Systemair tip CB200/3,0 koji služi za zaštitu rekuperatora od zaleđivanja te se pali na temperaturama nižim od 2 °C. U kanal su postavljeni kanalni osjetnici temperature LG-Ni1000 kojima se regulira paljenje i gašenje električnog grijača te vatrozaštitni termostat u slučaju zapaljenja ventilacijskog sustava za zaustavljanje dobave zraka. Regulacija dobave zraka u sustavu provedena je preko regulatora kao proizvod Mitsubishi Electric tip PZ-61DR-E koji se povezuje s PLC-om. Regulator ima mogućnost automatske regulacije dobave zraka prema količini CO₂ u prostoru ili ručne regulacije prema želji korisnika. Prema preporučenom ventilacijskom minimumu, dobavljeni zrak u učionici bi bio dostatan za 8 osoba, a pri radu u najvećoj brzini za 11 osoba. Odsis sanitarija izveden je neovisno o ventilaciji prostorija. U prostorije sanitarija postavljen je stropni ventilator kao proizvod Maico tip EC 100 D koji odsisava zrak prema vanjskom okolišu. Odabrani kanali su kružnog poprečnog presjeka te se spajaju na plenum otpadnog zraka iz prostorija. Regulacija rada ventilatora je on/off prema prekidaču svjetla u sanitarijama. Odsisani zrak iz sanitarnog čvora nadomješta se podrezivanjem vrata.

8. ZAKLJUČAK

Dizalice topline pružaju velik potencijal za povećanje udjela obnovljive energije u apsolutnoj potrošnji primarne energije jer imaju sposobnost isporuke nekoliko puta veće količine toplinske energije u usporedbi s privedenom električnom, što je omogućeno korištenjem ljevokretnog procesa i okolišnih spremnika topline. Određivanje učinkovitosti sustava je standardizirano u Europi po normi EN 14511 kojom su definirane mjerne točke na osnovu kojih se određuje faktor grijanja. Također prema normi EN 14825 se određuje sezonski faktor učinkovitosti sustava kroz 3 do 5 radnih točaka za određeni broj radnih sati. Ako se i izvode laboratorijska mjerenja, najčešće se ne izvode u realnom okruženju, već se simuliraju potrošači čime ne pružaju uvid u ponašanje sustava u realnim uvjetima. U svrhu dopune i proširenja dostupnih podataka o učinkovitosti sustava, osniva se ispitna linija za praćenje rada dizalice topline na osnovu realnih potrošača u sklopu poziva na koji se prijavio Fakultet strojarstva i brodogradnje; Povećanje razvoja novih proizvoda i usluga koji proizlaze iz aktivnosti istraživanja i razvoja – faza II. U sklopu rada izrađen je projekt prve ispitne linije takvog tipa u Republici Hrvatskoj te je bilo potrebno osigurati kvalitetnu mjernu opremu kojom se može pratiti ponašanje svih pripadajućih komponenti sustava.

Energetskom analizom ispitnog laboratorija, moguće je ispitivati uređaje ogrjevnog kapaciteta dizalice topline do 18 kW pri okolišnoj temperaturi od -4 °C. U slučaju manjih uređaja, ispitna linija opremljena je s električnim grijačima kako se isporuka potrebne toplinske energije ne bi ugrozila. Sva uložena energija u ispitnoj liniji se mjeri i uspoređuje s isporučenom na osnovu kojih podataka se određuje učinkovitost. S obzirom da se sustav osniva u zgradi javne namjene, za očekivati je da za vrijeme praznika neće biti potrebe za grijanjem/hlađenjem. Iz tog razloga postavljeni su umjetni potrošači kojima se simulira potreba za rashladnom energijom koji bi se koristili u eksperimentalne svrhe daljnjih ispitivanja. Nadalje, osiguran je priključak za druge dizalice topline za daljnja ispitivanja. U budućnosti se sustav može nadograditi s dodatnim cjevovodima koji bi omogućili paralelno ispitivanje više dizalica toplina.

9. LITERATURA

- [1] European Commission, “A Clean Planet for all. A European long-term strategic vision for a prosperous, modern, competitive and climate neutral economy,” *Com(2018) 773*, p. 114, 2018, <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:52018DC0773&from=EN>.
- [2] Energy consumption and use by households.” <https://ec.europa.eu/eurostat/web/products-eurostat-news/-/DDN-20170328-1>.
- [3] Zgrade gotovo nulte energije nZEB,” Minist. Prost. uređenja, Graditelj. i državne imovine, <https://mgipu.gov.hr/o-ministarstvu-%0A15/djelokrug/energetska-ucinkovitost-u-zgradarstvu/zgrade-gotovo-nulteenergije-%0Anzeb/10504%0A>.
- [4] L. Boban V. Soldo, “Quo vadis dizalice topline?, EGE,” 2021.
- [5] L. Boban, “Eksperimentalno i teorijsko istraživanje geotermalne dizalice topline,” Doktorska disertacija, FSB, 2019.
- [6] V. Soldo, “Predavanja iz kolegija Projektiranje rashladnih sustava,” FSB, 2019.
- [7] V. Soldo, “Priručnik za energetske certificiranje zgrada,” Zagreb, 2010.
- [8] OBG Energy, <https://obgenergy.co.uk/ground-source-heat-pumps-dunfermline/>
- [9] Kensa heat pumps, <https://www.kensaheatpumps.com/what-is-a-heat-pump/>
- [10] The scottish government; Low carbon equipment and building regulations – A guide to safe and sustainable construction, March 2010
- [11] D. Miše, “Napredni sustavi regulacije geotermalne dizalice topline na FSB-u, Diplomski rad, 2020.”
- [12] Daikin; https://www.daikin.eu/en_us/product-group/air-to-water-heat-pump-low-temperature/daikin-altherma-3-m.html
- [13] “Variotherm,” <https://variotherm.hr/proizvodi/stropno-grijanjehladenje-za-suhu-gradnju/>.
- [14] Siemens, HIT Portal; <https://hit.sbt.siemens.com>
- [15] VARIO THERM, Brošura grijanje, hlađenje, stropovi, suha ugradnja

- [16] Systemair; <https://shop.systemair.com/hr-HR/pgk--40--20--3--20--kanalski--hlad/p115384>
- [17] Frigo-kor;<http://www.frigo-kor.hr/Klimatizacija/Ventilokonvektori/Midea/Kazetniventilokonvektoridvocijevni/tabid/397/Default.aspx>
- [18] Daikin; https://www.daikin.hr/hr_hr/products/fwf-bt.html
- [19] Anaton; <http://anaton.hr/proizvod/armaflex-ac/>
- [20] Pacetti, https://www.pacetti.it/Download_i.aspx
- [21] Wilo, <https://wilo.com/hr/hr/Wilo-pumpe-i-sustavi/hr/proizvodi-i-strucno-znanje>
- [22] Maring, <https://maring.hr/portfolio-item/hv-80-200/>
- [23] Flamco,<https://flamcogroup.com/ex-en/catalog/air-dirt-separation-and-dosing-solutions/smart-air-and-dirt-separators/smart-combined-separators>
- [24] Termometal,IMERA, <https://termometal.hr/ekspanzijska-posuda-imera-rv35-351-centralno-grijanje-promjenjiva-membrana-proizvod-2877/>
- [25] Zetkama,," <https://www.zetkama.com/industrial-valves>.
- [26]-QAE2120.015–Immersion temperature sensor,,
" <https://mall.industry.siemens.com/mall/en/nz/Catalog/Products/>
- [27] Analizator mreže NA96," <https://www.schrack.hr/trgovina/>
- [28] Lossnay tehnički podaci, http://www.mitsubishitech.co.uk/Data/Lossnay/LGH-RX/2018-2017/LGH-RVX-E/Specification/LGH-50RVX-E_Specification_N14HHGU0030A.pdf
- [29] Systemair, CB 200; <https://shop.systemair.com/hr-HR/cb20030--elektricni--grijac/p100873>
- [30] Klimaoprema, <https://www.klimaoprema.hr>
- [31] Systemair, RSK 200, <https://shop.systemair.com/hr-HR/rsk--200--nepovratna--zaklopka/p139150>

[32] Maico, <https://www.maico-ventilatoren.com/hr/>

[33] I.Balen, Predavanja iz kolegija Klimatizacija

[34] I.Balen, Predavanja iz kolegija Grijanje

**PRILOG A – Proračun toplinskih gubitaka prema HRN EN
12831**

Proračun opterećenja grijanja prema normi EN 12831 H7500 (detaljno)

Objekt	03.June 2021
Adresa	
Mjesto	

Opći podaci (Svojstva zgrade)

Vrsta građevine		Položaj građevine	
- Obiteljska kuća		- Dobra zaklonjenost	
- Stambena zgrada,		- Promjenjiva zaklonjenost	(X)
nestambena građevina	(X)	- Nikakva zaklonjenost	
Masa građevine		Nepropusnost na vjetar građevnih elemenata	
- C_{wirk} (prema DIN V 4108-6)	35	Wh/m ³ K	
- laka		- vrlo nepropusno	
- srednja	(X)	- nepropusno	(X)
- taška		- malo nepropusno	

Temperature

- Normna vanjska temperatura	$\theta_e =$	-9 °C
- Godišnji srednjak vanjske temperature	$\theta_{me} =$	12 °C
- Normna unutarnja temperatura		

Zgrada

Zgrada			Tlo		
- Duljina	$l_{Geb} =$	20 m	- Opseg	$P =$	60 m
- Širina	$b_{Geb} =$	10 m	- Parametar	$B' =$	6.67 m
- Površina	$A_{Geb} =$	200 m ²	- Dubina do vode	$T =$	2 m
- Katnost	$n =$	2	- Visina temeljne ploče	$z =$	0 m
- Visina kata	$h_{Geb} =$	3 m	- Faktor θ_e	$f_{g1} =$	1.45 -
- Debljina ploče	$d =$	0.3 m	- Faktor podzemne vode	$G_w =$	1.15 -
- Visina građevine	$h_{Geb} =$	6.6 m			
- Volumen građevine	$V_{e,Geb} =$	1320 m ³			

Provjetranje

Propusnost zraka s obzirom na duljinu građevine i propusnost prozora	$n_{50} =$	6 h ⁻¹
Istovremenost prozračivanja	$\zeta =$	0.5 -
Stupanj korisnosti sustava rekuperacije (od proizvođača)	$\eta_V =$	0 -

Dodatna snaga zbog prekida loženja

	globalno	po prostorijama
- Neto grijani volumen građevine		$V_{Netto,Geb} =$ 651.498 m ³
- Koeficijent gubitka topline		$\Sigma H_{T,Geb} =$ 377.45 W/K

- Trajanje snižene temperature	$t_{Abs} =$	0 h
- Provjetranje za vrijeme snižene temperature (0,1 – 0,5 puta)	$n_{Abs} =$	0.0 h ⁻¹
- Pad temperature nakon sniženja prema 6.2 () ili pretpostavka ()	$\Delta\theta_{RH} =$	0 K
- Vrijeme zagrijavanja	$t_{RH} =$	2 h
- Provjetranje za vrijeme zagrijavanja (0,1 – 0,5-puta)	$n_{RH} =$	0 h ⁻¹
- Faktor ponovnog zagrijavanja	$f_{RH} =$	20 W/m ²

Proračun gubitaka topline prema EN 12831 H7500 (detaljni postupak)

Objekt	03.June 2021
Adresa	
Mjesto	

Pregled po prostorijama

Broj kata:		NP	Oznaka kata:		Ured		Stan:						
Prostorija		θ_{int}	A_R	Φ_{Te}	Φ_T	$\Phi_{V,min}$	$\Phi_{V,inf}$	Meh. ventilacija		$\Phi_{HL,Netto}$	Φ_{RH}	Φ_{HL}	
								$\Phi_{V,su}$	$\Phi_{V,m,inf}$				
Br.	Opis	°C	m ²	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W/m ²
NP.1	Ured	20	21.24	834	541	0	140	245	0	926	370	1296	44
NP.2	Učionica	20	32.22	1979	1507	0	316	490	0	2312	556	2868	72
VP.1	Veliki kabinet	20	13.45	760	760	407	98	0	0	1167	236	1402	87
VP.2	Ulaz	20	7.22	0	0	0	0	0	0	0	128	128	0
VP.3	Učionica	20	57.83	2312	2312	3681	663	0	0	5993	1067	7059	104
VP.4	Kabinet	20	6.35	423	423	0	44	0	0	467	105	572	73
VP.5	Učionica	20	73.77	5404	5404	4628	833	0	0	10032	1341	11374	136
Zbroj			212.08	11712		8716	2094	735		20897	3803	24699	

Proračun gubitaka topline prema EN 12831 H7500 (detaljni postupak)						
Objekt						03. June 2021
Adresa						
Mjesto						
Pregled po građevini (detaljni postupak)						
Izračun koeficijenata gubitka topline i nominalnog gubitka topline						
Grijana površina					$A_{N,Geb} =$	190.1 m ²
Grijani volumen					$V_{netto,Geb} =$	651.5 m ³
Zbroj koeficijenata gubitka topline						
Koeficijent transmisivnog gubitka topline					$\Sigma H_{T,Geb} =$	377.5 W/K
Koeficijent ventilacionog gubitka topline					$\Sigma H_{V,Geb} =$	343.1 W/K
Ukupni koeficijent gubitka topline					$\Sigma H_{Geb} =$	720.6 W/K
Zbroj transmisionih gubitaka topline (samo prema vani)					$\Sigma \Phi_{T,e} =$	11,712 W
Ventilacioni gubici topline						
prirodno provjetravani prostori						
$\max(\zeta * V_{inf}, V_{min})$			$\zeta =$	0.5		4,380 W
mehanički provjetravani prostori						
$\max(\zeta * V_{inf} + (1-\eta) * V_{su} + V_{mech,inf}, V_{min})$			$\eta =$	0		735 W
Zbroj toplinskih gubitaka zbog ventilacije					$\Sigma \Phi_v =$	5,115 W
Zbroj netto toplinskih gubitaka	88.5 W/m ²	25.8 W/m ³			$\Phi_{HL,Netto} =$	16,827 W
Zbroj dodatnih toplinskih gubitaka (zbog prekida loženja)					$\Sigma \Phi_{RH} =$	3,803 W
Zbroj normnih toplinskih gubitaka građevine					$\Phi_{HL,Geb} =$	20,630 W

Proračun gubitaka topline prema EN 12831 H7000 (detaljni postupak)																		
Objekt														03. June 2021				
Adresa																		
Mjesto																		
Broj kata:		NP	Br. prost.:			NP.1	Naziv:		Ured				Stan:					
Normna unutarnja temp.				$\theta_{int} =$	20.00	°C	min. broj izmjena zraka				$n_{min} =$	0.00	h^{-1}					
Podaci o prostoriji				Infiltracija														
Duljina				$l_R =$	3.95	m	broj izmjena zraka				$n_{50} =$	6.00	h^{-1}					
Širina				$b_R =$	4.68	m	Koeficijent zaklonjenosti				$e =$	0.02	-					
Površina				$A_R =$	18.49	m^2	Visina iznad tla				$h =$	0.00	m					
Visina kata				$h_G =$	3.20	m	Visinski faktor				$\varepsilon =$	1.00	-					
Debljina ploče				$d =$	0.00	m	Mehanička ventilacija											
Visina prostorije				$h_R =$	3.20	m	Dovodni zrak				$V_{su} =$	120	m^3/h					
Volumen prostorije				$V_R =$	59.17	m^3	Odvodni zrak				$V_{ex} =$	120	m^3/h					
Tlo				Temperatura dovodnog zraka												$\theta_{su} =$	14	°C
Dubina ispod površine tla				$z =$	0.00	m	Faktor redukcije temperature				$f_v =$	0	-					
B'-vrijednost – prostor. (x)				$B' =$	0.00	m	Dodatak snage											
										Faktor zagrijavanja		$f_{RH} =$	20	W/m^2				
										Vrijeme zagrijavanja		$h_{RH} =$	2	h				
Transmisioni gubici topline																		
Orijentacija	Oznaka građevnog elementa	Količina	Širina	Visina / duljina	Bruto površina	Površina za oduzimanje	Neto površina	Koeficijent prolaza topline	Faktor ispravka za toplinski most	Ispravljeni koeficijent prolaza topline	Gubitak topline prema	Vanjska temperatura	Faktor ispravka	Koeficijent gubitka topline	Transmisijski gubitak topline			
																Vrsta	n	b
		--	m	m	m^2	m^2	m^2	W/m^2K	W/m^2K	W/m^2K	b/u	°C	f_i/f_{g2}	W/K	W			
FL	FL	1	4.85	4.38	21.24	0.00	21.24	1.47	0.00	1.47	b	25	-0.17	-5.35	-155			
W	IW	1	4.63	3.20	14.83	0.00	14.83	1.87	0.00	1.87	b	25	-0.17	-4.77	-138			
E	IW	1	1.54	3.20	4.94	1.98	2.96	2.22	0.00	2.22	b	20	0.00	0.00	0			
	ID	1	0.90	2.20	1.98	0.00	1.98	2.00	0.00	2.00		20	0.00	0.00	0			
N	EW	1	4.84	3.20	15.50	6.70	8.80	1.89	0.05	1.94	e	-9	1.00	17.04	494			
	WE	1	3.35	2.00	6.70	0.00	6.70	1.70	0.05	1.75		-9	1.00	11.73	340			
Transmisijski gubici topline H_T i Φ_T														18.65	541.00			
Ventilacioni gubitak topline																		
Određivanje količine zraka											V_i	H_v	Φ_v					
											m^3/h	W/K	W					
zbog najmanje potrebne izmjene zraka u prostoriji											$V_{min} =$	0.00	0.00	0				
zbog prirodne infiltracije											$V_{inf} =$	14.20	4.83	140				
zbog mehaničkog dovoda zraka											$V_{su} \cdot f_v =$	24.83	8.44	245				
zbog mehaničkog viška odvoda zraka											$V_{mech,inf} =$	0.00	0.00	0				
Količina zraka koja utječe na toplinsku bilancu											$V_{therm} =$	39.03						
Ventilacioni gubitak topline H_v und Φ_v												13.27	385					
Gubitak topline							44 W/m^2	16 W/m^3			$\Phi_{HL,Netto} =$		926.00					
Dodatni gubitak topline (prekid loženja)											$\Phi_{RH} =$		370.00					
Normni gubitak topline											$\Phi_{HL} =$		1296.00					

Proračun gubitaka topline prema EN 12831 H7000 (detaljni postupak)

Objekt						03. June 2021
Adresa						
Mjesto						
Broj kata:	NP	Br. prost.:	NP.2	Naziv:	Učionica	Stan:
Normna unutarnja temp.	$\theta_{int} =$	20.00	°C	min. broj izmjena zraka	$n_{min} =$	0.00 h ⁻¹
Podaci o prostoriji				Infiltracija		
Duljina	$l_R =$	4.12	m	broj izmjena zraka	$n_{50} =$	6.00 h ⁻¹
Širina	$b_R =$	6.74	m	Koeficijent zaklonjenosti	$e =$	0.03 -
Površina	$A_R =$	27.80	m ²	Visina iznad tla	$h =$	0.00 m
Visina kata	$h_G =$	3.20	m	Visinski faktor	$\epsilon =$	1.00 -
Debljina ploče	$d =$	0.00	m	Mehanička ventilacija		
Visina prostorije	$h_R =$	3.20	m	Dovodni zrak	$V_{su} =$	240 m ³ /h
Volumen prostorije	$V_R =$	88.96	m ³	Odvodni zrak	$V_{ex} =$	m ³ /h
Tlo				Temperatura dovodnog zraka	$\theta_{su} =$	14 °C
Dubina ispod površine tla	$z =$	0.00	m	Faktor redukcije temperature	$f_v =$	0 -
B'-vrijednost – prostor. (x)	$B' =$	0.00	m	Dodatak snage		
				Faktor zagrijavanja	$f_{RH} =$	20 W/m ²
				Vrijeme zagrijavanja	$h_{RH} =$	2 h

Transmisioni gubici topline

Orientacija	Oznaka građevnog elementa	Količina	Širina	Visina / duljina	Bruto površina	Površina za oduzimanje	Neto površina	Koeficijent prolaza topline	Faktor ispravka za toplinski most	Ispravljeni koeficijent prolaza topline	Gubitak topline prema	Vanjaska temperatura	Faktor ispravka	Koeficijent gubitka topline	Transmisijski gubitak topline
	Vrsta	n	b	h/l	A	$A_{odbitak}$	A'	U	ΔU_{WB}	U_o/U_{equiv}	e/g	θ_o/θ_b	e_k/b_u	H_T	Φ_T
	--	m	m	m	m ²	m ²	m ²	W/m ² K	W/m ² K	W/m ² K	b/u	°C	f_i/f_{g2}	W/K	W
FL	FL	1	7.09	4.55	32.22	0.00	32.22	1.47	0.00	1.47	b	30	-0.35	-16.29	-472
E	EW	1	4.63	3.20	14.83	0.70	14.13	1.89	0.05	1.94	e	-9	1.00	27.36	793
	WE	1	1.00	0.70	0.70	0.00	0.70	1.70	0.05	1.75		-9	1.00	1.22	36
N	EW	1	6.69	3.20	21.39	9.55	11.84	1.89	0.05	1.94	e	-9	1.00	22.93	665
	ED	1	1.10	2.50	2.75	0.00	2.75	1.70	0.05	1.75		-9	1.00	4.81	140
	WE	1	1.15	2.00	2.30	0.00	2.30	1.70	0.05	1.75		-9	1.00	4.02	117
	WE	1	2.25	2.00	4.50	0.00	4.50	1.70	0.05	1.75		-9	1.00	7.88	228
W	IW	1	1.54	3.20	4.94	1.98	2.96	2.22	0.00	2.22	b	20	0.00	0.00	0
	ID	1	0.90	2.20	1.98	0.00	1.98	2.00	0.00	2.00		20	0.00	0.00	0
Transmisijski gubici topline H_T i Φ_T														51.93	1507.00

Ventilacioni gubitak topline

Određivanje količine zraka	V_i	H_v	Φ_v
	m ³ /h	W/K	W
zbog najmanje potrebne izmjene zraka u prostoriji	$V_{min} =$	0.00	0.00
zbog prirodne infiltracije	$V_{inf} =$	32.03	10.89
zbog mehaničkog dovoda zraka	$V_{su} \cdot f_v =$	49.66	16.88
zbog mehaničkog viška odvoda zraka	$V_{mech,inf} =$	0.00	0.00
Količina zraka koja utječe na toplinsku bilancu	$V_{therm} =$	81.68	
Ventilacioni gubitak topline H_v und Φ_v		27.77	805

Gubitak topline	72 W/m ²	26 W/m ³	$\Phi_{HL,Netto} =$	2312.00
Dodatni gubitak topline (prekid loženja)			$\Phi_{RH} =$	556.00
Normni gubitak topline			$\Phi_{HL} =$	2868.00

Proračun gubitaka topline prema EN 12831 H7000 (detaljni postupak)															
Objekt												03.June 2021			
Adresa															
Mjesto															
Broj kata:		VP	Br. prost.:		VP.1	Naziv:				Veliki kabinet		Stan:			
Normna unutarnja temp.			$\theta_{int} =$	20.00	°C	min. broj izmjena zraka			$n_{min} =$	1.00	h^{-1}				
Podaci o prostoriji						Infiltracija									
Duljina		$l_R =$	2.45	m	broj izmjena zraka			$n_{50} =$	6.00	h^{-1}					
Širina		$b_R =$	4.81	m	Koeficijent zaklonjenosti			$e =$	0.02	-					
Površina		$A_R =$	11.78	m ²	Visina iznad tla			$h =$	3.20	m					
Visina kata		$h_G =$	3.50	m	Visinski faktor			$\varepsilon =$	1.00	-					
Debljina ploče		$d =$	0.00	m	Mehanička ventilacija										
Visina prostorije		$h_R =$	3.50	m	Dovodni zrak			$V_{su} =$		m^3/h					
Volumen prostorije		$V_R =$	41.23	m ³	Odvodni zrak			$V_{ex} =$		m^3/h					
Tlo						Temperatura dovodnog zraka			$\theta_{su} =$		°C				
Dubina ispod površine tla		$z =$	0.00	m	Faktor redukcije temperature			$f_v =$		-					
B'-vrijednost – prostor. (x)		$B' =$	0.00	m	Dodatak snage										
Faktor zagrijavanja								$f_{RH} =$	20	W/m ²					
Vrijeme zagrijavanja								$h_{RH} =$	2	h					
Transmisioni gubici topline															
Orijentacija	Oznaka građevnog elementa	Količina	Širina	Visina / duljina	Bruto površina	Površina za oduzimanje	Neto površina	Koeficijent prolaza topline	Faktor ispravka za toplinski most	Ispravljeni koeficijent prolaza topline	Gubitak topline prema	Vanjska temperatura	Faktor ispravka	Koeficijent gubitka topline	Transmisijski gubitak topline
		--	m	m	m ²	m ²	m ²	W/m ² K	W/m ² K	W/m ² K	b/u	°C	f_i/f_{g2}	W/K	W
FL	FL	1	5.16	2.61	13.45	6.40	7.06	1.47	0.00	1.47	b	20	0.00	0.00	0
FL	TF	1	2.53	2.53	0.00	0.00	6.40	1.47	0.05	1.52	e	-9	1.00	9.69	281
S	IW	1	2.61	3.50	9.14	1.98	7.16	2.22	0.00	2.22	b	20	0.00	0.00	0
	ID	1	0.90	2.20	1.98	0.00	1.98	2.00	0.00	2.00		20	0.00	0.00	0
N	EW	1	2.61	3.50	9.14	6.25	2.89	1.89	0.05	1.94	e	-9	1.00	5.59	162
	WE	1	2.45	2.55	6.25	0.00	6.25	1.70	0.05	1.75		-9	1.00	10.93	317
Transmisijski gubici topline H_T i Φ_T														26.21	760.00
Ventilacioni gubitak topline															
Određivanje količine zraka										V_i	H_v	Φ_v			
										m ³ /h	W/K	W			
zbog najmanje potrebne izmjene zraka u prostoriji										$V_{min} =$	41.23	14.02	407		
zbog prirodne infiltracije										$V_{inf} =$	9.90	3.36	98		
zbog mehaničkog dovoda zraka										$V_{su} \cdot f_v =$	0.00	0.00	0		
zbog mehaničkog viška odvoda zraka										$V_{mech,inf} =$	0.00	0.00	0		
Količina zraka koja utječe na toplinsku bilancu										$V_{therm} =$	41.23				
Ventilacioni gubitak topline H_v und Φ_v												14.02	407		
Gubitak topline				87 W/m ²				28 W/m ³				$\Phi_{HL,Netto} =$		1167.00	
Dodatni gubitak topline (prekid loženja)										$\Phi_{RH} =$		236.00			
Normni gubitak topline										$\Phi_{HL} =$		1403.00			

Proračun gubitaka topline prema EN 12831 H7000 (detaljni postupak)																	
Objekt															03.June 2021		
Adresa																	
Mjesto																	
Broj kata:		VP	Br. prost.:			VP.2	Naziv:			Ulaz			Stan:				
Normna unutarnja temp.			$\theta_{int} =$	20.00 °C		min. broj izmjena zraka			$n_{min} =$	0.00 h ⁻¹							
Podaci o prostoriji						Infiltracija											
Duljina			$l_R =$	2.20 m		broj izmjena zraka			$n_{50} =$	6.00 h ⁻¹							
Širina			$b_R =$	2.90 m		Koeficijent zaklonjenosti			$e =$	0.00 -							
Površina			$A_R =$	6.38 m ²		Visina iznad tla			$h =$	3.20 m							
Visina kata			$h_G =$	3.50 m		Visinski faktor			$\varepsilon =$	1.00 -							
Debljina ploče			$d =$	0.00 m		Mehanička ventilacija											
Visina prostorije			$h_R =$	3.50 m		Dovodni zrak			$V_{su} =$			m ³ /h					
Volumen prostorije			$V_R =$	22.33 m ³		Ovodni zrak			$V_{ex} =$			m ³ /h					
Tlo						Temperatura dovodnog zraka			$\theta_{su} =$			°C					
Dubina ispod površine tla			$z =$	0.00 m		Faktor redukcije temperature			$f_v =$			-					
B'-vrijednost – prostor. (x)			$B' =$	0.00 m		Dodatak snage											
						Faktor zagrijavanja			$f_{RH} =$	20		W/m ²					
						Vrijeme zagrijavanja			$h_{RH} =$	2		h					
Transmisioni gubici topline																	
Orijentacija	Oznaka građevnog elementa	Količina	Širina	Visina / duljina	Bruto površina	Površina za oduzimanje	Neto površina	Koeficijent prolaza topline	Faktor ispravka za toplinski most	Ispravljeni koeficijent prolaza topline	Gubitak topline prema	Vanjska temperatura	Faktor ispravka	Koeficijent gubitka topline	Transmisijski gubitak topline		
																Vrsta	n
		--	m	m	m ²	m ²	m ²	W/m ² K	W/m ² K	W/m ² K	b/u	°C	f_i/f_{g2}	W/K	W		
S	IW	1	3.06	3.50	10.71	1.98	8.73	1.87	0.00	1.87	b	20	0.00	0.00	0		
	ID	1	0.90	2.20	1.98	0.00	1.98	2.00	0.00	2.00		20	0.00	0.00	0		
E	IW	1	2.36	3.50	8.26	1.98	6.28	2.22	0.00	2.22	b	20	0.00	0.00	0		
	ID	1	0.90	2.20	1.98	0.00	1.98	2.00	0.00	2.00		20	0.00	0.00	0		
N	IW	1	3.06	3.50	10.71	1.98	8.73	2.22	0.00	2.22	b	20	0.00	0.00	0		
	ID	1	0.90	2.20	1.98	0.00	1.98	2.00	0.00	2.00		20	0.00	0.00	0		
Transmisijski gubici topline H_T i Φ_T														0.00		0.00	
Ventilacioni gubitak topline																	
Određivanje količine zraka												V_i	H_v	Φ_v			
												m ³ /h	W/K	W			
zbog najmanje potrebne izmjene zraka u prostoriji												$V_{min} =$	0.00	0.00	0		
zbog prirodne infiltracije												$V_{inf} =$	0.00	0.00	0		
zbog mehaničkog dovoda zraka												$V_{su} \cdot f_v =$	0.00	0.00	0		
zbog mehaničkog viška odvoda zraka												$V_{mech,inf} =$	0.00	0.00	0		
Količina zraka koja utječe na toplinsku bilancu												$V_{therm} =$	0.00				
Ventilacioni gubitak topline H_v und Φ_v												0.00		0			
Gubitak topline												0 W/m ²	0 W/m ³	$\Phi_{HL,Netto} =$	0.00		
Dodatni gubitak topline (prekid loženja)														$\Phi_{RH} =$	128.00		
Normni gubitak topline														$\Phi_{HL} =$	128.00		

Proračun gubitaka topline prema EN 12831 H7000 (detaljni postupak)															
Objekt												03.June 2021			
Adresa															
Mjesto															
Broj kata:		VP	Br. prost.: VP.3			Naziv: Učionica			Stan:						
Normna unutarnja temp.		$\theta_{int} =$	20.00 °C		min. broj izmjena zraka			$n_{min} =$	2.00 h ⁻¹						
Podaci o prostoriji					Infiltracija										
Duljina		$l_R =$	6.97 m		broj izmjena zraka			$n_{50} =$	6.00 h ⁻¹						
Širina		$b_R =$	7.65 m		Koeficijent zaklonjenosti			$e =$	0.03 -						
Površina		$A_R =$	53.33 m ²		Visina iznad tla			$h =$	3.20 m						
Visina kata		$h_G =$	3.50 m		Visinski faktor			$\epsilon =$	1.00 -						
Debljina ploče		$d =$	0.00 m		Mehanička ventilacija										
Visina prostorije		$h_R =$	3.50 m		Dovodni zrak			$V_{su} =$	m ³ /h						
Volumen prostorije		$V_R =$	186.66 m ³		Odvodni zrak			$V_{ex} =$	m ³ /h						
Tlo					Temperatura dovodnog zraka			$\theta_{su} =$	°C						
Dubina ispod površine tla		$z =$	0.00 m		Faktor redukcije temperature			$f_v =$	-						
B'-vrijednost – prostor. (x)		$B' =$	0.00 m		Dodatak snage										
							Faktor zagrijavanja	$f_{RH} =$	20 W/m ²						
							Vrijeme zagrijavanja	$h_{RH} =$	2 h						
Transmisioni gubici topline															
Orijentacija	Oznaka građevnog elementa	Količina	Širina	Visina / duljina	Bruto površina	Površina za oduzimanje	Neto površina	Koeficijent prolaza topline	Faktor ispravka za toplinski most	Ispravljeni koeficijent prolaza topline	Gubitak topline prema	Vanjska temperatura	Faktor ispravka	Koeficijent gubitka topline	Transmisijski gubitak topline
	Vrsta	n	b	h/l	A	A _{odbitak}	A'	U	ΔU_{WB}	U_c/U_{equiv}	e/g	θ_u/θ_b	e_k/b_u	H _T	Φ_T
		--	m	m	m ²	m ²	m ²	W/m ² K	W/m ² K	W/m ² K	b/u	°C	f_i/f_{g2}	W/K	W
FL	FL	1	7.81	7.40	57.83	19.97	37.86	1.47	0.00	1.47	b	20	0.00	0.00	0
FL	TF	1	4.47	4.47	0.00	0.00	19.97	1.47	0.05	1.52	e	-9	1.00	30.25	877
W	IW	1	2.44	3.50	8.54	1.98	6.56	2.22	0.00	2.22	b	20	0.00	0.00	0
	ID	1	0.90	2.20	1.98	0.00	1.98	2.00	0.00	2.00		20	0.00	0.00	0
E	IW	1	7.54	3.50	26.41	1.98	24.43	1.87	0.00	1.87	b	20	0.00	0.00	0
	ID	1	0.90	2.20	1.98	0.00	1.98	2.00	0.00	2.00		20	0.00	0.00	0
N	EW	1	7.81	3.50	27.33	18.62	8.72	1.89	0.05	1.94	e	-9	1.00	16.88	490
	WE	1	4.90	2.55	12.50	0.00	12.50	1.70	0.05	1.75		-9	1.00	21.87	634
	WE	1	2.40	2.55	6.12	0.00	6.12	1.70	0.05	1.75		-9	1.00	10.71	311
Transmisijski gubici topline H _T i Φ_T														79.71	2312.00
Ventilacioni gubitak topline															
Određivanje količine zraka										V_i	H_v	Φ_v			
										m ³ /h	W/K	W			
zbog najmanje potrebne izmjene zraka u prostoriji										$V_{min} =$	373.31	126.93	3681		
zbog prirodne infiltracije										$V_{inf} =$	67.20	22.85	663		
zbog mehaničkog dovoda zraka										$V_{su} \cdot f_v =$	0.00	0.00	0		
zbog mehaničkog viška odvoda zraka										$V_{mech,inf} =$	0.00	0.00	0		
Količina zraka koja utječe na toplinsku bilancu										$V_{therm} =$	373.31				
Ventilacioni gubitak topline H _V und Φ_v											126.93	3681			
Gubitak topline							104 W/m ²			32 W/m ³	$\Phi_{HL,Netto} =$	5993.00			
Dodatni gubitak topline (prekid loženja)										$\Phi_{RH} =$	1067.00				
Normni gubitak topline										$\Phi_{HL} =$	7060.00				

Proračun gubitaka topline prema EN 12831 H7000 (detaljni postupak)																
Objekt															03.June 2021	
Adresa																
Mjesto																
Broj kata:		VP	Br. prost.: VP.4			Naziv: Kabinet			Stan:							
Normna unutarnja temp.		$\theta_{int} =$	20.00 °C		min. broj izmjena zraka			$n_{min} =$	0.00 h ⁻¹							
Podaci o prostoriji					Infiltracija											
Duljina		$l_R =$	1.46 m		broj izmjena zraka			$n_{50} =$	6.00 h ⁻¹							
Širina		$b_R =$	3.61 m		Koeficijent zaklonjenosti			$e =$	0.02 -							
Površina		$A_R =$	5.27 m ²		Visina iznad tla			$h =$	3.20 m							
Visina kata		$h_G =$	3.50 m		Visinski faktor			$\varepsilon =$	1.00 -							
Debljina ploče		$d =$	0.00 m		Mehanička ventilacija											
Visina prostorije		$h_R =$	3.50 m		Dovodni zrak			$V_{su} =$			m ³ /h					
Volumen prostorije		$V_R =$	18.45 m ³		Odvodni zrak			$V_{ex} =$			m ³ /h					
Tlo					Temperatura dovodnog zraka			$\theta_{su} =$			°C					
Dubina ispod površine tla		$z =$	0.00 m		Faktor redukcije temperature			$f_V =$			-					
B'-vrijednost – prostor. (x)		$B' =$	0.00 m		Dodatak snage											
							Faktor zagrijavanja			$f_{RH} =$	20 W/m ²					
							Vrijeme zagrijavanja			$h_{RH} =$	2 h					
Transmisioni gubici topline																
Orijentacija	Oznaka građevnog elementa	Količina	Širina	Visina / duljina	Bruto površina	Površina za oduzimanje	Neto površina	Koeficijent prolaza topline	Faktor ispravka za toplinski most	Ispravljani koeficijent prolaza topline	Gubitak topline prema	Vanjska temperatura	Faktor ispravka	Koeficijent gubitka topline	Transmisioni gubitak topline	
																Vrsta
		--	m	m	m ²	m ²	m ²	W/m ² K	W/m ² K	W/m ² K	b/u	°C	f_i/f_{g2}	W/K	W	
FL	FL	1	3.96	1.61	6.35	3.72	2.63	1.47	0.00	1.47	b	20	0.00	0.00	0	
FL	TF	1	1.93	1.93	0.00	0.00	3.72	1.47	0.05	1.52	e	-9	1.00	5.64	163	
S	IW	1	1.71	3.50	5.99	1.98	4.01	2.22	0.00	2.22	b	20	0.00	0.00	0	
	ID	1	0.90	2.20	1.98	0.00	1.98	2.00	0.00	2.00		20	0.00	0.00	0	
N	EW	1	1.41	3.50	4.93	3.06	1.87	1.89	0.05	1.94	e	-9	1.00	3.63	105	
	WE	1	1.20	2.55	3.06	0.00	3.06	1.70	0.05	1.75		-9	1.00	5.36	155	
Transmisioni gubici topline H _T i Φ_T														14.63	423.00	
Ventilacioni gubitak topline																
Određivanje količine zraka												V_i	H_v	Φ_v		
												m ³ /h	W/K	W		
zbog najmanje potrebne izmjene zraka u prostoriji												$V_{min} =$	0.00	0.00	0	
zbog prirodne infiltracije												$V_{inf} =$	4.43	1.51	44	
zbog mehaničkog dovoda zraka												$V_{su} \cdot f_v =$	0.00	0.00	0	
zbog mehaničkog viška odvoda zraka												$V_{mech,inf} =$	0.00	0.00	0	
Količina zraka koja utječe na toplinsku bilancu												$V_{therm} =$	4.43			
Ventilacioni gubitak topline H _v und Φ_v														1.51	44	
Gubitak topline					73 W/m ²			25 W/m ³			$\Phi_{HL,Netto} =$		467.00			
Dodatni gubitak topline (prekid loženja)												$\Phi_{RH} =$		105.00		
Normni gubitak topline												$\Phi_{HL} =$		572.00		

Proračun gubitaka topline prema EN 12831 H7000 (detaljni postupak)															
Objekt															03.June 2021
Adresa															
Mjesto															
Broj kata:	VP	Br. prost.: VP.5				Naziv: Učionica				Stan:					
Normna unutarnja temp.		$\theta_{int} =$	20.00 °C		min. broj izmjena zraka		$n_{min} =$	2.00 h ⁻¹							
Podaci o prostoriji				Infiltracija											
Duljina		$l_R =$	6.54 m		broj izmjena zraka		$n_{50} =$	6.00 h ⁻¹							
Širina		$b_R =$	10.25 m		Koeficijent zaklonjenosti		$e =$	0.03 -							
Površina		$A_R =$	67.06 m ²		Visina iznad tla		$h =$	3.20 m							
Visina kata		$h_G =$	3.50 m		Visinski faktor		$\varepsilon =$	1.00 -							
Debljina ploče		$d =$	0.00 m		Mehanička ventilacija										
Visina prostorije		$h_R =$	3.50 m		Dovodni zrak		$V_{su} =$	m ³ /h							
Volumen prostorije		$V_R =$	234.71 m ³		Odvodni zrak		$V_{ex} =$	m ³ /h							
Tlo				Temperatura dovodnog zraka				$\theta_{su} =$	°C						
Dubina ispod površine tla		$z =$	0.00 m		Faktor redukcije temperature		$f_v =$	-							
B'-vrijednost – prostor. (x)		$B' =$	0.00 m		Dodatak snage										
Faktor zagrijavanja							$f_{RH} =$	20 W/m ²							
Vrijeme zagrijavanja							$h_{RH} =$	2 h							
Transmisioni gubici topline															
Orijentacija	Oznaka građevnog elementa	Količina	Širina	Visina / duljina	Bruto površina	Površina za oduzimanje	Neto površina	Koeficijent prolaza topline	Faktor ispravka za toplinski most	Ispravljeni koeficijent prolaza topline	Gubitak topline prema	Varijaska temperatura	Faktor ispravka	Koeficijent gubitka topline	Transmisijski gubitak topline
	Vrsta	n	b	h/l	A	A _{odbitak}	A'	U	ΔU_{WB}	U_o/U_{equiv}	e/g	θ_u/θ_b	e_k/b_u	H _T	Φ_T
		-	m	m	m ²	m ²	m ²	W/m ² K	W/m ² K	W/m ² K	b/u	°C	f_i/f_{g2}	W/K	W
FL	FL	1	10.60	6.96	73.77	50.57	23.20	1.47	0.00	1.47	b	20	0.00	0.00	0
FL	TF	1	7.11	7.11	0.00	0.00	50.57	1.47	0.05	1.52	e	-9	1.00	76.61	2222
W	IW	1	3.56	3.50	12.46	1.98	10.48	2.22	0.00	2.22	b	20	0.00	0.00	0
	ID	1	0.90	2.20	1.98	0.00	1.98	2.00	0.00	2.00		20	0.00	0.00	0
S	IW	1	10.60	3.50	37.08	1.98	35.10	1.87	0.00	1.87	b	20	0.00	0.00	0
	ID	1	0.90	2.20	1.98	0.00	1.98	2.00	0.00	2.00		20	0.00	0.00	0
E	EW	1	7.54	3.50	26.41	0.00	26.41	1.89	0.05	1.94	e	-9	1.00	51.12	1483
N	EW	1	9.24	3.50	32.36	21.80	10.55	1.89	0.05	1.94	e	-9	1.00	20.43	593
	WE	1	4.90	2.55	12.50	0.00	12.50	1.70	0.05	1.75		-9	1.00	21.87	634
	WE	1	3.65	2.55	9.31	0.00	9.31	1.70	0.05	1.75		-9	1.00	16.29	472
N	IW	1	1.65	3.50	5.78	1.98	3.80	2.22	0.00	2.22	b	20	0.00	0.00	0
	ID	1	0.90	2.20	1.98	0.00	1.98	2.00	0.00	2.00		20	0.00	0.00	0
Transmisijski gubici topline H _T i Φ_T														186.32	5404.00
Ventilacioni gubitak topline															
Određivanje količine zraka												V_i	H_v	Φ_v	
												m ³ /h	W/K	W	
zbog najmanje potrebne izmjene zraka u prostoriji												$V_{min} =$	469.42	159.60	4628
zbog prirodne infiltracije												$V_{inf} =$	84.50	28.73	833
zbog mehaničkog dovoda zraka												$V_{su} \cdot f_v =$	0.00	0.00	0
zbog mehaničkog viška odvoda zraka												$V_{mech,inf} =$	0.00	0.00	0
Količina zraka koja utječe na toplinsku bilancu												$V_{therm} =$	469.42		
Ventilacioni gubitak topline H _v und Φ_v													159.60	4628	
Gubitak topline					136 W/m ²		43 W/m ³		$\Phi_{HL,Netto} =$	10032.00					
Dodatni gubitak topline (prekid loženja)												$\Phi_{RH} =$	1341.00		
Normni gubitak topline												$\Phi_{HL} =$	11373.00		

PRILOG B – Proračun toplinskih dobitaka prema VDI 2078

Cooling load VDI 2078 - Composition																					
Project:	FSB_IRI2		Cooling load zone:		0		Room type:		XL		Shading out of window definition		7/6/2021								
Building maximum																					
Data at time of building maximum																					
Room No.	altern. No.	Room name	C°	Volume m ³	Surface m ²	Inside [W]	Walls [W]	Windows [W]	Sum dry [W]	Sum humid [W]	[W/m ²]	month	Time [h]	Supply air [m ³ /h]	Inside [W]	Walls [W]	Windows [W]	Sum [W]			
NP.1		Ured	26	59	18	862	63	331	1255	90	68	July	15:00		861.53	62.54	330.69	1254.76			
NP.2		Učionica	26	89	28	1012	325	336	1673	585	60	July	10:00		1084.50	189.15	359.93	1633.58			
VP.1		Veliki kabinet	26	41	12	267	20	311	598	45	44	July	14:00		267.50	21.78	308.35	597.64			
VP.2		Ulaz	26	22	6	0	0	0	0	0	0	July	1:00		0.00	0.00	0.00	0.00			
VP.3		Učionica	26	187	53	1930	62	943	2934	585	55	July	15:00		1929.50	61.52	943.29	2934.31			
VP.4		Kabinet	26	18	5	0	9	140	149	0	28	July	14:00		0.00	9.96	138.54	148.50			
VP.5		Učionica	26	235	74	2297	684	908	3890	720	53	July	10:00		2387.00	281.76	1113.10	3781.86			
														Entire sums	6530.03	626.71	3193.91	10350.65			
														Entire sums humid cooling load		2025					
														Entire sums humid and dry cooling load		12376					

Cooling load VDI 2078								
Project:	FSB_IRI2					created on:	7/6/2021	
Room	NP.1	Ured						
Temperature	26	C°	Cool. Load zone	0	Room type	M		
Volume	59.17	m ³	Maximum Month/Time	July	15.00:h			
Surface	18.49	m ²						

Interior cooling load				
Persons	Number	Q _{ptr} /Pers [W]	S _i	Q [W]
	2	70	0.85	119

Light	P [W]	I (Light Factor)	Cent _{ts} (Load Deg)	S _i	Q [W]
	92	1.00	1.00	1.00	92
					92

EDP	P [W]	Number	Factor	Q [W]	
	700	1	0.50	350	
	200	2	0.50	200	
					550

Machines	P [W]	H(mi. Work Deg)	μ(Load Deg)	Sim	S _i	Q [W]

Mat. Throughput	Mass	ϑ _E (Entry) C°	ϑ _A (Exit) C°	c(Wkap)[KJ/kgK]	S _i	Q [W]

Adjacent-Temp.	U [W/m ² K]	Surface [m ²]	Δϑ	Q [W]
W	1.87	13.44	4.00	101
				101
Subtotal Q_i				862

Exterior cooling load							
Transmission of exterior walls							
Direction	U [W/m ² K]	Surface [m ²]	Δϑ _{aq}	Δϑ _{aq1}	Q _w [W]		
N	1.89	8.29	9.60	4.00	63		
					63		
Transmission of windows							
Direction	U [W/m ² K]	Surface [m ²]	Δϑ	Q _T [W]			
N	1.70	6.70	3.00	34			
					34		
Radiation heat of windows							
Direction	I _{max}	I _{diff,max}	A _{sun exposed} [m ²]	(A-A _i)shaded [m ²]	b	S _a	Q _s [W]
N(N)	90.00	90.00	0.00	5.67	0.77	0.75	297
							297
Subtotal Q_a							393

Dry cooling load	21.21	W/m ³	67.86	W/m ²	1255	
Humid cooling load	2 * 45				90	
					Entire	1345

Cooling load VDI 2078								
Project:	FSB_IRI2						created on:	7/6/2021
Room	NP.2	Učionica						
Temperature	26	C°	Cool. Load zone	0	Room type	M		
Volume	88.96	m ³	Maximum Month/Time	July	10.00:h			
Surface	27.80	m ²						

Interior cooling load							
Persons	Number	Q _{ptr} /Pers [W]			S _i		Q [W]
	13	70			0.77		700.7

Light	P [W]	I (Light Factor)	Cents (Load Deg)		S _i		Q [W]
	161	1.00	1.00		1.00		161
							161

EDP	P [W]	Number	Factor				Q [W]
	200	1	0.50				100
	100	1	0.50				50
	0	0	0.00				0
							150

Machines	P [W]	H(mi. Work Deg)	μ(Load Deg)	Sim	S _i		Q [W]

Mat. Throughput	Mass	ϑ _E (Entry) C°	ϑ _A (Exit) C°	c(Wkap)[KJ/kgK]	S _i		Q [W]

Adjacent-Temp.	U [W/m ² K]	Surface [m ²]			Δϑ		Q [W]

Subtotal Q_i 1012

Exterior cooling load							
Transmission of exterior walls							
Direction	U [W/m ² K]	Surface [m ²]		Δϑ _{aq}	Δϑ _{aq1}		Q _w [W]
E	1.89	12.74		21.00	15.40		370
N	1.89	10.74		3.40	-2.20		-45
							325
Transmission of windows							
Direction	U [W/m ² K]	Surface [m ²]			Δϑ		Q _T [W]
E	1.70	0.70			0.00		0
N	1.70	2.30			0.00		0
N	1.70	4.50			0.00		0
Radiation heat of windows							
Direction	I _{max}	I _{diff,max}	A _{sun} exposed [m ²]	(A-A _i)shaded [m ²]	b	S _a	Q _s [W]
E(E)	528.00	128.00	0.40	0.00	0.77	0.49	80
N(N)	90.00	90.00	0.00	1.71	0.77	0.68	81
N(N)	90.00	90.00	0.00	3.69	0.77	0.68	175
							336

Subtotal Qa	662
--------------------	------------

Dry cooling load	18.81	W/m ³	60.19	W/m ²	1673
Humid cooling load	13 * 45				585
					Entire
					2258

Cooling load VDI 2078						
Project:	FSB_IRI2				created on:	7/6/2021
Room	VP.1	Veliki kabinet				
Temperature	26	C°	Cool. Load zone	0	Room type M	
Volume	41.23	m³	Maximum Month/Time	July	14.00:h	
Surface	11.78	m²				

Interior cooling load					
Persons	Number	Q _{opt} /Pers [W]		S _i	Q [W]
	1	70		0.84	58.8

Light	P [W]	I (Light Factor)	Cent _l (Load Deg)		S _i	Q [W]
	58	1.00	1.00		1.00	58
						58

EDP	P [W]	Number	Factor			Q [W]
	200	1	0.50			100
	100	1	0.50			50
						150

Machines	P [W]	H(mi. Work Deg)	μ(Load Deg)	Sim	S _i	Q [W]

Mat. Throughput	Mass	ϑ _E (Entry) C°	ϑ _A (Exit) C°	c(Wkap)[KJ/kgK]	S _i	Q [W]

Adjacent-Temp.	U [W/m ² K]	Surface [m ²]			Δϑ	Q [W]

Subtotal Q_i **267**

Exterior cooling load							
Transmission of exterior walls							
Direction	U [W/m ² K]	Surface [m ²]		Δϑ _{aq}	Δϑ _{aq1}		Q _w [W]
N	1.89	2.89		9.30	3.70		20
							20
Transmission of windows							
Direction	U [W/m ² K]	Surface [m ²]			Δϑ		Q _T [W]
N	1.70	6.25			2.60		28
							28
Radiation heat of windows							
Direction	I _{max}	I _{diff,max}	A _{sun} exposed [m ²]	(A-A _i)shaded [m ²]	b	S _a	Q _s [W]

N(N)	90.00	90.00	0.00	5.29	0.77	0.77	284
							284
Subtotal Qa							332

Dry cooling load	14.51	W/m ³	44.48	W/m ²	598
Humid cooling load	1 * 45				45
				Entire	643

Cooling load VDI 2078

Project:	FSB_IRI2	created on:	7/6/2021
Room	VP.2	Ulaz	
Temperature	26	C°	Cool. Load zone 0
			Room type M
Volume	22.33	m³	Maximum Month/Time July 1.00:h
Surface	6.38	m²	

Interior cooling load

Persons	Number	Q _{ptr} /Pers [W]	S _i	Q [W]
		70	0.08	

Light	P [W]	I (Light Factor)	Cent _l (Load Deg)	S _i	Q [W]

EDP	P [W]	Number	Factor	S _i	Q [W]

Machines	P [W]	H(mi. Work Deg)	μ(Load Deg)	Sim	S _i	Q [W]

Mat. Throughput	Mass	ϑ _{E(Entry)} C°	ϑ _{A(Exit)} C°	c(Wkap)[KJ/kgK]	S _i	Q [W]

Adjacent-Temp.	U [W/m ² K]	Surface [m ²]	Δϑ	Q [W]

Subtotal Q_i

Exterior cooling load

Transmission of exterior walls

Direction	U [W/m ² K]	Surface [m ²]	Δϑ _{äq}	Δϑ _{äq1}	Q _w [W]

Transmission of windows

Direction	U [W/m ² K]	Surface [m ²]	Δϑ	Q _T [W]

Radiation heat of windows

Direction	I_{max}	$I_{diff,max}$	Asun exposed [m ²]	(A-Ai)shaded [m ²]	b	S_a	Q_s [W]
Subtotal Qa							

Dry cooling load		W/m ³		W/m ²
Humid cooling load	0 * 45			
				Entire

Cooling load VDI 2078							
Project:	FSB_IRI2					created on:	7/6/2021
Room	VP.3	Učionica					
Temperature	26	C°	Cool. Load zone	0	Room type	M	
Volume	186.66	m³	Maximum Month/Time	July	15.00:h		
Surface	53.33	m²					

Interior cooling load						
Persons	Number	$Q_{ptr}/Pers$ [W]		S_i		Q [W]
	13	70		0.85		773.5

Light	P [W]	I (Light Factor)	$Cent_b$ (Load Deg)		S_i	Q [W]
	266	1.00	1.00		1.00	266
						266

EDP	P [W]	Number	Factor			Q [W]
	200	12	0.35			840
	100	1	0.50			50
						890

Machines	P [W]	H(mi. Work Deg)	μ (Load Deg)	Sim	S_i	Q [W]

Mat. Throughput	Mass	$\vartheta_{E(Entry)}$ C°	$\vartheta_{A(Exit)}$ C°	$c(Wkap)[KJ/kgK]$	S_i	Q [W]

Adjacent-Temp.	U [W/m ² K]	Surface [m ²]		$\Delta\vartheta$		Q [W]
Subtotal Qi						1930

Exterior cooling load						
Transmission of exterior walls						
Direction	U [W/m ² K]	Surface [m ²]		$\Delta\vartheta_{aq}$	$\Delta\vartheta_{aq1}$	Q_w [W]
N	1.89	8.16		9.60	4.00	62
						62
Transmission of windows						
Direction	U [W/m ² K]	Surface [m ²]		$\Delta\vartheta$		Q_T [W]
N	1.70	12.49		3.00		64

N	1.70	6.12			3.00		31
							95
Radiation heat of windows							
Direction	I_{max}	$I_{diff,max}$	Asun exposed [m ²]	(A-Ai)shaded [m ²]	b	S_a	Q_s [W]
N(N)	90.00	90.00	0.00	11.05	0.77	0.75	578
N(N)	90.00	90.00	0.00	5.17	0.77	0.75	271
							848
Subtotal Qa							1005

Dry cooling load	15.72	W/m ³	55.02	W/m ²	2934	
Humid cooling load	13 * 45				585	
					Entire	3519

Cooling load VDI 2078

Project:	FSB_IRI2	created on:	7/6/2021
Room	VP.4 Kabinet		
Temperature	26 C°	Cool. Load zone	0
		Room type	M
Volume	18.45 m³	Maximum Month/Time	July 14.00:h
Surface	5.27 m²		

Interior cooling load				
Persons	Number	$Q_{ptr}/Pers$ [W]	S_i	Q [W]
	70		0.84	

Light	P [W]	I (Light Factor)	$Cent_B$ (Load Deg)	S_i	Q [W]

EDP	P [W]	Number	Factor	Q [W]

Machines	P [W]	$H(mi. Work Deg)$	μ (Load Deg)	Sim	S_i	Q [W]

Mat. Throughput	Mass	$\vartheta_{E(Entry)} C°$	$\vartheta_{A(Exit)} C°$	$c(Wkap)[KJ/kgK]$	S_i	Q [W]

Adjacent-Temp.	U [W/m ² K]	Surface [m ²]	$\Delta\vartheta$	Q [W]

Subtotal Q_i

Exterior cooling load							
Transmission of exterior walls							
Direction	U [W/m ² K]	Surface [m ²]	$\Delta\vartheta_{\dot{a}q}$	$\Delta\vartheta_{\dot{a}q1}$	Q_w [W]		
N	1.89	1.32	9.30	3.70	9		
					9		
Transmission of windows							

Direction	U [W/m ² K]	Surface [m ²]			$\Delta\theta$		Q _T [W]
N	1.70	3.06			2.60		14
							14
Radiation heat of windows							
Direction	I _{max}	I _{diff,max}	A _{sun} exposed [m ²]	(A-Ai)shaded [m ²]	b	S _a	Q _s [W]
N(N)	90.00	90.00	0.00	2.35	0.77	0.77	126
							126
Subtotal Q_a							149

Dry cooling load	8.08	W/m ³	28.26	W/m ²	149
Humid cooling load	0 * 45				
Entire					149

Cooling load VDI 2078

Project:	FSB_IRI2	created on:	7/6/2021
Room	VP.5	Učionica	
Temperature	26	C°	Cool. Load zone 0
			Room type M
Volume	234.71	m³	Maximum Month/Time July 10.00:h
Surface	67.06	m²	

Interior cooling load							
Persons	Number	Q _{ptr} /Pers [W]			S _i		Q [W]
	16	70			0.77		862.4

Light	P [W]	I (Light Factor)	Cent _l (Load Deg)		S _i		Q [W]
	335	1.00	1.00		1.00		335
							335

EDP	P [W]	Number	Factor				Q [W]
	200	15	0.35				1050
	100	1	0.50				50
							1100

Machines	P [W]	H(mi. Work Deg)	μ(Load Deg)	Sim	S _i		Q [W]

Mat. Throughput	Mass	θ _{E(Entry)} C°	θ _{A(Exit)} C°	c(Wkap)[KJ/kgK]	S _i		Q [W]

Adjacent-Temp.	U [W/m ² K]	Surface [m ²]			Δθ		Q [W]
Subtotal Q_i							2297

Exterior cooling load							
Transmission of exterior walls							
Direction	U [W/m ² K]	Surface [m ²]			Δθ _{aq}	Δθ _{aq1}	Q _w [W]
E	1.89	24.89			21.00	15.40	723

N	1.89	9.35		3.40	-2.20		-39
							684
Transmission of windows							
Direction	U [W/m ² K]	Surface [m ²]			$\Delta\theta$		Q _T [W]
N	1.70	12.49			0.00		0
N	1.70	9.31			0.00		0
Radiation heat of windows							
Direction	I _{max}	I _{diff,max}	A _{sun exposed} [m ²]	(A-A _i)shaded [m ²]	b	S _a	Q _s [W]
N(N)	90.00	90.00	0.00	11.05	0.77	0.68	524
N(N)	90.00	90.00	0.00	8.11	0.77	0.68	385
							908
Subtotal Qa							1593
<hr/>							
Dry cooling load		16.57	W/m ³	52.73	W/m ²		3890
Humid cooling load	16 * 45						720
Entire							4610

PRILOG C – Proračun stropnog grijanja i hlađenja

Hlađenje_izračun



Dimensioning of Variotherm Cooling Systems

Building project: Stropno hlad_ Ispitna stanica DT ZIP: _____ City: _____ Date: 06.05.2021. Processed by: dz

No.	Room name	Floor space	Cooling capacity	Supplement cooling capacity	Cooling capacity incl. Supplement	Room temp.	Cooling system	Dimensioning temperature	Mathematical			Practical			Supply pipe	Supply line length per circuit [m]	Pressure loss per circuit [mWC]	Flow quantity per circuit [kg/h]	Distribution manifold number	Special case: 2 cooling systems in one cooling circuit (see manual)	
									Dim.	Unit	Type	No. of circuits	Dim.	Unit							Residual performance
		A [m ²]	Q [W]	Suppl. [%]	Q+Suppl. [W]	ti [°C]		tf/tr [°C]													
1	Ispitna soba	17,00	0		0	26	ModuleCeiling MSD/MRD	17/21	10,20	m ²	MSD/MRD	3	5	m ²	795	16 x 2	15	1,67	58	•2	
2	Učionica	23,00	0		0	26	ModuleCeiling MSD/MRD	17/21	13,80	m ²	MSD/MRD	4	5,75	m ²	1.219	16 x 2	15	2,13	66	•1	
												1									
												1									
												1									
												1									
												1									
												1									
												1									
												1									
												1									
												1									
												1									
												1									
												1									
												1									
												1									
												1									
												1									
												1									
												1									
												1									
												1									
												1									

Summary of the cooling systems

Amount	Unit	Cooling system	Pipe
38,0	m ²	Modular ceiling cooling MSD/MRD	532,0 lfm
	m ²	System wall cooling SWHK2	
	m ²	System wall cooling SWHK3	
	m ²	Modular wall cooling MSW	
	m ²	EasyFlex wall cooling EWHK77	
	m ²	EasyFlex wall cooling EWHK115	
105,0	m	Supply pipe 16x2	105,0 lfm
	m	Supply pipe 11.6x1.5	
Total filling water			42,7 litres

Summary of pipe length by line

Line	Room	m ∅ 16	m ∅ 11,6	Line	Room	m ∅ 16	m ∅ 11,6
1	Ispitna soba	45,0	210,0	14			
2				15			
3	Učionica	60,0	322,0	16			
4				17			
5				18			
6				19			
7				20			
8				21			
9				22			
10				23			
11				24			
12				25			
13				TOTAL		105,0	532,0

	tf/tr	Number of cooling circuits	Flow quantity manifold [kg/h]	Max. pressure loss + 0.1 mWC for manifold [mWC]	Manifold notation according to drawing
Distribution manifold •1	16/20	4	264	2,23	
Distribution manifold •2	16/20	3	174	1,77	
Distribution manifold •3					
Distribution manifold •4					
Distribution manifold •5					
When all distribution manifolds are fed via one pump, the following applies:					
Total flow quantity:			438	kg/h	
Maximum pressure loss from distribution manifold for 0.1 mWC for max. opened valve			2,23	mWC	

Summary of loads

Total cooling capacity	0 W
Total installed load	2.014 W