

Projekt sustava grijanja i hlađenja stambeno-poslovne zgrade

Jukić, Antun

Master's thesis / Diplomski rad

2022

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:235:358423>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-07-18**

Repository / Repozitorij:

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



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

DIPLOMSKI RAD

Antun Jukić

Zagreb, 2021. godina.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

DIPLOMSKI RAD

Mentori:

Prof. dr. sc. Igor Balen, dipl. ing.

Student:

Antun Jukić

Zagreb, 2021. godina.

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

Zahvaljujem se svome mentoru, prof. dr. sc. Igoru Balenu, na pomoći i razumijevanju tijekom izrade rada.

Zahvaljujem kolegama iz tvrtki REHAU i 4ing na korisnim savjetima i pomoći tijekom izrade rada.

Zahvaljujem svojoj obitelji na podršci tijekom cijelog studija.

Antun Jukić



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE



Središnje povjerenstvo za završne i diplomske ispite
Povjerenstvo za diplomske ispite studija strojarstva za smjerove:
Procesno-energetski, konstrukcijski, inženjersko modeliranje i računalne simulacije i brodstrojarški

Sveučilište u Zagrebu	
Fakultet strojarstva i brodogradnje	
Datum	Prilog
Klasa: 602 - 04 / 22 - 6 / 1	
Ur.broj: 15 - 1703 - 22 -	

DIPLOMSKI ZADATAK

Student: **Antun Jukić**

JMBAG: 0035204511

Naslov rada na hrvatskom jeziku: **Projekt sustava grijanja i hlađenja stambeno-poslovne zgrade**

Naslov rada na engleskom jeziku: **Design of heating and cooling system for the residential and commercial building**

Opis zadatka:

U ovom radu, potrebno je izraditi projekt sustava grijanja i hlađenja stambeno-poslovne zgrade na četiri etaže (Po+Pr+1K+2K) ukupne površine 475 m², prema zadanoj arhitektonskoj podlozi. Kao izvor toplinske i rashladne energije predvidjeti dizalicu topline zrak-voda. Za zgradu predvidjeti dvocijevni razvod tople i hladne vode pri čemu treba odabrati optimalne temperaturne režime s obzirom na toplinsku bilancu zgrade. Podsustav predaje topline predvidjeti s ventilokonvektorima i površinskim grijanjem / hlađenjem. Za dovodenje vanjskog zraka u zgradu predvidjeti mehaničku ventilaciju s povratom topline iz istrošenog zraka. Zgrada se nalazi na području grada Zenice.

Na raspolaganju su energetske izvori:

- elektro priključak 230/400V; 50Hz,
- vodovodni priključak tlaka 5 bar.

Rad treba sadržavati:

- pregled sustava grijanja i hlađenja stambeno-poslovnih zgrada s osnovnim shemama,
- toplinsku bilancu za zimsko razdoblje prema normi HRN EN 12831,
- toplinsku bilancu za ljetno razdoblje prema smjernici VDI 2078,
- tehničke proračune koji definiraju izbor opreme,
- tehnički opis funkcije sustava,
- funkcionalnu shemu spajanja sustava i automatske regulacije,
- crteže kojima se definira montaža i raspored opreme.

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

Zadatak zadan:

11. studenog 2021.

Zadatak zadao:

Prof. dr. sc. Igor Balen

Datum predaje rada:

13. siječnja 2022.

Predviđeni datumi obrane:

17. – 21. siječnja 2022.

Predsjednik Povjerenstva:

Prof. dr. sc. Tanja Jurčević Lulić

SADRŽAJ

POPIS SLIKA	III
POPIS TABLICA.....	IV
POPIS TEHNIČKE DOKUMENTACIJE	V
POPIS OZNAKA	VI
SAŽETAK.....	VII
SUMMARY	VIII
1. UVOD.....	1
1.1. Opis zgrade	1
1.2. Sustavi grijanja, hlađenja i ventilacije u stambeno-poslovnim zgradama	6
1.3. Dizalica topline zrak-voda	6
1.4. Ventilacija	10
2. TOPLINSKA BILANCA ZGRADE	12
2.1. Svojstva zgrade	12
2.2. Proračun projektnog toplinskog opterećenja prema HRN EN 12831	13
2.2.1. Osnovne pretpostavke i podaci	13
2.2.2. Rezultati	14
2.3. Proračun projektnog rashladnog opterećenja prema VDI 2078	15
2.3.1. Osnovne pretpostavke i podaci	15
2.3.2. Rezultati	16
3. DIMENZIONIRANJE I ODABIR PODNOG GRIJANJA I HLAĐENJA PREMA HRN EN 1264.....	19
3.1. Odabir opreme.....	19
3.2. Rezultati proračuna	21
4. DIMENZIONIRANJE I ODABIR SUSTAVA MEHANIČKE VENTILACIJE	27
4.1. Odabir rekuperatorskih jedinica za ured i kafić	27
4.1.1. Proračun rekuperatorskih jedinica za ljeto i zimu.....	29
4.2. Odabir vodenih grijača/hladnjaka za ured i kafić	29
4.2.1. Dimenzioniranje grijača	31
4.2.2. Dimenzioniranje hladnjaka	31
4.3. Dimezioniranje ventilacijskih kanala za ured i kafić	35
4.4. Odabir decentraliziranih ventilacijskih jedinica za stanove.....	37
4.5. Odabir odsisnih ventilatora za kupaonice i wc-e	38
5. ODABIR DIZALICE TOPLINE ZRAK-VODA I OSTALE OPREME	40
5.1. Dimenzioniranje i odabir dizalice topline zrak-voda.....	40
5.2. Odabir pločastog izmjenjivača topline.....	42
5.3. Odabir akumulacijskog spremnika "buffera"	43
5.4. Hidraulički proračun cjevovoda i dimenzioniranje cijevne mreže	44
5.5. Odabir kalorimetara	46

5.6. Odabir troputnih miješajućih ventila.....	47
5.7. Proračun kritičnih dionica i odabir cirkulacijskih pumpi.....	48
5.8. Dimenzioniranje i odabir ekspanzijske posude.....	54
5.9. Odabir sobnog regulatora i regulacijskog razdjelnika za podno grijanje.....	56
6. TEHNIČKI OPIS SUSTAVA	59
6.1. Sustav grijanja i hlađenja	59
6.2. Sustav ventilacije	61
ZAKLJUČAK	63
LITERATURA.....	64
PRILOZI.....	66
PRILOG II – DIMENZIONIRANJE VENTILACIJSKIH KANALA I PRORAČUN KRITIČNIH DIONICA	67
PRILOG III – TEHNIČKI CRTEŽI.....	75

POPIS SLIKA

Slika 1.	Situacija zgrade	1
Slika 2.	Tlocrt podruma	2
Slika 3.	Tlocrt prizemlja	3
Slika 4.	Tlocrt 1. kata.....	4
Slika 5.	Jugoistočno pročelje	5
Slika 6.	Sjeverozapadno pročelje.....	5
Slika 7.	Shematski prikaz dizalice topline zrak-voda, [2]	8
Slika 8.	Dizalica topline zrak-voda s parametrima procesa, [2]	9
Slika 9.	Rekuperatorska jedinica za ventilaciju, [1]	11
Slika 10.	Presjek zgrade.....	12
Slika 11.	Razdjelnik i sabirnik krugova grijanja, [4].....	20
Slika 12.	REHAU ploča s čepovima Varionova, [4]	20
Slika 13.	Sustav cijevnog podnog grijanja i hlađenja, [4]	21
Slika 14.	Rekuperatorska jedinica za ventilaciju, [6]	27
Slika 15.	Geometrijske značajke rekuperatorskih jedinica, [6]	28
Slika 16.	Vodeni grijač/hladnjak, [8].....	30
Slika 17.	Ulazni podaci proračuna rashladnog učina hladnjaka kafića, [8]	32
Slika 18.	Izlazni podaci proračuna rashladnog učina hladnjaka kafića, [8]	33
Slika 19.	Ulazni podaci proračuna rashladnog učina hladnjaka ureda, [9]	34
Slika 20.	Izlazni podaci proračuna rashladnog učina hladnjaka ureda, [9]	34
Slika 21.	Stropni vrtložni distributer, DVF-K-300, [9]	35
Slika 22.	Odsisna rešetka, CCV, [10]	36
Slika 23.	Odsisna rešetka, OAV 2, [10]	36
Slika 24.	Decentralizirana ventilacijska jedinica recoVAIR VAR 60/1DW, Vaillant, [11]	37
Slika 25.	Odsisni ventilator, M100-4"AT, Vortice, [12]	39
Slika 26.	Dizalica topline zrak-voda, ELFOEnergy Sheen Evo, Clivet, [13]	41
Slika 27.	Pločasti izmjenjivač topline, Alfa Laval T5-BFG-50, Alfa Laval, [14].....	42
Slika 28.	Akumulacijski spremnik, CAS 301, Centrometal, [15]	43
Slika 29.	Ultrazvučni kalorimetar, WSM506-BE, Siemens, [16]	47
Slika 30.	Troputni miješajući ventil, Siemens, [17]	48
Slika 31.	Prikaz radne točke pumpe sekundarnog kruga u Q-H dijagramu, [18].....	49
Slika 32.	Prikaz radne točke pumpe kruga podnog grijanja – ured u Q-H dijagramu, [19].	50
Slika 33.	Prikaz radne točke pumpe kruga podnog grijanja – kafić u Q-H dijagramu, [20]	52
Slika 34.	Prikaz radne točke pumpe kruga podnog grijanja - stanovi u Q-H dijagramu, [21]	53
Slika 35.	Prikaz radne točke pumpe kruga vodenih grijača/hladnjaka u Q-H dijagramu, [22]	54
Slika 36.	Ekspanzijska posuda, VAREM, V = 60 L, [23].....	56
Slika 37.	Sobni regulator, NEA HCT 230V, Rehau, [4]	57
Slika 38.	Regulacijski razdjelnik, NEA HC 230 V, Rehau, [4]	58

POPIS TABLICA

Tablica 1. Koeficijenti prolaza topline	13
Tablica 2. Unutarnje projektne temperature	14
Tablica 3. Projektno toplinsko opterećenje	14
Tablica 4. Projektno rashladno opterećenje	16
Tablica 5. Projektno rashladno opterećenje	17
Tablica 6. Proračun podnog grijanja/hlađenja.....	22
Tablica 7. Podno grijanje instalirani učin/projektno toplinsko opterećenje	24
Tablica 8. Podno hlađenje instalirani učin/projektno rashladno opterećenje	25
Tablica 9. Rekuperatorska jedinica za ured, [6]	27
Tablica 10. Rekuperatorska jedinica za kafić, [6]	28
Tablica 11. Vodeni grijač/hladnjak, [8].....	30
Tablica 12. Geometrijske značajke vodenog grijača/hladnjaka, [8]	30
Tablica 13. Tehnički podaci recoVAIR VAR 60/1DW, [11].....	38
Tablica 14. Tehnički podaci M100-4"AT, Vortice, [12].....	39
Tablica 15. Tehnički podaci ELFOEnergy Sheen Evo, Clivet, [13].....	41
Tablica 16. Tehnički podaci Alfa Laval T5-BFG-50, Alfa Laval, [14]	43
Tablica 17. Tehnički podaci CAS 301, Centrometal, [15].....	44
Tablica 18. Dimenzioniranje primarnog kruga	45
Tablica 19. Dimenzioniranje sekundarnog kruga.....	45
Tablica 20. Dimenzioniranje kruga grijanja/hlađenja	45
Tablica 21. Tehnički podaci WSM506-BE, Siemens, [16].....	47
Tablica 22. Tehnički podaci VXG-41-..., Siemens, [17].....	48
Tablica 23. Proračun kritične dionice sekundarnog kruga	49
Tablica 24. Proračun kritične dionice kruga podnog grijanja - ured.....	49
Tablica 25. Proračun kritične dionice kruga podnog grijanja - kafić	51
Tablica 26. Proračun kritične dionice kruga podnog grijanja - stanovi	52
Tablica 27. Proračun kritične dionice kruga vodenog hladnjaka – ured	53
Tablica 28. Volumen vode u sustavu	55
Tablica 29. Tehnički podaci, VAREM, V = 60 L, [23]	56
Tablica 30. Dimenzioniranje usisnog kanala – kafić	67
Tablica 31. Dimenzioniranje dobavnih kanala – kafić.....	67
Tablica 32. Dimenzioniranje povratnih kanala – kafić	68
Tablica 33. Dimenzioniranje ispušnog kanala – kafić	68
Tablica 34. Dimenzioniranje usisnog kanala – ured	69
Tablica 35. Dimenzioniranje dobavnih kanala – ured.....	69
Tablica 36. Dimenzioniranje povratnih kanala – ured	69
Tablica 37. Dimenzioniranje ispušnog kanala – ured	70
Tablica 38. Kritična dionica dobavnog kanala – kafić	70
Tablica 39. Kritična dionica povratnog kanala – kafić	71
Tablica 40. Kritična dionica dobavnog kanala – ured.....	72
Tablica 41. Kritična dionica povratnog kanala – ured	73

POPIS TEHNIČKE DOKUMENTACIJE

Crtež 1	Tlocrt podruma – grijanje i ventilacija	M 1:50
Crtež 2	Tlocrt prizemlja – grijanje i ventilacija	M 1:50
Crtež 3	Tlocrt 1. kata – grijanje i ventilacija	M 1:50
Crtež 4	Tlocrt 2. kata – grijanje i ventilacija	M 1:50
Crtež 5	Tlocrt podruma – podno grijanje	M 1:50
Crtež 6	Tlocrt prizemlja – podno grijanje	M 1:50
Crtež 7	Tlocrt 1. kata – podno grijanje	M 1:50
Crtež 8	Tlocrt 2. kata – podno grijanje	M 1:50
Crtež 9 1/2	Shema spajanja i regulacije 1/2	
Crtež 9 2/2	Shema spajanja i regulacije 2/2	

POPIS OZNAKA

Oznaka	Jedinica	Opis
a	m	Visina presjeka pravokutnog ventilacijskog kanala
b	m	Duljina presjeka pravokutnog ventilacijskog kanala
$c_{p,z}$	J/(kg·K)	Specifični toplinski kapacitet zraka
c_w	W/°C	Vodena vrijednost
d	m	Unutarnji promjer spiro ventilacijskog kanala
d_{ekv}	m	Ekvivalentni promjer ventilacijskog kanala
d_N	m	Nazivni promjer bakrene/čelične cijevi
d_U	m	Unutarnji promjer bakrene/čelične cijevi
L	m	Duljina
p_{din}	Pa	Dinamički pad tlaka
q_m	kg/s	Maseni protok vode
$q_{v,z}$	m ³ /s	Volumni protok zraka
R	Pa/m	Linijski pad tlaka
U	W/(m ² ·K)	Koeficijent prolaza topline
v	m/s	Brzina
Z	Pa	Lokalni pad tlaka
ζ	-	Koeficijent lokalnog pada tlaka
η_R	-	Učinkovitost rekuperatorske jedinice za ventilaciju
ϑ_P	°C	Unutarnja projektna temperatura prostora
ϑ_R	°C	Temperatura vanjskog zraka na izlazu iz rekuperatora
ϑ_V	°C	Vanjska projektna temperatura
ϑ_p	°C	Unutarnja projektna temperatura prostora
ρ_z	kg/m ³	Gustoća zraka
$\Phi_{GR,i}$	W	Projektno toplinsko opterećenje prostorije
$\Phi_{HL,i}$	W	Projektno rashladno opterećenje prostorije
$\Phi_{INST,PG,i}$	W	Instalirani učin krugova podnog grijanja prostorije
$\Phi_{INST,PH,i}$	W	Instalirani učin krugova podnog hlađenja prostorije
Φ_{INST,UK_GR}	W	Ukupni instalirani učin ogrjevnih tijela za zgradu
Φ_{INST,UK_HL}	W	Ukupni instalirani učin rashladnih tijela za zgradu
$\Phi_{T,i}$	W	Projektni transmisijski gubici prostorije
$\Phi_{V,i}$	W	Projektni ventilacijski gubici prostorije
$\Phi_{RH,i}$	W	Gubici zbog prekida grijanja prostorije
$\Phi_{GR_kafić}$	W	Toplinski učin vodenog grijača za kafić
Φ_{GR_ured}	W	Toplinski učin vodenog grijača za ured
$\Phi_{HL_kafić}$	W	Rashladni učin vodenog hladnjaka za kafić
Φ_{HL_ured}	W	Rashladni učin vodenog hladnjaka za ured
φ	-	Relativna vlažnost zraka

SAŽETAK

U ovom diplomskom radu, isprojektiran je sustav grijanja, hlađenja i ventilacije za stambeno-poslovnu zgradu, koja se nalazi na području grada Zenice. Zgrada se sastoji od 4 etaže, a ukupna korisna površina joj je 475 m². Kao toplinski izvor, koristi se dizalica topline zrak-voda u monoblok izvedbi. Toplinska bilanca zgrade izračunata je korištenjem norme HRN EN 12831 za režim grijanja i smjernice VDI 2078 za režim hlađenja. Na osnovu istih, dimenzionirani su krugovi podnog grijanja, koji se koriste za grijanje/hlađenje pojedinih prostorija. Proračun norme HRN EN 12831, smjernice VDI 2078 i krugova podnog grijanja/hlađenja je odrađen u programu IntegraCAD. Režim podnih krugova je 38/32 °C za grijanje i 18/21 °C za hlađenje. Za poslovne prostore zgrade, koji se nalaze u prizemlju i podrumu, projektiran je sustav mehaničke ventilacije, uz korištenje rekuperatorskih jedinica za ventilaciju i vodenih grijača/hladnjaka. Određivanjem potrebnih učina grijača/hladnjaka, uz već izračunate učine podnih krugova, odabire se dizalica topline. Ogrjevni učin dizalice topline je 26,5 kW (za vanjsku temperaturu -15 °C i temperaturni režim vode 40/35 °C), dok joj je rashladni učin 48 kW (za vanjsku temperaturu 35 °C i temperaturni režim vode 7/12 °C). Dizalica topline je smještena vani, neposredno uz jugozapadnu stranu prizemlja zgrade. Kako bi se omogućila predaja topline od dizalice topline prema podsustavima predaje, dimenzionirani su odgovarajući pločasti izmjenjivač topline, akumulacijski spremnik i razdjelnik/sabirnik vode, smješteni u strojarnici u podrumu. Iz razdjelnika/sabirnika vode, vode se 4 zasebne bakrene vertikale, svaka s odgovarajućom cirkulacijskom pumpom, koje u dvocijevnom razvodu distribuiraju vodu do podsustava predaje topline. Uz cirkulacijske pumpe, dimenzionirana je i odgovarajuća ekspanzijska posuda, kao i troputni razdjelni ventili. Za stambene prostore zgrade, koji se nalaze na 1. i 2. katu, ventilacija pojedinih prostora je osigurana pomoću decentraliziranih ventilacijskih jedinica, koje se ugrađuju na vanjski zid. Ventilacija sanitarnih prostorija (kupaonice, wc) je izvedena s odsisnim ventilatorima. S obzirom da zgrada ima 6 različitih vlasničkih cjelina (ured, kafić, 4 stana), za svaku od njih je predviđeno zasebno mjerenje potrošnje toplinske energije preko ultrazvučnih kalorimetara. Na kraju rada, dani su tehnički crteži s izvedenim sustavom grijanja, hlađenja i ventilacije za pojedine etaže zgrade, kao i funkcionalna shema spajanja i regulacije sustava. Crteži su izrađeni u programu AutoCAD.

Ključne riječi: dizalica topline zrak-voda, podno grijanje, rekuperator, grijač, hladnjak

SUMMARY

This graduation paper summarizes the heating, cooling and ventilation project of a residential-commercial building in Zenica. The building consists of 4 floors and possesses the total useful area of 475 m². A monobloc air-to-water heat pump is used as the heat source. The heating requirements of the building are calculated by using the norm HRN EN 12831 and the guideline VDI 2078. This calculation is used as the basis for determining the dimensions of the underfloor heating circles, which are used to heat/cool the rooms. The temperature regime for the underfloor heating circles is 38/32 °C for heating and 18/21°C for cooling. The calculations of the norm HRN EN 12831, the guideline VDI 2078 and the dimensions of the underfloor heating circles, were performed using the IntegraCAD computer program. For the commercial rooms, which are located in the basement and the ground floor, the central mechanical ventilation system is designed, with the heat recovery units and the water heaters/coolers. After determining the required capacity of the water heater/cooler units and the underfloor heating circles, the air-to-water heat pump is selected. The heating capacity of the selected heat pump is 26,5 kW (for the outside air temperature -15 °C, and the water temperature regime 40/35 °C), while the cooling capacity is 48 kW (for the outside air temperature 35 °C, and the water temperature regime 7/12 °C). The heat pump is situated outside, next to the southwestern side of the ground floor of the building. In order to enable the heat transfer, from the heat pump to the heat transfer subsystems, the corresponding plate heat exchanger, accumulation tank and the divider/busbar of the water are dimensioned, situated in the machine room in the basement. From the divider/busbar of the water, water is divided into 4 separate copper vertical pipes, each one with the corresponding circulating pump, that are distributing the water by means of a two-pipe splitter to the heat transfer subsystem. Along with the circulating pumps, the corresponding expansion tanks are designed, as well as the 3-way splitting valves. For the residential rooms, which are located on the first and the second floor, the decentralized ventilation units are used, which are mounted on the outside wall. For the sanitary rooms (bathrooms, toilets), the ventilation system is designed with the exhaust fans. Considering that the building consists of 6 separate ownership units (an office, a cafe and 4 flats), all of them possess independent measuring units of heat consumption with the ultrasonic heat meters. At the end of the paper, the technical drawings are provided, with the heating, cooling and ventilation project design and the functional scheme of the regulation of the system. The drawings are created by using the AutoCAD computer program.

Key words: air-to-water heat pump, underfloor heating, heat recovery unit, heater, cooler

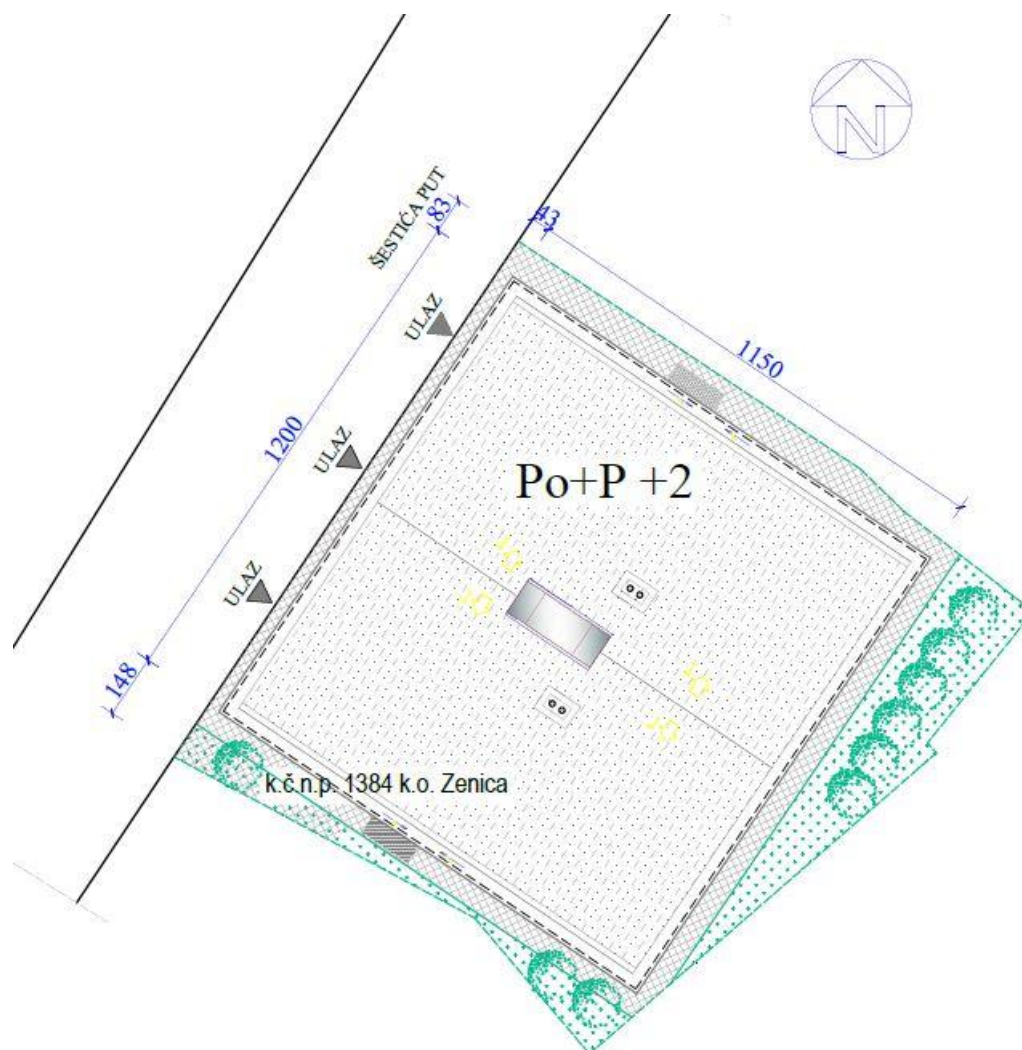
1. UVOD

1.1. Opis zgrade

Tema ovog diplomskog rada je projekt sustava grijanja, hlađenja i ventilacije poslovno-stambene zgrade. Sama zgrada se nalazi na području grada Zenice. Prema zadanim arhitektonskim podlogama, dolazi se do osnovnih informacija o geometriji i karakteristikama zgrade.

Zgrada je poslovno-stambena, i izvedena je u 4 etaže. Korisna površina joj je 475 m².

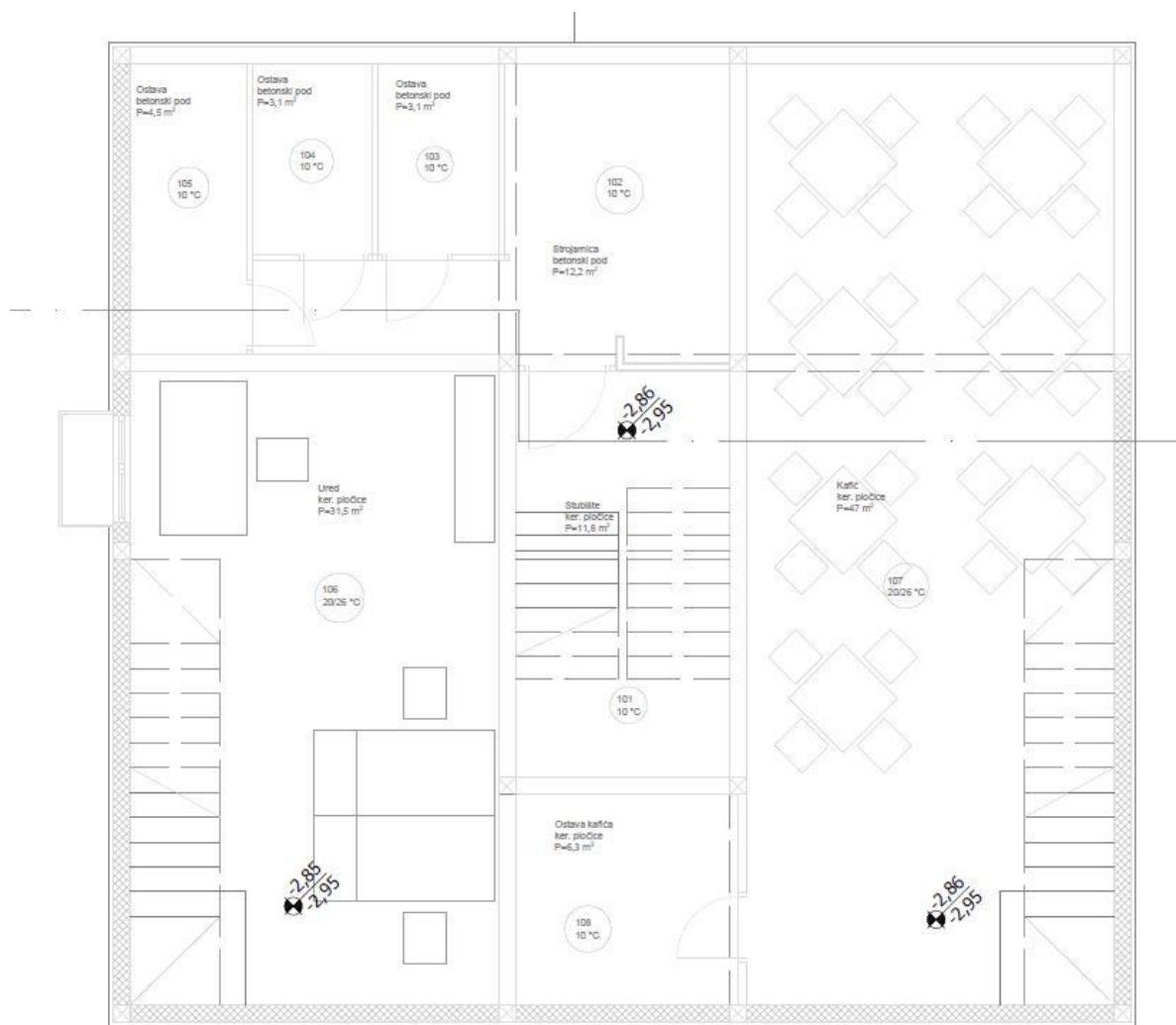
Na Slici 1., dana je situacija zgrade, na kojoj je vidljivo da za zgradu postoje 3 ulaza smještena na sjeverozapadnoj strani, 2 za poslovne, a 1 za stambene prostore.



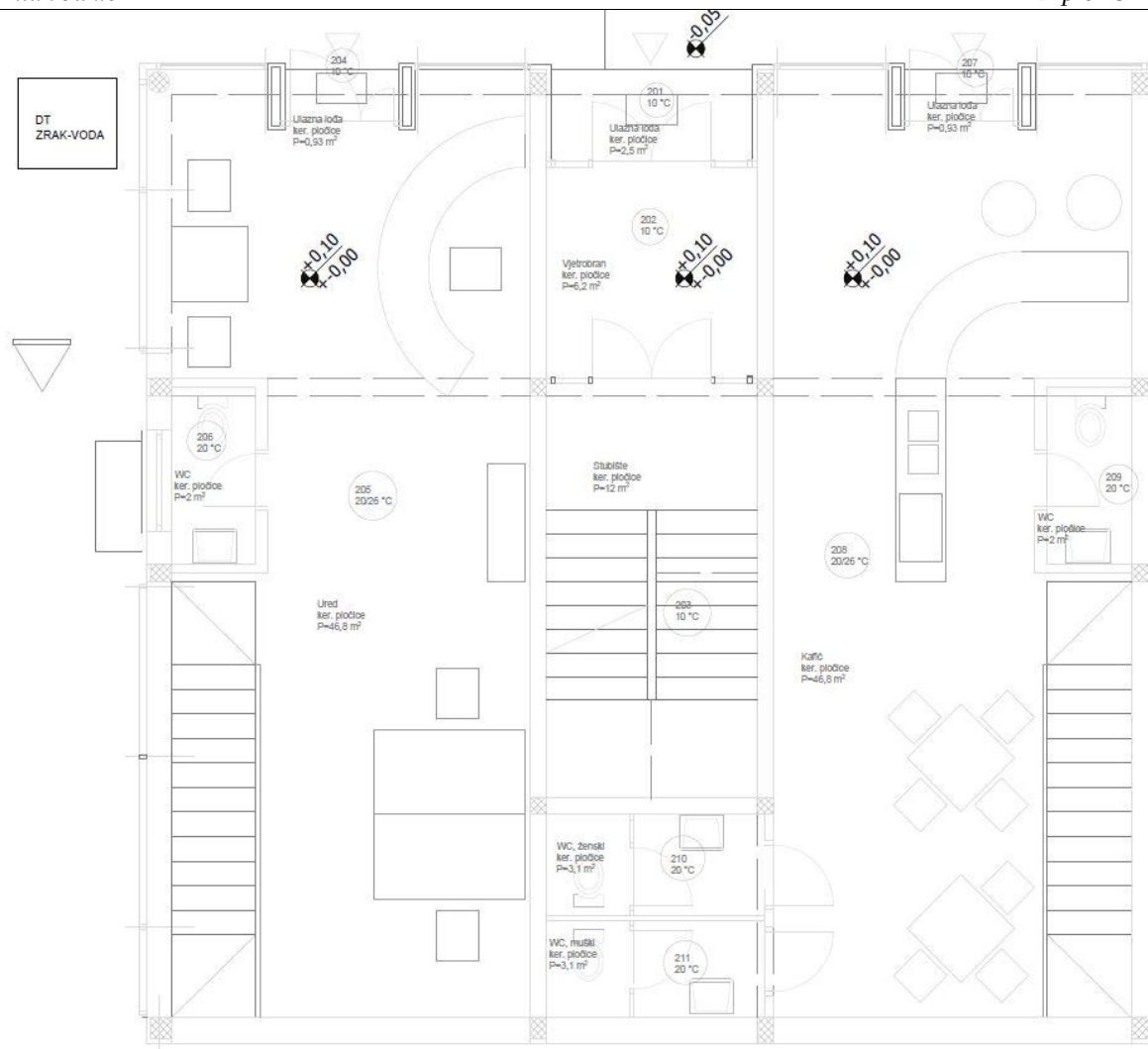
Slika 1. Situacija zgrade

U donje dvije etaže zgrade, prizemlju i podrumu, smješteni su poslovni prostori. Podrum je ukopan, uz podrumsko svjetlosno okno koje se nalazi na jugozapadnoj strani zgrade. Poslovni prostori uključuju dvoetažni ured i kafić, uz prateće prostore (wc, ostave). Podrum i prizemlje ureda, kao i podrum i prizemlje kafića, povezani su zasebnim stubištima. U podrumu zgrade, nalazi se i strojarnica u kojoj je smještena oprema za sustav grijanja i hlađenja zgrade.

Na Slikama 2. i 3., dani su tlocrti podruma i prizemlja zgrade.



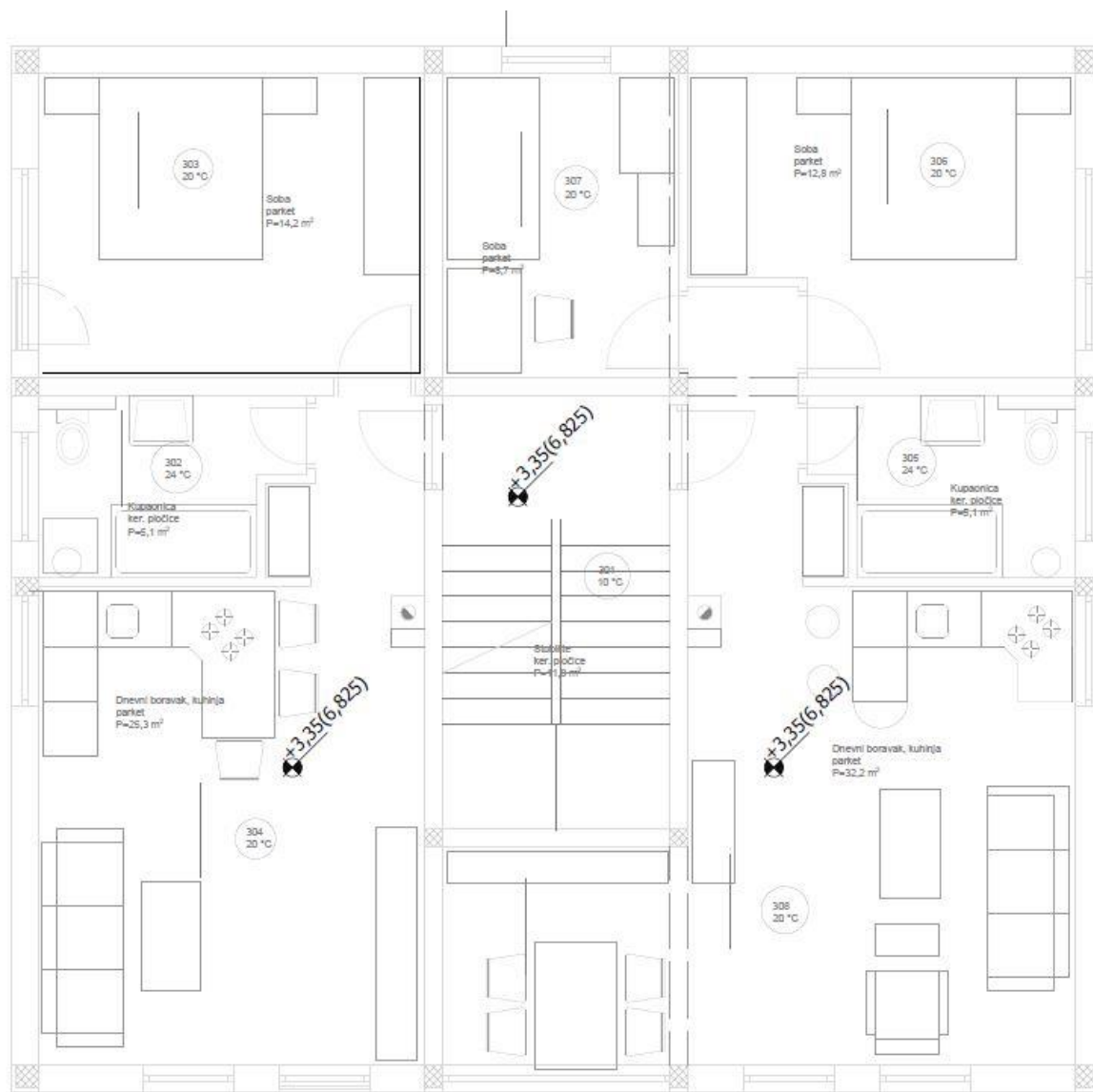
Slika 2. Tlocrt podruma



Slika 3. Tlocrt prizemlja

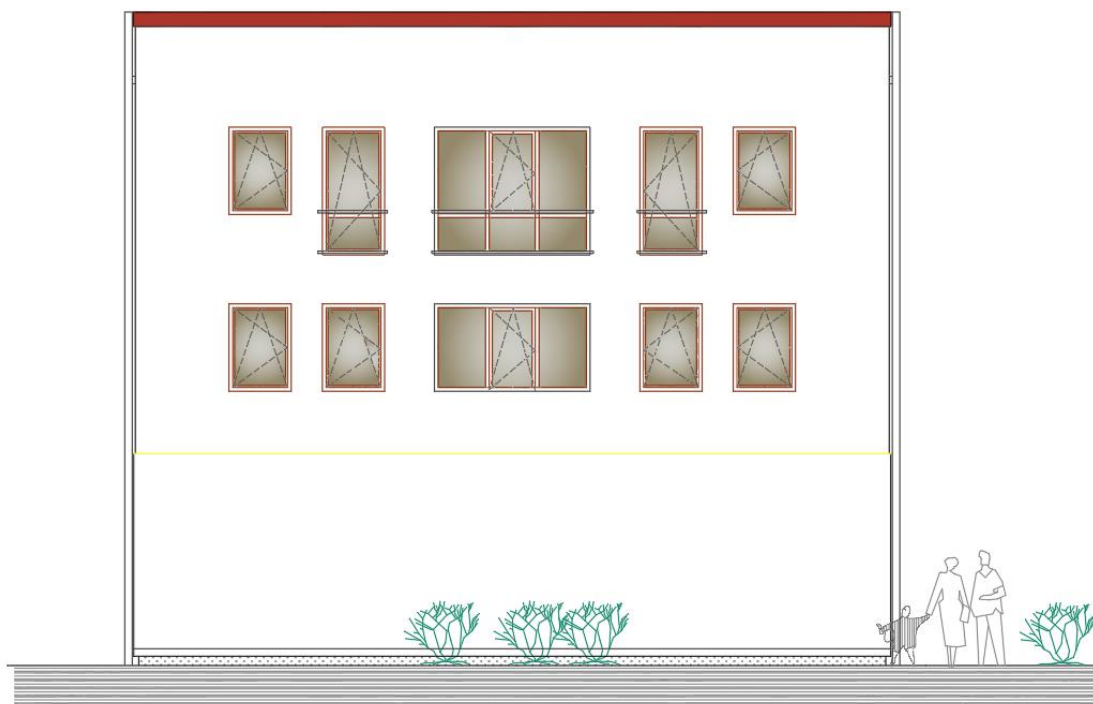
Stambeni prostori se nalaze na 1. i 2. katu zgrade. Na svakom katu se nalaze po 2 stana. Ulaz za stanove je u prizemlju, odakle se stubištem dolazi do 1. i 2. kata. Stanovi se sastoje od soba, dnevnog boravka, kuhinje i kupaoalice.

Na Slici 4., dan je tlocrt 1. kata zgrade. Tlocrt 2. kata je identičan 1. katu.



Slika 4. Tlocrt 1. kata

Na Slikama 5.-6., dan je prikaz pojedinih pročelja zgrade, preuzetih iz njenih arhitektonskih podloga.



Slika 5. Jugoistočno pročelje



Slika 6. Sjeverozapadno pročelje

1.2. Sustavi grijanja, hlađenja i ventilacije u stambeno-poslovnim zgradama

U današnje vrijeme, sustavi grijanja i hlađenja za stambeno-poslovne zgrade se projektiraju s ciljem postizanja što veće energetske učinkovitosti. Energetska učinkovitost predstavlja niz mjera, čiji cilj je minimiziranje potrošnje energije, uz zadržavanje iste razine toplinske ugodnosti. Neke od tih mjera su: kvalitetna toplinska izolacija vanjske ovojnice zgrade, korištenje učinkovitih sustava za proizvodnju toplinske/rashladne energije, korištenje ogrjevnih/rashladnih tijela koji će zahtijevati manje potrošnje energije za predaju željenog toplinskog/rashladnog učina.

Sustavi grijanja i hlađenja u stambeno-poslovnim zgradama su u velikoj većini slučajeva toplovodni sustavi. U takvim sustavima, jedan izvor energije se koristi za više prostora zgrade. Izvor je povezan s ogrjevnim tijelima prostora cijevnim razvodom. Time se ostvaruje ravnomjerna razdioba temperature po prostoru. U ovom radu, kao takav izvor je uzeta dizalica topline zrak-voda.

Jedan od većih problema toplovodnih sustava u stambeno-poslovnim zgradama je na koji način izmjeriti potrošnju toplinske energije, ukoliko zgrada ima više vlasničkih cjelina. U ovom radu, taj problem je riješen ugradnjom ultrazvučnih kalorimetara za svaku pojedinu vlasničku cjelinu.

Sustavi ventilacije u poslovno-stambenim zgradama mogu biti centralni i decentralizirani, ovisno o mjestu pripreme zraka. U ovom radu, imamo primjere oba sustava. Kod poslovnih prostora, odabran je centralni sustav mehaničke ventilacije, gdje se vanjski zrak, preko rekuperatorske jedinice, ventilacijskim kanalima dovodi u prostor. Kod stambenih prostora, odabran je decentralizirani sustav mehaničke ventilacije, gdje se priprema zraka vrši za svaki prostor zasebno.

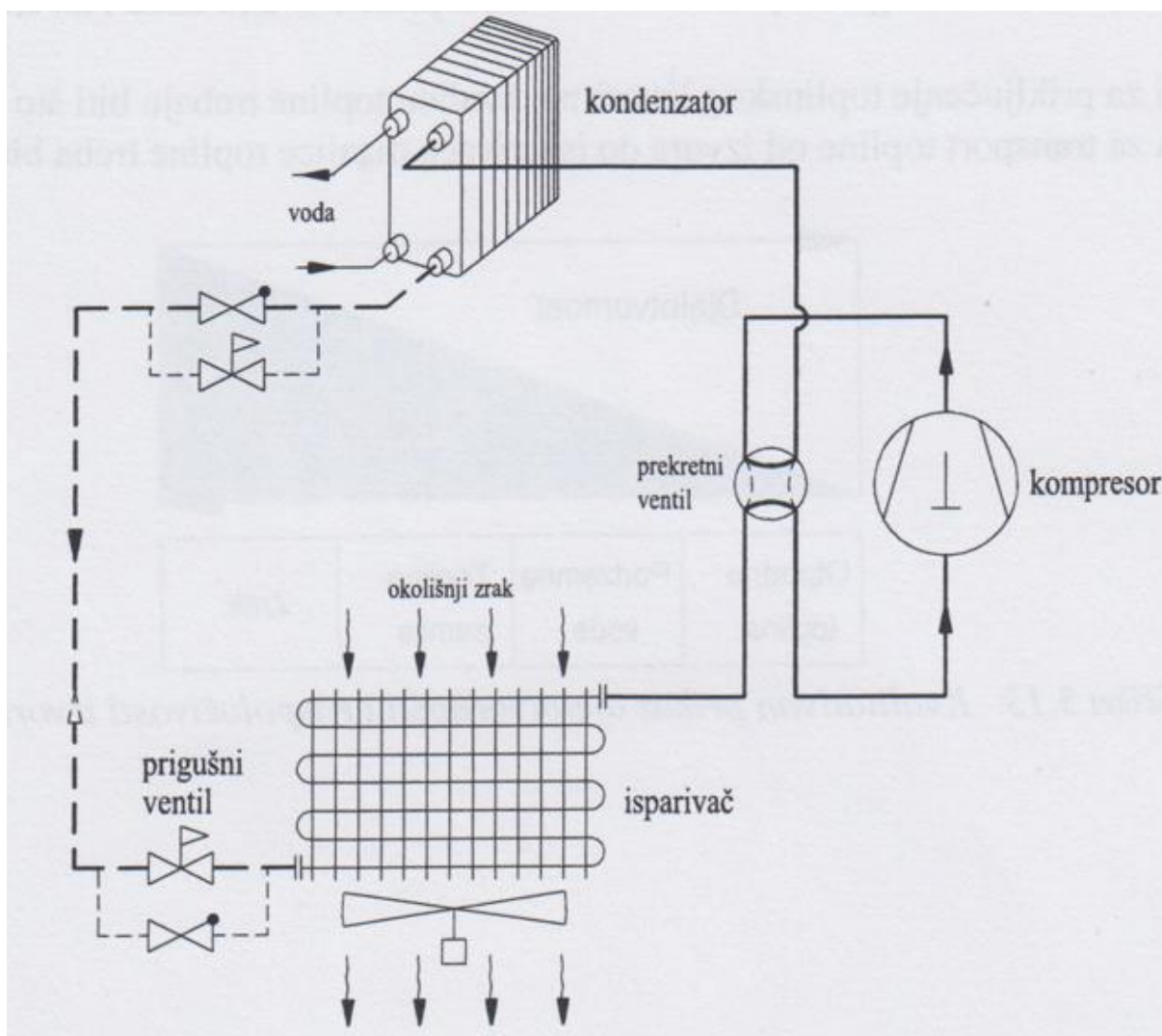
1.3. Dizalica topline zrak-voda

U ovom diplomskom radu, kao izvor toplinske i rashladne energije, uzeta je dizalica topline zrak-voda.

Zadnjih nekoliko godina, svjedočimo naglom porastu broja instaliranih jedinica dizalica topline. Razlozi za to su sve veća svijest o klimatskim promjenama, kao i porast efikasnosti samih uređaja. Dizalice topline su 3-5 puta učinkovitije u odnosu na usporedne plinske kotlove, ili one na kruto gorivo, s obzirom da za isti učinak toplinske energije trebaju utrošiti 3-5 puta manje energije (električna), u odnosu na kotlove (kemijska).

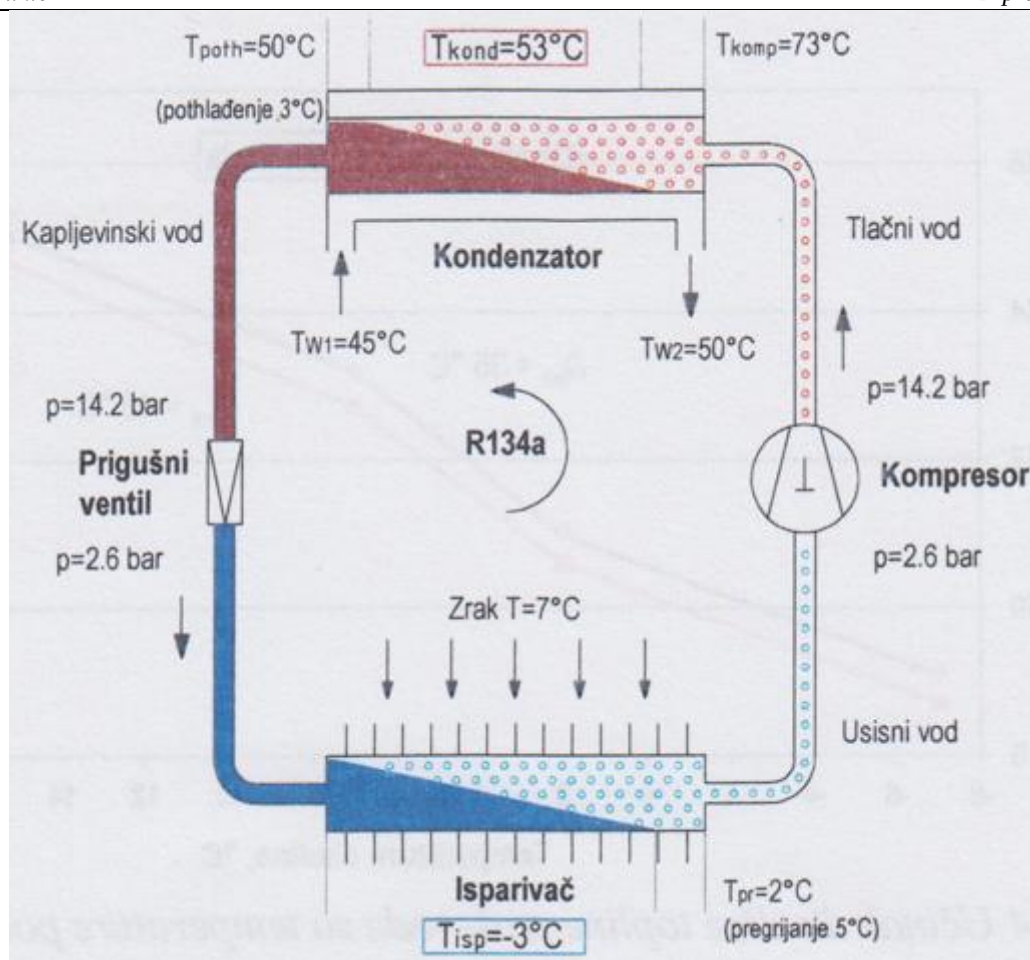
Rad dizalice topline zasniva se na ljevokretnom kružnom procesu. Kroz uređaj kruži radna tvar koja izmjenjuje toplinu s toplinskim izvorom i ponorom, te prilikom izmjene topline mijenja agregatno stanje iz plinovitog u kapljevito i obratno. Kao radne tvari, prednost imaju one s niskom temperaturom isparivanja pri atmosferskom tlaku, te s velikom latentnom toplinom isparavanja i kondenzacije.

Na Slici 7., dan je shematski prikaz dizalice topline zrak-voda. U režimu grijanja, kao toplinski izvor služi zrak, koji predaje toplinu radnoj tvari, koja isparava u isparivaču. S obzirom na varijabilnost temperature vanjskog zraka tijekom godine, mijenja se i temperatura isparivanja radne tvari, koja mora imati nižu vrijednost. Reguliranje temperature isparivanja radne tvari se vrši pomoću prigušnog ventila, koji snižava vrijednost tlaka radne tvari na tlak isparivanja za zadanu vrijednost temperature isparivanja radne tvari. Nakon prolaska kroz isparivač, radna tvar u parovitom stanju ulazi u kompresor, gdje joj se radni tlak diže s tlaka isparivanja na tlak kondenzacije. Tlak kondenzacije predstavlja tlak pri kojem će radna tvar kondenzirati, ovisno o zadanoj vrijednosti temperature kondenzacije radne tvari. Temperatura kondenzacije radne tvari mora imati višu vrijednost od temperature toplinskog ponora. U ovom slučaju, kao toplinski ponor se koristi voda, koja se zagrijava prolaskom kroz kondenzator. Radna tvar, u kapljevitom stanju, iz kondenzatora dolazi u prigušni ventil, gdje joj se tlak snižava na tlak isparivanja, te se cijeli ciklus ponavlja. Uređaj sadrži i preketni ventil, pomoću kojeg dizalica topline može raditi i u grijanju i u hlađenju. U slučaju promjene režima s grijanja na hlađenje, zrak će se ponašati kao toplinski ponor, te će izmjenjivač topline između zraka i radne tvari biti kondenzator, dok će izmjenjivač topline između vode i radne tvari biti isparivač.



Slika 7. Shematski prikaz dizalice topline zrak-voda, [2]

Na Slici 8., dan je shematski prikaz dizalice topline zrak-voda, s tipičnim vrijednostima tlaka i temperature radne tvari, zraka i vode, za režim grijanja.



Slika 8. Dizalica topline zrak-voda s parametrima procesa, [2]

Parametri koji analitički opisuju učinkovitost pojedine dizalice topline, nazivaju se COP (Coefficient of Performance) i EER (Energy Efficiency Ratio).

COP se koristi u režimu grijanja, te daje informaciju o tome koliko će se kW toplinske snage dobiti na kondenzatoru (Φ_{kond}), za utrošenih 1 kW električne snage na strani kompresora (P_{komp}).

$$COP = \frac{\Phi_{kond}}{P_{komp}} = 3 \dots 5$$

EER se koristi u režimu hlađenja, te daje informaciju o tome koliko će se kW rashladne snage dobiti na isparivaču (Φ_{isp}), za utrošenih 1 kW električne snage na strani kompresora (P_{komp}).

$$EER = \frac{\Phi_{isp}}{P_{komp}} = 3 \dots 5$$

1.4. Ventilacija

Ventilacija predstavlja namjerno ubacivanje zraka iz vanjskog okoliša u građevinu kroz projektirane otvore. [1]

Ventilacijski zahtjevi, [1]:

- Dobava vanjskog zraka (kisika) za disanje ljudi i/ili životinja
- Kontrola koncentracije zagađivača u zraku prostorije
- Pokrivanje toplinskih opterećenja zgrade (održavanje temperature i vlažnosti)
- Održavanje jednolikog stanja zraka u zoni boravka

Podjela sustava ventilacije prema načinu strujanja, [1]:

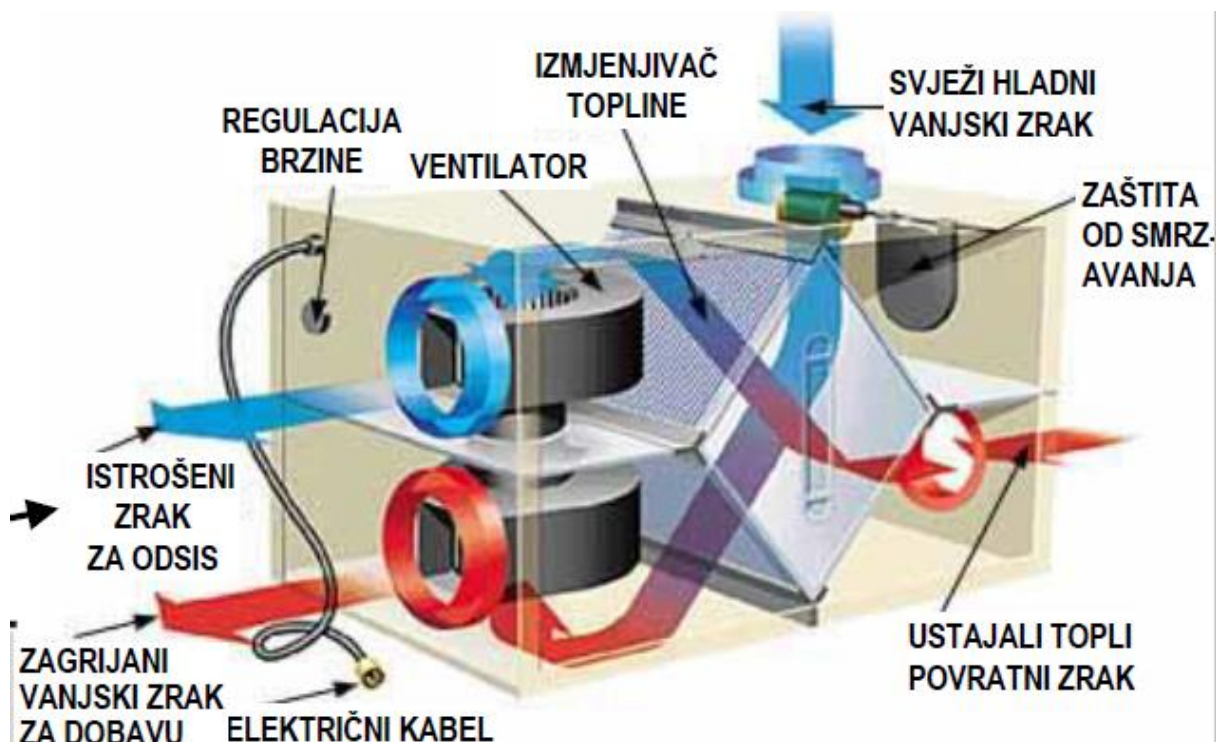
- Prirodna ventilacija
- Mehanička ventilacija

U ovom radu, zgrada će se ventilirati i prirodno i mehanički. Prirodna ventilacija podrazumijeva ubacivanje zraka u prostoriju putem infiltracije (otvaranje vrata, prozora).

Mehanička ventilacija predstavlja ubacivanje zraka u prostoriju pomoću ventilatora. Postoji više sustava mehaničke ventilacije koji se koriste u ovom radu. Ured i kafić, svaki zasebno, imaju svoje rekuperatorske jedinice za povrat topline, gdje se zrak pomoću ventilatora i ventilacijskih kanala dovodi u prostor. Stanovi imaju decentralizirane ventilacijske jedinice, smještene na vanjski zid, koje imaju integriran ventilator koji dovodi/odvodi zrak iz prostora. Kupaonice i wc-i imaju odsisne ventilatore koji, preko PVC cijevi, odvode zrak iz prostora. Za nadoknadu zraka, na vratima kupaonica i wc-a se postavljaju prestrujne rešetke.

Na Slici 9., dan je prikaz rekuperatorske jedinice za ventilaciju. Preko tlačnog ventilatora, vanjski zrak se dovodi u jedinicu, gdje izmjenjuje toplinu s povratnim zrakom iz prostora, koji se preko odsisnog ventilatora izbacuje van.

Prirodna ventilacija podrazumijeva ubacivanje zraka u prostoriju putem infiltracije (otvaranje vrata, prozora).



Slika 9. Rekuperatorska jedinica za ventilaciju, [1]

Učinkovitost rekuperatorske jedinice za ventilaciju određuje se na sljedeći način:

$$\eta_R = \frac{\vartheta_R - \vartheta_V}{\vartheta_P - \vartheta_V}$$

ϑ_R – temperatura vanjskog zraka na izlazu iz rekuperatora, [°C]

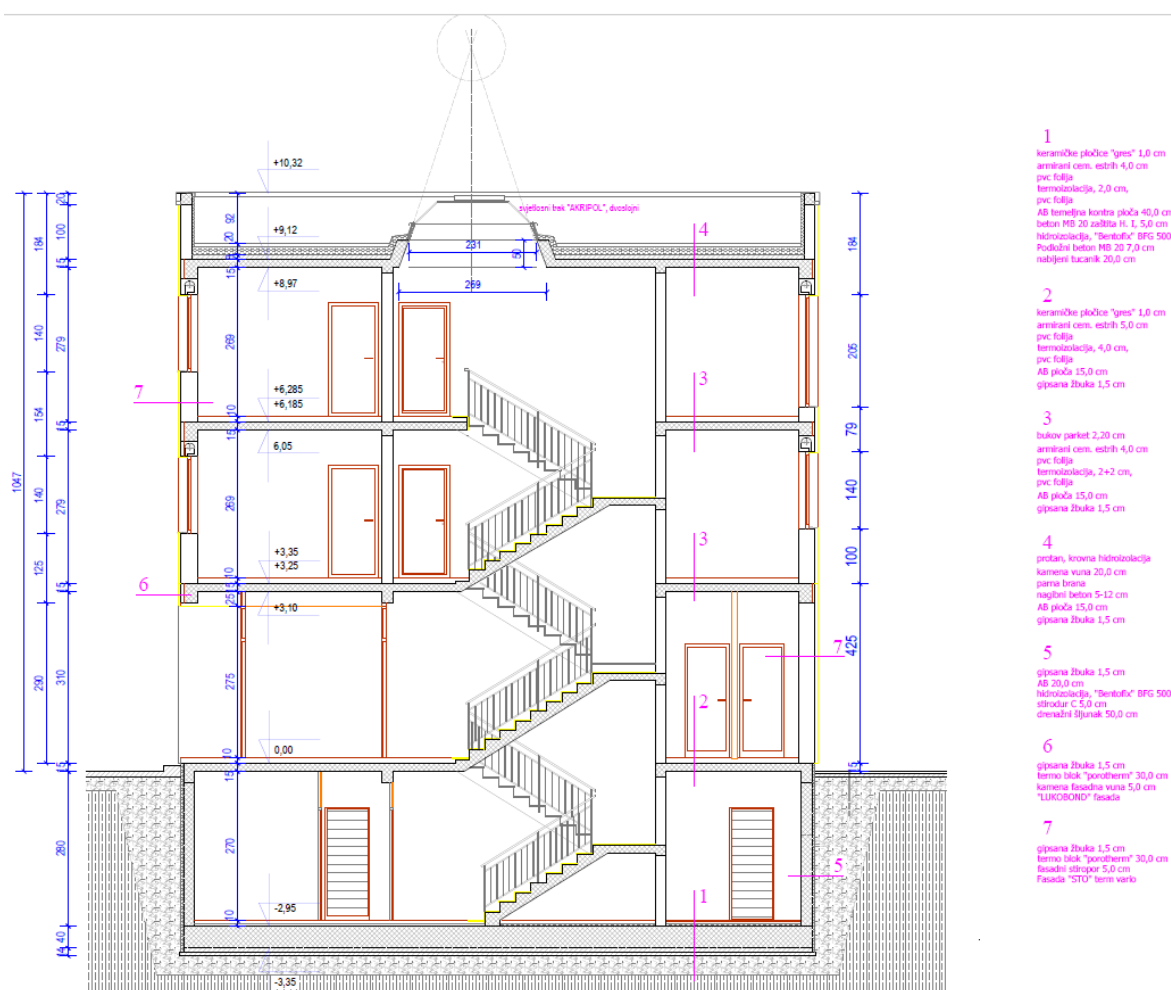
ϑ_V - temperatura vanjskog zraka na ulazu u rekuperator , [°C]

ϑ_P – temperatura povratnog zraka na ulazu u rekuperator, [°C]

2. TOPLINSKA BILANCA ZGRADE

2.1. Svojstva zgrade

Na Slici 10., dan je presjek zgrade, s označenim građevnim slojevima, preuzetih iz arhitektonskih podloga. Vanjski zidovi zgrade su izolirani s 5 cm fasadnog stiropora. Podna konstrukcija je izvedena s 40 cm debelom armirano-betonskom pločom. Kao podne obloge u prizemlju i podrumu, koriste se keramičke pločice, dok su 1. i 2. kat zgrade obloženi parketom. Krovna konstrukcija je izvedena s 15 cm debelom armirano-betonskom pločom i izolirana s 20 cm kamene vune.



Slika 10. Presjek zgrade

Sukladno podacima o građevnim slojevima danim u arhitektonskim podlogama, izračunati su koeficijenti prolaza topline za elemente vanjske ovojnice zgrade. Rezultati su dani u Tablici 1. Na vrijednosti koeficijenata prolaza topline danih u tablici, dodaje se $0,05 \text{ W/m}^2\text{K}$, zbog postojanja toplinskih mostova.

Tablica 1. Koeficijenti prolaza topline

Oznaka	Građevni dio	U, [W/m ² K]
POD1	Pod	0,46
VZ7	Vanjski zid	0,516
KROV	Strop	0,169
VZ5	Vanjski zid	0,419
VZ6	Vanjski zid	0,516
VP	Prozor	1
VV	Vrata	1,6
ST5	Strop	0,562
SS	Prozor	1,5

2.2. Proračun projektnog toplinskog opterećenja prema HRN EN 12831

Projektni toplinsko opterećenje prostorije:

$$\Phi_i = \Phi_{T,i} + \Phi_{V,i} + \Phi_{RH,i}$$

$\Phi_{T,i}$ – projektni transmisijski gubici prostorije, [W]

$\Phi_{V,i}$ – projektni ventilacijski gubici prostorije, [W]

$\Phi_{RH,i}$ – gubici zbog prekida grijanja, [W]

Tijek proračuna projektnog toplinskog opterećenja opisan je u normi HRN EN 12831, a kao takav je integriran u računalni program *IntegraCAD*, u kojem je odrađen ovaj dio rada.

2.2.1. Osnovne pretpostavke i podaci

Prije provođenja proračuna, bilo je potrebno odrediti neke osnovne parametre i podatke.

Vanjska projektna temperatura za grad Zenicu, prema [3], je -15 °C.

Unutarnje projektne temperature za pojedine prostorije zgrade su dane u Tablici 2.

Tablica 2. Unutarnje projektne temperature

Prostorija	ϑ_u , [°C]
Kupaonica	24
Ostali grijani prostori	20
Negrijani prostori	10

Proračun je rađen na način kao da nema mehaničke ventilacije, s obzirom da je projektirano da se vanjski zrak, prolaskom kroz rekuperator topline i vodeni grijač, zagrije na unutarnju projektnu temperaturu prostora.

Uzevši u obzir činjenicu da će sve prostorije biti mehanički ventilirane, odabrano je da će minimalni broj izmjena zraka, n_{min} , biti $0,2 \text{ h}^{-1}$ za kupaonice, wc-e, ured i kafić, a $0,1 \text{ h}^{-1}$ za sobe i dnevne boravke. Broj izmjena zraka u prostoriji pri razlici 50 Pa između prostorije i vanjskog okoliša, n_{50} , uzet je $1,5 \text{ h}^{-1}$. Korekcijski faktor ovisan o vremenu zagrijavanja i pretpostavljenom padu temperature za vrijeme prekida, f_{RH} , uzet je 6 W/m^2 za poslovne prostore, a 4 W/m^2 za stambene prostore.

2.2.2. Rezultati

Rezultati proračuna projektnog toplinskog opterećenja dani su u Tablici 3.

Tablica 3. Projektno toplinsko opterećenje

Prostorija	A_i , [m ²]	$\Phi_{T,i}$, [W]	$\Phi_{V,i}$, [W]	$\Phi_{RH,i}$, [W]	$\Phi_{GR,i}$, [W]
Podrum					
Ured – podrum	31,5	971	210	189	1370
Kafić – podrum	47	1397	313	282	1991
Prizemlje					
Ured - prizemlje	46,3	1821	342	278	2440
Kafić - prizemlje	46,8	1876	111	281	2267
WC, kafić, ženski	3,1	161	23	19	202
WC, kafić, muški	3,1	111	23	19	152
WC, kafić	2	117	15	12	144

WC, ured	2	93	15	12	120
1. kat					
Kupaonica, stan 1	5,1	194	38	20	252
Soba, stan 1	14,2	521	47	57	624
Dnevni boravak, stan 1	25,3	849	84	101	1034
Kupaonica, stan 2	5,1	214	38	20	272
Soba 1, stan 2	12,8	471	43	51	565
Soba 2, stan 2	8,7	333	29	35	396
Dnevni boravak, stan 2	32,2	1127	107	129	1362
2. kat					
Kupaonica, stan 3	5,1	219	37	20	276
Soba, stan 3	14,2	532	46	57	634
Dnevni boravak, stan 3	25,3	881	81	101	1063
Kupaonica, stan 4	5,1	219	37	20	276
Soba 1, stan 4	12,8	479	41	51	571
Soba 2, stan 4	8,7	350	28	35	412
Dnevni boravak, stan 4	32,2	1153	103	129	1384
UKUPNO	-	14089	1811	1918	17878

2.3. Proračun projektnog rashladnog opterećenja prema VDI 2078

Proračun projektnog rashladnog opterećenja, prema njemačkoj smjernici VDI 2078, također je odrađen koristeći računalni program *IntegraCAD*.

2.3.1. Osnovne pretpostavke i podaci

Proračun projektnog rashladnog opterećenja je nestacionarne prirode, samim time se razlikuje od proračuna projektnog toplinskog opterećenja. Energija koju su apsorbirali zidovi, pod, namještaj itd. pridonosi toplinskom opterećenju prostora s vremenskim pomakom, tako da se dio te energije predaje nakon što su toplinski izvori isključeni ili nisu više prisutni. [1]

Uzeto je da će se hladiti sve prostorije osim kupaonica i wc-a.

Dobici osjetne i latentne topline zbog boravka osoba u pojedinom prostoru, definirani su na sljedeći način:

- za ured i kafić je pretpostavljeno da u prostoru boravi 9 osoba koje obavljaju lakši rad i 1 osoba koja obavlja teži rad
- za sobe je pretpostavljeno da u prostoru boravi 1 osoba koja obavlja lakši rad
- za dnevne boravke je pretpostavljeno da u prostoru borave 3 osobe koje obavljaju lakši rad.

Dobici od rasvjete su uzeti 6 W/m^2 za pojedini prostor.

Dobici od strojeva i uređaja su definirani na sljedeći način:

- ured i kafić: 500 W
- sobe: 100 W
- dnevni boravci: 200 W

Uzeto je da su na prozore i staklene stijene stavljene roletne koje sprječavaju stvaranje velikih toplinskih dobitaka zbog Sunčevog zračenja, pa je koeficijent zračenja $b = 0,2$.

Za vanjsku projektnu temperaturu, uzeta je vrijednost $\vartheta_v = 32 \text{ }^\circ\text{C}$, dok je unutarnja projektna temperatura pojedinih prostora $\vartheta_p = 26 \text{ }^\circ\text{C}$.

2.3.2. Rezultati

Rezultati proračuna projektnog rashladnog opterećenja, izračunati u programu *IntegraCAD*, dani su u Tablici 4.

Tablica 4. Projektno rashladno opterećenje

Prostorija	A_i , [m ²]	$\Phi_{HL,i}$, [W]
Podrum		
Ured – podrum	31,5	1710
Kafić – podrum	47	1768
Prizemlje		
Ured - prizemlje	46,3	2950
Kafić - prizemlje	46,8	2473
1. kat		
Soba, stan 1	14,2	371
Dnevni boravak, stan 1	25,3	522

Soba 1, stan 2	12,8	221
Soba 2, stan 2	8,7	241
Dnevni boravak, stan 2	32,2	767
2. kat		
Soba, stan 3	14,2	373
Dnevni boravak, stan 3	25,3	536
Soba 1, stan 4	12,8	300
Soba 2, stan 4	8,7	220
Dnevni boravak, stan 4	32,2	765

Rezultati proračuna, navedeni u Tablici 4., odnose se na maksimalne vrijednosti projektnih rashladnih opterećenja koji se pojavljuju tijekom godine za pojedini prostor. S obzirom na nestacionarnost proračuna, potrebno je uzeti u obzir da se maksimalne vrijednosti projektnih rashladnih opterećenja ne pojavljuju u isto vrijeme za svaki prostor, stoga je, u svrhu određivanja potrebnog rashladnog kapaciteta od rashladnog izvora, potrebno promatrati trenutak u kojem će zbroj svih projektnih rashladnih opterećenja pojedinih prostora imati maksimalnu vrijednost.

Rezultati proračuna projektnog rashladnog opterećenja, dani su u Tablici 5. Iz Tablice 5., vidljivo je da se maksimalna vrijednost projektnog rashladnog opterećenja pojavljuje 23. srpnja u 16 sati, i iznosi 12 578 W.

Tablica 5. Projektno rashladno opterećenje

Prostorija	21. lipnja	23. srpnja	24. kolovoza	22. rujna
Podrum				
Ured – podrum	1705	1710	1689	1681
Kafić – podrum	1679	1697	1648	1623
Prizemlje				
Ured - prizemlje	2870	2950	2875	2730
Kafić - prizemlje	2408	2387	2361	2208
1. kat				

Soba, stan 1	340	360	371	345
Dnevni boravak, stan 1	475	506	478	435
Soba 1, stan 2	199	212	195	178
Soba 2, stan 2	207	215	171	154
Dnevni boravak, stan 2	514	564	512	433
2. kat				
Soba, stan 3	345	364	373	347
Dnevni boravak, stan 3	506	536	504	461
Soba 1, stan 4	285	296	279	264
Soba 2, stan 4	210	218	180	164
Dnevni boravak, stan 4	502	563	496	405
UKUPNO	12245	12578	12132	11428

3. DIMENZIONIRANJE I ODABIR PODNOG GRIJANJA I HLAĐENJA PREMA HRN EN 1264

S obzirom na odabir dizalice topline kao izvora toplinskog i rashladnog učina, logičnim se nameće ideja da se prijenos topline u podsustav predaje odvija niskotemperaturnim režimom grijanja.

Analizom same zgrade, uzevši u obzir njene karakteristike i namjenu, kao najpogodnije rješenje odabrano je podno grijanje.

Podno grijanje spada u grupu površinskog grijanja. Dominantan mehanizam prijenosa topline je zračenjem. Podnim grijanjem ostvaruje se ravnomjerna razdioba temperature u prostoru, čime se postiže visoka toplinska ugodnost. [1]

3.1. Odabir opreme

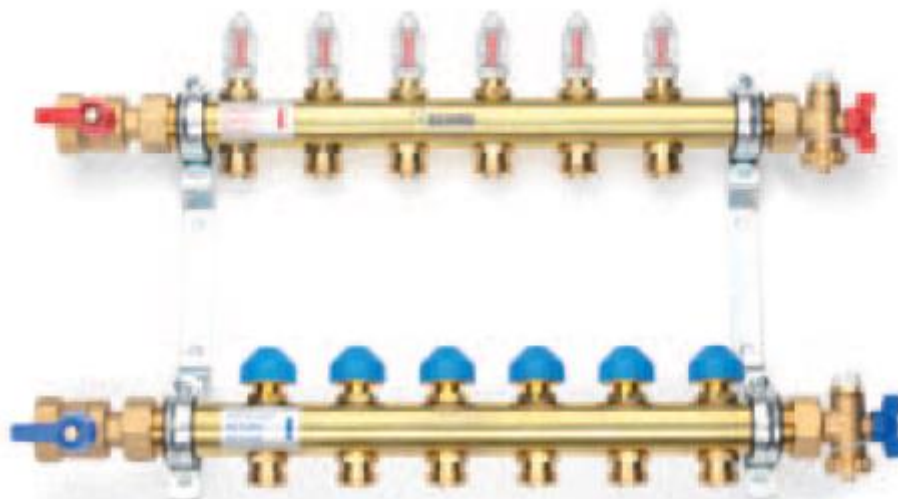
Sva oprema, korištena u ovom radu, uzeta je od njemačkog proizvođača opreme za podno grijanje REHAU. Odabran je mokri način gradnje.

Montaža podnog grijanja započinje postavljanjem razvodnog ormara, unutar kojeg su smješteni razdjelnik i sabirnik. Razdjelnik je cijev unutar koje se skuplja voda iz polaznog voda, dok se u sabirniku skuplja voda iz povratnog voda. U ovom radu, odabrano je montiranje podžbuknog ormara. Na Slici 11., dan je primjer razdjelnika i sabirnika krugova podnog grijanja. Razdjelnici raspodjeljuju i reguliraju volumni protok za pojedine krugove. Na razdjelnik i sabirnik krugova, spajaju se PEX cijevi, koje se polažu po podnoj površini.

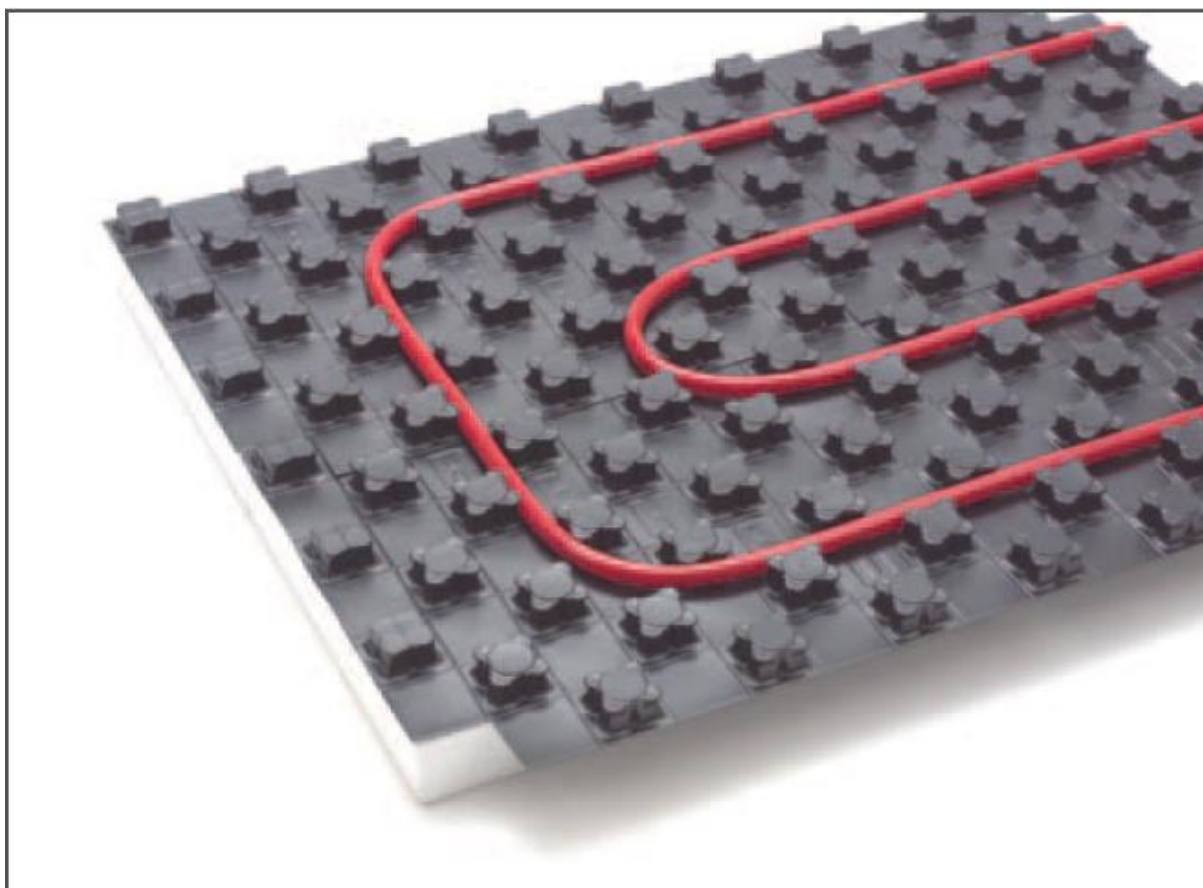
Na Slici 12., dan je prikaz REHAU ploče s čepovima Varionova, u koju se polažu cijevi podnog grijanja. Ona je prikladna za cijevi promjera 14-17 mm. U ovom radu, koristi se cijev promjera 17 mm.

Ploča je isporučiva u izvedbi s izolacijom zvuka pri hodanju s donje strane. Čepovi za spajanje oblikovanih s dviju strana ploča omogućuju brzo i sigurno spajanje te sprječavaju zvučne i toplinske mostove. [4]

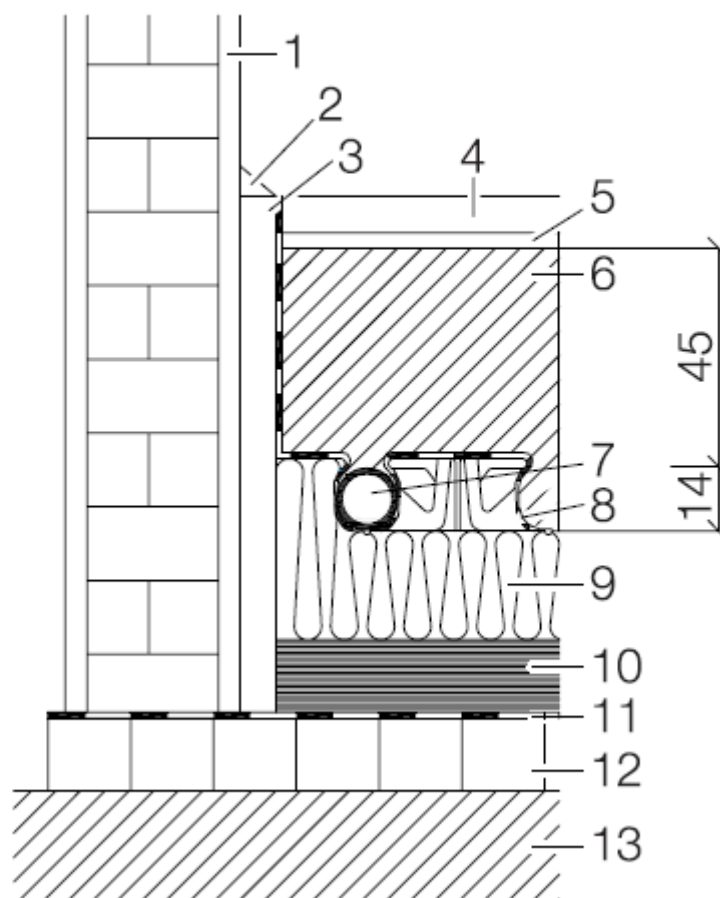
Na Slici 13., dan je presjek poda, iz kojeg je vidljiva struktura poda sustava cijevnog podnog grijanja i hlađenja.



Slika 11. Razdjelnik i sabirnik krugova grijanja, [4]



Slika 12. REHAU ploča s čepovima Varionova, [4]



Slika 13. Sustav cijevnog podnog grijanja i hlađenja, [4]

1 – unutarinja žbuka; 2 – kutna letvica; 3 – rubne izolacijske trake; 4 – podna obloga; 5 – posteljica od morta; 6 – estrih; 7 – RAUTHERM S cijev; 8 – folijska osnovica rubne izolacijske trake; 9 – REHAU ploča s čepovima Varionova s izolacijom zvuka pri hodanju; 10 – toplinska izolacija i zvučna izolacija; 11 – parna brana; 12 – armirano-betonska ploča; 13 – tlo

3.2. Rezultati proračuna

Proračun krugova podnog grijanja rađen je prema normi HRN EN 1264, koja je integrirana u program *IntegraCAD*, u kojem je odrađen ovaj dio rada.

Rezultati proračuna dani su u Tablici 6. Proračun je rađen na način da je pokriveno projektno toplinsko opterećenje, dok se nepokrivena projektna rashladna opterećenja nadoknađuju zračno-vodenim sustavom.

Tablica 6. Proračun podnog grijanja/hlađenja

Krug grijanja	Instalirani učin, [W]	
	Grijanje	Hlađenje
RO – PG 1		
1.1 (Ured – podrum)	929	425
1.2 (Ured – podrum)	918	420
UKUPNO	1847	845
RO – PG 2		
2.1 (Kafić – podrum)	787	360
2.2 (Kafić – podrum)	822	420
2.3 (Kafić – podrum)	738	342
UKUPNO	2347	1122
RO – PG 3		
3.1 (Ured – prizemlje)	836	367
3.2 (Ured – prizemlje)	815	358
3.3 (Ured – prizemlje)	722	317
UKUPNO	2529	1183
RO – PG 4		
4.1 (Kafić – prizemlje)	766	341
4.2 (Kafić – prizemlje)	660	294
4.3 (Kafić – prizemlje)	792	386
4.4 (WC, ženski)	193	0
4.5 (WC, muški)	140	0
UKUPNO	2809	1111
RO – PG 5		
5.1 (Soba – stan 1)	692	351
5.2 (Kupaonica – stan 1)	114	0
5.3 (Dnevni boravak – stan 1)	427	210

5.4 (Dnevni boravak – stan 1)	479	244
UKUPNO	1815	857
RO – PG 6		
6.1 (Soba 2 – stan 2)	484	235
6.2 (Soba 1 – stan 2)	185	122
6.3 (Soba 1 – stan 2)	519	216
6.4 (Kupaonica – stan 2)	114	0
6.5 (Dnevni boravak – stan 2)	522	260
6.6 (Dnevni boravak – stan 2)	696	347
UKUPNO	2789	1310
RO – PG 7		
7.1 (Soba – stan 3)	692	351
7.2 (Kupaonica – stan 3)	114	0
7.3 (Dnevni boravak – stan 3)	427	210
7.4 (Dnevni boravak – stan 3)	479	244
UKUPNO	1815	857
RO – PG 8		
8.1 (Soba 2 – stan 4)	484	235
8.2 (Soba 1 – stan 4)	185	122
8.3 (Soba 1 – stan 4)	519	216
8.4 (Kupaonica – stan 4)	114	0
8.5 (Dnevni boravak – stan 4)	522	260
8.6 (Dnevni boravak – stan 4)	696	347
UKUPNO	2789	1310
UKUPNI INSTALIRANI	GRIJANJE	HLAĐENJE
UČIN SVIH KRUGOVA	18348	8595

Instalirani učin pojedinog razdjelnog ormara predstavlja zbroj svih krugova podnog grijanja/hlađenja priključenih na njega, plus dio cijevi koji se polaže od razdjelnog ormara prije motanja u pužne petlje, tzv. x-zone.

Grafički prikazi razdjelnih ormara i krugova podnog grijanja/hlađenja priključenih na njega, kao i ostali podaci za krugove podnog grijanja/hlađenja (maseni protok, pad tlaka, površina, duljina kruga, razmak između cijevi) dani su u tehničkim crtežima u Prilogu III.

U Tablicama 7. i 8., prikazani su instalirani učini krugova podnog grijanja/hlađenja za pojedine prostorije, u odnosu na njihova projektna toplinska i rashladna opterećenja.

Tablica 7. Podno grijanje instalirani učin/projektno toplinsko opterećenje

Prostorija	$\Phi_{inst,pg,i}$ [W]	$\Phi_{GR,i}$ [W]
Podrum		
Ured – podrum	1847	1370
Kafić – podrum	2347	1992
Prizemlje		
Ured - prizemlje	2529	2440
Kafić - prizemlje	2417	2267
WC, kafić, ženski	199	202
WC, kafić, muški	152	193
WC, kafić	0	144
WC, ured	0	120
1. kat		
Kupaonica, stan 1	114	252
Soba, stan 1	692	624
Dnevni boravak, stan 1	1009	1034
Kupaonica, stan 2	108	272
Soba 1, stan 2	658	565
Soba 2, stan 2	484	396
Dnevni boravak, stan 2	1463	1362

2. kat		
Kupaonica, stan 3	114	276
Soba, stan 3	692	634
Dnevni boravak, stan 3	1009	1030
Kupaonica, stan 4	108	276
Soba 1, stan 4	658	571
Soba 2, stan 4	484	412
Dnevni boravak, stan 4	1463	1384

Tablica 8. Podno hlađenje instalirani učin/projektno rashladno opterećenje

Prostorija	$\Phi_{inst,ph,i}$ [W]	$\Phi_{HL,i}$ [W]
Podrum		
Ured – podrum	845	1710
Kafić – podrum	1513	1768
Prizemlje		
Ured - prizemlje	1183	2950
Kafić - prizemlje	1111	2473
1. kat		
Soba, stan 1	351	370
Dnevni boravak, stan 1	506	522
Soba 1, stan 2	327	221
Soba 2, stan 2	235	241
Dnevni boravak, stan 2	726	767
2. kat		
Soba, stan 3	351	373
Dnevni boravak, stan 3	506	536
Soba 1, stan 4	327	300
Soba 2, stan 4	235	220

Dnevni boravak, stan 4	726	765
------------------------	-----	-----

Iz Tablice 7., vidljivo je da instalirani učin krugova podnog grijanja za većinu prostorija pokriva projektna toplinska opterećenja. Krugovi podnog grijanja ne pokrivaju projektna toplinska opterećenja za kupaoalice i wc-e. Razlog tomu je mala površina poda za navedene prostorije, zbog čega je nemoguće instalirati učin koji bi pokrивao sve gubitke, a problem je i balansiranje protoka s ostalim krugovima podnog grijanja. Zbog malih vrijednosti gubitaka u navedenim prostorijama, kao i činjenice da se ne radi o prostorijama u kojima ljudi stalno borave, ti gubici će se zanemariti.

Iz Tablice 8., vidljivo je da instalirani učin krugova podnog hlađenja pokriva većinu projektnih rashladnih opterećenja za stambene prostore. Za poslovne prostore, nepokrivena rashladna opterećenja imaju značajne vrijednosti, stoga će se u navedene prostore ugraditi rekuperator s povratom topline i vodeni hladnjak, koji će pokriti ostala rashladna opterećenja.

4. DIMENZIONIRANJE I ODABIR SUSTAVA MEHANIČKE VENTILACIJE

4.1. Odabir rekuperatorskih jedinica za ured i kafić

Kako je navedeno u prethodnom poglavlju, projektna rashladna opterećenja koja nisu pokrivena podnim hlađenjem u poslovnim prostorima, bit će pokrivena zračno-vodenim sustavom.

Uzevši u obzir karakteristike i namjenu pojedinih poslovnih prostora, prema [5], uzeto je da će volumni protok zraka u navedene prostore biti:

- Za ured: $q_v = 700 \text{ m}^3/\text{h}$
- Za kafić: $q_v = 1600 \text{ m}^3/\text{h}$

Grafički prikazi ugradnje rekuperatorskih jedinica u spuštenu strop poslovnih prostora, dani su u tehničkim crtežima u Prilogu III.

Odabrane su rekuperatorske jedinice proizvođača Soler&Palau, čiji katalog je dan u [6].

Na Slici 14., dan je prikaz rekuperatorske jedinice za ventilaciju.



Slika 14. Rekuperatorska jedinica za ventilaciju, [6]

Sukladno podacima danim u katalogu [6], odabrani su sljedeći modeli rekuperatora za ured i kafić, dani u Tablicama 9. i 10.

Tablica 9. Rekuperatorska jedinica za ured, [6]

CADB-HE D 08 PRO-REG	
Priključak	Ø 250 mm
Nazivni protok na $\Delta p = 150 \text{ Pa}$	800 m^3/h

Učinkovitost rekuperatorske jedinice (*)	86,4 %
Broj okretaja ventilatora	2650 rpm
Masa	183 kg

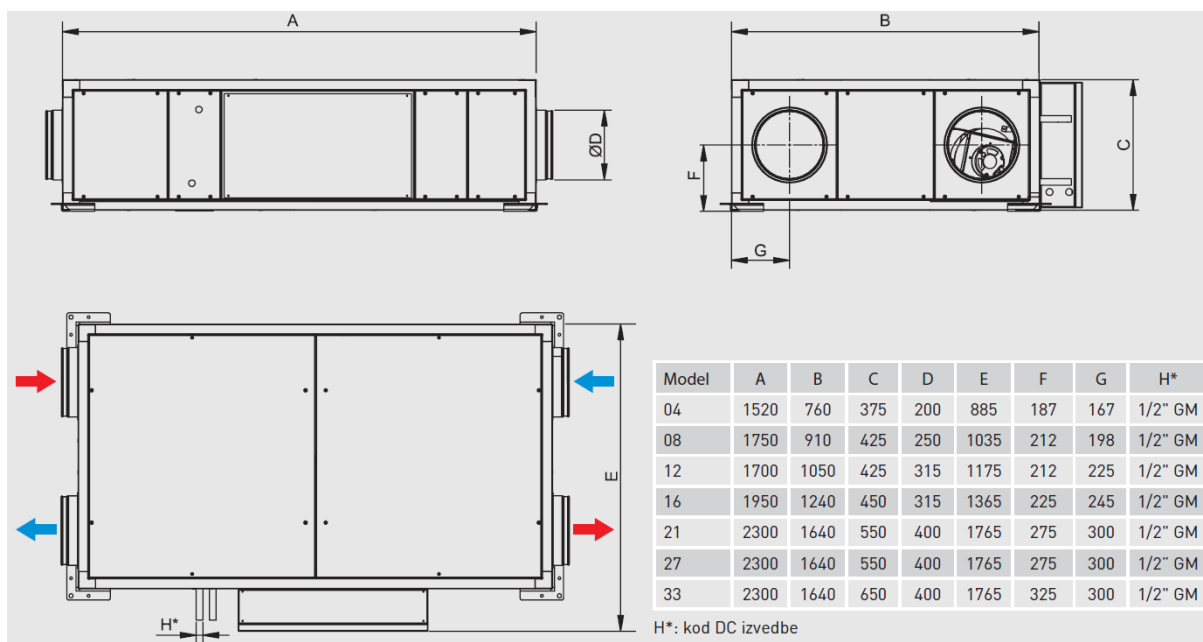
(*) – za vanjski zrak: $\vartheta = -5\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\varphi = 80\text{ }\%$, unutarnji zrak: $\vartheta = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\varphi = 50\text{ }\%$

Tablica 10. Rekuperatorska jedinica za kafić, [6]

CADB-HE D 16 PRO-REG	
Priključak	$\varnothing 315\text{ mm}$
Nazivni protok na $\Delta p = 150\text{ Pa}$	$1600\text{ m}^3/\text{h}$
Učinkovitost rekuperatorske jedinice (*)	85,5 %
Broj okretaja ventilatora	2845 rpm
Masa	235 kg

(*) – za vanjski zrak: $\vartheta = -5\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\varphi = 80\text{ }\%$, unutarnji zrak: $\vartheta = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\varphi = 50\text{ }\%$

Na Slici 15., dani su prikazi rekuperatorskih jedinica u nacrtu, bokocrtu i tlocrtu, uz tablicu koja daje informaciju o geometrijskim značajkama pojedinih modela, danu u donjem desnom kutu. Model 08 je za ured, model 16 je za kafić.



Slika 15. Geometrijske značajke rekuperatorskih jedinica, [6]

4.1.1. Proračun rekuperatorskih jedinica za ljeto i zimu

Ured i kafić – zima:

Ulazni podaci:

$$\vartheta_v = -15\text{ }^{\circ}\text{C}, [3]$$

$$\vartheta_p = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$\eta_R = 0,8 - \text{pretpostavljeno}$$

$$\eta_R = \frac{\vartheta_R - \vartheta_v}{\vartheta_p - \vartheta_v}$$

Izračunava se temperatura dobavnog zraka na izlazu iz rekuperatora

$$\vartheta_R = 13\text{ }^{\circ}\text{C}$$

Ured i kafić – ljeto:

Ulazni podaci:

$$\vartheta_v = 33,1\text{ }^{\circ}\text{C}, (\text{Sarajevo}, [7])$$

$$\vartheta_p = 26\text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$\eta_R = 0,8 - \text{pretpostavljeno}$$

$$\eta_R = \frac{\vartheta_R - \vartheta_v}{\vartheta_p - \vartheta_v}$$

Izračunava se temperatura dobavnog zraka na izlazu iz rekuperatora

$$\vartheta_R = 27,4\text{ }^{\circ}\text{C}$$

4.2. Odabir vodenih grijača/hladnjaka za ured i kafić

Zrak koji izlazi iz rekuperatora, potrebno je dodatno dogrijati/ohladiti, kako bi s željenim toplinskim stanjem bio ubacivan u prostor. U tu svrhu, iza rekuperatorskih jedinica se ugrađuju voden grijači/hladnjaci. U vodenim grijačima/hladnjacima, dolazi do izmjene topline između vode i zraka.

Grafički prikazi ugradnje vodenih grijača/hladnjaka u spuštenu strop poslovnih prostora, kao i njihov spoj s bakrenim cijevima za vodu, te s cijevi za odvod kondenzata, dani su u tehničkim crtežima u Prilogu III.

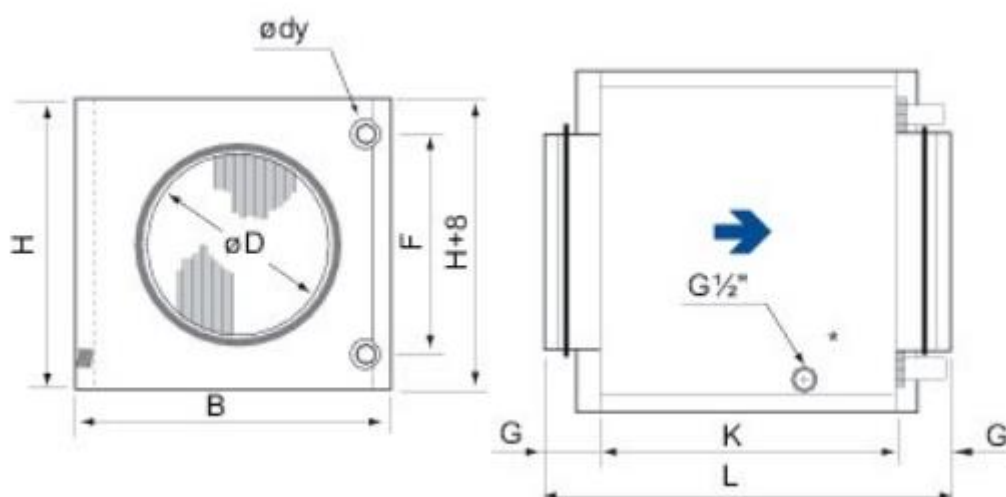
Odabrani su vodeni grijači/hladnjaci CWK 315-3-2 [8], proizvođača Systemair.

U Tablici 11., dani su osnovni podaci o odabranom grijaču/hladnjaku.

Tablica 11. Vodeni grijač/hladnjak, [8]

CWK 315-3-2	
Priključak na ulazni kanal	Ø 315 mm
Priključak na izlazni kanal	Ø 315 mm
Masa	14,9 kg

Na Slici 16., dan je prikaz nacрта i bokocрта uređaja, a u Tablici 11. su definirane geometrijske značajke za CWK 315-3-2, kotirane na Slici 20.



Slika 16. Vodeni grijač/hladnjak, [8]

Tablica 12. Geometrijske značajke vodenog grijača/hladnjaka, [8]

ØD	315 mm
B	560 mm
H	504 mm
Ødy	22 mm
F	400 mm
G	40 mm
K	276 mm
L	356 mm

Temperaturni režimi vode, koja izmjenjuje toplinu sa zrakom, će biti 38/32 °C za grijanje i 7/12 °C za hlađenje.

4.2.1. Dimenzioniranje grijača

U režimu grijanja, vodeni grijači će zagrijavati zrak, od temperature na izlazu iz rekuperatora, koja je definirana u 4.1.1., do temperature s kojom će se zrak ubacivati u prostor. Kako je već naglašeno u poglavlju 2.2.1., vodeni grijači će zagrijavati zrak na unutarnju projektanu temperaturu prostora, koja je 20 °C.

Toplinski učin grijača za kafić:

$$\Phi_{GR_kafić} = q_{vz} \cdot c_{p,z} \cdot \rho_z \cdot (\vartheta_p - \vartheta_R)$$

$$\Phi_{GR_kafić} = \frac{1600}{3600} \cdot 1,004 \cdot 1,2 \cdot (20 - 13)$$

$$\Phi_{GR_kafić} = 3,75 \text{ kW}$$

Toplinski učin grijača za ured:

$$\Phi_{GR_ured} = q_{vz} \cdot c_{p,z} \cdot \rho_z \cdot (\vartheta_p - \vartheta_R)$$

$$\Phi_{GR_ured} = \frac{700}{3600} \cdot 1,004 \cdot 1,2 \cdot (20 - 13)$$

$$\Phi_{GR_ured} = 1,64 \text{ kW}$$

4.2.2. Dimenzioniranje hladnjaka

U režimu hlađenja, potrebno je hladiti zrak koji dolazi iz rekuperatora. Kako je objašnjeno u poglavlju 3.2., vodenim hladnjacima je potrebno pokriti projektna rashladna opterećenja koja nisu pokrivena podnim hlađenjem. Uz to, vodeni hladnjaci moraju pokriti onaj dio energije koji je potreban da se temperatura zraka na izlazu iz rekuperatora snizi na unutarnju projektanu temperaturu prostora za hlađenje.

Najprije, potrebno je odrediti maksimalne kapacitete koje hladnjaci mogu dati. Proračun je odrađen koristeći kalkulator proizvođača Systemair. [8]

Maksimalni rashladni učin hladnjaka za kafić:

Ulazni podaci:

- Temperatura zraka na izlazu iz rekuperatora: $\vartheta_R = 27,4\text{ }^{\circ}\text{C}$
- Projektni vanjski uvjeti: $\vartheta_V = 33,1\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\varphi = 41,6\text{ }\%$, [7]
- Volumenski protok zraka: $q_{vz} = 1600\text{ m}^3/\text{h}$
- Temperaturni režim vode: $\vartheta_{wu}/\vartheta_{wi} = 7/12\text{ }^{\circ}\text{C}$

Najprije, potrebno je odrediti relativnu vlažnost zraka na izlazu iz rekuperatora. Uz pretpostavku konstantnog sadržaja pare u vlažnom zraku, iz h-x dijagrama se očitava da će relativna vlažnost vanjskog zraka, prolaskom kroz rekuperator, porasti na $\varphi = 60\text{ }\%$.

Navedeni ulazni podaci se unose u kalkulator, koji izračunava izlazne podatke:

- Temperatura zraka na izlazu iz hladnjaka: $\vartheta_{iz} = 18,3\text{ }^{\circ}\text{C}$
- Relativna vlažnost zraka na izlazu iz hladnjaka: $\varphi = 83\text{ }\%$
- Volumenski protok vode: $q_{vw} = 0,405\text{ l/s}$
- Rashladni učin hladnjaka: $\Phi_{HL1_max} = 7,64\text{ kW}$

Na Slikama 17. i 18., dani su prikazi modela proračuna koji koristi Systemairov kalkulator.

Calculation parameters					
Air flow	1600	m ³ /h	Inlet air humidity	60	% r.H
Inlet air temperature	27.4	°C	Inlet water temperature	7	°C
Calculation method					
Calculation method	Outlet water temperature		Outlet water temperature	12	°C

Slika 17. Ulazni podaci proračuna rashladnog učina hladnjaka kafića, [8]

Calculation result

Air flow	1600	m ³ /h	▼
Air velocity	2.33	m/s	▼
Inlet air temperature	27.4	°C	▼
Outlet air temperature	18.3	°C	▼
Inlet air humidity	60	% r.H	▼
Outlet air humidity	83	% r.H	▼
Air pressure drop	58	Pa	▼
Inlet water temperature	7	°C	▼
Outlet water temperature	12	°C	▼
Water flow	0.405	l/s	▼
Water velocity	1.48	m/s	▼
Water pressure drop	34.4	kPa	▼
Power	7.64	kW	▼
Rec. Kv value	2.48		▼
Connection size in	22		
Connection size out	22		

Slika 18. Izlazni podaci proračuna rashladnog učina hladnjaka kafića, [8]**Maksimalni rashladni učin hladnjaka za ured:**

Ulazni podaci:

- Temperatura zraka na izlazu iz rekuperatora: $\vartheta_R = 27,4$ °C
- Projektni vanjski uvjeti: $\vartheta_V = 33,1$ °C, $\varphi = 41,6$ %, [7]
- Volumenski protok zraka: $q_{vz} = 700$ m³/h
- Temperaturni režim vode: $\vartheta_{wu}/\vartheta_{wi} = 7/12$ °C

Najprije, potrebno je odrediti relativnu vlažnost zraka na izlazu iz rekuperatora. Uz pretpostavku konstantnog sadržaja pare u vlažnom zraku, iz h-x dijagrama se očitava da će relativna vlažnost vanjskog zraka, prolaskom kroz rekuperator, porasti na $\varphi = 60$ %.

Navedeni ulazni podaci se unose u kalkulator, koji izračunava izlazne podatke:

- Temperatura zraka na izlazu iz hladnjaka: $\vartheta_{iz} = 15,4$ °C
- Relativna vlažnost zraka na izlazu iz hladnjaka: $\varphi = 90$ %
- Volumenski protok vode: $q_{vw} = 0,236$ l/s

- Rashladni učin hladnjaka: $\Phi_{HL2_max} = 4,45 \text{ kW}$

Na Slikama 19. i 20., dani su prikazi modela proračuna koji koristi Systemairov kalkulator.

Calculation parameters

Air flow	700	m ³ /h	Inlet air humidity	60	% r.H
Inlet air temperature	27.4	°C	Inlet water temperature	7	°C

Calculation method

Calculation method	Outlet water temperature	12	°C
--------------------	--------------------------	----	----

Slika 19. Ulazni podaci proračuna rashladnog učina hladnjaka ureda, [9]

Calculation result

Air flow	700	m ³ /h	▼
Air velocity	1.02	m/s	▼
Inlet air temperature	27.4	°C	▼
Outlet air temperature	15.4	°C	▼
Inlet air humidity	60	% r.H	▼
Outlet air humidity	90	% r.H	▼
Air pressure drop	16	Pa	▼
Inlet water temperature	7	°C	▼
Outlet water temperature	12	°C	▼
Water flow	0.236	l/s	▼
Water velocity	0.86	m/s	▼
Water pressure drop	12.5	kPa	▼
Power	4.45	kW	▼
Rec. Kv value	2.39		▼
Connection size in	22		
Connection size out	22		

Slika 20. Izlazni podaci proračuna rashladnog učina hladnjaka ureda, [9]

Stvarni rashladni učin hladnjaka se određuje na sljedeći način:

$$\Phi_{HL} = q_{vz} \cdot \rho_z \cdot c_{p,z} \cdot (\vartheta_R - \vartheta_P) + \Delta\Phi_{PH}$$

$\Delta\Phi_{PH}$ predstavlja toplinske dobitke koji nisu pokriveni podnim hlađenjem. Iz podataka, danih u Tablici 8., očitava se da za ured ti dobitci iznose 2632 W, dok za kafić iznose 1617 W.

Na temelju gore definirane jednadžbe za stvarni rashladni učin hladnjaka, izračunavaju se vrijednosti za ured i kafić:

- **Ured:** $\Phi_{HL_ured} = 2,96 \text{ kW}$
- **Kafić:** $\Phi_{HL_kafić} = 2,4 \text{ kW}$

4.3. Dimezioniranje ventilacijskih kanala za ured i kafić

Ventilacijski kanali se koriste za transport zraka između vanjskog i unutarnjeg prostora.

U ovom radu, razlikuju se 4 vrste kanala:

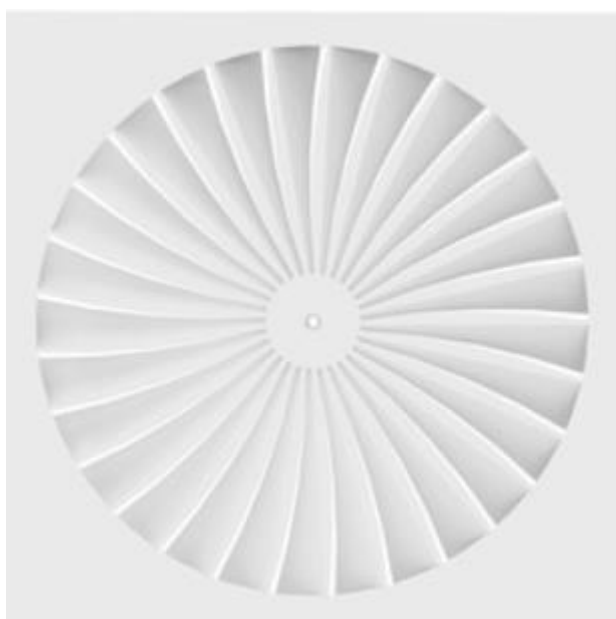
- Usisni kanal – koristi se za transport zraka iz vana do rekuperatorskih jedinica
- Ispušni kanal – koristi se za transport zraka od rekuperatorskih jedinica prema vani
- Dobavni kanal – koristi se za transport zraka od rekuperatorskih jedinica do unutarnjeg prostora
- Povratni kanal – koristi se za transport zraka od unutarnjeg prostora prema rekuperatorskim jedinicama

Prilikom projektiranja kanala, koristili su se spiro i pravokutni kanali. Prijelaz s jednog na drugu vrstu kanala je odrađen odgovarajućim prijelaznim komadima.

Prije samog proračuna kanala, bilo je potrebno odabrati dobavne i odsisne otvore, kroz koje će zrak ulaziti/izlaziti iz prostora.

Za dobavne otvore, odabrani su stropni vrtložni distributeri, *DVF-K-300*, proizvođača Klimaoprema. [9]

Na Slici 21., dan je prikaz stropnog vrtložnog distributera *DVF-K-300*.



Slika 21. Stropni vrtložni distributer, DVF-K-300, [9]

Za odsisne otvore, kod spiro kanala su korišteni otvori CCV, proizvođača Klimaoprema. Korišteni su otvori različitih dimenzija, ovisno o promjeru kanala na koje su ugrađeni. Podaci su dani u katalogu [10].

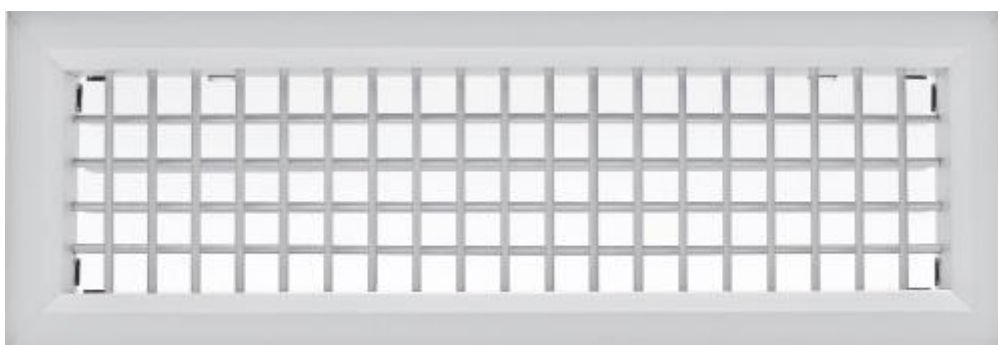
Na Slici 22., dan je prikaz odsisnog otvora CCV, proizvođača Klimaoprema.



Slika 22. Odsisna rešetka, CCV, [10]

Kod pravokutnih kanala, korišteni su otvori OAV 2, proizvođača Klimaoprema. Korišteni su otvori dimenzija 225x125 mm. Podaci su dani u katalogu [10].

Na Slici 23., dan je prikaz odsisnog otvora OAV 2, proizvođača Klimaoprema.



Slika 23. Odsisna rešetka, OAV 2, [10]

Nakon odabira dobavnih i odsisnih otvora, idući korak je projektiranje kanala. Kanali su projektirani za prizemlje i podrum ureda i kafića. Ventilacijski kanali su projektirani u spušenom stropu prizemlja, gdje su spojeni s rekuperatorskim jedinicama i vodenim grijačima/hladnjacima, a nakon toga su, iz spušenog stropa prizemlja, vođene vertikale do spušenog stropa podruma. Vertikale su obložene knauf pločama.

Grafički prikazi projektiranja ventilacijskih kanala u spušenom stropu prizemlja i podruma, dani su u tehničkim crtežima u Prilogu III.

Sami proračun kanala, rađen je prema smjernicama, dijagramima i tablicama, danim u [1].

Rezultati proračuna dimenzioniranja ventilacijskih kanala i proračuna kritičnih dionica dani su u Prilogu II.

4.4. Odabir decentraliziranih ventilacijskih jedinica za stanove

Za stambene prostore zgrade, ventilacija pojedinih prostora je omogućena korištenjem decentraliziranih ventilacijskih jedinica. Odlučeno je da će decentralizirane ventilacijske jedinice ventilirati sobe i dnevne boravke stanova.

Proračun potrebnog volumenskog protoka za sobe i dnevne boravke odrađen je prema proračunu ventilacijskog zahtjeva prema broju osoba, definiranom u [1]. Uzeto je da u sobama boravi 1 osoba, dok u dnevnim boravcima borave 3 osobe.

Iz tog se izračunava potrebni volumenski protok:

- Sobe: $30 \text{ m}^3/\text{h}$
- Dnevni boravci: $90 \text{ m}^3/\text{h}$

Odabrane su decentralizirane ventilacijske jedinice *recoVAIR VAR 60/1DW*, proizvođača Vaillant. Katalog je dan u [11].

Na Slici 24., dan je grafički prikaz decentraliziranih ventilacijskih jedinica *recoVAIR VAR 60/1DW*.



Slika 24. Decentralizirana ventilacijska jedinica recoVAIR VAR 60/1DW, Vaillant, [11]

recoVAIR VAR 60/1DW jedinice su opremljene jednim ventilatorom i keramičkim izmjenjivačem topline s mogućnošću kratkotrajne pohrane toplinske energije. Jedinice rade u alternativnom načinu rada, tj. ventilator svakih 70 sekundi mijenja smjer vrtnje. Kada se ventilator ponaša kao odsisni, on odvodi zrak iz prostorije, te se preko keramičkog izmjenjivača topline pohranjuje toplinska energija sadržana u zraku. Kada se ventilator ponaša kao tlačni, on usisava zrak iz vana, te se pohranjena toplinska energija u izmjenjivaču topline predaje

dobavnom zraku. Time se značajno smanjuju eventualni ventilacijski gubici, koji bi nastali ulaskom dobavnog zraka različite temperature u odnosu na unutarnju temperaturu prostora. [11] *recoVAIR VAR 60/1DW* je bežična ventilacijska jedinica, čime se izbjegava povezivanje kablovima pojedinih jedinica. Jedinica ima integriran osjetnik vlage, što osigurava automatsko odvlaživanje i ventilaciju prostora. Ugradnja jedinica direktno na vanjski zid, nema potrebe za provođenjem ventilacijskih kanala. [11]

U Tablici 13., dani su osnovni tehnički podaci odabrane jedinice.

Tablica 13. Tehnički podaci recoVAIR VAR 60/1DW, [11]

Protok zraka	30/37,5/45/52,5/60 m ³ /h
Potrošnja el. snage	4,9...8,9 W
Učinkovitost povrata topline	85,5 %

Volumni protok zraka moguće je mijenjati ručno ili automatski. Sukladno izračunatim potrebnim volumenskim protocima prostorija, odabrano je da će se za sobe ugraditi jedna jedinica, dok će se za dnevne boravke ugraditi 2 jedinice.

Grafički prikazi ugradnje decentraliziranih ventilacijskih jedinica u stambene prostore, dani su u tehničkim crtežima u Prilogu III.

4.5. Odabir odsisnih ventilatora za kupaoalice i wc-e

Za kupaoalice stanova, kao i za wc-e kafića i ureda, ventilacija prostora je izvedena s pomoću odsisnih ventilatora. Navedene prostore se želi održavati u potlaku, kako bi se spriječilo moguće širenje neugodnih mirisa.

Odabrani su odsisni ventilatori *M100-4"AT*, proizvođača Vortice. Katalog je dan u [12].

Na Slici 25., dan je grafički prikaz odsisnog ventilatora *M100-4"AT*.



Slika 25. Odsisni ventilator, M100-4''AT, Vortice, [12]

Izbacivani zrak se, pomoću odsisnih ventilatora, vodi kroz PVC Ø 125 mm ventilacijske vertikale i izbacuje van.

Nadoknada zraka u prostore kupaoonica i wc-a, omogućena je postavljanjem prestrujnih rešetki na dnu vrata.

Rad odsisnih ventilatora vezan je uz električnu rasvjetu prostora u kojima se nalaze, tako da se oni uključuju paljenjem rasvjete u pojedinom prostoru, a isključuju gašenjem rasvjete. Isključenjem rasvjete, preko ugrađenog timera na ventilatoru je osigurano da ventilator radi još 2 minute, kako bi se ventilirani prostor dovoljno prozračio.

U Tablici 14., dani su tehnički podaci odabranog odsisnog ventilatora.

Tablica 14. Tehnički podaci M100-4''AT, Vortice, [12]

Protok zraka	90 m ³ /h
Potrošnja el. snage	18 W

Grafički prikazi smještaja odsisnih ventilatora pod strop etaže, te njihov spoj s PVC cijevima za odvod odsisnog zraka su dani u tehničkim crtežima u Prilogu III.

5. ODABIR DIZALICE TOPLINE ZRAK-VODA I OSTALE OPREME

5.1. Dimenzioniranje i odabir dizalice topline zrak-voda

Kako je već naglašeno, dizalica topline zrak-voda će se koristiti kao toplinski i rashladni izvor projektirane zgrade.

Kako bi mogli odabrati dizalicu topline, potrebno je najprije imati informaciju o ukupnom toplinskom/rashladnom učinku svih ogrjevnih/rashladnih tijela. U ovom radu, kao ogrjevn/rashladna tijela se koriste krugovi podnog grijanja/hlađenja i vodeni grijači/hladnjaci. Sukladno podacima, danim u Tablici 6., te izračunatim u poglavlju 4.2.1., izračunava se ukupni instalirani učin ogrjevnih tijela za zgradu:

$$\Phi_{INST,UK_GR} = \Phi_{INST,PG} + \Phi_{GR_kafić} + \Phi_{GR_ured}$$

$$\Phi_{INST,UK_GR} = 18348 + 3750 + 1640$$

$$\Phi_{INST,UK_GR} = 23738 \text{ W}$$

Na isti način, prema podacima danim u Tablici 6., te izračunatim u poglavlju 4.2.2., izračunava se ukupni instalirani učin rashladnih tijela za zgradu:

$$\Phi_{INST,UK_HL} = \Phi_{INST,PH} + \Phi_{HL_kafić} + \Phi_{HL_ured}$$

$$\Phi_{INST,UK_HL} = 8595 + 2400 + 2960$$

$$\Phi_{INST,UK_HL} = 13955 \text{ W}$$

Kako je instalirani učin ogrjevnih tijela veći od rashladnih, on se uzima kao relevantan za izbor dizalice topline.

Za dizalicu topline, odabrana je monoblok dizalica topline zrak-voda *ELFOEnergy Sheen Evo*, proizvođača Clivet. Katalog je dan u [13].

Na Slici 26., dan je grafički prikaz odabrane dizalice topline.



Slika 26. Dizalica topline zrak-voda, ELFOEnergy Sheen Evo, Clivet, [13]

Tehnički podaci odabrane dizalice topline dani su u Tablici 15.

Tablica 15. Tehnički podaci ELFOEnergy Sheen Evo, Clivet, [13]

Veličina	18.2
Ogrjevnj učin (*)	26,5 kW
Rashladni učin (**)	48 kW
COP	4,01
EER	3,53
Radna tvar	R-32
Tip kompresora	Inverterski
Broj kompresora	2
Broj ventilatora	2
Nominalni protok zraka ventilatora	24000 m ³ /h
Tip pumpe	Inverterska

Broj pumpi	1
Duljina	2218 mm
Visina	1339 mm
Širina	1057 mm

(*) – za $\vartheta_v = -15\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\vartheta_{wi}/\vartheta_{wu} = 40/35\text{ }^{\circ}\text{C}$

(**) – za $\vartheta_v = 35\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\vartheta_{wi}/\vartheta_{wu} = 7/12\text{ }^{\circ}\text{C}$

S obzirom da se dizalica topline nalazi vani, kao toplinski izvor/ponor se koristi 30%-tna smjesa glikola s vodom.

5.2. Odabir pločastog izmjenjivača topline

Pločasti izmjenjivač topline služi za izmjenu topline između dvaju fluida, koji se nalaze u međusobno odvojenim krugovima. U ovom radu, u njemu se izmjenjuje toplina između primarnog kruga, u kojem struji smjesa glikola i vode, te sekundarnog kruga, u kojem struji voda koja ide prema akumulacijskom spremniku.

Odabran je pločasti izmjenjivač topline *Alfa Laval T5-BFG-50*, proizvođača Alfa Laval. Katalog je dan u [14].

Na Slici 27., dan je grafički prikaz odabranog pločastog izmjenjivača topline.



Slika 27. Pločasti izmjenjivač topline, Alfa Laval T5-BFG-50, Alfa Laval, [14]

U Tablici 16., dani su tehnički podaci za odabrani izmjenjivač.

Tablica 16. Tehnički podaci Alfa Laval T5-BFG-50, Alfa Laval, [14]

Nominalni toplinski učin	30 kW
Maksimalni pad tlaka	20 kPa
Masa	89,45 kg
Priključak	Ø 50 mm
Maksimalni volumni protok	50 m ³ /h
Maksimalni projektni tlak	16 bar
Maksimalna projektna temperatura	180 °C

5.3. Odabir akumulacijskog spremnika "buffera"

Akumulacijski spremnik služi za akumuliranje toplinske energije, te za efikasniji i ekonomičniji rad dizalice topline. Akumulacijski spremnik je odabran na način da njegov volumen mora biti barem 15 l/kW toplinskog učina dizalice topline.

U ovom radu, odabran je akumulacijski spremnik *CAS 501*, proizvođača Centrometal. Katalog je dan u [15].

Na Slici 28., dan je grafički prikaz odabranog akumulacijskog spremnika.



Slika 28. Akumulacijski spremnik, CAS 501, Centrometal, [15]

U Tablici 17., dani su tehnički podaci odabranog spremnika.

Tablica 17. Tehnički podaci CAS 301, Centrometal, [15]

Volumen	475 l
Promjer tijela spremnika	650 mm
Vanjski promjer	850 mm
Ukupna visina	1670 mm
Maksimalni radni tlak	3 bar
Maksimalna radna temperatura	100 °C

5.4. Hidraulički proračun cjevovoda i dimenzioniranje cijevne mreže

Kako bi se toplinska/rashladna energija, preko dizalice topline, pa sve do grijanih/hlađenih prostora, mogla prenijeti, potrebno je konstruirati odgovarajuću cijevnu mrežu, kroz koju će cirkulirati ogrjevn/rashladni fluid.

Cijevni razvod je zamišljen na način da toplinski ponor (za režim grijanja) dizalice topline, zagrijavanjem u kondenzatoru, cijevima ide do pločastog izmjenjivača topline, gdje predaje toplinu vodi iz sekundarnog kruga, koja ide do akumulacijskog spremnika.

Iz akumulacijskog spremnika, voda ide do razdjelnika/sabirnika vode u strojarnici, odakle se dalje vode 4 zasebne bakrene vertikale, 3 za krugove podnog grijanja/hlađenja, a 1 za vodene grijače/hladnjake. Temperaturni režimi podnih krugova su 38/32 °C za grijanje, i 18/21 °C za hlađenje. Temperaturni režimi vertikale za vodene grijače/hladnjake su 38/32 °C za grijanje, i 7/12 °C za hlađenje.

Za primarni krug, odabrane su čelične cijevi, dok se za sve ostale krugove koriste bakrene cijevi. Proračun dimenzioniranja cijevne mreže i kasniji proračun kritičnih dionica pojedinih krugova, rađeni su prema smjernicama, dijagramima i tablicama danim u [1]. Proračun je odrađen u programu *Microsoft Excel*.

Grafički prikazi postavljanja cijevi za pojedine etaže zgrade, dani su u tehničkim crtežima u Prilogu III.

Grafički prikazi numeriranja pojedinih dionica, dani su u Crtežu 9 (Shema spajanja i regulacije).

Najprije, potrebno je dimenzionirati primarni krug između dizalice topline i pločastog izmjenjivača topline, u kojem struji smjesa glikola i vode. Cirkulaciju glikol-vode omogućuje inverterska pumpa koja je integrirana u dizalici topline. U Tablici 18., dani su rezultati proračuna.

Tablica 18. Dimenzioniranje primarnog kruga

Dionica	d_N	d_u	GRIJANJE					HLADENJE				
			Φ	c_w	q_m	v	R	Φ	c_w	q_m	v	R
[-]	[mm]	[mm]	[kW]	[kW/°C]	[kg/s]	[m/s]	[Pa/m]	[kW]	[kW/°C]	[kg/s]	[m/s]	[Pa/m]
1	50	51,5	23,7	4	1,2	0,47	50	13,9	2,8	0,8	0,33	26

Proračun sekundarnog kruga grijanja podrazumijeva cijevni razvod od pločastog izmjenjivača topline do akumulacijskog spremnika. Za cirkulaciju vode, koristi se cirkulacijska pumpa, koja će biti dimenzionirana kasnije. U Tablici 19., dani su rezultati proračuna.

Tablica 19. Dimenzioniranje sekundarnog kruga

Dionica	d_N	d_u	GRIJANJE					HLADENJE				
			Φ	c_w	q_m	v	R	Φ	c_w	q_m	v	R
[-]	[mm]	[mm]	[kW]	[kW/°C]	[kg/s]	[m/s]	[Pa/m]	[kW]	[kW/°C]	[kg/s]	[m/s]	[Pa/m]
1	50	50	23,7	4	1,1	0,47	50	13,9	2,8	0,7	0,33	26

Proračun kruga grijanja/hlađenja podrazumijeva cijevni razvod od akumulacijskog spremnika, prema pojedinim podsustavima predaje topline. Dionica 1 spaja akumulacijski spremnik s razdjelnikom/sabirnikom vode u strojarnici, odakle se dalje vode 4 zasebne bakrene vertikale. Za svaku od vertikala, bit će dimenzionirana posebna cirkulacijska pumpa.

Tablica 20. Dimenzioniranje kruga grijanja/hlađenja

Dionica	d_N	d_u	GRIJANJE					HLADENJE				
			Φ	c_w	q_m	v	R	Φ	c_w	q_m	v	R
[-]	[mm]	[mm]	[kW]	[kW/°C]	[kg/s]	[m/s]	[Pa/m]	[kW]	[kW/°C]	[kg/s]	[m/s]	[Pa/m]
1	50	50	23,7	4	1,1	0,47	50	13,9	2,8	0,7	0,33	26
Vertikala – ured												
2	25	25	4,37	0,73	0,15	0,3	50	2	0,67	0,14	0,29	45
3	20	20	1,85	0,31	0,07	0,21	36	0,85	0,28	0,06	0,19	30

4	20	20	2,53	0,42	0,09	0,3	65	1,18	0,39	0,09	0,27	55
Vertikala – kafić												
5	25	25	4,76	0,79	0,17	0,34	60	2,23	0,74	0,16	0,32	55
6	20	20	2,34	0,39	0,08	0,27	55	1,11	0,37	0,08	0,26	50
7	20	20	2,41	0,4	0,09	0,28	60	1,12	0,37	0,08	0,26	50
Vertikala – stanovi												
8	32	32	9,21	1,53	0,3	0,37	50	4,33	1,44	0,31	0,35	45
9	20	20	1,81	0,3	0,06	0,2	33	0,86	0,29	0,07	0,19	30
10	20	20	2,79	0,46	0,1	0,32	75	1,31	0,44	0,1	0,3	65
11	25	25	4,61	0,77	0,16	0,32	55	2,17	0,72	0,16	0,3	50
12	20	20	1,81	0,3	0,06	0,2	33	0,86	0,29	0,07	0,19	30
13	20	20	2,79	0,46	0,1	0,32	75	1,31	0,44	0,1	0,3	65
Vertikala – vodeni grijač/hladnjak												
14	25	25	5,39	0,9	0,19	0,39	80	5,36	1,07	0,23	0,47	110
15	20	20	3,75	0,63	0,13	0,43	130	2,4	0,48	0,1	0,33	80
16	20	20	1,64	0,27	0,06	0,19	28	2,96	0,59	0,13	0,41	120

5.5. Odabir kalorimetara

Projektirana zgrada ima 6 različitih vlasničkih cjelina (ured, kafić, 4 stana), koji se snabdijevaju toplinskom/rashladnom energijom preko istog izvora, dizalice topline zrak-voda. Iz tog razloga, potrebno je osigurati zasebno mjerenje potrošnje toplinske energije za svaku vlasničku cjelinu. U tu svrhu, ugrađuju se ultrazvučni kalorimetri.

U ovom radu, odabrani su kalorimetri *WSM506-BE*, proizvođača Siemens. Katalog je dan u [16]. To su uređaji koji se sastoje od protokomjera, 2 spojena temperaturna senzora i elektroničke jedinice koja, na temelju informacija dobivenih od protokomjera i temperaturnih senzora, izračunava potrošnju energije u *kWh*.

Na Slici 29., dan je grafički prikaz odabranih kalorimetara.



Slika 29. Ultrazvučni kalorimetar, WSM506-BE, Siemens, [16]

U Tablici 21., dani su tehnički podaci odabranog kalorimetra.

Tablica 21. Tehnički podaci WSM506-BE, Siemens, [16]

Nominalni protok	0,6 m ³ /h
Ugradbena duljina	110 mm
Osjetni element	Pt 500
Priključak	G ¾"
Temp. raspon elektroničke jedinice	0-180 °C
Temp. raspon protokomjera	5-90 °C
Dimenzije	110x73x116 mm

5.6. Odabir troputnih miješajućih ventila

Troputni miješajući ventili su dijelovi regulacijske armature, koji služe za temperaturnu regulaciju pojedinog kruga grijanja/hlađenja. U ovom radu, bit će montirana 4 miješajuća ventila, po jedan na svaku vertikalnu koja se vodi od razdjelnika/sabirnika, te će omogućavati željene temperaturne režime kod grijanja i hlađenja.

Odabrana su 3 ventila VXG41.25, i 1 ventil VXG41.32, svi proizvođača Siemens. Katalog je dan u [17].

Na Slici 30., dan je grafički prikaz ventila.



Slika 30. Troputni miješajući ventil, Siemens, [17]

U Tablici 22., dani su tehnički podaci odabranih ventila.

Tablica 22. Tehnički podaci VXG-41-..., Siemens, [17]

[-]	VXG-41.25	VXG-41.32
Unutarnji promjer	25 mm	32 mm
Nominalni volumni protok	10 m ³ /h	16 m ³ /h
Temp. raspon radnog medija	-25...150 °C	

5.7. Proračun kritičnih dionica i odabir cirkulacijskih pumpi

Dimenzioniranjem cijevne mreže, kako je objašnjeno u poglavlju 5.4., dobili smo informacije o unutarnjem promjeru, brzini fluida i linijskom padu tlaka za svaku pojedinu dionicu. Uz linijske, potrebno je uzeti u obzir i lokalne padove tlaka, koji nastaju zbog promjene smjera strujanja fluida (koljena, lukovi, t-komadi...). Poznavanjem ukupnog pada tlaka za pojedinu dionicu, može se odabrati odgovarajuća cirkulacijska pumpa. Kritična dionica predstavlja onu dionicu u kojoj se javlja najveći pad tlaka za pojedini krug grijanja/hlađenja.

Proračun je potrebno provesti za svaku dionicu, od akumulacijskog spremnika, do pojedinog podsustava predaje topline, za režim grijanja i za režim hlađenja. Proračun je odrađen u programu *Microsoft Excel*.

Za sekundarni krug, proračunom je izračunato da se veći pad tlaka dobija kod režima grijanja, stoga se isti uzima kao kritičan.

U Tablici 23., dani su rezultati proračuna.

Tablica 23. Proračun kritične dionice sekundarnog kruga

Dionica	L	$R \cdot L$	$\Sigma \zeta$	p_{din}	Z	$R \cdot L + Z$
[-]	[m]	[Pa]	[-]	[Pa]	[Pa]	[Pa]
1	2,5	175	2,2	162,45	422,4	532,4
Pad tlaka pločastog izmjenjivača topline (*)						20000
Ukupno						20532,4

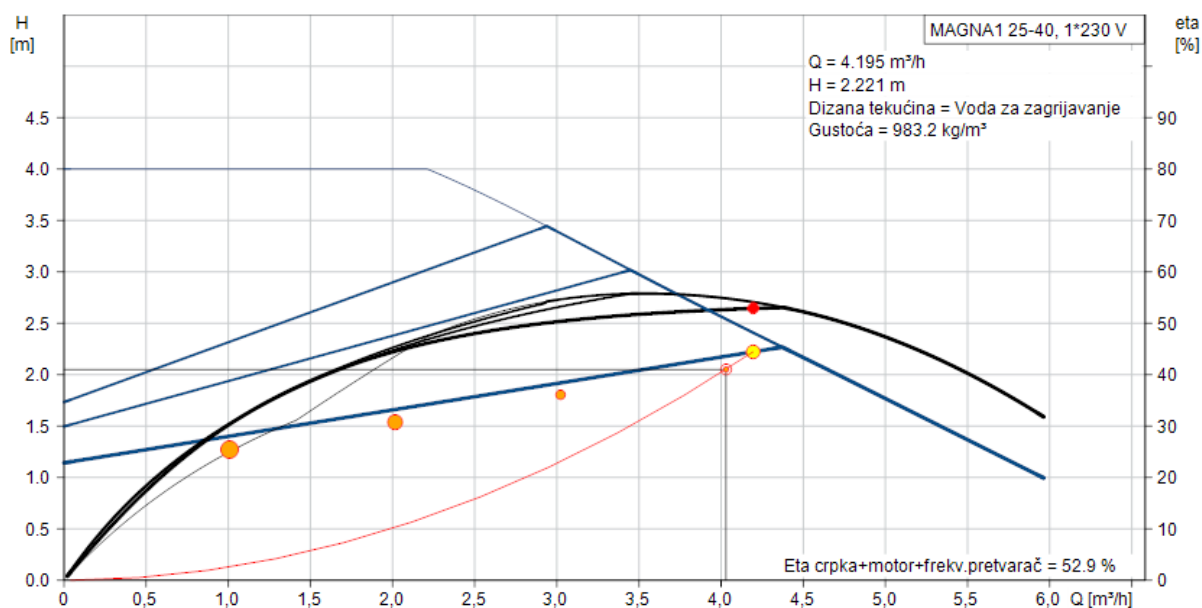
(*) – podatak očitao iz [14]

Na temelju podataka izračunatih u Tablicama 19. i 23., izračunavaju se parametri na temelju kojih se dimenzionira pumpa:

- Protok: $q_v = 4,03 \text{ m}^3/\text{h}$
- Visina dobave: $H = 2,05 \text{ m}$

Izabire se pumpa *MAGNA1 25-40*, proizvođača Grundfos. Katalog je dan u [18].

Na Slici 31., dan je prikaz radne točke pumpe u Q-H dijagramu.

**Slika 31. Prikaz radne točke pumpe sekundarnog kruga u Q-H dijagramu, [18]**

Za vertikalnu uredu, proračunom se dobija da se najveći pad tlaka ostvaruje za dionicu do razdjelnog ormara RO – PG 3 u prizemlju, za režim hlađenja, stoga se ona uzima kao kritična.

Tablica 24. Proračun kritične dionice kruga podnog grijanja - ured

Dionica	L	$R \cdot L$	$\Sigma \zeta$	p_{din}	Z	$R \cdot L + Z$
[-]	[m]	[Pa]	[-]	[Pa]	[Pa]	[Pa]

1	3	78	2,2	54,45	119,8	197,8
2	5,2	234	8,6	42,05	361,6	595,6
4	11,4	627	6	36,45	218,7	845,7
						=1639,1
Pad tlaka na kalorimetru (*)						5000
Pad tlaka na troputnom miješajućem ventilu (**)						500
Pad tlaka kruga RO – PG 3 3.1 (***)						12900
Ukupno						=20039,1

(*) – podatak očitao iz [16]

(**) – podatak očitao iz [17]

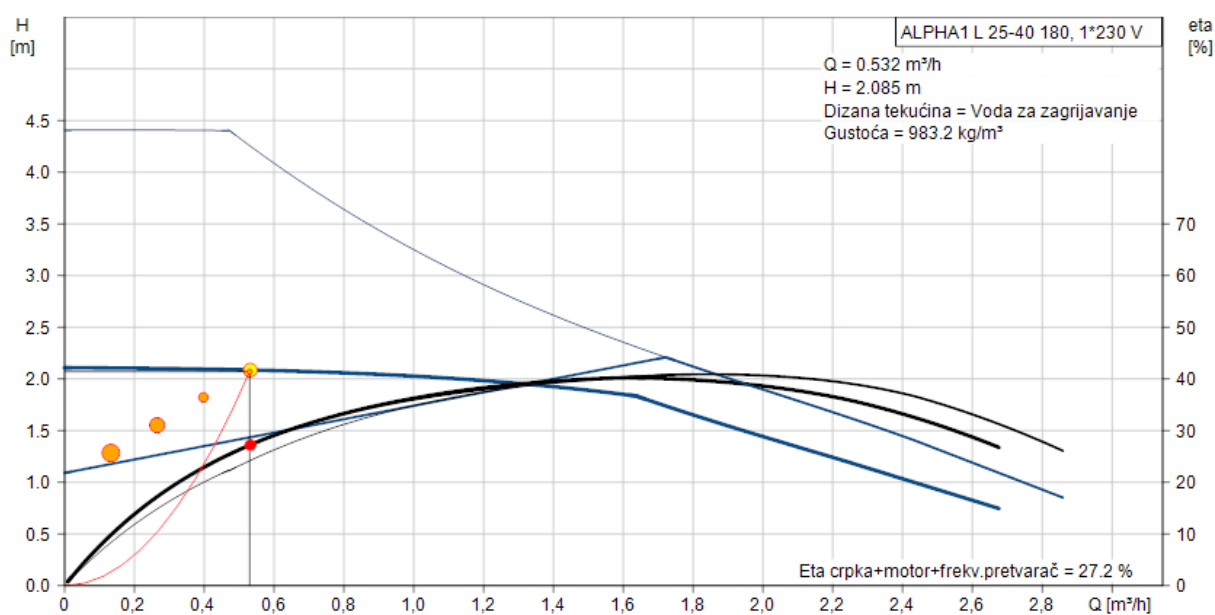
(***) – podatak izračunat u programu *IntegraCAD*

Na temelju podataka izračunatih u Tablicama 20. i 24., izračunavaju se parametri na temelju kojih se dimenzionira pumpa kruga podnog grijanja – ured:

- Protok: $q_v = 0,53 \text{ m}^3/\text{h}$
- Visina dobave: $H = 2,07 \text{ m}$

Izabire se pumpa *ALPHA1 L 25-40 180*, proizvođača Grundfos. Katalog je dan u [19].

Na Slici 32., dan je prikaz radne točke pumpe u Q-H dijagramu.



Slika 32. Prikaz radne točke pumpe kruga podnog grijanja – ured u Q-H dijagramu, [19]

Za vertikalnu kafiću, proračunom se dobija da se najveći pad tlaka ostvaruje za dionicu do razdjelnog ormara RO – PG 4 u prizemlju, za režim hlađenja, stoga se ona uzima kao kritična.

Tablica 25. Proračun kritične dionice kruga podnog grijanja - kafić

Dionica	L	$R \cdot L$	$\Sigma \zeta$	p_{din}	Z	$R \cdot L + Z$
[-]	[m]	[Pa]	[-]	[Pa]	[Pa]	[Pa]
1	3	78	2,2	54,45	119,8	197,8
5	3,2	176	10,3	50,9	527,36	703,36
7	8,5	425	8	33,8	270,4	695,4
						=1596,56
Pad tlaka na kalorimetru (*)						5000
Pad tlaka na troputnom miješajućem ventilu (**)						500
Pad tlaka kruga RO – PG 4 4.3 (***)						11200
Ukupno						=18296,56

(*) – podatak očitao iz [16]

(**) – podatak očitao iz [17]

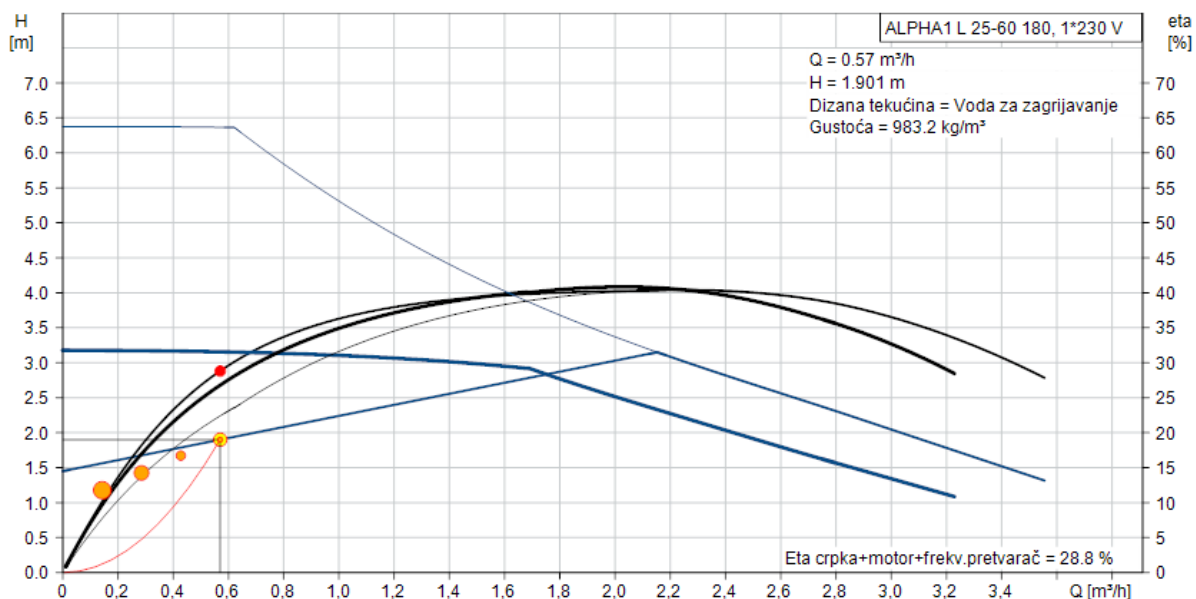
(***) – podatak izračunat u programu *IntegraCAD*

Na temelju podataka izračunatih u Tablicama 19. i 25., izračunavaju se parametri na temelju kojih se dimenzionira pumpa kruga podnog grijanja – kafić:

- Protok: $q_v = 0,57 \text{ m}^3/\text{h}$
- Visina dobave: $H = 1,9 \text{ m}$

Izabire se pumpa *ALPHA1 L 25-60 180*, proizvođača Grundfos. Katalog je dan u [20].

Na Slici 33., dan je prikaz radne točke pumpe u Q-H dijagramu.



Slika 33. Prikaz radne točke pumpe kruga podnog grijanja – kafić u Q-H dijagramu, [20]

Za vertikalnu stanova, proračunom se dobija da se najveći pad tlaka ostvaruje za dionicu do razdjelnog ormara RO – PG 8 na drugom katu, za režim hlađenja, stoga se ona uzima kao kritična.

Tablica 26. Proračun kritične dionice kruga podnog grijanja - stanovi

Dionica	L	$R \cdot L$	$\Sigma \zeta$	p_{din}	Z	$R \cdot L + Z$
[-]	[m]	[Pa]	[-]	[Pa]	[Pa]	[Pa]
1	3	78	2,2	54,45	119,8	197,8
8	16,7	751,5	8,3	61,25	508,4	1259,88
11	5,9	295	3	45	135	430
13	11,1	721,5	6	45	270	991,5
						=2879,18
Pad tlaka na kalorimetru (*)						2800
Pad tlaka na troputnom miješajućem ventilu (**)						500
Pad tlaka kruga RO – PG 8 8.6 (***)						16600
Ukupno						=22779,18

(*) – podatak očitani iz [16]

(**) – podatak očitani iz [17]

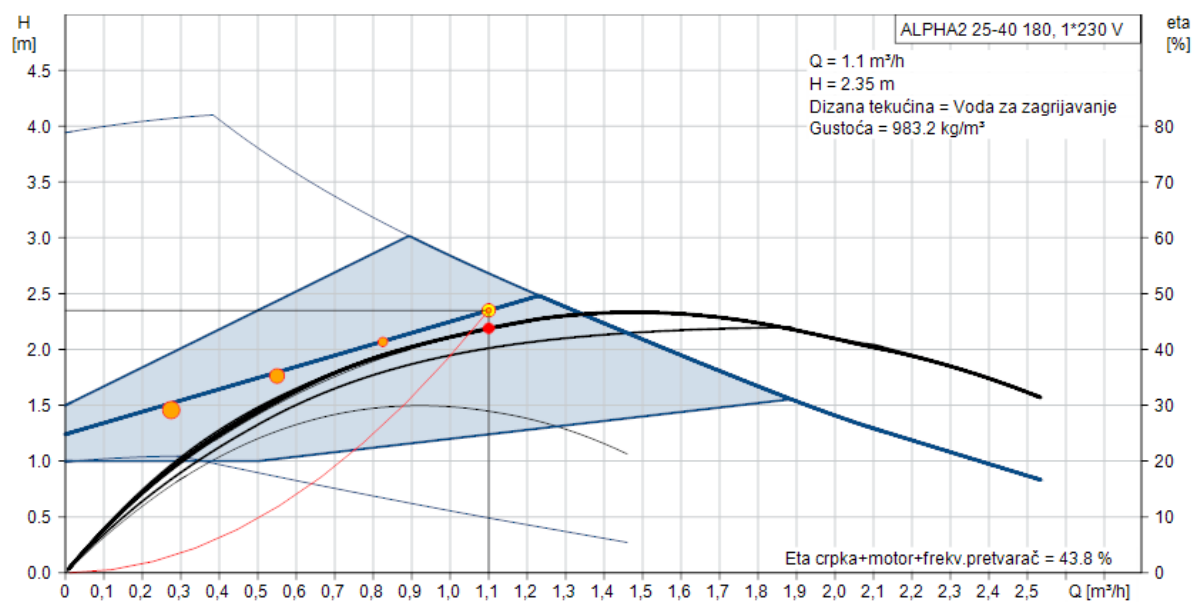
(***) – podatak izračunat u programu *IntegraCAD*

Na temelju podataka izračunatih u Tablicama 19. i 26., izračunavaju se parametri na temelju kojih se dimenzionira pumpa kruga podnog grijanja – stanovi:

- Protok: $q_v = 1,1 \text{ m}^3/\text{h}$
- Visina dobave: $H = 2,35 \text{ m}$

Izabire se pumpa *ALPHA1 25-40 180*, proizvođača Grundfos. Katalog je dan u [21].

Na Slici 34., dan je prikaz radne točke pumpe u Q-H dijagramu.



Slika 34. Prikaz radne točke pumpe kruga podnog grijanja - stanovi u Q-H dijagramu, [21]

Za vertikalnu vodenih grijača/hladnjaka, proračunom se dobija da se najveći pad tlaka ostvaruje za dionicu do hladnjaka ureda, za režim hlađenja, stoga se ona uzima kao kritična.

Tablica 27. Proračun kritične dionice kruga vodenog hladnjaka – ured

Dionica	L	$R \cdot L$	$\Sigma \zeta$	p_{din}	Z	$R \cdot L + Z$
[-]	[m]	[Pa]	[-]	[Pa]	[Pa]	[Pa]
1	3	78	3,8	54,45	206,91	284,91
14	1	110	12,3	110,45	1358,5	1468,5
16	38,4	4608	6	84,05	504,3	5112,3
						=6865,71
Pad tlaka na kalorimetru (*)						2800
Pad tlaka na troputnom miješajućem ventilu (**)						500
Pad tlaka na vodenom hladnjaku (***)						7000

Ukupno

=17165,71

(*) – podatak očitán iz [16]

(**) – podatak očitán iz [17]

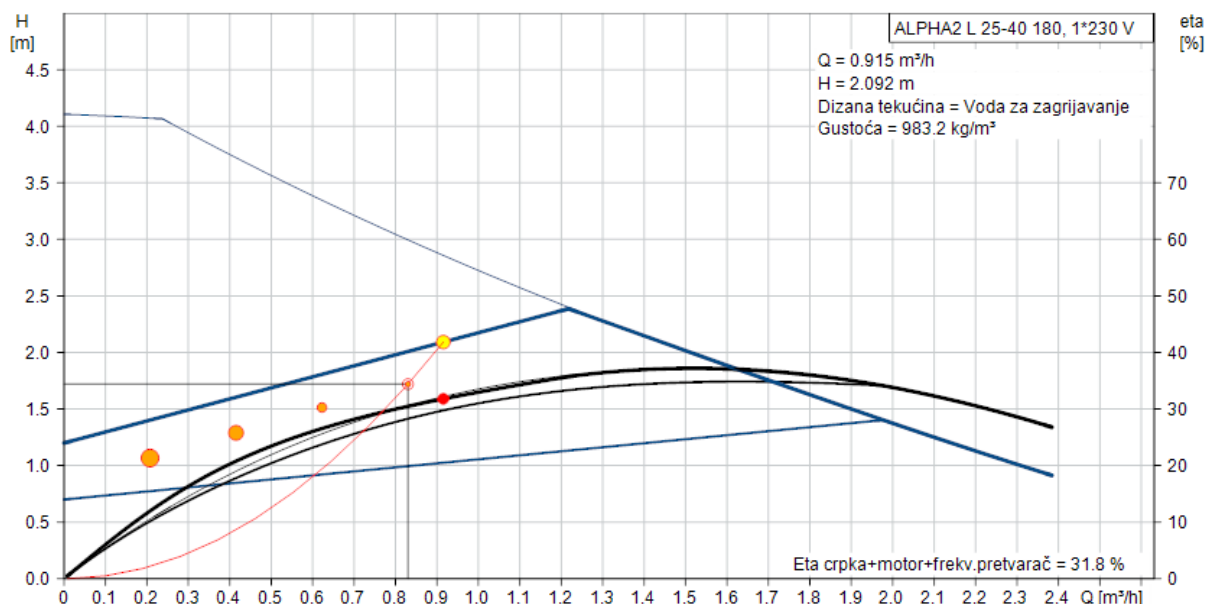
(***) – podatak izračunat iz [8]

Na temelju podataka izračunatih u Tablicama 19. i 27., izračunavaju se parametri na temelju kojih se dimenzionira pumpa kruga vodenih grijača/hladnjaka:

- Protok: $q_v = 0,83 \text{ m}^3/\text{h}$
- Visina dobave: $H = 1,72 \text{ m}$

Izabire se pumpa *ALPHA2 L 25-40 180*, proizvođača Grundfos. Katalog je dan u [22].

Na Slici 35., dan je prikaz radne točke pumpe u Q-H dijagramu.



Slika 35. Prikaz radne točke pumpe kruga vodenih grijača/hladnjaka u Q-H dijagramu, [22]

5.8. Dimenzioniranje i odabir ekspanzijske posude

Ekspanzijska posuda ima ulogu održavanja tlaka u sustavu unutar zadanih granica, što uključuje podešenje minimalnog tlaka i sprječavanje prekoračenja najvećeg dozvoljenog radnog pretlaka.

Dimenzioniranje volumena ekspanzijske posude se vrši prema sljedećoj jednadžbi:

$$V_{n,min} = (V_e + V_v) \cdot \frac{p_e + 1}{p_e - p_0}$$

$V_{n,min}$ – minimalni volumen zatvorene ekspanzijske posude, [l]

V_e – volumen širenja vode izazvan povišenjem temperature vode od 10 °C do maksimalne temperature polaznog voda (54 °C) [l]

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

p_e – projektni krajnji tlak, povezan sa točkom otvaranja sigurnosnog ventila, [bar], odabrano

$p_e = 2,5$ bar

p_0 – primarni tlak ekspanzijske posude, [bar], odabrano $p_0 = 1,5$ bar

Volumen širenja vode izazvan povišenjem temperature vode se računa prema sljedećoj jednadžbi:

$$V_e = \frac{n \cdot V_A}{100}$$

n – postotak širenja vode za promjenu gustoće od 10 °C do 54 °C, izračunato $n = 1,41$ %

V_A – ukupni volumen vode u sustavu, [l]

U Tablici 28., dani su volumeni vode za sve dijelove sustava, na temelju kojih je izračunat V_A .

Tablica 28. Volumen vode u sustavu

Cjevovodi	92,1 l
Krugovi podnog grijanja	457,6 l
Razdjelnik/sabirnik vode (*)	6,7 l
Akumulacijski spremnik	325 l
V_A	881,3 l

(*) – odabrani promjer razdjelnika i sabirnika vode: $d = 50$ mm

Dodatni volumen vode:

$$V_v = \frac{0,5}{100} \cdot V_A$$

$$V_v = 4,4 \text{ l}$$

Volumen širenja vode:

$$V_e = \frac{n \cdot V_A}{100}$$

$$V_e = 12,4 \text{ l}$$

Na temelju izračunatih podataka, određuje se minimalni volumen zatvorene ekspanzijske posude:

$$V_{n,min} = 58,9 \text{ l}$$

Odabire se ekspanzijska posuda proizvođača VAREM, volumena 60 l. Katalog je dan u [23]. Na Slici 36., dan je grafički prikaz odabrane ekspanzijske posude.



Slika 36. Ekspanzijska posuda, VAREM, V = 60 L, [23]

U Tablici 29., dani su tehnički podaci odabrane ekspanzijske posude.

Tablica 29. Tehnički podaci, VAREM, V = 60 L, [23]

Volumen	60 L
Maksimalni radni tlak	10 bar
Radno područje temperature	-10...99 °C
Priključak	1"
Promjer	380 mm
Visina	670 mm

5.9. Odabir sobnog regulatora i regulacijskog razdjelnika za podno grijanje

Kako bi bilo moguće kontrolirati i mijenjati željenu temperaturu pojedinog prostora, u sve prostore se ugrađuju sobni regulatori. Odabiru se sobni regulatori *NEA HCT 230 V*, proizvođača Rehau. Regulatori se montiraju na zid.

Na Slici 37., dan je grafički prikaz odabranog sobnog regulatora.



Slika 37. Sobni regulator, NEA HCT 230V, Rehau, [4]

Sobni regulatori i termički pogoni priključuju se na regulacijski razdjelnik. Regulacijski razdjelnik omogućuje sigurno i pregledno ožičenje sustava u razdjelnom ormaru kruga grijanja. [4]

Odabran je regulacijski razdjelnik *NEA HC 230 V*, proizvođača Rehau. Regulacijski razdjelnici se ugrađuju u svaki razdjelni ormar podnog grijanja. Na temelju informacije o željenoj temperaturi prostora, koju dobijaju od sobnih regulatora, regulacijski razdjelnici upravljaju s pogonskim jedinicama i na taj način reguliraju protok svakog kruga grijanja.

Na Slici 38., dan je grafički prikaz odabranog razdjelnika.



Slika 38. Regulacijski razdjelnik, NEA HC 230 V, Rehau, [4]

6. TEHNIČKI OPIS SUSTAVA

Predmet ovog rada je poslovno-stambena zgrada, koja se sastoji od 4 etaže, korisne površine 475 m². U podrumu i prizemlju zgrade, nalaze se dvoetažni ured i kafić, dok se na 1. i 2. katu zgrade nalaze stambeni prostori. Za zgradu je dan projekt sustava grijanja, hlađenja i ventilacije. Projektno toplinsko opterećenje zgrade rađeno je prema normi HRN EN 12831. Ukupno projektno toplinsko opterećenje za zgradu iznosi 17 878 W.

Projektno rashladno opterećenje zgrade rađeno je prema smjernici VDI 2078. Ukupno projektno rashladno opterećenje za zgradu iznosi 12 578 W.

6.1. Sustav grijanja i hlađenja

Kao toplinski/rashladni izvor energije za zgradu, koristi se monoblok dizalica topline zrak-voda. Dizalica je smještena vani, neposredno uz jugozapadnu stranu prizemlja etaže.

Na temelju izračunatih projektnih toplinskih i rashladnih opterećenja, prema normi HRN EN 12831 i smjernici VDI 2078, dimenzioniraju se ogrjevn/rashladna tijela. Kao ogrjevn/rashladna tijela, odabrani su krugovi podnog grijanja/hlađenja. Sva oprema je korištena od njemačkog proizvođača Rehau. Korištene su RAUTHERM S cijevi, dimenzija Ø17x2 mm, koje se polažu u REHAU ploču s čepovima Varionova, te su prekrivene estrihom. Krugovi su dimenzionirani na način da pokriju projektna toplinska opterećenja. Nepokrivena rashladna opterećenja kod ureda i kafića, pokrivaju se s vodenim grijačima/hladnjacima, koji zagrijavaju/hlade zrak koji ulazi u prostor sustavom mehaničke ventilacije. O sustavu mehaničke ventilacije, detaljnije u poglavlju 6.2. Podni krugovi rade u temperaturnom režimu 38/32 °C za grijanje, i 18/21 °C za hlađenje. Krug vodenih grijača/hladnjaka radi u temperaturnom režimu 38/32 °C za grijanje, i 7/12 °C za hlađenje.

Dimenzioniranjem podnih krugova i vodenih grijača/hladnjaka, može se izabrati odgovarajuća dizalica topline. Odabrana je monoblok dizalica topline zrak-voda, *ElfoEnergy Sheen Evo*, proizvođača Clivet. Kapacitet u režimu grijanja joj je 26,5 kW (za vanjsku temperaturu -15 °C i temperaturni režim vode 40/35 °C), dok u režimu hlađenja daje 48 kW (za vanjsku temperaturu 35 °C i temperaturni režim vode 7/12 °C). Dizalica topline ima vlastitu automatiku i logiku prebacivanja rada iz grijanja u hlađenje, preko vanjskog osjetnika temperature. Unutar dizalice topline, integrirana je frekventna pumpa, koja omogućuje cirkulaciju smjese glikola i vode.

S obzirom da se dizalica topline nalazi vani, kao toplinski ponor (u režimu grijanja) se koristi smjesa glikola i vode, koja se zagrijava toplinom kondenzacije radne tvari R-32 u kondenzatoru. Iz dizalice topline, smjesa glikola i vode cijevima ide do pločastog izmjenjivača topline,

smještenog u strojarnici u podrumu. U pločastom izmjenjivaču topline, smjesa glikola i vode predaje toplinu vodi u sekundarnom krugu, koja se pomoću cirkulacijske pumpe distribuira do akumulacijskog spremnika. Cirkulacijska pumpa je frekventno upravljana, te je povezana s nalijegajućim cijevnim termostatom u povratnom krugu. Nalijegajući cijevni termostat ima mogućnost rada u režimu grijanja i hlađenja, koji je potrebno ručno mijenjati. Odabran je nalijegajući cijevni termostat, *WPR-100 GD*, proizvođača Computherm. Katalog je dan u [24]. U režimu grijanja, termostat uključuje pumpu, kada temperatura vode u povratnomvodu sekundarnog kruga padne ispod 32 °C. Kada temperatura vode u povratnom krugu dosegne 35 °C, pumpa se isključuje. U režimu hlađenja, termostat uključuje pumpu, kada temperatura vode dosegne 15 °C. Kada temperatura vode padne ispod 12 °C, pumpa se isključuje.

Akumulacijski spremnik akumuliranjem toplinske energije osigurava ekonomičniji i efikasniji rad dizalice topline. Iz akumulacijskog spremnika, voda se bakrenim cijevima vodi do razdjelnika/sabirnika vode u strojarnici. Iz razdjelnika/sabirnika vode, vode se 4 zasebne bakrene vertikale prema podsustavima predaje topline. 3 vertikale su za krugove podnog grijanja/hlađenja, dok je 1 vertikala za krug vodenih grijača/hladnjaka. Svaka od vertikala ima zasebnu cirkulacijsku pumpu, troputni ventil i senzor temperature vode u polaznomvodu, koji se upravljaju preko regulatora *Synco RMU710B*. *Synco* regulatori dobivaju informaciju od dizalice topline o promjeni režima rada iz grijanja u hlađenje, te na temelju toga upravljaju s troputnim ventilima i cirkulacijskim pumpama. Kod vertikala za krugove podnog grijanja/hlađenja, *Synco* regulatori šalju informaciju o trenutnom režimu grijanje/hlađenje do sobnih regulatora. Sobni regulatori su povezani s regulacijskim razdjelnicima, smještenim u razdjelnim ormarima podnog grijanja, koji upravljaju s pogonskim jedinicama i na taj način reguliraju protok vode u krugovima, ovisno o odnosu željene i trenutne temperature prostora. Sve cirkulacijske pumpe koje distribuiraju vodu do podnih krugova su frekventno upravljane, te mijenjaju svoj protok ovisno o trenutnom stupnju otvorenosti/zatvorenosti ventila krugova koji su na nju priključeni. Pomoću regulacijskih razdjelnika, moguće je preko releja za pumpe isključiti rad cirkulacijske pumpe kada je i zadnji sobni regulator cjevovoda koji se napaja sa grane sa tom pumpom i troputnim ventilom postigao zadanu vrijednost temperature prostora. Kod krugova vodenih grijača/hladnjaka, temperatura polaza vode prema vodenim grijačima/hladnjacima se regulira na temelju vanjskog osjetnika temperature. Odabran je vanjski osjetnik temperature, *QAC 22*, proizvođača Siemens. Katalog je dan u [25]. Cirkulacijska pumpa je frekventno upravljana, te mijenja svoj protok ovisno o stupnju otvorenosti/zatvorenosti ventila.

S obzirom da zgrada ima 6 različitih vlasničkih cjelina (ured, kafić, 4 stana), za svaku od njih je omogućeno zasebno mjerenje potrošnje toplinske energije, preko ultrazvučnih kalorimetara. Kalorimetri se sastoje od protokomjera i 2 temperaturna senzora, jedan u polaznom, a jedan u povratnom vodu. Uz to, nalazi se i elektronička jedinica koja, na temelju informacija dobivenih od protokomjera i temperaturnih senzora, izračunava potrošnju energije u kWh. Za stanove, kalorimetri su ugrađeni u podžbukne ormare koji su montirani sa strane hodnika, kako bi bilo olakšano očitavanje. Za krugove podnog grijanja kafića i ureda, kalorimetri su montirani u strojarnici, i mjere ukupnu potrošnju toplinske energije krugova podnog grijanja za prizemlje i podrum pojedine vlasničke cjeline. Za krug vodenih grijača/hladnjaka, kalorimetri su također montirani u strojarnici. Iz razdjelnika/sabirnika, vodi se zajednički vod na koji su spojeni cirkulacijska pumpa, troputni ventil i senzor temperature polaza vode, koji se onda dijeli na 2 vertikale. Jedna vertikala je usmjerena prema vodenom grijaču/hladnjaku ureda, druga prema onom od kafića. Na svakoj od vertikala montiran je zaseban kalorimetar.

U krug vode za grijanje/hlađenje prostora, ugrađuje se ekspanzijska posuda, koja održava tlak u sustavu unutar zadanih granica.

6.2. Sustav ventilacije

Kao što je već spomenuto u poglavlju 6.1., dvoetažni ured i kafić se ventiliraju sustavom mehaničke ventilacije, s rekuperatorskom jedinicom za ventilaciju i vodenim grijačem/hladnjakom za oba prostora zasebno. Uzevši u obzir namjenu i veličinu prostora, odabrano je da će volumni protok za dvoetažni kafić biti $1600 \text{ m}^3/\text{h}$, dok će za ured biti $700 \text{ m}^3/\text{h}$. Za ured je odabran rekuperator *CADB-HE D 08 PRO-REG*, dok je za kafić odabran rekuperator *CADB-HE D 16 PRO-REG*, oba proizvođača Soler&Palau. Računajući s vanjskom projektnom temperaturom za zimsko razdoblje, izračunava se da će temperatura zraka na izlazu iz rekuperatora biti $13 \text{ }^\circ\text{C}$. S obzirom da je unutarinja projektna temperatura prostora za zimu $20 \text{ }^\circ\text{C}$, potrebno je dodatno dogrijati zrak prije njegovog ubacivanja u prostor. Zagrijavanje zraka na unutarnju projektnu temperaturu je omogućeno s vodenim grijačima, gdje se dobavni zrak zagrijava pomoću vode iz sustava dizalice topline. Za ljetni režim rada, temperatura zraka na izlazu iz rekuperatora je $27,4 \text{ }^\circ\text{C}$. Unutarinja projektna temperatura prostora za ljetno razdoblje je $26 \text{ }^\circ\text{C}$. Kako je već naglašeno u poglavlju 6.1., vodeni hladnjaci moraju pokriti i onaj dio projektnih rashladnih opterećenja, koji podni krugovi nisu pokrili. Stoga, temperatura ubacivanja zraka u prostor će biti niža od unutarnje projektne, kako bi se pokrila svi projektna rashladna opterećenja. Rekuperatori i vodeni grijači/hladnjaci imaju vlastitu automatiku i logiku rada, kojom se omogućuje njihova

regulacija. Regulacija rekuperatorske jedinice je izvedena sa senzorom CO₂, koji regulira brzinu ventilatora ovisno o koncentraciji CO₂ u odsisnom zraku. Ako je koncentracija CO₂ ispod 800 ppm, ventilator rekuperatora je isključen. Za porast koncentracije CO₂ iznad 800 ppm, ventilator se uključuje i ubrzava, sve do 1400 ppm kada radi s maksimalnom brzinom. Rekuperatori i vodeni grijači/hladnjaci su smješteni u spušenom stropu prizemlja, te su spojeni ventilacijskim kanalima. Ventilacijski kanali su razvedeni na način da ravnomjerno distribuiraju zrak za ventilirani prostor. Korišteni su spiro i pravokutni kanali. Dobava/odsis zraka iz prostora je omogućena s odgovarajućim dobavnim i odsisnim otvorima. Iz spušenog stropa prizemlja, vođena je vertikala do spušenog stropa podruma. Kod vodenih hladnjaka, nastali kondenzat u režimu hlađenja se vodi posebnim cjevovodom do izljevog mjesta.

Ventiliranje stambenih prostora je omogućeno s decentraliziranim ventilacijskim jedinicama. 1 jedinica je ugrađena za sve sobe stambenih prostora, dok su 2 jedinice ugrađene za dnevne boravke. To su kompaktne jedinice koje sadrže ventilator i keramički izmjenjivač topline. Ventilator mijenja smjer vrtnje svakih 70 sekundi, kako bi omogućio i dobavu i odsis zraka. Keramički izmjenjivač topline služi za akumulaciju toplinske energije iz odsisnog zraka, koja se onda predaje dobavnom zraku, kada ventilator promijeni smjer vrtnje. Regulacija jedinica se vrši pomoću daljinskog upravljača, a moguće ju je vršiti ručno ili automatski. Za dnevne boravke, 2 jedinice se međusobno umrežuju na način da se jedna postavi kao vodeća, a druga kao prateća.

Ventilacija sanitarnih prostorija je riješena s odsisnim ventilatorima, čiji rad je povezan s električnom rasvjetom prostora koji ventiliraju. Izbacivani zrak se, pomoću odsisnog ventilatora, izbacuje van preko PVC cijevi. Nadoknada zraka u prostor je omogućena ugradnjom prestrujnih rešetki na dnu vrata. Preko timera ugrađenog na ventilatoru, osiguran je rad ventilatora i 2 minute nakon gašenja rasvjete.

ZAKLJUČAK

Tema ovog diplomskog rada bila je projekt sustava grijanja, hlađenja i ventilacije poslovno-stambene zgrade, koja se nalazi na području grada Zenice. Zgrada se sastoji od 4 etaže, pri čemu 2 donje etaže predstavljaju poslovne prostore, dok se u gornjim etažama nalaze stanovi.

Kao izvor toplinske i rashladne energije, izabrana je dizalica topline zrak-voda. Dizalice topline za pogon koriste samo električnu energiju, za razliku od konvencionalnih toplinskih izvora. Time značajno pridonosi smanjenju fosilnih emisija. S obzirom na izbor dizalice topline kao izvora, odlučeno je da će se podsustav predaje topline odvijati niskotemperaturnim režimom grijanja, odnosno visokotemperaturnim režimom hlađenja. Kako bi se ogrjevna tijela mogla dimenzionirati, potrebno je bilo odrediti projektna toplinska i rashladna opterećenja zgrade. Projektna toplinska i rashladna opterećenja određena su poznavanjem svojstava i karakteristika zgrade, danim u arhitektonskim podlogama. U sve grijane prostorije, instalirani su krugovi podnog grijanja, kroz koje prolazi voda u temperaturnom režimu 38/32 °C za grijanje, i 18/21 °C za hlađenje. Podno grijanje omogućuje ravnomjernu razdiobu temperature po prostoru. U sezoni hlađenja, išlo se na temperaturni režim vode 18/21 °C, kako ne bi došlo do pojave kondenzacije. Tim režimom nije moguće pokriti sve toplinske dobitke za pojedini prostor. Naročito je to izraženo u etaži prizemlja poslovnog prostora, gdje postoje veliki toplinski dobici, zbog velike površine vanjskih otvora. U etaži podruma, nije moguće prirodno ventilirati prostor infiltracijom zraka. Iz tih razloga, za etaže poslovnih prostora je projektiran sustav mehaničke ventilacije s rekuperatorom topline i vodenim grijačem/hladnjakom. Na taj način, osigurana je dovoljna količina svježeg zraka za navedene prostore, kao i ostvarivanje željenog toplinskog stanja u sezoni grijanja i hlađenja. Sustav je projektiran razvođenjem ventilacijskih kanala po spuštenim stropovima etaža.

Za stambene prostore, ventiliranje je zamišljeno uporabom decentraliziranih ventilacijskih jedinica. To su jedinice koje sadrže ventilator i keramički izmjenjivač topline. Ugrađuju se na vanjski zid, i nije potrebno razvođenje ventilacijskih kanala. Na taj način je značajno pojednostavljena ugradnja, i smanjeni troškovi instalacije.

Ideja rada bila je projektirati rješenje koje će biti moderno, učinkovito i efikasno. Analiza ekonomske isplativosti, investicijskih, pogonskih i ostalih troškova, nije bila tema ovog rada.

Cjelokupnim projektom sustava grijanja, hlađenja i ventilacije, optimirano je rješenje koje udovoljava svim najnovijim smjernicama, normama i propisima.

LITERATURA

- [1] Balen, I.: predavanja iz kolegija KGH, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb, 2020.
- [2] Soldo, V.: predavanja iz kolegija Dizalice topline s obnovljivim izvorima energije, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb, 2021.
- [3] <http://ekologija.ba/wp-content/uploads/2021/02/Prirucnik-OIE-i-EE-masinska-struka.pdf> (pristupljeno 28.12.2021.)
- [4] REHAU, Površinsko grijanje i hlađenje
- [5] Labudović B.: Priručnik za ventilaciju i klimatizaciju, Energetika marketing, Zagreb, 2015.
- [6] <https://www.berlinerluft.hr/storage/app/files/5d2/732/7d1/5d27327d12cde165430802.pdf> (pristupljeno 29.12.2021.)
- [7] <http://ashrae-meteo.info/v2.0/index.php> (pristupljeno 29.12.2021.)
- [8] <https://shop.systemair.com/en/cwk--315--3--25--duct--coolercirc/p115349> (pristupljeno 29.12.2021.)
- [9] <https://www.klimaoprema.hr/hr/product/53> (pristupljeno 30.12.2021.)
- [10] https://www.klimaoprema.hr/SolveAirFolders/HVAC/Air%20distribution/Air%20grilles/ORP/Downloads/Product%20catalog_ORP%20Katalog%20proizvoda_HR.pdf (pristupljeno 30.12.2021.)
- [11] <https://www.vaillant.hr/downloads/pli/201809-tehnicki-list-recovair-var-60-preview4-1335046.pdf> (pristupljeno 1.1.2022.)
- [12] <https://www.vortice.com/en/residential-ventilation/axial-fans/wall-window/11232> (pristupljeno 1.1.2022.)
- [13] https://clivetbelux.be/assets/tm_wsan-ysi-10.1-22.2.pdf (pristupljeno 2.1.2022.)
- [14] <https://productguide.alfalaval.com/en-cl/cooling--c007/t5-bfg-50--1263154-> (pristupljeno 2.1.2022.)
- [15] <https://www.centrometal.hr/portfolio/cas/> (pristupljeno 3.1.2022.)
- [16] <https://hit.sbt.siemens.com/RWD/app.aspx?RC=HQEU&lang=en&MODULE=Catalog&ACTION=ShowProduct&KEY=S55561-F194> (pristupljeno 3.1.2022.)
- [17] <http://www.bycs.com.tw/wp-content/uploads/2018/11/VXG41...pdf> (pristupljeno 3.1.2022.)
- [18] <https://product-selection.grundfos.com/hr/products/magna/magna1/magna1-25-40-99224453?pumpsystemid=1465518992&tab=variant-specifications> (pristupljeno 3.1.2022.)

-
- [19] <https://product-selection.grundfos.com/hr/products/alpha/alpha1-l/alpha1-l-25-40-180-99160579?pumpsystemid=1465692973&tab=variant-sizing-results> (pristupljeno 4.1.2022.)
- [20] <https://product-selection.grundfos.com/hr/products/alpha/alpha1-l/alpha1-l-25-60-180-99160584?pumpsystemid=1465698696&tab=variant-sizing-results> (pristupljeno 4.1.2022.)
- [21] <https://product-selection.grundfos.com/hr/products/alpha/alpha2/alpha2-25-40-180-99411165?pumpsystemid=1465720771&tab=variant-sizing-results> (pristupljeno 4.1.2022.)
- [22] <https://product-selection.grundfos.com/hr/products/alpha/alpha2-l/alpha2-l-25-40-180-95047562?pumpsystemid=1465793690&tab=variant-sizing-results> (pristupljeno 4.1.2022.)
- [23] https://www.varem.com/pg.asp?cd=1010&cd_pag=784&lk=745&mnpath=/0/745/768/784/&&lingua=02 (pristupljeno 4.1.2022.)
- [24] https://computherm.info/en/mechanical_and_tube_thermostats/computherm_wpr-100gd (pristupljeno 5.1.2022.)
- [25] <https://hit.sbt.siemens.com/RWD/app.aspx?RC=HQUEU&lang=en&MODULE=Catalog&ACTION=ShowProduct&KEY=BPZ%3aQAC22> (pristupljeno 5.1.2022.)

PRILOZI

- I. CD-R disc
- II. Dimenzioniranje ventilacijskih kanala i proračun kritičnih dionica
- III. Tehnička dokumentacija

PRILOG II – DIMENZIONIRANJE VENTILACIJSKIH KANALA I PRORAČUN KRITIČNIH DIONICA

U Tablicama 13.-20., dani su rezultati proračuna projektiranja ventilacijskih kanala. Proračuni su rađeni u programu *Microsoft Excel*.

Grafički prikazi numeriranja pojedinih dionica kanala, dani su u Crtežima 1 i 2.

Tablica 30. Dimenzioniranje usisnog kanala – kafić

Dionica	q_{vz} , [m ³ /s]	a, [mm]	b, [mm]	d, [mm]	d_{ekv} , [mm]	v, [m/s]	R, [Pa/m]
1	0,45	-	-	315	315	5,7	0,9

Tablica 31. Dimenzioniranje dobavnih kanala – kafić

Dionica	q_{vz} , [m ³ /s]	a, [mm]	b, [mm]	d, [mm]	d_{ekv} , [mm]	v, [m/s]	R, [Pa/m]
prizemlje							
1	0,45	-	-	315	315	5,7	0,9
2	0,17	-	-	280	280	2,7	0,25
3	0,06	-	-	160	160	2,8	0,6
4	0,11	-	-	224	224	2,8	0,4
5	0,06	-	-	160	160	2,8	0,6
6	0,06	-	-	160	160	2,8	0,6
7	0,06	-	-	160	160	2,8	0,6
8	0,28	-	-	315	315	3,6	0,5
9	0,06	-	-	160	160	2,8	0,6
10	0,22	-	-	315	315	2,9	0,3
11	0,22	300	200	-	266,4	4	0,9
Iz prizemlja u podrum							
12	0,22	300	200	-	266,4	4	0,9
Podrum							
13	0,22	300	200	-	266,4	4	0,9
14	0,17	300	200	-	266,4	3	0,4

15	0,06	-	-	160	160	2,8	0,6
16	0,11	250	200	-	244,1	2,4	0,3
17	0,06	-	-	160	160	2,8	0,6
18	0,06	200	200	-	218,6	1,5	0,2
19	0,06	-	-	160	160	2,8	0,6
20	0,06	200	200	-	218,6	1,5	0,2
21	0,06	-	-	160	160	2,8	0,6

Tablica 32. Dimenzioniranje povratnih kanala – kafić

Dionica	q_{vz} , [m ³ /s]	a, [mm]	b, [mm]	d, [mm]	d_{ekv} , [mm]	v, [m/s]	R, [Pa/m]
prizemlje							
1	0,45	-	-	315	315	5,7	0,9
2	0,45	-	-	400	400	3,5	0,4
3	0,17	-	-	280	280	2,7	0,3
4	0,11	-	-	224	224	2,8	0,4
5	0,06	-	-	160	160	2,8	0,6
6	0,28	-	-	355	355	2,8	0,25
7	0,22	300	200	-	266,4	4	0,7
Iz prizemlja u podrum							
8	0,22	300	200	-	266,4	4	0,7
Podrum							
9	0,22	300	200	-	266,4	4	0,7
10	0,17	300	200	-	266,4	3	0,35
11	0,11	250	200	-	244,1	2,4	0,3
12	0,06	200	200	-	218,6	1,5	0,2

Tablica 33. Dimenzioniranje ispušnog kanala – kafić

Dionica	q_{vz} , [m ³ /s]	a, [mm]	b, [mm]	d, [mm]	d_{ekv} , [mm]	v, [m/s]	R, [Pa/m]
1	0,45	-	-	315	315	5,7	0,9

Tablica 34. Dimenzioniranje usisnog kanala – ured

Dionica	q_{vz} , [m ³ /s]	a, [mm]	b, [mm]	d, [mm]	d_{ekv} , [mm]	v, [m/s]	R, [Pa/m]
1	0,19	-	-	250	250	4	0,6

Tablica 35. Dimenzioniranje dobavnih kanala – ured

Dionica	q_{vz} , [m ³ /s]	a, [mm]	b, [mm]	d, [mm]	d_{ekv} , [mm]	v, [m/s]	R, [Pa/m]
prizemlje							
1	0,19	-	-	250	250	4	0,6
2	0,19	-	-	315	315	2,5	0,6
3	0,19	-	-	250	250	4	0,6
4	0,08	-	-	200	200	2,7	0,45
5	0,03	-	-	160	160	1,4	0,2
6	0,06	-	-	160	160	1,4	0,2
7	0,03	-	-	160	160	1,4	0,2
8	0,03	-	-	125	125	2,3	0,4
9	0,03	-	-	160	160	1,4	0,2
10	0,11	-	-	250	250	2,3	0,25
11	0,03	-	-	160	160	1,4	0,2
12	0,08	-	-	200	200	2,7	0,35
Iz prizemlja u podrum							
13	0,08	-	-	200	200	2,7	0,35
Podrum							
14	0,08	-	-	200	200	2,7	0,35
15	0,03	-	-	160	160	1,4	0,2
16	0,06	-	-	160	160	1,4	0,2
17	0,03	-	-	160	160	1,4	0,2
18	0,03	-	-	125	125	2,3	0,4
19	0,03	-	-	160	160	1,4	0,2

Tablica 36. Dimenzioniranje povratnih kanala – ured

Dionica	q_{vz} , [m ³ /s]	a, [mm]	b, [mm]	d, [mm]	d_{ekv} , [mm]	v, [m/s]	R, [Pa/m]
prizemlje							
1	0,19	-	-	250	250	4	0,6
2	0,19	-	-	315	315	2,5	0,6
3	0,19	-	-	250	250	4	0,6
4	0,08	-	-	200	200	2,7	0,45
5	0,06	-	-	160	160	1,4	0,2
6	0,03	-	-	125	125	2,3	0,4
7	0,11	-	-	250	250	2,3	0,25
8	0,08	-	-	200	200	2,7	0,35
Iz prizemlja u podrum							
9	0,08	-	-	200	200	2,7	0,35
Podrum							
10	0,08	-	-	200	200	2,7	0,35
11	0,06	-	-	160	160	1,4	0,2
12	0,03	-	-	125	125	2,3	0,4

Tablica 37. Dimenzioniranje ispušnog kanala – ured

Dionica	q_{vz} , [m ³ /s]	a, [mm]	b, [mm]	d, [mm]	d_{ekv} , [mm]	v, [m/s]	R, [Pa/m]
1	0,19	-	-	250	250	4	0,6

Nakon određivanja dimenzija ventilacijskih kanala za pojedine dionice, pristupilo se proračunu kritične dionice pojedinog kanala. Kritična dionica je ona kod koje, gledano od ulaza zraka izvana, do njegovog ubacivanja u prostor, postoji najveći pad tlaka.

U Tablicama 21.-24., dani su rezultati proračuna kritičnih dionica, izračunati u programu *Microsoft Excel*.

Tablica 38. Kritična dionica dobavnog kanala – kafić

Dionica	L	q_{vz}	a	b	d	d_{ekv}	v	R	$\Sigma\zeta$	p_{din}	Z	R·L + Z
-	[m]	[m ³ /s]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[m/s]	[Pa/m]	[-]	[Pa]	[Pa]	[Pa]

Usisni kanal												
1	0,3	0,45	-	-	315	315	5,7	0,9	0,2	19,5	3,9	4,2
Dobavni kanal - prizemlje												
1	0,5	0,45	-	-	315	315	5,7	0,9	2	19,5	39	39,4
8	0,5	0,28	-	-	315	315	3,6	0,5	2	7,6	15,2	15,5
10	0,2	0,22	-	-	315	315	2,9	0,3	0	4,9	0	0,1
11	0,9	0,22	300	200	-	266,4	4	0,9	0,1	9,5	1	1,8
Iz prizemlja u podrum												
12	3	0,22	300	200	-	266,4	4	0,9	0,4	9,5	3,8	6,5
Podrum												
13	1,7	0,22	300	200	-	266,4	4	0,9	2	9,5	19,1	20,6
14	1,8	0,17	300	200	-	266,4	3	0,4	0,5	5,4	2,7	3,2
16	2,9	0,11	250	200	-	244,1	2,4	0,3	0,5	3,4	1,7	2,6
18	3,3	0,06	200	200	-	218,6	1,5	0,2	0,5	1,3	0,7	1,3
19	0,4	0,06	-	-	160	160	2,8	0,6	0,2	4,6	0,9	1,2
												=96,4
Pad tlaka na vanjskoj rešetci (*)												40
Pad tlaka na grijaču/hladnjaku (**)												59
Pad tlaka na distributeru (***)												33
UKUPNO												=228,4

(*) – podatak očitao u [10]

(**) – podatak očitao u [8]

(***) – podatak očitao u [9]

Tablica 39. Kritična dionica povratnog kanala – kafić

Dionica	L	q_{vz}	a	b	d	d_{ekv}	v	R	$\Sigma\zeta$	p_{din}	Z	R·L + Z
-	[m]	[m ³ /s]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[m/s]	[Pa/m]	[-]	[Pa]	[Pa]	[Pa]
Ispušni kanal												
1	0,3	0,45	-	-	315	315	5,7	0,9	0,2	19,5	3,9	4,2

Povratni kanal - prizemlje												
1	0,8	0,45	-	-	315	315	5,7	0,9	0,5	19,5	9,8	10,5
2	1,5	0,45	-	-	400	400	3,5	0,4	2	7,5	15	15,6
6	0,9	0,28	-	-	355	355	2,8	0,25	0,5	4,7	2,4	2,6
7	1,3	0,22	300	200	-	266,4	4	0,7	0,1	9,5	1	1,9
Iz prizemlja u podrum												
8	3	0,22	300	200	-	266,4	4	0,7	0,4	9,5	3,8	5,9
Podrum												
9	1,6	0,22	300	200	-	266,4	4	0,7	0,2	9,5	1,9	3
10	3,2	0,17	300	200	-	266,4	3	0,35	0	5,4	0	1,1
11	3,3	0,11	250	200	-	244,1	2,4	0,3	0,9	2,4	2,1	3
12	3,3	0,06	200	200	-	218,6	1,5	0,2	0,5	1,3	0,7	2
												=49,8
Pad tlaka na vanjskoj rešetci (*)												40
Pad tlaka na odsisnoj rešetci (*)												20
UKUPNO												=109,8

(*) – podatak očitao u [10]

Tablica 40. Kritična dionica dobavnog kanala – ured

Dionica	L	q_{vz}	a	b	d	d_{ekv}	v	R	$\Sigma\zeta$	p_{din}	Z	R·L + Z
-	[m]	[m ³ /s]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[m/s]	[Pa/m]	[-]	[Pa]	[Pa]	[Pa]
Usisni kanal												
1	0,3	0,45	-	-	250	250	4	0,6	0,2	9,4	1,9	2,1
Dobavni kanal - prizemlje												
2	0,3	0,19	-	-	250	250	4	0,6	0,5	6,4	3,2	3,4
8	0,7	0,19	-	-	315	315	2,5	0,6	0,2	3,7	0,7	1,2
10	0,5	0,19	-	-	250	250	4	0,6	2	9,4	18,8	19,2
11	1,2	0,11	-	-	250	250	2,3	0,25	0	3,1	0	0,3
	0,9	0,08	-	-	200	200	2,7	0,35	0,5	4,2	2,1	2,4

Iz prizemlja u podrum												
12	3	0,08	-	-	200	200	2,7	0,35	0,4	4,2	1,7	2,7
Podrum												
13	1	0,08	-	-	200	200	2,7	0,35	0,4	4,2	1,7	2,1
14	3,2	0,06	-	-	160	160	1,4	0,2	0,5	4,6	2,3	4,2
16	3,2	0,03	-	-	125	125	2,3	0,4	0,5	3,1	1,5	2,8
18	0,3	0,03	-	-	160	160	1,4	0,2	1	4,6	4,6	4,6
												=45
Pad tlaka na vanjskoj rešetci (*)												40
Pad tlaka na grijaču/hladnjaku (**)												13
Pad tlaka na distributeru (***)												8
UKUPNO												=106

(*) – podatak očitao u [10]

(**) – podatak očitao u [8]

(***) – podatak očitao u [9]

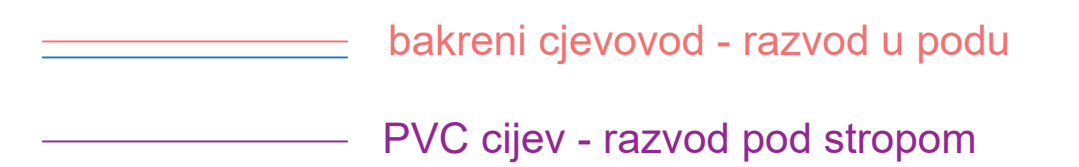
Tablica 41. Kritična dionica povratnog kanala – ured

Dionica	L	q_{vz}	a	b	d	d_{ekv}	v	R	$\Sigma\zeta$	p_{din}	Z	R·L + Z
-	[m]	[m ³ /s]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[m/s]	[Pa/m]	[-]	[Pa]	[Pa]	[Pa]
Ispušni kanal												
1	0,3	0,45	-	-	250	250	4	0,6	0,2	9,4	1,9	2,1
Povratni kanal - prizemlje												
1	0,3	0,19	-	-	250	250	4	0,6	0,5	6,4	3,2	3,4
2	1,3	0,19	-	-	315	315	2,5	0,6	0,5	3,7	1,9	2,6
3	0,5	0,19	-	-	250	250	4	0,6	2	9,4	18,8	19,2
7	2,9	0,11	-	-	250	250	2,3	0,25	0,5	3,1	1,5	2,4
8	0,6	0,08	-	-	200	200	2,7	0,35	0	4,2	0	0,3
Iz prizemlja u podrum												
9	3	0,08	-	-	200	200	2,7	0,35	0,4	4,2	1,7	3

Podrum												
10	1	0,08	-	-	200	200	2,7	0,35	0,5	4,2	2,1	2,6
11	3,2	0,06	-	-	160	160	1,4	0,2	0,5	4,6	2,3	4,2
12	2,9	0,03	-	-	125	125	2,3	0,4	0	3,1	0	1,2
												=41
Pad tlaka na vanjskoj rešetci (*)												40
Pad tlaka na odsisnoj rešetci (*)												20
UKUPNO												=101

(*) – podatak očitao u [10]

PRILOG III – TEHNIČKI CRTEŽI



Datum		Ime i prezime		Potpis		 FSB Zagreb Studij strojarstva	
Projektirao		ANTUN JUKIĆ					
Razradio		ANTUN JUKIĆ					
Crtao		ANTUN JUKIĆ					
Pregledao		PROF. IGOR BALEN					
Mentor		PROF. IGOR BALEN					
Objekt: POSLOVNO-STAMBENA ZGRADA				Objekt broj:			
				R. N. broj:			
Napomena:				Smjer:		Kopija	
				Procesno-energetski			
Materijal:		Masa:		DIPLOMSKI RAD			
 		Naziv:				Pozicija:	
		TLOCRT 1. KATA - GRIJANJE I VENTILACIJA					
Mjerilo originala						Format: A2	
1:50						Listova: 1	
		Crtež broj: AJ-2021-031				List: 1	

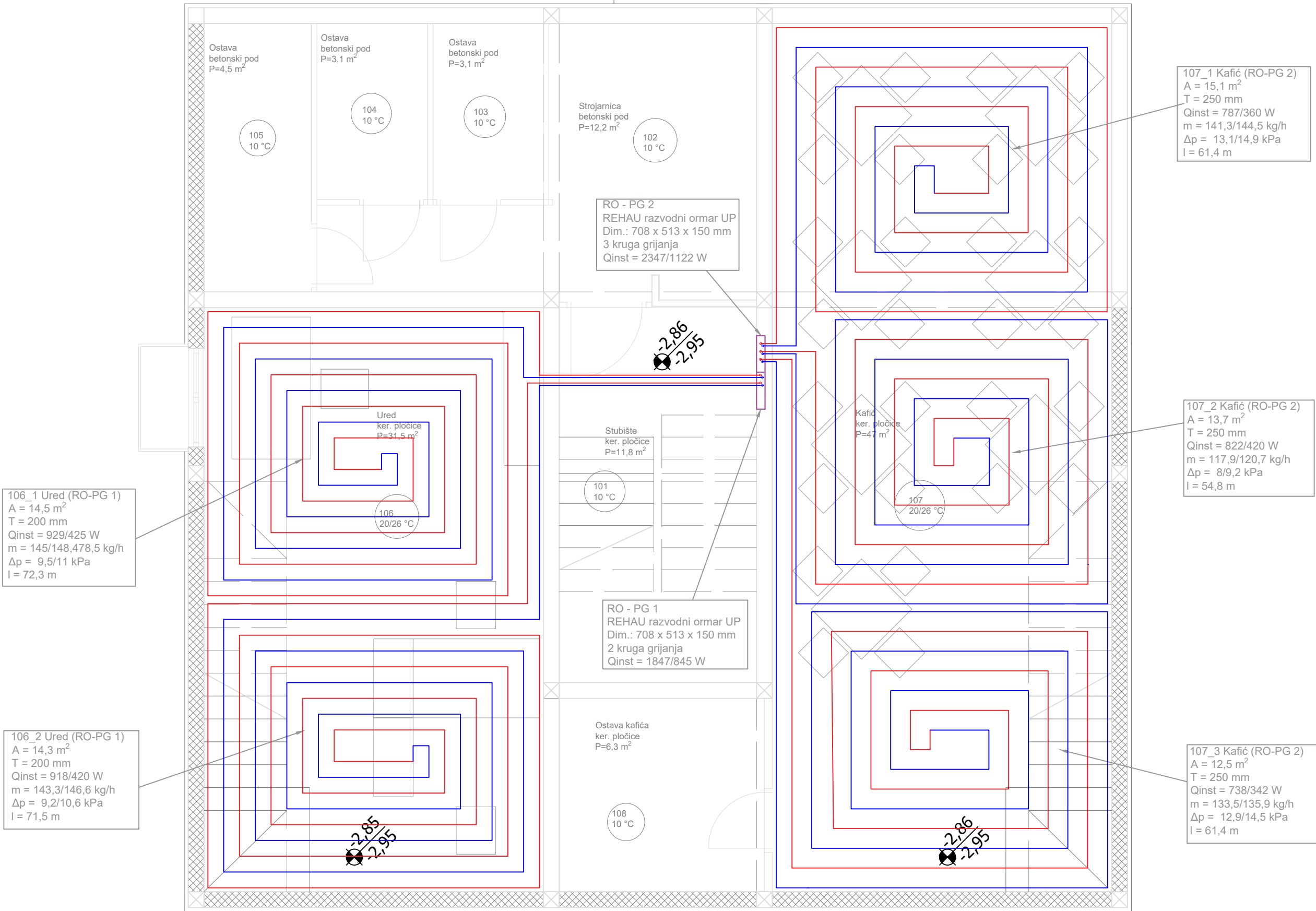
Projektni toplinski gubici/dobici pojedinih prostorija:

106 - Ured; Qgr/Qhl = 1370/1710 W
107 - Kafić; Qgr/Qhl = 1992/1768 W

PeX Ø17x2 mm cijevi podnog grijanja

Temperaturni režimi:

Grijanje: 38/32 °C
Hlađenje: 18/21 °C



Napomena:

- A - površina pojedinog kruga podnog grijanja, [m²]
- T - razmak između cijevi podnog grijanja, [mm]
- Qinst - instalirani ogrjevn/rashladni učin pojedinog kruga podnog grijanja, [W]
- m - maseni protok pojedinog kruga podnog grijanja, [kg/h]
- Δp - pad tlaka pojedinog kruga podnog grijanja, [kPa]
- L - duljina cijevi pojedinog kruga podnog grijanja, [m]

Projektirao	Datum	Ime i prezime	Potpis	
Razradio		ANTUN JUKIĆ		
Crtao		ANTUN JUKIĆ		
Pregledao		PROF. IGOR BALEN		
Objekt: POSLOVNO-STAMBENA ZGRADA			Objekt broj:	
			R. N. broj:	
Napomena:				Kopija
Materijal:		Masa:		
	Naziv: TLOCRT PODRUMA - PODNO GRIJANJE		Pozicija:	Format: A2
Mjerilo originala				Listova: 1
1:50	Crtež broj: AJ-2021-04			List: 1

Projektni toplinski gubici/dobici pojedinih prostorija:

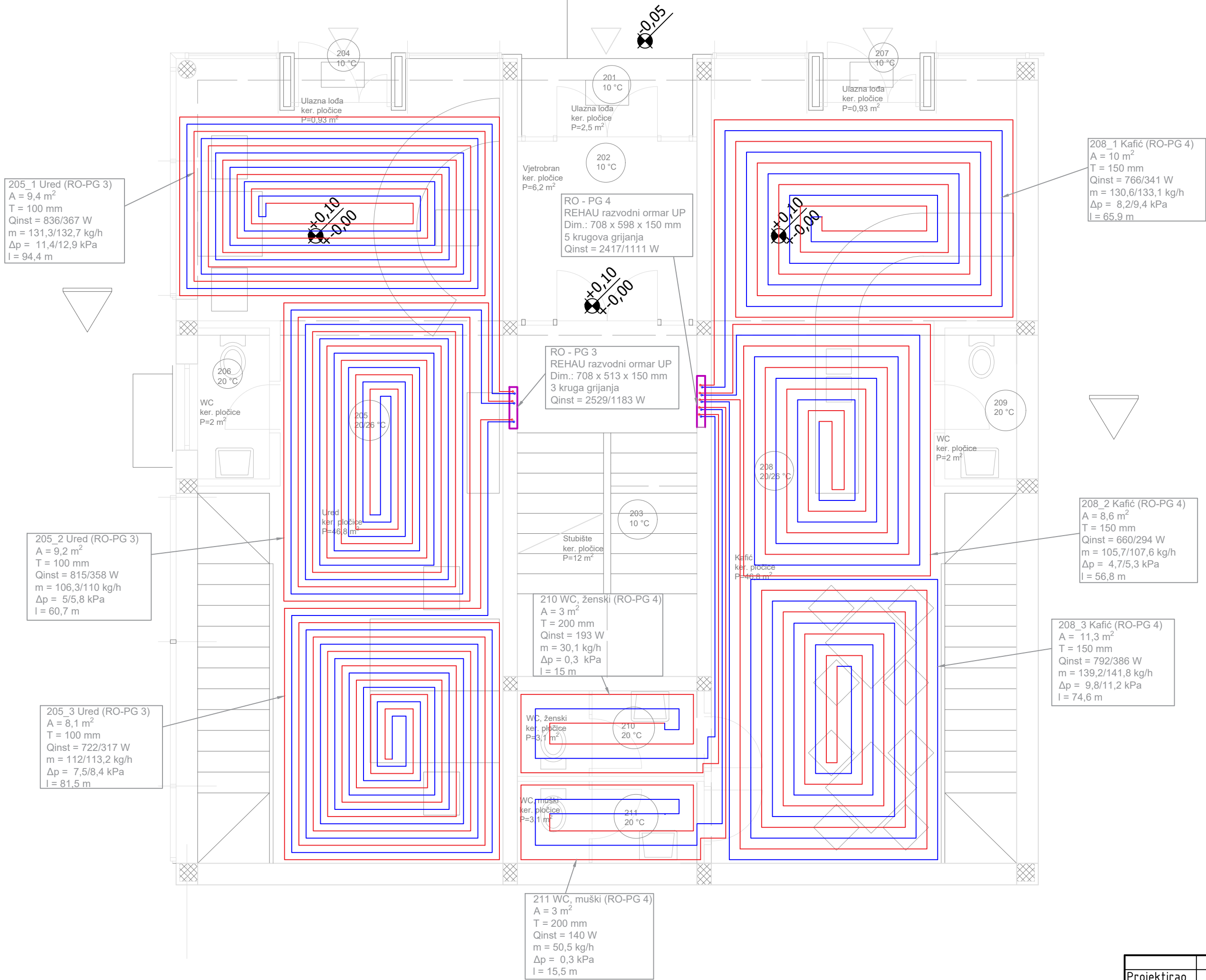
205 - Ured; Qgr/Qhl = 2440/2950 W
208 - Kafić; Qgr/Qhl = 2267/2473 W
210 - WC, ženski; Qgr/Qhl = 202/0 W
211 - WC, muški; Qgr/Qhl = 193/0 W

PeX Ø17x2 mm cijevi podnog grijanja

Temperaturni režimi:

Grijanje: 38/32 °C

Hlađenje: 18/21 °C



Napomena:

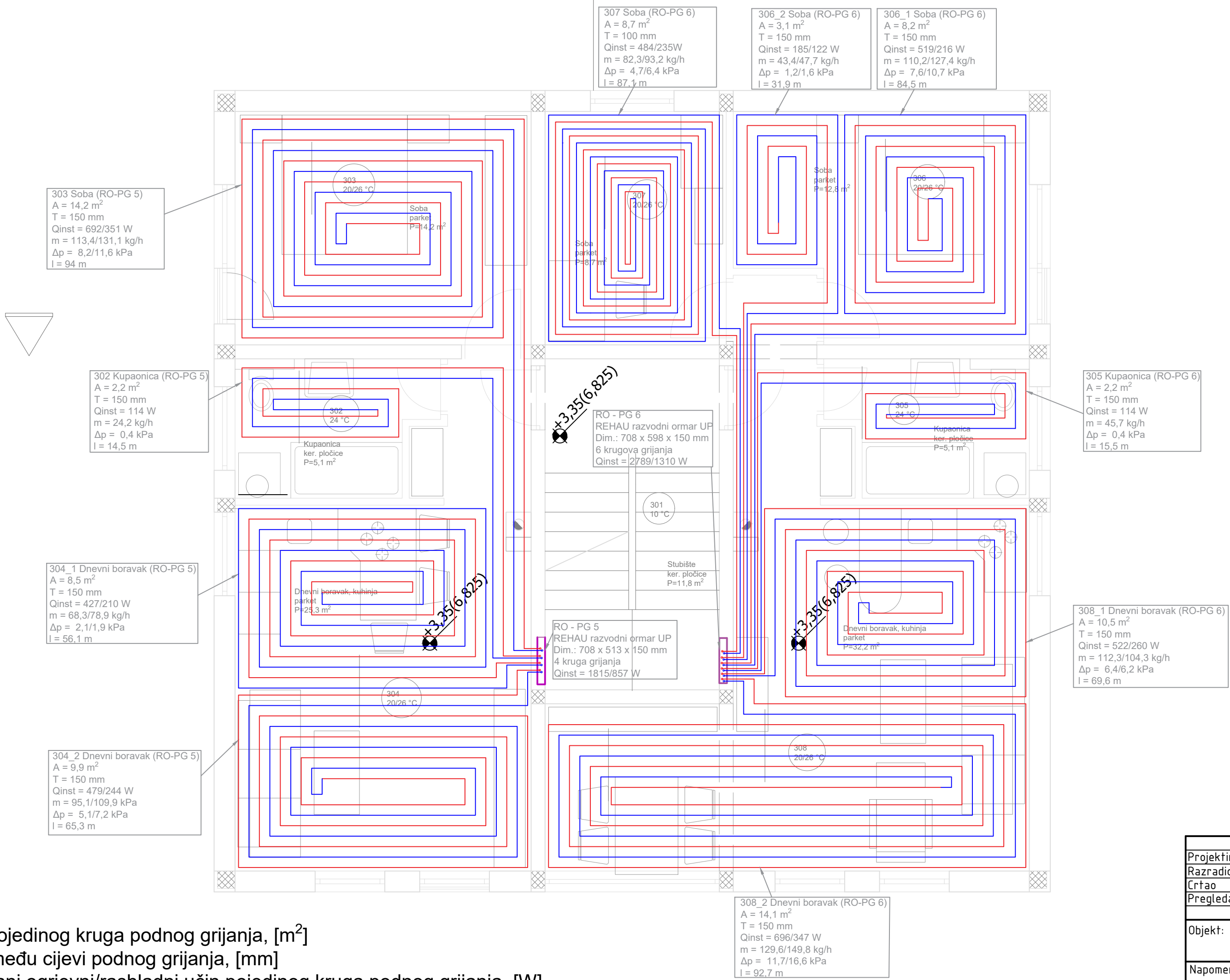
- A - površina pojedinog kruga podnog grijanja, [m²]
T - razmak između cijevi podnog grijanja, [mm]
Qinst - instalirani ogrjevn/rashladni učin pojedinog kruga podnog grijanja, [W]
m - maseni protok pojedinog kruga podnog grijanja, [kg/h]
Δp - pad tlaka pojedinog kruga podnog grijanja, [kPa]
L - duljina cijevi pojedinog kruga podnog grijanja, [m]

Projektirao	Datum	Ime i prezime	Potpis	
Razradio		ANTUN JUKIĆ		
Crtao		ANTUN JUKIĆ		
Pregledao		PROF. IGOR BALEN		
Objekt: POSLOVNO-STAMBENA ZGRADA			Objekt broj:	
Napomena:			R. N. broj:	
Materijal:			Masa:	
Naziv: TLOCRT PRIZEMLJA - PODNO GRIJANJE			Pozicija:	Kopija
Mjerilo originala 1:50			Format: A2	
Crtež broj: AJ-2021-05			Listova: 1	
			List: 1	

302 - Kupaonica; Qgr/Qhl = 252/0 W
303 - Soba; Qgr/Qhl = 624/370 W
304 - Dnevni boravak; Qgr/Qhl = 1034/522 W
305 - Kupaonica; Qgr/Qhl = 272/0 W
306 - Soba; Qgr/Qhl = 565/221 W
307 - Soba; Qgr/Qhl = 396/241 W
308 - Dnevni boravak; Qgr/Qhl = 1362/767 W

Temperaturni režimi:

Grijanje: 38/32 °C
Hlađenje: 18/21 °C



A - površina pojedinog kruga podnog grijanja, [m²]
T - razmak između cijevi podnog grijanja, [mm]
Q_{inst} - instalirani ogrjevn/rashladni učin pojedinog kruga podnog grijanja, [W]
m - maseni protok pojedinog kruga podnog grijanja, [kg/h]
Δp - pad tlaka pojedinog kruga podnog grijanja, [kPa]
L - duljina cijevi pojedinog kruga podnog grijanja, [m]

	Datum	Ime i prezime	Potpis	 FSB Zagreb
Projektirao		ANTUN JUKIĆ		
Razradio		ANTUN JUKIĆ		
Crtao		ANTUN JUKIĆ		
Pregledao		PROF. IGOR BALEN		
		PROF. IGOR BALEN		
Objekt: POSLOVNO-STAMBENA ZGRADA			Objekt broj:	
			R. N. broj:	
Napomena:				Kopija
Materijal:		Masa:		
 	Naziv:		Polozicija:	Format: A2
	TLOCRT 1. KATA - PODNO GRIJANJE			Listova: 1
	Mjerilo originala			
1:50		Crtež broj: AJ-2021-061		List: 1

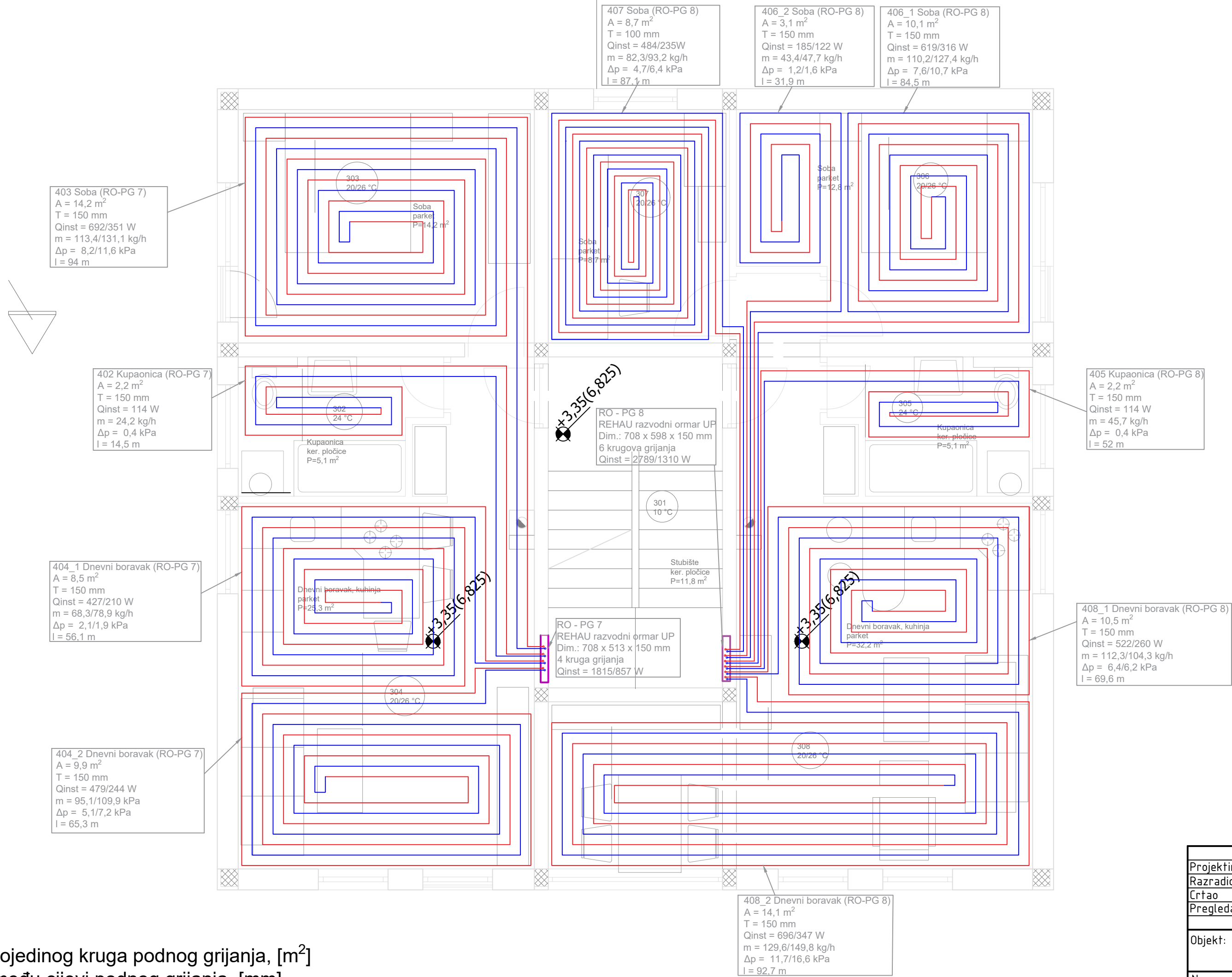
Projektni toplinski gubici/dobici pojedinih prostorija:

- 402 - Kupaonica; Qgr/Qhl = 276/0 W
403 - Soba; Qgr/Qhl = 634/373 W
404 - Dnevni boravak; Qgr/Qhl = 1030/536 W
405 - Kupaonica; Qgr/Qhl = 276/0 W
406 - Soba; Qgr/Qhl = 571/300 W
407 - Soba; Qgr/Qhl = 412/220 W
408 - Dnevni boravak; Qgr/Qhl = 1384/765 W

PeX Ø17x2 mm cijevi podnog grijanja

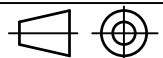
Temperaturni režimi:

Grijanje: 38/32 °C
Hlađenje: 18/21 °C



Napomena:

- A - površina pojedinog kruga podnog grijanja, [m²]
T - razmak između cijevi podnog grijanja, [mm]
Qinst - instalirani ogrjevni/rashladni učin pojedinog kruga podnog grijanja, [W]
m - maseni protok pojedinog kruga podnog grijanja, [kg/h]
Δp - pad tlaka pojedinog kruga podnog grijanja, [kPa]
L - duljina cijevi pojedinog kruga podnog grijanja, [m]

	Datum	Ime i prezime	Potpis	 FSB Zagreb
Projektirao		ANTUN JUKIĆ		
Razradio		ANTUN JUKIĆ		
Crtao		ANTUN JUKIĆ		
Pregledao		PROF. IGOR BALEN		
		PROF. IGOR BALEN		
Objekt: POSLOVNO-STAMBENA ZGRADA			Objekt broj:	
			R. N. broj:	
Napomena:				Kopija
Materijal:		Masa:		
	Naziv:		Pozicija:	Format: A2
Mjerilo originala		TLOCRT 2. KATA - PODNO GRIJANJE		Listova: 1
1:50		Crtež broj: AJ-2021-062		List: 1

