

Projekt sustava grijanja, hlađenja i ventilacije slastičarnice

Rudman, Viktorija

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:235:719329>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-11-18**

Repository / Repozitorij:

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



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJASRTVA I BRODOGRADNJE

DIPLOMSKI RAD

Viktorija Rudman

Zagreb, 2022.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJASRTVA I BRODOGRADNJE

DIPLOMSKI RAD

Mentor:

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

Student:

Viktorija Rudman

Zagreb, 2022.

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

Zahvaljujem se mentoru prof. dr. sc. Igoru Balenu na svojoj pomoći, savjetima, strpljenju te odvojenom vremenu pri izradi ovog diplomskog rada.

Veliko hvala dragim kolegama i kolegicama s fakulteta koji su mi uljepšali vrijeme studiranja, prirasli srcu i uvijek izmamili osmijeh na lice.

Najveće zahvale mojoj obitelji, bliskim prijateljima, baki koji je uvijek našla način da mi pomogne te mom Karlu koji je bezuvjetno vjerovao u mene.

Za kraj, posebno se zahvaljujem svojoj mami koja mi je od početka bila najveći oslonac. Hvala ti što si me bodrila u svakom trenutku i nisi mi dala da odustanem kad je bilo najteže.

Veliko hvala SVIMA.

Viktorija Rudman



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 brodstrojarski

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

DIPLOMSKI ZADATAK

Student: **Viktorija Rudman** JMBAG: 0035210685

Naslov rada na hrvatskom jeziku: **Projekt sustava grijanja, hlađenja i ventilacije slastičarnice**

Naslov rada na engleskom jeziku: **Design of heating, cooling and ventilation system for the pastry shop**

Opis zadatka:

U ovom radu, potrebno je izraditi projekt sustava grijanja, hlađenja i ventilacije zgrade slastičarnice, površine 85 m² na jednoj etaži (Pr), prema zadanoj arhitektonskoj podlozi. Tehničko rješenje predvidjeti u izvedbi sustava s dizalicom topline zrak – zrak s neposrednim protokom radne tvari. U prostoru treba osigurati odgovarajuće mikroklimatske uvjete s regulacijom temperature i odgovarajućom kvalitetom zraka tijekom cijele godine, sukladno preporukama za tu vrstu prostora. Prisilnu ventilaciju osigurati upotrebom odgovarajuće opreme s promjenjivim protokom zraka i s povratom topline iz istrošenog zraka. Tehničko rješenje treba obuhvatiti opremu za grijanje i hlađenje, ventilacijsku opremu te opremu za razvod radne tvari, razvod zraka i difuziju zraka. Zgrada se nalazi na području grada Zagreba.

Na raspolaganju su energetske izvori:

- elektro-priključak 220/380V; 50Hz
- vodovodni priključak tlaka 5 bar

Rad treba sadržavati:

- analizu sustava grijanja, hlađenja i ventilacije s neposrednim protokom radne tvari,
- toplinsku bilancu za zimsko razdoblje,
- količinsku bilancu ventilacijskog sustava,
- tehničko ekonomsku usporedbu najmanje dva tehnička rješenja sustava s neposrednim protokom radne tvari,
- tehničke proračune koji definiraju izbor opreme,
- tehnički opis funkcije sustava,
- godišnju potrebnu energiju za grijanje i hlađenje zgrade,
- godišnju isporučenu energiju i primarnu energiju za zgradu,
- funkcionalnu shemu spajanja i automatske regulacije,
- crteže kojima se definira montaža i raspored opreme.

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

Zadatak zadan:

29. rujna 2022.

Datum predaje rada:

1. prosinca 2022.

Predviđeni datumi obrane:

12. – 16. prosinca 2022.

Zadatak zadao:

Prof. dr. sc. Igor Balen

Predsjednik Povjerenstva:

Prof. dr. sc. Tanja Jurčević Lulić

SADRŽAJ

| | |
|---|------|
| POPIS SLIKA | I |
| POPIS TABLICA..... | II |
| POPIS TEHNIČKE DOKUMENTACIJE | II |
| POPIS OZNAKA | IV |
| SAŽETAK..... | VII |
| SUMMARY | VIII |
| 1. UVOD | 1 |
| 1.1. Toplinska ugodnost..... | 1 |
| 1.2. Dizalica topline za grijanje i hlađenje | 2 |
| 1.3. Ventilacijski zahtjev | 4 |
| 1.4. Postupak projektiranja sustava grijanja, hlađenja i ventilacije..... | 5 |
| 2. OPIS I PROJEKTNİ PODACI ZGRADE | 6 |
| 3. PRORAČUNI..... | 9 |
| 3.1. Toplinska bilanca za zimsko razdoblje..... | 9 |
| 3.2. Toplinska bilanca za ljetno razdoblje | 11 |
| 3.3. Ventilacijski zahtjev | 14 |
| 3.4. Dimenzioniranje kanala..... | 14 |
| 3.4. Godišnja potrebna energija za grijanje i hlađenje | 16 |
| 4. ODABIR TERMOTEHNIČKOG SUSTAVA..... | 20 |
| 4.1. Dizalica topline..... | 20 |
| 4.2. Sustav mehaničke ventilacije..... | 23 |
| 4.2.1. Ventilacijski kanali..... | 23 |
| 4.2.2. Difuzori zraka..... | 24 |
| 4.2.3. Jedinica za ventilaciju | 25 |
| 4.2.4. Regulacija i upravljanje..... | 31 |
| 5. TEHNIČKO – EKONOMSKA USPOREDBA DVA TERMOTEHNIČKA SUSTAVA 35 | |
| 5.1. Odabir usporednog termotehničkog sustava..... | 35 |
| 5.1.1. Sustav mehaničke ventilacije s rekuperacijom topline..... | 35 |
| 5.1.2. VRF sustav za grijanje i hlađenje..... | 41 |
| 5.2. Tehničko – ekonomska usporedba | 44 |
| 5.2.1. Usporedba cijena sustava | 44 |
| 5.2.2. Usporedba godišnje isporučene energije..... | 46 |
| 6. ZAKLJUČAK | 56 |

| | |
|---|----|
| 7. LITERATURA..... | 57 |
| PRILOG I – Proračun sustava grijanja i hlađenja | 58 |
| PRILOG II – Nacrti..... | 62 |

POPIS SLIKA

| | | |
|-----------|--|----|
| Slika 1. | Međusobna zavisnost PMV i PPD indeksa [1] | 2 |
| Slika 2. | Usporedba mono (lijevo) i multi – split uređaja (desno) [2]..... | 3 |
| Slika 3. | Kvalitativan prikaz usporedbe posrednog (lijevo) i neposrednog (desno) procesa hlađenja [1]..... | 3 |
| Slika 4. | Prikaz katastarske čestice [5] | 6 |
| Slika 5. | Tlocrt slastičarnice | 7 |
| Slika 6. | Koeficijenti prolaza topline [7] | 9 |
| Slika 7. | Toplinski gubici zgrade [7] | 10 |
| Slika 8. | Stupanj propuštanja sunčeve energije kroz ostakljenje kod okomitog upada zračenja [10]..... | 13 |
| Slika 9. | Faktor umanjenja naprave za zaštitu od sunčeva zračenja [10]..... | 13 |
| Slika 10. | Toplinski dobici prostora [7] | 14 |
| Slika 11. | Unos podataka o građevnim dijelovima u računalni program KI – Expert [11].... | 17 |
| Slika 12. | Unos podataka o otvorima u računalni program KI – Expert [11] | 17 |
| Slika 13. | Proračun transmisijskih gubitaka u računalnom programu KI-Expert [11]..... | 18 |
| Slika 14. | Grafički prikaz dobivenih potrebnih energija za grijanje i hlađenje po mjesecima... .. | 19 |
| Slika 15. | Dizalica topline RZASG125 [12] | 21 |
| Slika 16. | Shema izmjenjivača topline u režimu hlađenja [12]..... | 21 |
| Slika 17. | Unutarnja jedinica dizalice topline FFA50 [12] | 22 |
| Slika 18. | Shema kritične dionice ventilacijskog razvoda kanala | 23 |
| Slika 19. | Stropni difuzor za dobavu i odsis zraka DEK-K-600 [13]..... | 24 |
| Slika 20. | Prikaz predviđene stropne rasvjete i ukrasa u slastičarnici..... | 25 |
| Slika 21. | Ventilacijska jedinica s rekuperacijom topline VAM [12] | 25 |
| Slika 22. | Električni grijač za VAM [12] | 26 |
| Slika 23. | Protukišna rešetka [17] | 27 |
| Slika 24. | Proces rekuperacije topline i dogrijavanja u ventilacijskoj jedinici VAM [16] | 29 |
| Slika 25. | Prikaz procesa rekuperacije topline u slučaju hlađenja u ventilacijskoj..... | 30 |
| Slika 26. | Zidni upravljač Madoka i izgled aplikacije na mobilnom uređaju [12]..... | 32 |
| Slika 27. | Zidni upravljač za jedinicu VAM [12]..... | 33 |
| Slika 28. | CO ₂ senzor [12]..... | 33 |
| Slika 29. | Primjer regulacije ventilacije korištenjem CO ₂ senzora [12]..... | 34 |
| Slika 30. | Dvije VKM ventilacijske jedinice spojene za montažu [12] | 36 |
| Slika 31. | Prikaz procesa rekuperacije topline i dogrijavanja u VKM jedinici [16] | 39 |
| Slika 32. | Prikaz procesa rekuperacije topline i hlađenja u jedinici VKM [16]..... | 41 |
| Slika 33. | Vanjska jedinica VRV sustava RXYSCQ6 [12]..... | 43 |
| Slika 34. | Unutarnja jedinica VRV sustava FXZQ50 [12]..... | 43 |
| Slika 35. | Dijagram ovisnosti COP-a o vanjskoj temperaturi zraka za multi – split sustav... .. | 46 |
| Slika 36. | Dijagram ovisnosti EER-a o vanjskoj temperaturi zraka..... | 47 |
| Slika 37. | Dijagram ovisnosti COP-a o vanjskoj temperaturi zraka za VRV sustav..... | 50 |
| Slika 38. | Dijagram ovisnosti EER-a o vanjskoj temperaturi zraka..... | 51 |

POPIS TABLICA

| | | |
|-------------|---|----|
| Tablica 1. | Definirani protoci zraka po osobi [4] | 4 |
| Tablica 2. | Definirani protoci zraka po jedinici prostora [4]..... | 5 |
| Tablica 3. | Popis građevnih dijelova | 8 |
| Tablica 4. | Srednje mjesečne temperature za referentnu meteorološku stanicu Zagreb – Maksimir [6] | 8 |
| Tablica 5. | Faktor za prekid rada grijanja noću [8] | 10 |
| Tablica 6. | Ukupni, osjetni i latentni toplinski tok koji odaje čovjek u ovisnosti o temperaturi zraka i razini aktivnosti [1]..... | 11 |
| Tablica 7. | Broj ljudi koji borave u prostoru [7] | 12 |
| Tablica 8. | Toplinski tok koji odaju uređaji [9]..... | 12 |
| Tablica 9. | Dobiveno projektno rashladno opterećenje prema vrsti izvora [7] | 13 |
| Tablica 10. | Potrebna godišnja energija za grijanje i hlađenje po mjesecima [11] | 18 |
| Tablica 11. | Dobivene i maksimalne vrijednosti po jedinici proračunate korisne površine [11] | 19 |
| Tablica 12. | Dizalica topline RZASG125 [12]..... | 20 |
| Tablica 13. | Unutarnja jedinica dizalice topline FFA50 [12]..... | 22 |
| Tablica 14. | Učini grijanja i hlađenja odabrane dizalice topline [12] | 22 |
| Tablica 15. | Proračun pada tlaka kritične dionice | 23 |
| Tablica 16. | Dobavni difuzor zraka DEK-K-600-B-A-H [13] | 24 |
| Tablica 17. | Ventilacijska jedinica s rekuperatorom VAM [12] | 26 |
| Tablica 18. | Električni grijač za VAM [12] | 26 |
| Tablica 19. | Karakteristike ventilacijske jedinice s rekuperacijom topline VKM [12]..... | 35 |
| Tablica 20. | Pad tlaka kritične dionice razvoda ventilacijskih kanala za VKM..... | 36 |
| Tablica 21. | Difuzor za dobavu zraka DEK-K-600-B-A-H [12]..... | 36 |
| Tablica 22. | Difuzor za odsis zraka DEK-K-600-B-B-H [12] | 37 |
| Tablica 23. | Proračun za režim grijanja..... | 38 |
| Tablica 24. | Proračun za režim hlađenja | 40 |
| Tablica 25. | Karakteristike vanjske jedinice VRV sustava RXYSCQ6 [12] | 42 |
| Tablica 26. | Karakteristike unutarnje jedinice VRV sustava FXZQ50 [12] | 44 |
| Tablica 27. | Troškovnik multi - split sustava s VAM ventilacijskom jedinicom [12]..... | 45 |
| Tablica 28. | Troškovnik VRF sustava i VKM ventilacijske jedinice [12]..... | 45 |
| Tablica 29. | Vrijednosti COP-a po mjesecima za multi – split sustav [12] | 46 |
| Tablica 30. | Vrijednosti EER-a po mjesecima za multi – split sustav [12]..... | 47 |
| Tablica 31. | Potrebna električna energija za sustav grijanja – multi – split sustav | 47 |
| Tablica 32. | Potrebna električna energija za sustav hlađenja – multi – split sustav..... | 48 |
| Tablica 33. | Električna energija za električni grijač VAM rekuperatora za karakterističan dan [11] | 48 |
| Tablica 34. | Ukupna potrebna električna energija za sustav multi - split i VAM jedinice | 49 |
| Tablica 35. | Vrijednosti COP-a po mjesecima za VRV sustav [12] | 50 |
| Tablica 36. | Vrijednosti EER-a po mjesecima za VRV sustav [12]..... | 51 |
| Tablica 37. | Potrebna električna energija za sustav grijanja – VRV sustav | 51 |
| Tablica 38. | Potrebna električna energija za sustav hlađenja – VRV sustav | 52 |
| Tablica 39. | Električna energija potrebna za rad VKM jedinice u režimu grijanja [11] | 53 |
| Tablica 40. | Električna energija potrebna za rad VKM jedinice u režimu hlađenja [11]..... | 54 |
| Tablica 41. | Ukupna potrebna električna energija za VRV sustav i VKM | 55 |

POPIS TEHNIČKE DOKUMENTACIJE

- 1/4 Multi – split sustav i VAM ventilacijska jedinica – tlocrt spušenog stropa
- 2/4 Multi – split sustav i VAM ventilacijska jedinica – tlocrt krova
- 3/4 VRF sustav i VKM ventilacijska jedinica – tlocrt spušenog stropa
- 4/4 VRF sustav i VKM ventilacijska jedinica – tlocrt krova

POPIS OZNAKA

| Oznaka | Jedinica | Opis |
|---------------|---------------------|--|
| f_0 | - | Faktor oblika |
| A_o | m^2 | Površina vanjske ovojnice zgrade |
| V_e | m^3 | Neto volumen zgrade |
| U | W/m^2K | Koeficijent prolaza topline |
| U_{maks} | W/m^2K | Maksimalno dopušteni koeficijent prolaza topline |
| q_{tot} | l/s | Ukupni protok zraka za prostor |
| n | - | Broj osoba u prostoriji |
| Q_p | $l/(s \cdot osobi)$ | Protok zraka po osobi |
| A_R | m^2 | Površina prostora |
| q_B | $l/(s \cdot m^2)$ | Protok zraka po jedini prostora |
| PPD | % | Postotak nezadovoljnih osoba |
| Q_n | W | Ukupni gubici topline |
| P_{hiT} | W | Transmisijski gubitak topline |
| P_{hiV} | W | Ventilacijski gubitak topline |
| f_{RH} | W/m^2 | Faktor ponovnog zagrijavanja |
| Φ_{RH} | kW | Dodatni toplinski tok zbog prekida grijanja noću |
| Φ_n | kW | Toplinski gubici zgrade |
| Φ_{gr} | kW | Ukupna toplinska energija potrebna za grijanje zgrade |
| Q_{OS} | W | Toplinski tok koji odaje jedna osoba |
| s_{NU} | - | Faktor toplinskog opterećenja za unutarnje prostore |
| Q_{senz} | W | Latentna toplina koju odaje jedna osoba |
| Q_{lat} | W | Osjetna toplina koju odaje jedna osoba |
| g_{tot} | - | Stupanj propuštanja ukupne energije kroz ostakljenje |
| g_{\perp} | - | Stupanj propuštanja ukupne sunčeve energije kroz ostakljenje kod okomitog upada zračenja |
| F_w | - | Faktor umanjenja zbog ne okomitog upada sunčeva zračenja |
| F_c | - | Faktor umanjenja naprave za zaštitu od sunca |
| q_m | kg/s | Maseni protok zraka |

| | | |
|---------------------|----------|---|
| q_v | m^3/s | Volumni protok zraka |
| ρ_1, ρ_2 | kg/m^3 | Gustoća zraka u dionicama 1, 2 |
| w_1, w_2 | kg/m^3 | Brzina zraka u dionicama 1, 2 |
| A_1, A_2 | m^2 | Površina poprečnog presjeka kanala u dionicama 1, 2 |
| p_{tot} | Pa | Ukupni tlak struje zraka |
| p_s | Pa | Statički tlak |
| p_v | Pa | Dinamički tlak |
| ρ_w | kg/m^3 | Gustoća vode |
| g | m/s^2 | Gravitacijska konstanta |
| H | m | Visina stupca vode |
| Δp_F | Pa | Gubici uslijed trenja |
| Δp_L | Pa | Dinamički ili lokalni gubici |
| Λ | - | Faktor trenja |
| L | m | Dužina dionice kanala |
| d | m | Unutarnji promjer dionice okruglog kanala |
| ρ | kg/m^3 | Gustoća zraka |
| W | m/s | Brzina strujanja zraka u kanalu |
| ξ | - | Koeficijent lokalnih gubitaka |
| $Q_{H,nd}$ | kWh | Potrebna godišnja energija za grijanje |
| $Q_{C,nd}$ | kWh | Potrebna godišnja energija za hlađenje |
| q_v | m^3/h | Protok zraka u kanalu |
| D | m^2 | Promjer kanala |
| L | m | Duljina dionice kanala |
| A_{pp} | m^2 | Površina poprečnog presjeka kanala |
| w | m/s | Brzina strujanja zraka u kanalu |
| R | Pa/m | Pad tlaka u kanalu |
| Δp_{uk} | Pa | Ukupni pad tlaka kritične dionice |
| $\Delta p_{distr.}$ | Pa | Pad tlaka na difuzoru za odsis zraka |
| φ | % | Stupanj povrata topline |
| T_{rek} | °C | Temperatura zraka na izlazu iz rekuperatora |

| | | |
|------------------|--------|---|
| T_{ok} | °C | Temperatura vanjskog zraka |
| T_p | °C | Projektna unutarnja temperatura zraka |
| $Q_{dod,VAM}$ | kW | Toplina odvedena prostoru VAM ventilacijskom jedinicom u režimu grijanja |
| c_p | kJ/kgK | Specifični toplinski kapacitet zraka |
| $Q_{dod,rek-gr}$ | kW | Energija potrebna za zagrijavanje zraka od temperature na izlazu iz rekuperatora do projektne temperature |
| T_{ub} | °C | Temperatura ubacivanja zraka |
| T_{rek} | °C | Temperatura na izlazu iz rekuperatora |
| $Q_{gr,VKM}$ | kW | Toplina odvedena prostoru VKM ventilacijskom jedinicom u režimu grijanja |
| $Q_{dod,rek-hl}$ | kW | Energija potrebna za ohlađivanje zraka od temperature na izlazu iz rekuperatora do projektne temperature |
| $Q_{hl,VKM}$ | kW | Toplina odvedena prostoru VKM ventilacijskom jedinicom u režimu hlađenja |
| $Q_{gr,uk}$ | kW | Ukupno toplinsko opterećenje zimi |
| $Q_{hl,uk}$ | kW | Ukupno rashladno opterećenje ljeti |

SAŽETAK

U radu je izrađen projekt sustava grijanja, hlađenja i ventilacije prostora slastičarnice u centru Zagreba. Zgrada površine 85 m² sastoji se od jedne etaže. Iznad cijele etaže prostire se spuštenu strop čija visina, zbog kosog krova nagiba 2°, varira od 30 do 75 cm. Geometrija slastičarnice preuzeta je iz dobivenih arhitektonskih podloga. Prilikom odabira sustava težilo se zadovoljavanju standarda toplinske ugodnosti uz postizanje visoke energetske učinkovitosti i funkcionalnosti sustava. Grijanje i hlađenje slastičarnice predviđeno je u izvedbi sustava s dizalicom topline zrak – zrak s neposrednim protokom radne tvari. Kao ogrjevna tijela odabrane su kazetne jedinice stropne izvedbe. Prethodno odabiru sustava, napravljen je proračun toplinskih gubitaka i dobitaka koristeći računalni program IntegraCAD. Proračuni su provedeni sukladno normi HRN EN 12831 i smjernici VDI 2078. Ventilacijski sustav izveden je kao mehanička ventilacija s rekuperacijom topline. Ventilacijski zahtjevi definirani su korištenjem norme HRN EN 16798-1:2019. Na temelju dobivenih vrijednosti provedeno je dimenzioniranje kanala za distribuciju zraka i difuzora zraka koji su smješteni u spuštenom stropu. Odabir opreme i dimenzioniranje kanala ograničeni su svjetlom visinom spuštenog stropa. Pri definiranju pozicija kazetnih jedinica i difuzora zraka u obzir se uzima smještaj rasvjete i stropnih ukrasa. Rad uključuje tehničko ekonomsku usporedbu dva tehnička rješenja mehaničke ventilacije s rekuperacijom topline: samostalna jedinica i jedinica spojena na sustav grijanja i hlađenja. Samostalna jedinica za ventilaciju sadrži električni grijač za dogrijavanje zraka nakon rekuperacije topline na određenu temperaturu ubacivanja u sezoni grijanja. Spojena jedinica ima dodatni izmjenjivač topline radna tvar – zrak koji može grijati ili hladiti prostor zimi i ljeti. Rad obuhvaća tehničko – ekonomsku usporedbu ova dva sustava uzimajući u obzir cijene sustava i isporučenu električnu energiju. Sustav dizalice topline zrak – zrak u izvedbi multi – split sustava i samostalna ventilacijska jedinica predstavljaju bolje rješenje za grijanje, hlađenje i ventilaciju slastičarnice. Razlog tome su niži investicijski i pogonski troškovi uz postizanje zadovoljavajućih uvjeta toplinske ugodnosti.

Ključne riječi: grijanje, hlađenje, ventilacija, rekuperacija topline, multi – split, VRV sustav

SUMMARY

A design of the heating, cooling and ventilation system of the pastry shop in the center of Zagreb was created in this thesis. The building with an area of 85 m² consists of one floor. Above the entire floor is a suspended ceiling whose height, due to the roof with a 2° slope, varies from 30 to 75 cm. The geometry of the pastry shop was obtained from the architectural design. When choosing the system, the aim was to meet the standards of thermal comfort while achieving high energy efficiency and functionality of the system. The heating and cooling of the pastry shop is provided in the form of a system with an air – air heat pump with direct flow of the working substance. Cassette ceiling units were chosen as heating elements. Before selecting the system, a calculation of heat losses and gains was made using the computer program IntegraCAD. Calculations were carried out in accordance with HRN EN 12831 standard and VDI 2078 guidelines. The ventilation system was designed as mechanical ventilation with heat recovery. Ventilation requirements are defined using the HRN EN 16798-1:2019 standard. On the basis of the obtained values, the dimensioning of air distribution channels and air diffusers, which are located in the suspended ceiling, was carried out. The selection of equipment and the dimensioning of the channels are limited by the clear height of the suspended ceiling. When defining the positions of cassette units and air diffusers, the placement of lighting and ceiling decorations is taken into account. The thesis includes a technical and economic comparison of two technical solutions of mechanical ventilation with heat recovery: an independent unit and a unit connected to the heating and cooling system. The independent ventilation unit contains an electric heater for reheating the air after heat recovery to a certain input temperature in the heating season. The connected unit has an additional heat exchanger working substance – air that can heat or cool the space in winter and summer. The thesis includes a technical-economic comparison of these two systems, taking into account system prices and delivered electricity. The multi-split system and the independent ventilation unit represent a better solution for heating, cooling and ventilation of the pastry shop. The reason for this is lower investment and operating costs while achieving satisfactory thermal comfort conditions.

Key words: heating, cooling, ventilation, heat recovery, multi – split, VRV system

1. UVOD

Sustavi grijanja, hlađenja i ventilacije koriste se kada nije moguće regulirati prijenos topline i tvari između vanjskog okoliša i unutarnjeg prostora na pasivan način.

Pri projektiranju sustava za grijanje i hlađenje prostora slastičarnice odabiru se moderna rješenja koja se uklapaju u interijer prostora i istovremeno trebaju zadovoljiti standarde toplinske ugodnosti. U prostoru je potrebno osigurati odgovarajuće mikroklimatske uvjete regulacijom temperature i odgovarajućom kvalitetom zraka tijekom cijele godine, sukladno preporukama za tu vrstu prostora, a uz visokoenergetska učinkovitost i minimalnu potrošnju energije sustava.

Ventilacija predstavlja namjerno ubacivanje zraka iz vanjskog okoliša u kondicioniranu prostoriju s ciljem ostvarivanja prihvatljive kvalitete unutarnjeg zraka i toplinske ugodnosti. Ventilacijski zahtjevi su dobava vanjskog zraka za disanje ljudi, kontrola koncentracije zagađivača u zraku prostorije, pokrivanje toplinskih opterećenja te održavanje jednolikog stanja zraka u prostoru. [1]

1.1. Toplinska ugodnost

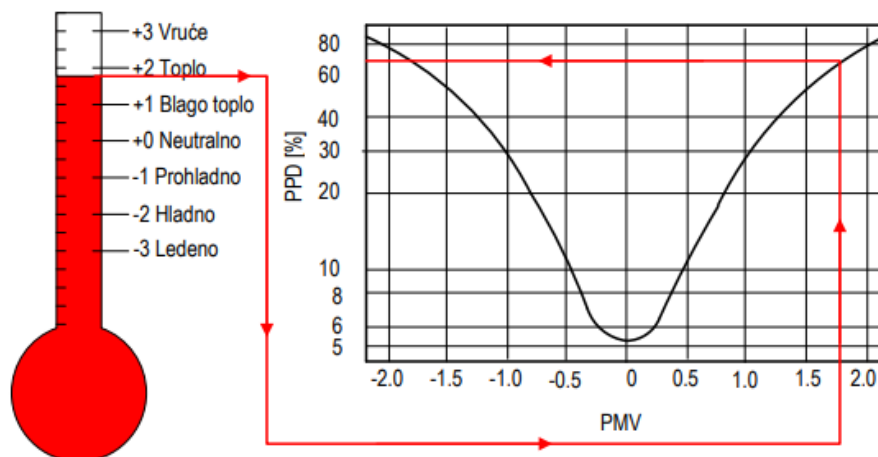
Ugodnost predstavlja skup stanja okoliša u kojem postotak nezadovoljnih ne prelazi određenu vrijednost. Toplinska ugodnost definirana je kao stanje svijesti koje izražava zadovoljstvo toplinskim stanjem okoliša. Iako je osjećaj toplinske ugodnosti nužno individualan te ne postoji određena mjera kojom se izražava, zadatak je termotehničkog sustava stvoriti uvjete koji odgovaraju najvećem mogućem broju osoba. [1]

Toplinska ugodnost rezultat je zajedničkog djelovanja sljedećih faktora:

- temperatura zraka u prostoriji
- temperatura ploha prostorije
- vlažnost zraka
- strujanje zraka
- razina odjevenosti
- razina fizičke aktivnosti
- ostali faktori: buka, kvaliteta zraka, dob, namjena prostora. [1]

Promjenom jednog faktora, istu ili sličnu toplinsku ugodnost moguće je održati samo promjenom i nekog drugog faktora.

Vrednovanje toplinske ugodnosti moguće je pomoću dva indeksa: PMV i PPD prema normi HRN EN ISO 7730. PMV (eng. *Predicted Mean Vote*) indeks vrednuje subjektivnu razinu (ne)ugode boravka u nekom prostoru od strane grupe ljudi. Razina ugodnosti vrednuje se na skali od -3 do 3 sa sedam točaka gdje 3 predstavlja vruće, -3 hladno i 0 neutralno stanje. PMV indeks treba se kretati oko neutralnog stanja i iznositi između -0,5 i 0,5. PMV se izračunava iz složenih matematičkih izraza. Neki od faktora koji utječu na vrijednost PMV indeksa su: temperatura zraka, srednja temperatura zračenja, metabolički učinak, relativna brzina strujanja zraka, koeficijent prijelaza topline konvekcijom, toplinski otpor odjeće i dr. PPD indeks (eng. *Predicted Percentage of Dissatisfied*) predviđa postotak nezadovoljnih osoba. Najčešće treba iznositi do 10 %. Kada je poznat PMV indeks, moguće je pomoću njega odrediti PPD indeks. Međusobna zavisnost indeksa vidljiva je u dijagramu (Slika 1). [1]

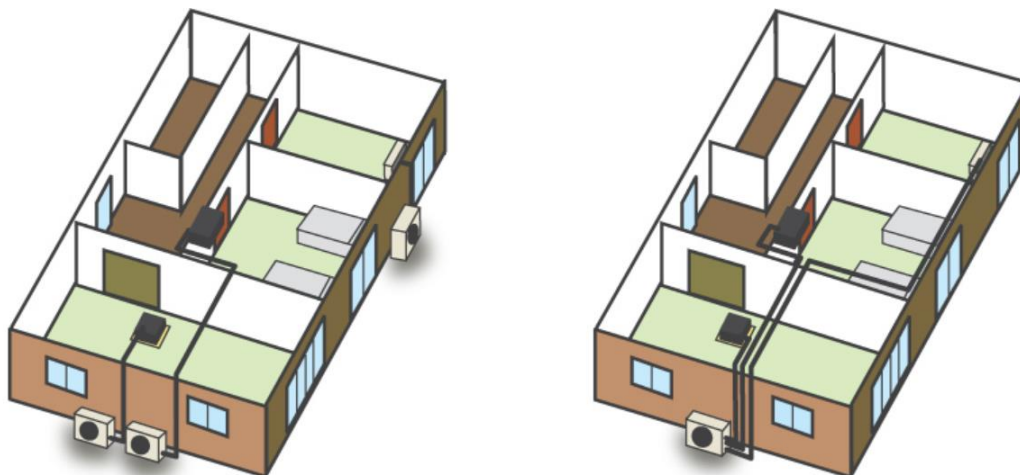


Slika 1. Međusobna zavisnost PMV i PPD indeksa [1]

1.2. Dizalica topline za grijanje i hlađenje

Dizalice topline su uređaji koji koriste obnovljive izvore topline iz okoliša i izvore otpadne topline za zadovoljavanje potreba grijanja i hlađenja. Toplinski izvor može biti okolišnji zrak, podzemna voda, tlo i dr. Osnovni princip rada temelji se na ljevokretnom Carnot-ovom ciklusu s četiri procesa: isparavanje, kompresija, kondenzacija i ekspanzija. Isparavanje i kondenzacija odvijaju se u dva odvojena izmjenjivača topline gdje dolazi do promjene agregatnog stanja radne tvari i predaje topline između dva toplinskih spremnika. Spremniku niže temperature toplina se odvodi te se on pritom hladi, a spremniku više temperature toplina se dovodi te se on grije. Ljeti je vanjski okoliš spremnik više temperature, a kondicionirani prostor je niže temperature. Pritom se koristi isparivački učin dizalice topline za hlađenje. Zimi kondenzacijska toplina omogućuje grijanje prostora.

Najčešće vrste dizalice topline, s obzirom na medij koji služe za izmjenu topline s okolišem i kondicioniranim prostorom, su zrak – voda, voda – voda, tlo – voda i zrak – zrak. Izvedbe dizalice topline zrak – voda, voda – voda i tlo – voda koriste vodu kao posredni medij koji struji kroz ogrjevna tijela (podno grijanje, ventilokonvektori), a na strani okoliša koriste zrak, vodu ili tlo. Takvi sustavi najčešće se koriste u stambenoj primjeni za, ne samo grijanje i hlađenje prostora, već i pripremu potrošne tople vode. Dizalice topline u izvedbi zrak – zrak ne koriste vodu kao prijenosni medij već kroz ogrjevni/rashladni uređaj struji radna tvar. Izvedbe su moguće u obliku mono – split, multi – split i VRF uređaja, ovisno o broju unutarnjih jedinica. Mono – split sustav ima mogućnost spajanja jedne unutarnje jedinice na jednu vanjsku dok multi – split i VRF sustav na jednu vanjsku jedinicu mogu spojiti više unutarnjih (Slika 2).

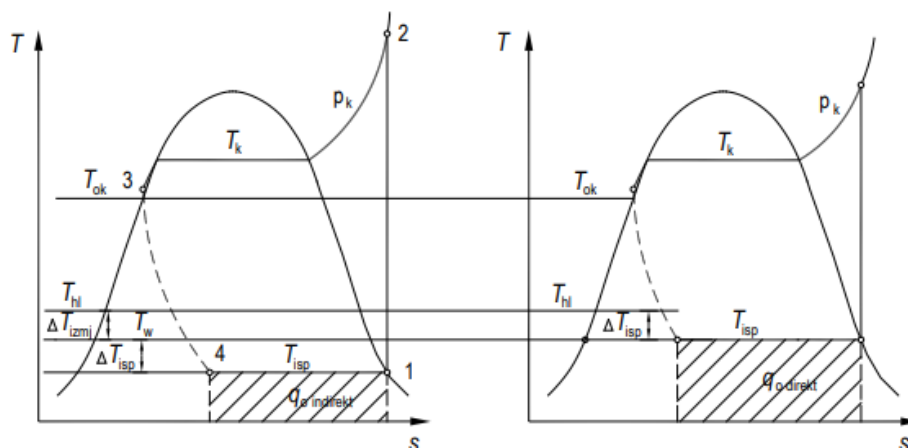


Slika 2. Usporedba mono (lijevo) i multi – split uređaja (desno) [2]

VRF (eng. *Variable refrigerant flow*) sustavi s varijabilnim protokom radne tvari mogu na jednu vanjsku jedinicu spojiti i do više od 100 unutarnjih jedinica ovisno o proizvođaču i modelu. Takvi sustavi koriste se za srednje velike i velike zgrade. Varijabilni protok radne tvari omogućuje optimalnu raspodjelu učina po unutarnjim jedinicama neovisno o njihovom položaju u zgradi. Na taj način, izjednačavaju se prekomjereni kapaciteti i podkapaciteti.

U radu će se koristiti dizalica topline izvedbe zrak – zrak s neposrednim protokom radne tvari. Okolišnji zrak predstavlja najveći i najpristupačniji toplinski spremnik. Za izmjenu topline između zraka i radne tvari koristi se orebreni izmjenjivač topline. Time se instalacija znatno pojednostavljuje u usporedbi s dizalicama koje koriste tlo ili vodu kao izvor topline i potrebno je polagati velike izmjenjivače topline ili bunare u tlo. Sama instalacija ima malo pokretnih dijelova, dug vijek trajanja te ne zahtijeva redovito održavanje.

Razliku posrednog i neposrednog sustava hlađenja čini jedan dodatni izmjenjivač topline kojim se izmjenjuje toplina između radne tvari i vode. Posredni sustav sadrži jedan izmjenjivač topline više čime se postiže niža temperatura isparavanja u odnosu na neposredni sustav. Posredni sustav će za isti rashladni učin imati manji faktor hlađenja i veću potrebnu snagu kompresora (Slika 3). Rashladnici vode predstavljaju primjer posrednog sustava hlađenja dok su VRF sustavi primjeri neposrednog sustava. [1]



Slika 3. Kvalitativan prikaz usporedbe posrednog (lijevo) i neposrednog (desno) procesa hlađenja [1]

1.3. Ventilacijski zahtjev

Mehanička ventilacija predstavlja namjerno ubacivanje zraka u kondicionirani prostor uporabom ventilatora. Prednosti su:

- neovisnost o vremenskim uvjetima
- dobra mogućnost regulirane razdiobe zraka
- velik izbor opreme.

U prostoru slastičarnice koristi se sustav tlačno - odsisne ventilacije što znači da su protoci dobavnog i povratnog zraka jednaki. Takvi prostori nazivaju se neutralni ili uravnoteženi prostori.

Proračun i dimenzioniranje sustava mehaničke ventilacije određuje se prema broju osoba koje borave u prostoru. Ashrae Standard 62 preporuča dobavu vanjskog zraka potrebnog za disanje osoba u zatvorenom prostoru. Ventilacijski minimum po osobi za stambene i poslovne prostore iznosi 30 – 60 m³/h pri čemu sve više od 50 m³/h zadovoljava više od 90 % prisutnih osoba u prostoriji. [3]

Norma HRN EN 16798-1:2019 definira dobavni protok zraka koristeći tri metode:

1. Metoda 1 – održavanje potrebne kvalitete zraka
2. Metoda 2 – kontrola koncentracije zagađivača u prostoru
3. Metoda 3 – bazirana na unaprijed definiranim zahtjevima za protok zraka

Metoda 1 u proračun uključuje potrebnu količinu zraka za uklanjanje zagađivača nastalih od osoba, uređaja te samog prostora.. Ukupni protok dobavnog zraka ovisi broju osoba koje borave u prostoru i tipu zgrade prema formuli:

$$q_{tot} = n \cdot q_p + A_r \cdot q_B \quad (1) \quad (1)$$

gdje su:

| | | |
|-----------|-------------------------|-----------------------------------|
| q_{tot} | [l/s] | ukupni protok za prostor |
| n | [-] | broj osoba u prostoriji |
| q_p | [l/(s·osobi)] | protok zraka po osobi |
| A_R | [m ²] | površina prostora |
| q_B | [l/(s·m ²)] | protok zraka po jedinici prostora |

Potreban protok dobavnog zraka po osobi određuje se u ovisnosti o kategoriji zgrade prema Tablici 1 .

Tablica 1. Definirani protoci zraka po osobi [4]

| Kategorija | PPD [%] | Protok zraka po osobi [l/(s· osobi)] |
|------------|---------|--------------------------------------|
| I | 15 | 10 |
| II | 20 | 7 |
| III | 30 | 4 |
| IV | 40 | 2,5 |

Protok zraka po jedinici prostora određuje u ovisnosti o tipu zgrade se iz Tablice 2.

Tablica 2. Definirani protoci zraka po jedinici prostora [4]

| Kategorija | Zgrade s vrlo niskom emisijom [$l/(s \cdot m^2)$] | Zgrade s niskom emisijom [$l/(s \cdot m^2)$] | Zgrade bez podataka o emisiji [$l/(s \cdot m^2)$] |
|------------|---|--|---|
| I | 0,5 | 1 | 2 |
| II | 0,35 | 0,7 | 1,4 |
| III | 0,2 | 0,4 | 0,8 |
| IV | 0,15 | 0,3 | 0,6 |

Kategorija zgrada s niskom emisijom podrazumijeva da su materijali korišteni pri gradnji niski zagađivači te da aktivnosti unutar zgrade ne uzrokuju zagađenje (pušenje). Kategorija zgrada s vrlo niskom emisijom koristi građevne materijale i materijale za uređenje interijera izrađene od nisko emitivnih materijala koji zadovoljavaju nacionalne ili internacionalne zahtjeve. [4]

1.4. Postupak projektiranja sustava grijanja, hlađenja i ventilacije

Dobiveni projektni zadatak definira sustav grijanja, hlađenja i ventilacije slastičarnice u Zagrebu. Potrebno je:

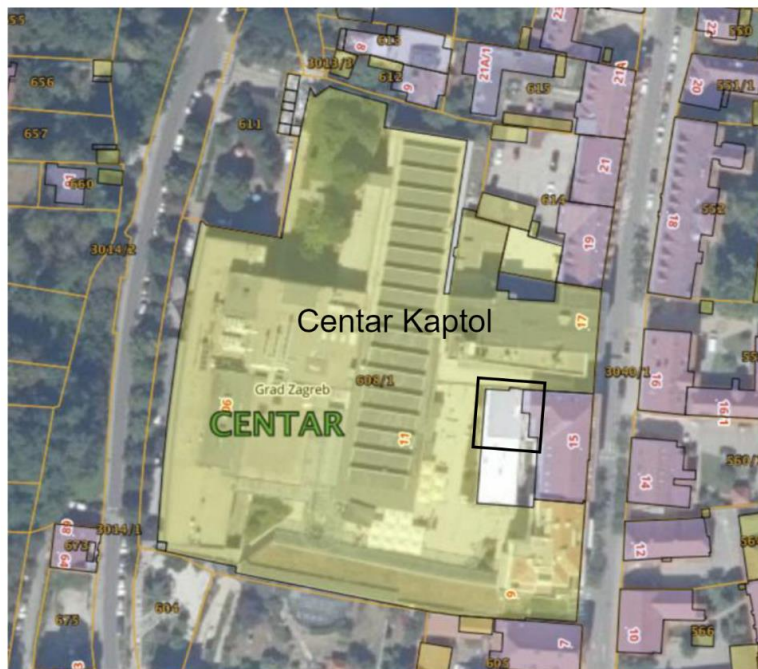
- provesti proračun toplinskog i rashladnog opterećenja
- proračunati ventilacijski sustav
- odabrati ogrjevnna i rashladna tijela
- odabrati ventilacijske jedinice
- dimenzionirati cjevovode
- dimenzionirati ventilacijske kanale
- odabrati izvor ogrjevnog i rashladnog učina.

Osim navedenih proračuna, projekt treba sadržavati:

- funkcionalnu shemu spajanja i regulacije sustava
- dispoziciju opreme za grijanje i hlađenje kao i vodove ogrjevnog medija te cijevi za odvod kondenzata
- dispoziciju opreme za ventilaciju i ventilacijske kanale
- prikaz rasporeda opreme u presjecima.

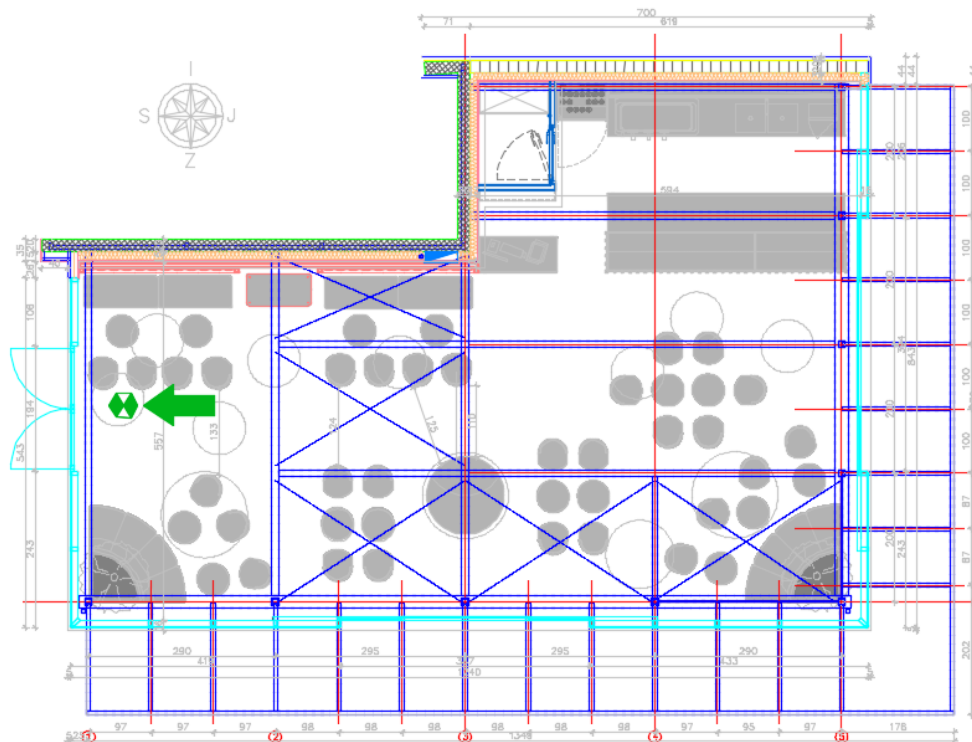
2. OPIS I PROJEKTI PODACI ZGRADE

Zgrada u sklopu trgovačkog centra Kaptol ugostiteljske je namjene - slastičarnica. Nalazi se u Zagrebu na adresi Nova Ves 17. Smještaj zgrade na katastarskoj čestici broj 608/1, k.o. Centar prikazan je na slici (Slika 4).



Slika 4. Prikaz katastarske čestice [5]

Prostor je podijeljen na ugostiteljski dio i malo spremište od 2,2 m². Zgrada se ne dijeli na zone već je cijeli grijani prostor slastičarnice definiran kao jedna zona. U zgradi može boraviti maksimalno 50 osoba: 47 gostiju (sjedeća mjesta) i osoblje. Glavni ulaz nalazi se na sjevernom, a pomoćni na južnom pročelju. Geometrija zgrade preuzeta je iz arhitektonskih podloga. Zgrada je pravokutnog oblika s vanjskim gabaritima: (DxŠxV) 12,5x8,5x4,0 m čime površina grijanog prostora s vanjskim dimenzijama iznosi $A_f = 92 \text{ m}^2$ i pripadajući bruto volumen 308 m³. Korisna površina iznosi 85 m². Visina prostora od poda do spuštenog stropa iznosi 3 m čime se dobiva obujam grijanog zraka u prostoru od 255 m³. Kosi krov izveden je s nagibom od 2 °. Spušteni strop visine 30 – 75 cm proteže se iznad cijele zone.



Slika 5. Tlocrt stlačiarnice

Iz tlocrta su vidljive staklene površine koje, na tri strane svijeta, grijani prostor odvajaju od okoliša (Slika 5). Riječ je o staklenim stijenama koje se protežu duž cijele visine prostora, od poda do spuštenog stropa.

Faktor oblika izražava odnos površine vanjske ovojnice zgrade i neto volumena zgrade. Navedeni faktor najpovoljniji je kada je zgrada svojim oblikom kompaktna i jednostavna. Tako bi teoretski idealna kompaktna zgrada bila u obliku kugle jer ima veliki volumen i malu površinu. Za teoretsku zgradu promjera 5 m, faktor oblika iznosio bi 0,6. Manji faktor oblika zgrade pridonosi boljim toplinskim svojstvima i povoljnijoj energetskej bilanci zgrade. Faktor se računa iz sljedeće jednadžbe (2):

$$f_0 = \frac{A_0}{V_e} = \frac{296}{308} = 0,96 \quad (2)$$

Dobiveni faktor iznosi 0,96 ukazuje na jednostavnost i malu razvedenost zgrade stlačiarnice.

Stlačiarnica se projektira i gradi kao nova zgrada te kao takva treba ispunjavati sve tehničke zahtjeve dane Tehničkim propisom o racionalnoj uporabi energije i toplinskoj zaštiti u zgradama. Projektne unutarnje temperature birane su sukladno parametrima toplinske ugodnosti te iznose 22 °C za grijanje i 26 °C za hlađenje. Koeficijenti prolaza topline građevinskih dijelova dani su u elaboratu građevinske fizike te prikazani u Tablici 3.

Tablica 3. Popis građevnih dijelova

| Građevni dio | Koeficijent prolaza topline, $U \left[\frac{W}{m^2K} \right]$ | Maksimalno dopušteni koeficijent prolaza topline, $U_{maks} \left[\frac{W}{m^2K} \right]$ | ZADOVOLJAVA |
|----------------|--|--|-------------|
| Vanjski zidovi | 0,3 | 0,3 | DA |
| Krov | 0,24 | 0,25 | DA |
| Pod na tlu | 0,35 | 0,4 | DA |
| Prozor | 1,4 | 1,6 | DA |
| Vrata | 1,5 | 1,6 | DA |

Klimatski podaci uzeti su za referentnu meteorološku stanicu Zagreb – Maksimir s prosječnom godišnjom temperaturom od 8,4 °C (Tablica 4).

Tablica 4. Srednje mjesečne temperature za referentnu meteorološku stanicu Zagreb – Maksimir [6]

| | I | II | III | IV | V | VI | VII | VIII | IX | X | XI | XII | God. |
|-----|-------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|-------|
| min | -12,8 | -11,9 | -8 | 0,6 | 6,5 | 10,5 | 13,4 | 10,8 | 7,3 | 0,2 | -5,7 | -12,4 | -12,8 |
| m | 1 | 2,9 | 7,1 | 11,7 | 16,8 | 20,3 | 21,9 | 21,3 | 16,3 | 11,4 | 6,5 | 1,4 | 8,4 |
| max | 13,4 | 14,9 | 17,2 | 21,3 | 26,5 | 29,6 | 29,3 | 29,6 | 25 | 21 | 19,3 | 14,5 | 29,6 |

3. PRORAČUNI

Podaci potrebni za provedbu proračuna uzeti su iz odgovarajućih tehničkih standarda i propisa.

3.1. Toplinska bilanca za zimsko razdoblje

Proračun toplinskih gubitaka slastičarnice proveden je sukladno hrvatskoj normi HRN EN 12831. Cilj proračuna prema normi određivanje je projektnih toplinskih gubitaka prostora koji kasnije predstavljaju osnovu za odabir generatora topline i ostalih komponenti u predviđenom sustavu grijanja. Norma uključuje osnovne pretpostavke:

1. pretpostavlja se homogena temperaturna raspodjela u prostoru
2. gubici topline razmatraju se u stacionarnom stanju, tj. uzete su konstantne vrijednosti projektnih temperatura kao i ostalih fizičkih veličina bitnih za proračun
3. proračun vrijedi za prostore niže od 5 m.

Za proračun gubitaka topline korišten je računalni program IntegraCAD. Ulazni podaci uključuju:

- vanjska projektna temperatura -13 °C
- srednja godišnja vanjska temperatura 12 °C
- klasa zaštićenosti veoma zaštićen tip
- tip zgrade ostale zgrade
- stupanj zabrtvljenosti visok
- broj izmjena zraka cijele zgrade n_{50} 1
- konstrukcija laka
- volumen zgrade 308 m³
- opseg podne plohe 42 m
- površina podne plohe 92 m²

Na Slici 6 prikazani su koeficijenti prolaza topline uneseni u računalni program.

| U Koeficijenti prolaza topline ☀ Gubici topline EN12831 ❄ Dobici topline VDI2078 | | | | | | | | | |
|--|---------|---------------------------|----------------------------|----------------------------|---|------------|---------------|-----------------|------|
| Učitaj koeficijent iz baze | | Spremi koeficijent u bazu | | | <input checked="" type="checkbox"/> Preuzmi dimenzije koeficijenata | | | | |
| | Oznaka | Vrsta | Ra (m ² K/W) | Ri (m ² K/W) | U (W/m ² K) | DUŽ (m) | Visina (m) | Debljina (m) | |
| 1 | VZ | Vanjski zid | 0.04 | 0.13 | 0.300 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 2 | PR | Prozor | 0.00 | 0.00 | 1.400 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 3 | KR | Strop | 0.13 | 0.13 | 0.240 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 4 | VR | Vrata | 0.00 | 0.00 | 1.500 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 5 | POD_TLO | Pod prema tlu | 0.04 | 0.17 | 0.350 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.63 |
| 6 | | | | | | | | | |
| 7 | | | | | | | | | |

Slika 6. Koeficijenti prolaza topline [7]

Izračunati su toplinski gubici zgrade (Slika 7).

| Projekt: Magnolia lokal | | | | | | | | | | |
|-------------------------|------------|------------------------|------------|-------------|-------------|-------------|--------------|-------------|----------------------|---|
| Toplinska bilanca | | | | | | | | | | |
| K1 | Kat 1 | | | | | | | | | |
| P | Prostorija | A (m ²) | tu (°C) | Qn (W) | PhiT (W) | PhiV (W) | Qinst (W) | Qost (W) | Qinst/m ² | |
| P1 | Lokal | 83 | 22 | 7014 | 5532 | 1482 | 0 | 0 | -7014 | 0 |
| Ukupno: Kat 1 | | | | 7014 | 5532 | 1482 | 0 | 0 | -7014 | |
| Ukupno: | | | | 7014 | 5532 | 1482 | 0 | 0 | -7014 | |

Slika 7. Toplinski gubici zgrade [7]

gdje su:

| | | |
|-----------|-----|-------------------------------|
| Q_n | [W] | ukupni gubici topline |
| P_{hiT} | [W] | transmisijski gubitak topline |
| P_{hiV} | [W] | ventilacijski gubitak topline |

U toplinskoj bilanci nije obuhvaćen prekid rada grijanja noću. Radno vrijeme slastičarnice je od 9 do 23 h. Koristi se faktor ponovnog zagrijavanja (eng. *reheat factor*) prema normi HRN EN 12831 (Tablica 5).

Tablica 5. Faktor za prekid rada grijanja noću [8]

| Faktor ponovnog zagrijavanja (reheat) za stambene građevine (noćni prekid rada maks. 8h) | | | |
|---|---|-----|-----|
| Vrijeme ponovnog zagrijavanja [h] | f_{RH} [W/m ²] | | |
| | Pretpostavljen temperaturni pad tijekom prekida grijanja noću | | |
| | 1 K | 2 K | 3 K |
| 1 | 11 | 22 | 45 |
| 2 | 6 | 11 | 22 |
| 3 | 4 | 9 | 16 |
| 4 | 2 | 2 | 13 |

S obzirom da se radi o ugostiteljskom objektu, odabrano je vrijeme zagrijavanja od 2 h i noćni pad temperature od 2 K. Za navedene ulazne podatke dobiven je faktor $f_{RH} = 11 \text{ W/m}^2$ čime se dobiva dodatno toplinsko opterećenje:

$$\Phi_{RH} = f_{RH} \cdot A = 11 \cdot 85 = 935 \text{ W} = 0,93 \text{ kW}$$

$$\Phi_{gr} = \Phi_{RH} + \Phi_n = 0,93 + 7,01 = 7,94 \text{ kW}$$

3.2. Toplinska bilanca za ljetno razdoblje

Proračun rashladnog opterećenja proveden je sukladno smjernici VDI 2078. Proračun se odnosi na prostorije za koje je potrebno održavati traženu temperaturu. Početni parametri proračuna u računalnom programu IntegraCAD uključuju:

- vrijeme sunčano
- klimatska zona klimatska zona 4
- tip prostora lagano
- tip zračenja ukupno

Toplinski dobici prostora dijele se na unutarnje i vanjske. Unutarnji toplinski izvori uključuju toplinski tok dobiven od osoba, rasvjete i uređaja. Vanjski toplinski izvori uključuju toplinu dovedenu provođenjem i konvekcijom kroz vanjske zidove i krov te provođenjem, konvekcijom i zračenjem kroz ostakljene plohe.

Toplinski tok koji odaju ljudi u prostoru računa se prema:

$$Q_{OS} = n \cdot Q_0 \cdot s_{NU} \quad (3)$$

gdje je:

| | | |
|-----------------|-----|---|
| n | [-] | broj osoba u prostoriji |
| Q ₀ | [W] | toplinski tok jedne osobe |
| s _{NU} | [-] | faktor toplinskog opterećenja za unutarnje prostore |

Toplinski tok koji odaje jedna osoba zbroj je latentne i osjetne topline te ovisi o temperaturi zraka prostorije i razini aktivnosti (Tablica 6).

Tablica 6. Ukupni, osjetni i latentni toplinski tok koji odaje čovjek u ovisnosti o temperaturi zraka i razini aktivnosti [1]

| Razina aktivnosti | Toplinski tok, [W] | Temperatura u prostoriji, [°C] | | | | | | |
|-------------------------------|--------------------|--------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| | | 18 | 20 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 |
| Sjedeći ili lakši stojeći rad | Q _{OS} | 125 | 120 | 120 | 120 | 115 | 115 | 115 |
| | Q _{senz} | 100 | 95 | 90 | 85 | 75 | 75 | 70 |
| | Q _{lat} | 25 | 25 | 25 | 35 | 40 | 40 | 45 |
| Teži rad | Q _{uk} | 190 | 190 | 190 | 190 | 190 | 190 | 190 |
| | Q _{senz} | 125 | 115 | 105 | 100 | 95 | 85 | 85 |
| | Q _{lat} | 65 | 75 | 85 | 90 | 95 | 100 | 105 |
| Teški fizički rad | Q _{uk} | 270 | 270 | 270 | 270 | 270 | 270 | 270 |
| | Q _{senz} | 155 | 140 | 120 | 115 | 110 | 105 | 95 |
| | Q _{lat} | 115 | 130 | 150 | 155 | 160 | 165 | 175 |

Faktor toplinskog opterećenja iznosi s_{NU}=1 za cjelodnevni boravak u prostoru, za prostore s gustom popunjenošću (kazališta, kino – dvorane) te ako je sustav klimatizacije isključen noću ili preko vikenda. [1]

Broj osoba u prostoriji odabran je prema Tablici 7:

Tablica 7. Broj ljudi koji borave u prostoru [7]

| Sat | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 |
|--------------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| Broj ljudi: | 10 | 15 | 20 | 25 | 30 | 30 | 30 | 30 | 35 | 40 | 45 | 48 | 48 |

Pri odabiru rasvjete odabrane su svjetiljke ugrađene u stropu. Ukupna snaga sustava rasvjete iznosi oko 500 W. [7]

Uređaji u prostoru te toplinski tok koji odaju prikazani su u Tablici 8:

Tablica 8. Toplinski tok koji odaju uređaji [9]

| Uređaj | Toplinski tok, [W] |
|------------------------|--------------------|
| Računalo | 55 |
| Monitor | 80 |
| Aparat za kavu | 120 |
| Perilica posuđa | 380 |
| Ledomat | 750 |
| Hladnjak | 1730 |

Toplinski dobici kroz ostakljene površine imaju velik utjecaj na ukupan iznos rashladnog opterećenja. Slastičarnicu na tri strane svijeta od vanjskog okoliša dijele staklene stijene. Krajnji rezultati ovise o orijentaciji i površini ostakljenja, napravama za zaštitu od sunca, vrsti ostakljenja te sjeni koju stvaraju bliske građevine. Stupanj propuštanja ukupne energije kroz ostakljenje definira se:

$$g_{tot} = g_{\perp} \cdot F_w \cdot F_c \quad (4)$$

gdje su:

g_{\perp} stupanj propuštanja ukupne sunčeve energije kroz ostakljenje kod okomitog upada zračenja

F_w faktor umanjenja zbog ne okomitog upada sunčeva zračenja, $F_w = 0,9$

F_c faktor umanjenja naprave za zaštitu od sunca

Stupanj propuštanja ukupne sunčeve energije i faktor umanjenja određuju se iz tablica prema normi HRN EN 410, prilog B (Slika 8, Slika 9).

| Redni broj | Tip ostakljenja | g_{\perp} (-) |
|------------|--|-----------------|
| 1 | Jednostruko staklo (bezbojno, ravno float staklo) | 0,87 |
| 2 | Dvostruko izolirajuće staklo (s jednim međuslojem zraka) | 0,80 |
| 3 | Trostruko izolirajuće staklo (s dva međusloja zraka) | 0,70 |
| 4 | Dvostruko izolirajuće staklo s jednim staklom niske emisije (Low-E obloga) | 0,60 |
| 5 | Trostruko izolirajuće staklo s dva stakla niske emisije (dvije Low-E obloge) | 0,50 |
| 6 | Dvostruko izolirajuće staklo sa staklom za zaštitu od sunčeva zračenja | 0,50 |
| 7 | Staklena opeka | 0,60 |

Slika 8. Stupanj propuštanja sunčeve energije kroz ostakljenje kod okomitog upada zračenja [10]

| Redni broj | Naprava za zaštitu od sunčeva zračenja | F_c (-) |
|------------|--|-----------|
| 1 | Bez naprave za zaštitu od sunčeva zračenja | 1 |
| 2 | Naprava s unutrašnje strane ili između stakala | |
| 2.1 | - bijele ili reflektirajuće površine i malene transparentnosti ^{a)} | 0,75 |
| 2.2 | - svijetle boje i malene transparentnosti | 0,80 |
| 2.3 | - tamne boje i povišene transparentnosti | 0,90 |
| 3 | Naprava s vanjske strane | |
| 3.1 | - žaluzine, lamele koje se mogu okretati, otraga provjetravano | 0,25 |
| 3.2 | - žaluzine, rolete, kapci (škure, grilje) | 0,30 |
| 4 | Strehe, lođe ^{b)} | 0,50 |
| 5 | Markize, gore i bočno provjetravane ^{b)} | 0,40 |

Slika 9. Faktor umanjenja naprave za zaštitu od sunčeva zračenja [10]

Staklene stijene imaju dvostruko izolirajuće staklo s unutarnjom zaštitom od sunčevog zračenja u obliku roloa. Dobiva se:

$$g_{tot} = g_{\perp} \cdot F_w \cdot F_c = 0,8 \cdot 0,9 \cdot 0,8 = 0,6 \quad (5)$$

Dobiveni toplinski dobici prema vrsti izvora prikazani su u Tablici 9 za dan 21. lipnja u 17 sati.

Tablica 9. Dobiveno projektno rashladno opterećenje prema vrsti izvora [7]

| | Osobe | Rasvjeta | Uređaji | Vanjsko rashladno opterećenje |
|-----------------------|-------|----------|---------|-------------------------------|
| Toplinski dobici, [W] | 2641 | 598 | 3049 | 5814 |

Dobiveno je projektno rashladno opterećenje prema kojem je najveće opterećenje 21. lipnja (Slika 10).

Projekt: Magnolia lokal**Rekapitulacija za objekt**

| | 21. Lipanj | 23. Srpanj | 24. Kolovoz | 22. Rujan |
|---------------------|-------------------|-------------------|--------------------|------------------|
| K1 Kat 1 \ P1 Lokal | 12102 | 12036 | 11253 | 9797 |
| Sat | 17 | 17 | 16 | 16 |
| Ukupno (W) | 12102 | 12036 | 11253 | 9797 |

Slika 10. Toplinski dobici prostora [7]

Potrebno je odabrati dizalicu topline koja će zadovoljiti toplinsko opterećenje od 7,94 kW te rashladno opterećenje od 12,1 kW.

3.3. Ventilacijski zahtjev

U sklopu ovog diplomskog rada projektira se sustav mehaničke ventilacije za slastičarnicu. Predviđena je tlačno – odsisna ventilacija s rekuperacijom topline. Proračun i dimenzioniranje ventilacijskog sustava zgrade provodi se sukladno ventilacijskom zahtjevu prema broju osoba.

Norma HRN EN 16798-1:2019, metodi 1, definira dobavni protok zraka prema jednadžbi (1).

Maksimalan broj osoba koje mogu boraviti u prostoru slastičarnice je 50. Potreban protok dobavnog zraka po osobi određuje se za kategoriju II zgrade prema kojoj postotak nezadovoljnih osoba iznosi do 20 %. Protok zraka po jedini prostora određuje se za zgrade o kojima nema podataka o emisijama.

Dobiva se ukupni protok zraka za prostor:

$$q_{tot} = 50 \cdot 7 + 85 \cdot 1,4 = 469 \text{ l/s}$$

3.4. Dimenzioniranje kanala

U ventilacijskim sustavima, strujanje zraka između mjesta gdje se zrak obrađuje i prostora u koji se dovodi i/ili odvodi vrši se kanalima za zrak. Plak potreban za strujanje zraka u kanalima ostvaruje se upotrebom ventilatora. Osim kanala, razvod zraka podrazumijeva različite spojne elemente. U radu se koriste kanali od pocinčanog lima okruglog poprečnog presjeka.

Prema režimu strujanja u kanalima, ventilacija može biti niskobrzinska (niskotlačna) ili visokobrzinska (visokotlačna). Niskobrzinski sustavi ventilacije tipični su za stambene zgrade, hotele, kazališta i lokale, a karakteriziraju ih brzine strujanja zraka u kanalima od 2 do 8 m/s. Odabran je niskotlačni režim strujanja u kanalima.

Prilikom dimenzioniranja kanala za dobavu i odsis zraka u sustavu mehaničke ventilacije nužno je poznavanje osnovnih jednadžbi mehanike fluida koje su navedene u nastavku [3]:

- jednadžba kontinuiteta

$$q_m = \rho_1 \cdot w_1 \cdot A_1 = \rho_2 \cdot w_2 \cdot A_2 \quad (6)$$

Ako se uzme u obzir da je gustoća zraka konstanta, dobiva se:

$$q_v = w_1 \cdot A_1 = w_2 \cdot A_2 \quad (7)$$

gdje su:

| | | |
|------------------|----------------------|---|
| q_m | [kg/s] | maseni protok zraka |
| q_v | [m ³ /s] | volumni protok zraka |
| ρ_1, ρ_2 | [kg/m ³] | gustoća zraka u dionicama 1, 2 |
| w_1, w_2 | [m/s] | brzina zraka u dionicama 1, 2 |
| A_1, A_2 | [m ²] | površina poprečnog presjeka kanala u dionicama 1, 2 |

- jednadžba totalnog tlaka

$$p_{tot} = p_s + p_v \quad (8)$$

$$p_s = \rho_w \cdot g \cdot H \quad (9)$$

$$p_v = \frac{\rho \cdot w^2}{2} \quad (10)$$

gdje su:

| | | |
|-----------|----------------------|--------------------------|
| p_{tot} | [Pa] | ukupni tlak struje zraka |
| p_s | [Pa] | statički tlak |
| p_v | [Pa] | dinamički tlak |
| ρ_w | [kg/m ³] | gustoća vode |
| g | [m/s ²] | gravitacijska konstanta |
| H | [m] | visina stupca vode |

Ukupni tlak glavne struje smanjuje se u smjeru strujanja zraka. Karakteristike tlaka između dva različita presjeka kanala regulirane su promjenom ukupnog tlaka i padom tlaka između ta dva presjeka (Δp_f). Statički tlak se uvijek računa kao razlika totalnog i dinamičkog tlaka.

Sustav u ovom radu dimenzioniran je koristeći metodu konstantne brzine. Ukupni pad tlaka u sustavu kanala, prema ovoj metodi, jednak je sumi gubitaka uslijed trenja i lokalnih gubitaka duž kritične dionice. Kanali se dimenzioniraju za konstantnu brzinu strujanja zraka (najčešće maksimalno dozvoljenoj) u pojedinoj dionici. Dimenzije kanala proračunavaju se na osnovi odabrane brzine strujanja zraka i zatim zaokružuju na standardnu veličinu. Brzina strujanja smanjuje se prema kraju kanalskog razvoda gdje su smješteni dobavni i odsisni otvori.

Ukupni pad tlaka u sustavu računa se prema jednadžbi:

$$\Delta p_T = \Delta p_F + \Delta P_L \quad (11)$$

gdje su:

| | | |
|--------------|------|------------------------------|
| Δp_T | [Pa] | ukupni pad tlaka u sustavu |
| Δp_F | [Pa] | gubici uslijed trenja |
| Δp_L | [Pa] | dinamički ili lokalni gubici |

Gubici uslijed trenja definirani su:

$$\Delta p_F = \lambda \cdot \frac{L}{d} \cdot \frac{\rho \cdot w^2}{2} \quad (12)$$

gdje su:

| | | |
|-----------|----------------------|-----------------------------------|
| λ | [-] | faktor trenja |
| L | [m] | dužina kanala |
| d | [m] | unutarnji promjer okruglog kanala |
| ρ | [kg/m ³] | gustoća zraka |
| W | [m/s] | brzina strujanja zraka u kanalu |

Lokalni gubici računaju se prema jednadžbi:

$$\Delta p_L = \xi \cdot \frac{\rho \cdot w^2}{2} \quad (13)$$

gdje je:

| | | |
|-------|-----|-------------------------------|
| ξ | [-] | koeficijent lokalnih gubitaka |
|-------|-----|-------------------------------|

3.4. Godišnja potrebna energija za grijanje i hlađenje

Proračun potrebne godišnje energije za grijanje i hlađenja napravljen je u računalnom programu KI-Expert koji prati Algoritam za proračun potrebne energije za primjenu ventilacijskih i klimatizacijskih sustava kod grijanja i hlađenja prostora zgrade. Unos podataka u program za proračun potrebne energije podijeljen je u dijelove:

- građevni dijelovi
- prijenos topline prema tlu
- toplinski mostovi
- otvori
- zaštita od sunčevog zračenja
- transmisijski gubici.

Dio *Građevni dijelovi* obuhvaća koeficijente prolaza topline građevnih dijelova zgrade, njihove površine i orijentaciju (Slika 11).

| Građevni dijelovi | | | | | | | |
|-------------------|-------------|---------------------------------------|-------|------|--------|------|-----------|
| # | Naziv | Vrsta | Agd | U | U(max) | fRai | fRai(max) |
| 1 | Vanjski zid | Vanjski zidovi | 65.00 | 0.29 | 0.30 | 0.75 | 0.93 |
| 2 | Krov | Ravni krovovi iznad grijanog prostora | 85.00 | 0.24 | 0.25 | 0.75 | 0.94 |
| 3 | Pod tlo | Podovi na tlu | 85.00 | 0.35 | 0.40 | 0.88 | 0.91 |

| Slojevi | | | |
|---------|------------------------------|----------|--------|
| Rbr. | Materijal | Debljina | R |
| 1 | 1.01 Puna opeka od gline | | 22.000 |
| 2 | 7.01 Mineralna vuna (MW) | | 10.000 |
| 3 | 3.03 Vapneno-cementna izžuka | | 1.000 |

| Građevni dio | |
|--------------------------------------|-----------------|
| 01. Osnovni podaci | |
| # | 1 |
| Naziv | Vanjski zid |
| Vrsta | Vanjski zidovi |
| Zona | Zona 1 |
| HD | Da |
| Debljina | 33.00 |
| U | 0.29 |
| Definiran U(max) | Da |
| U(max) | 0.30 |
| U zadovoljava | Zadovoljava |
| fRai(max) | 0.93 |
| fRai | 0.75 |
| Difuzija | Zadovoljava |
| Den. karskirentalica | Zadovoljava |
| Konstruktivni unos Gnt.set.H.gd | Ne |
| Gnt.set.H.gd | 20.00 |
| 02. Površina građevnog dijela | |
| Dio oplošja | Da |
| Izostavi iz sol. dobitaka | Da |
| F.ih.ob | 0.10 |
| Tip površine | Zd svjetle boje |
| α S.C. | 0.400 |
| Kut nagiba | 90 |
| Agd | 65.00 |
| Agd 1 | 45.00 |
| Agd 2 | 4.00 |
| Agd 3 | 12.00 |
| Agd 4 | 4.00 |

Slika 11. Unos podataka o građevnim dijelovima u računalni program KI – Expert [11]

U dijelu *Prijenosu topline prema tlu* definiran je pod na tlu. Za toplinske mostove uzet je paušalni dodatak od $0,05 \text{ W/m}^2\text{K}$ koji se uzima za nove zgrade.

Otvori definiraju vrstu, orijentaciju i površinu prozora staklarnice (Slika 12). Odabrano je trostruko izolirajuće staklo s dva stakla niske emisije s udjelom ostakljenja od 85 %. Za zaštitu od sunčeva zračenja definirana je unutarnja navlaka materijala svijete boje.

| | |
|--|--|
| 01. Osnovni podaci | |
| Id | 1 |
| Naziv | sjever |
| Tip otvora | Prozori, balkonska vrata, krovni prozori, prozirni elementi pročelja |
| Materijal okvira | PVC |
| Tip ostakljenja | Trostruko izolirajuće staklo s dva stakla niske emisije (dvije Low-E obloge) |
| e | 0.20 |
| g1 | 0.50 |
| Kut nagiba | 90 |
| Približna plošna masa | 37.50 |
| Uf | 2.00 |
| Ug (max) | 1.10 |
| Ug | 1.00 |
| Uw (max) | 1.60 |
| Uw | 1.20 |
| 02. Broj otvora po strani svijeta | |
| Istok | 0.00 |
| Zapad | 0.00 |
| Sjever | 1.00 |
| Jug | 0.00 |
| Sjevero-istok | 0.00 |
| Sjevero-zapad | 0.00 |
| Jugo-istok | 0.00 |
| Jugo-zapad | 0.00 |
| Ukupno otvora | 1.00 |
| 03. Podaci površine otvora | |
| Dio oplošja | Da |
| Udio ostakljenog dijela otvora | Da |
| Ag | 13.60 |
| Af | 2.40 |
| Aw | 16.00 |
| Σ(Aw) | 16.00 |
| Udio ostakljenja | 85.00 |
| 04. Pročelje | |
| Dio pročelja | Da |
| Dio negrijanog pročelja | Ne |
| 05. Vaznost prostorije | |
| Građevni dio | Vanjski zid |

Slika 12. Unos podataka o otvorima u računalni program KI – Expert [11]

Transmisijski gubici uključuju gubitke kroz građevne dijelove koji graniče s vanjskim prostorom i gubitke kroz tlo (Slika 13). Obzirom da se kondicionira jedna prostorija zgrade staklarnice, gubici kroz negrijane prostore i susjedne zgrade jednaki su nuli.

| Toplinski gubici kroz građevne dijelove koji graniče s vanjskim prostorom | | | | | | |
|---|-------------|-------|------|------|---------|-------------------------------------|
| # | Naziv | Agd | U | K | Gubitak | Označen |
| 1 | Vanjski zid | 65.00 | 0.29 | 0.02 | 20.458 | <input checked="" type="checkbox"/> |
| 2 | Krov | 85.00 | 0.24 | 0.02 | 21.824 | <input checked="" type="checkbox"/> |
| 3 | Pod tlo | 85.00 | 0.35 | 0.02 | 31.247 | <input type="checkbox"/> |

* Označite građevne dijelove koji su vezani uz gubitke kroz vanjski omotač zgrade, a nisu uključeni u proračun gubitaka kroz tlo i preko negrijanih prostora.

| Toplinski gubici kroz vanjske otvore | | | | | | |
|--------------------------------------|--------|--------------|-------|-------|------|---------|
| # | Naziv | $\Sigma(Aw)$ | A_w | U_w | n | Gubitak |
| 1 | sjever | 16.00 | 16.00 | 1.20 | 1.00 | 19.200 |
| 2 | jug | 25.00 | 25.00 | 1.20 | 1.00 | 30.000 |
| 3 | zapad | 37.00 | 37.00 | 1.20 | 1.00 | 44.400 |

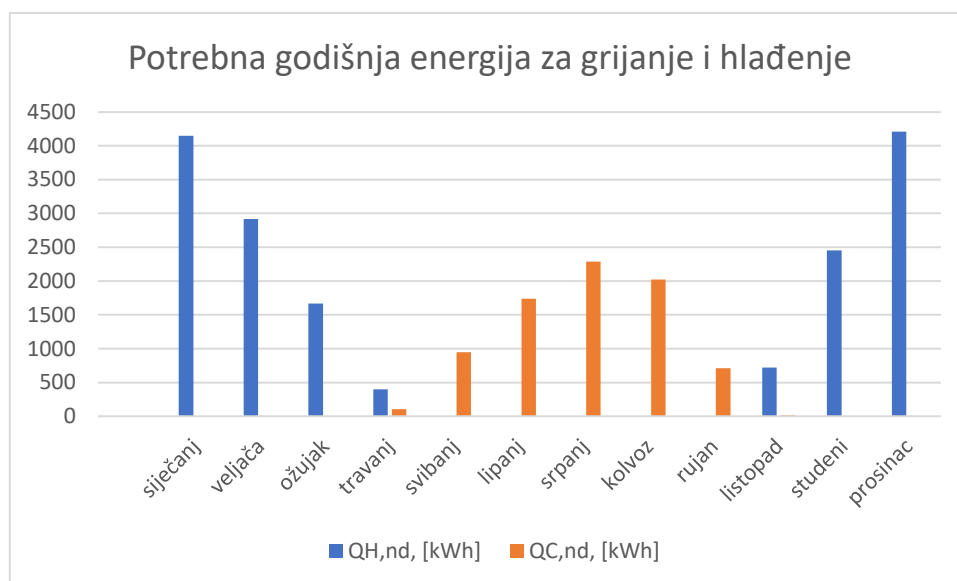
| Transmisijски gubici | |
|-------------------------------|----------|
| 01. Osnovni podaci | |
| # | 1 |
| Zona | Zona 1 |
| $\Phi_{e,ms}$ | |
| h.ms | 9.1 |
| Am | 230.000 |
| 02. Gubici - HD | |
| HD | 135.882 |
| HD - građevni dijelovi | 42.282 |
| HD - otvori | 93.600 |
| HD - toplinski mostovi | 0.000 |
| 03. Gubici - HG | |
| Hg.m.H | |
| Hg.m.C | |
| $\Phi_{m,g}$ | |
| Hg.avg | 44.324 |
| 04. Gubici - HU | 0.000 |
| HU | |
| 05. Gubici - HA | 0.000 |
| HA | |
| 06. Rezultat proračuna | |
| H.Tr.avg | 180.205 |
| H.Tr | 135.882 |
| H.Tr.w | 93.600 |
| H.Tr.sp | 42.282 |
| H.Tr.ms | 2093.000 |
| H.Tr.em | 43.154 |

Slika 13. Proračun transmisijских gubitaka u računalnom programu KI-Expert [11]

Dobivena je godišnja potrebna energija za grijanje ($Q_{H,nd}$) od 16515 kWh te za hlađenje ($Q_{C,nd}$) 7832 kWh. Raspodjela po mjesecima prikazana je u Tablici 10 te na Slici 14:

Tablica 10. Potrebna godišnja energija za grijanje i hlađenje po mjesecima [11]

| Mjesec | $Q_{H,nd}$, [kWh] | $Q_{C,nd}$, [kWh] |
|----------------|--------------------|--------------------|
| Siječanj | 4146,17 | 0 |
| Veljača | 2915,83 | 0 |
| Ožujak | 1666,81 | 0 |
| Travanj | 400,27 | 104,65 |
| Svibanj | 0 | 948,47 |
| Lipanj | 0 | 1740,64 |
| Srpanj | 0 | 2287,6 |
| Kolovoz | 0 | 2024,25 |
| Rujan | 0 | 713,75 |
| Listopad | 721,68 | 13,5 |
| Studeni | 2454,99 | 0 |
| Prosinac | 4209,6 | 0 |
| Ukupno: | 16515,34 | 7832,96 |



Slika 14. Grafički prikaz dobivenih potrebnih energija za grijanje i hlađenje po mjesecima

Dobivene vrijednosti često se prikazuju po jedinici proračunske korisne površine prostora te su maksimalne dopuštene vrijednosti definirane Algoritmom (Tablica 11). Algoritmom je definiran i maksimalan iznos godišnje primarne energije i maksimalni koeficijent transmisijskog toplinskog gubitka po jedinici oplošja zgrade u zimskom razdoblju. Primarna energija je oblik energije uzet iz prirode bez ikakve pretvorbe ili procesa transformacije.

Tablica 11. Dobivene i maksimalne vrijednosti po jedinici proračunate korisne površine [11]

| | Dobiveno | Maksimalno dopušteno | Zadovoljava (DA/NE) |
|--|----------|----------------------|---------------------|
| Godišnja potrebna energija za grijanje po jedinici proračunske korisne površine prostora, [kWh/m ² a] | 194,3 | 69,98 | NE |
| Godišnja potrebna energija za hlađenja po jedinici proračunske korisne površine prostora, [kWh/m ² a] | 92,15 | 70 | NE |
| Godišnja primarna energija | 115,69 | 90 | NE |
| Koeficijent transmisijskog toplinskog gubitka po jedinici oplošja zgrade [W/m ² K] | 0,58 | 0,58 | DA |

Velike staklene površine od kojih je napravljeno vanjsko pročelje i koje dijele kondicionirani prostor od vanjskog okoliša dovode do toga da se ne zadovoljavaju uvjeti godišnje potrebne energije za grijanje i hlađenje i godišnje primarne energije.

4. ODABIR TERMOTEHNIČKOG SUSTAVA

4.1. Dizalica topline

Prema izračunatom ogrjevnom i rashladnom učinku odabire se dizalica topline zrak – zrak u izvedbi multi – split sustava. Odabrana je dizalica topline komercijalne namjene proizvođača Daikin s radnom tvari R32. Vanjsku jedinicu dizalice topline moguće je spojiti na do 4 unutarnje jedinice koje rade u jednoj regulacijskoj zoni. Odabrana je dizalica topline model RZASG125. Karakteristike odabrane vanjske jedinice prikazane su u Tablici 12.

Tablica 12. Dizalica topline RZASG125 [12]

| Vanjska jedinica dizalice topline RZASG125 | |
|---|--------------|
| Model | RZASG125 |
| Rashladni učin (nom.), [kW] | 12,1 |
| Ogrjevni učin (nom.), [kW] | 13,5 |
| Dimenzije (DxŠxV), [mm] | 940x320x990 |
| Maksimalna duljina cjevovoda, [m] | 50 |
| Maksimalna visinska duljina cjevovoda, [m] | 30 |
| Radno područje za hlađenje, [°C] | -15 do +46 |
| Radno područje za grijanje, [°C] | -15 do +15,5 |
| Priključak radne tvari (tekuća faza), [mm] | 6,35 |
| Priključak radne tvari (plinovita faza), [mm] | 12,7 |
| EER (A32), [-] | 2,61 |
| COP (A7), [-] | 2,72 |
| SEER, [-] | 5,52 |
| SCOP, [-] | 3,64 |
| Masa, [kg] | 70 |

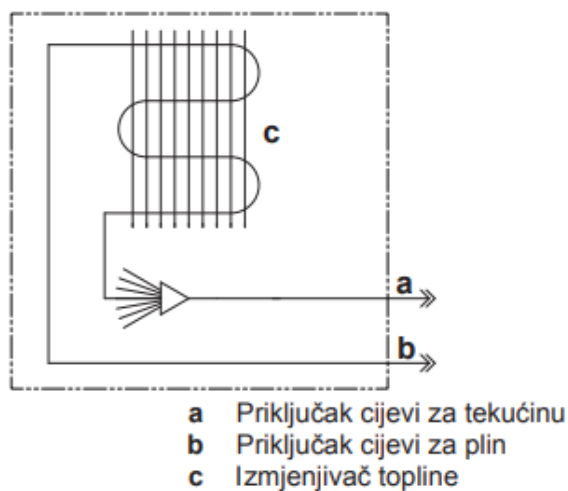
Nominalni rashladni učin izračunat je za nominalne vanjske uvjete ljeti prema kojima temperatura zraka okoline iznosi 32 °C. Ogrjevni rashladni učin izračunat je za vanjsku temperaturu zraka od -10 °C. S obzirom da je projektna temperatura vanjskog zraka za grad Zagreb -13 °C, potrebno je provjeriti hoće li navedena vanjska jedinica zadovoljiti potreban ogrjevni učin zgrade.

Na Slici 15 prikazana je vanjska jedinica dizalice topline:



Slika 15. Dizalica topline RZASG125 [12]

S obzirom da se radi o dizalici topline s neposrednim protokom radne tvari, unutarnje jedinice ujedno su i ogrjevna/rashladna tijela. Unutar unutarnje jedinice nalazi se izmjenjivač topline kroz koji struji radna tvar, a na koji nastrujava zrak iz prostorije (Slika 16). Ovisno o tome struji li kroz izmjenjivač kapljevita ili parovita faza radne tvari, zrak u prostoriji se hladi ili grije.



Slika 16. Shema izmjenjivača topline u režimu hlađenja [12]

Odabrane su unutarnje jedinice model FFA kazetne izvedbe s ugradnjom u spuštenu strop (Slika 17). Pri odabiru je u obzir uzeta ograničenost visinom spuštenog stropa od 30 – 75 cm. Karakteristike odabranih jedinica dane su u Tablici 13.

Tablica 13. Unutarnja jedinica dizalice topline FFA50 [12]

| Unutarnja jedinica dizalice topline | |
|---|-------------|
| Model | FFA50 |
| Rashladni učin (nom.), [kW] | 5 |
| Ogrjevni učin (nom.), [kW] | 5,8 |
| Dimenzije (DxŠxV), [mm] | 575x575x260 |
| Protok zraka za hlađenje, [m ³ /min] | 7,5 – 12 |
| Protok zraka za grijanje, [m ³ /min] | 7,5 – 12 |
| Nivo zvučnog tlaka – hlađenje, [dBA] | 27 – 39 |
| Nivo zvučnog tlaka – grijanje, [dBA] | 27 – 39 |
| Masa, [kg] | 17,5 |



Slika 17. Unutarnja jedinica dizalice topline FFA50 [12]

Pri odabiru dizalice topline potrebno je uzeti u obzir stvarni ogrjevni i rashladni učin koji nije jednak nominalnom prikazanom u Tablici 12. Stvarni učin ovisi o veličini vanjske jedinice te odabranim veličinama i broju unutarnjih jedinica. U Tablici 14 prikazani su učini odabranog sustava vanjske jedinice modela RZASG124 i tri unutarnje jedinice FFA50:

Tablica 14. Učini grijanja i hlađenja odabrane dizalice topline [12]

| | |
|-------------------------|------|
| RZASG125 + FFA50 | |
| Učin grijanja, [kW] | 10,7 |
| Učin hlađenja, [kW] | 14,3 |

Učin grijanja za vanjsku temperaturu zraka od -15 °C i unutarnju temperaturu zraka od 22 °C iznosi 10,7 kW. Učin hlađenja pri vanjskoj temperaturi zraka od 35 °C iznosi 14,3 kW. [12].

Temperatura prostora regulira se pomoću zidnog upravljačkog uređaja čija se pozicija određuje u dogovoru s arhitektom.

4.2. Sustav mehaničke ventilacije

Sustav mehaničke ventilacije sastoji se od ventilacijskih kanala, difuzora i centralne ventilacijske jedinice. Ventilacija slastičarnice odnosi se na jednu prostoriju površine 85 m².

4.2.1. Ventilacijski kanali

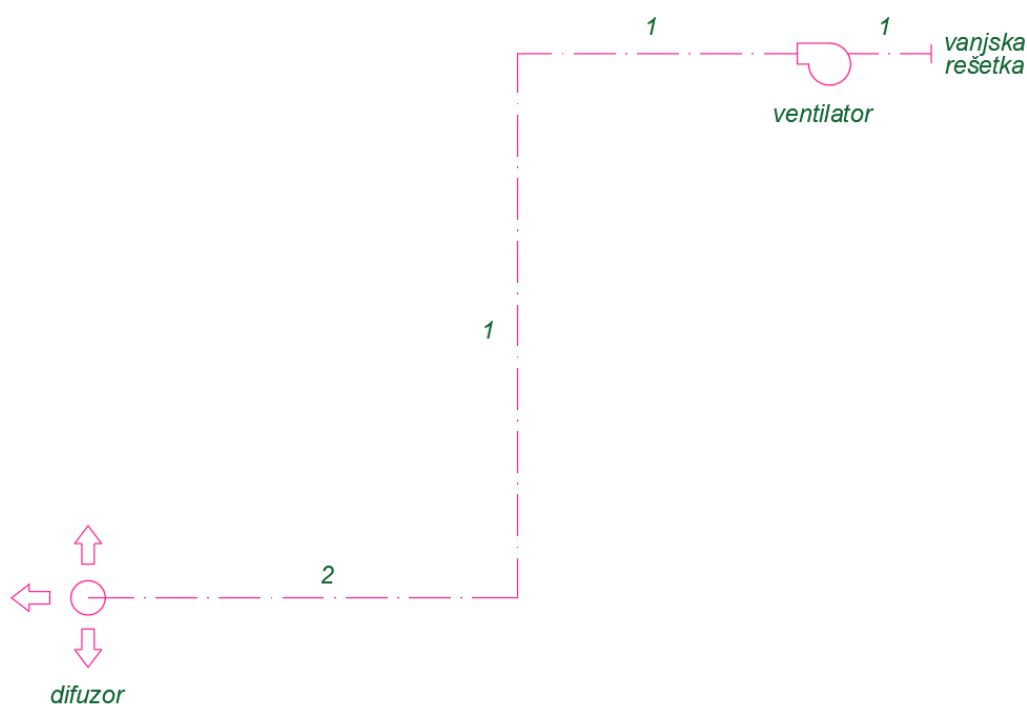
Pri projektiranju sustava mehaničke ventilacije, korišteni su ventilacijski kanali okruglog poprečnog presjeka. Ventilacijski kanali dimenzionirani su prema potrebnom protoku koji se treba dovesti i/ili odvesti iz prostorije. Proračun pada tlaka kritične dionice prikazan je u Tablici 15:

Tablica 15. Proračun pada tlaka kritične dionice

| Dionica | q_v | D | L | A | w | R | ξ | $\sum R \cdot L + Z$ |
|---------|---------------------|------|------|-------------------|-------|--------|-------|----------------------|
| [-] | [m ³ /h] | [mm] | [mm] | [m ²] | [m/s] | [Pa/m] | [-] | [Pa] |
| 1 | 1500 | 355 | 7 | 0,0989 | 4,2 | 0,6 | 0,26 | 7 |
| 2 | 750 | 250 | 4,5 | 0,0491 | 4,2 | 0,94 | 1,4 | 19 |

Ulazni parametar je ukupni protok zraka koji je dobiven u poglavlju 3.3. *Ventilacijski zahtjev*.

Schema proračunate dionice prikazana je na Slici 18:



Slika 18. Shema kritične dionice ventilacijskog razvoda kanala

Nakon dimenzioniranja kanala potrebno je izračunati ukupni pad tlaka kako bi se odredio minimalni tehnički uvjeti za ventilacijsku jedinicu. Ukupni pad tlaka jednak je zbroju pada tlaka nastalom uslijed trenja, lokalnim padovima tlaka te padovima tlaka na dobavnom i/ili odsisnom difuzoru i protukišnoj rešetki.

4.2.2. Difuzori zraka

Za dobavu i odsis zraka u kondicioniranu prostoriju potrebno je ispravno odabrati i dimenzionirati otvore. Pri proračunu je potrebno uzeti u obzir projektni protok zraka, pad tlaka, proizvedenu buku te brzinu istrujavanja.

Kondicionirani zrak dovodi se i odsisava iz prostorije stropnim difuzorima. Visina ugradnje iznosi 3 m. U spuštenu strop slastičarnice ugrađuje se jedan odsisni i dva tlačna difuzora zraka. Kutija anemostata za dobavu i odsis zraka ima priključak preko kojeg se fleksibilnim kanalom spaja na sustav kanala kružnog poprečnog presjeka.

Odabran je dobavni stropni difuzor DEK-K-600-B-A-H-248, proizvođača Klimaoprema prikazan na Slici 19. Difuzor je prikladan za visine ugradnje od 2,3 do 4 m. Zbog ograničenosti visinom spuštenog stropa odabrana je izvedba s horizontalnim priključkom kanala. Bitne karakteristike difuzora prikazane su u Tablici 16:

Tablica 16. Dobavni difuzor zraka DEK-K-600-B-A-H [13]

| Difuzor/karakteristika | DEK-K-600-B-A-H |
|---|-----------------|
| Protok zraka, [m ³ /h] | 750 |
| Pad tlaka, [Pa] | 18 |
| Nivo zvučnog tlaka, [dB(A)] | 25 |
| Efektivna brzina, [m/s] | 3,7 |
| Brzina u razini boravka, [m/s] | 0,33 |
| Priključak na ventilacijski kanal, [mm] | Ø250 |

Isti model odabran je za odsisni stropni difuzor: DEK-K-600-B-B-H (Slika 19). Pad tlaka na difuzoru iznosi 44 Pa, nivo zvučnog tlaka 39 dB(A) i priključak 313 mm [13].



Slika 19. Stropni difuzor za dobavu i odsis zraka DEK-K-600 [13]

Prema Pravilniku o dopuštenim razinama buke s obzirom na vrstu izvora buke, vrijeme i mjesto nastanka, Članak 11, dopuštena razina buke u ugostiteljskom objektu u kojem nije predviđena glazba iznosi 65 dB(A) [14]. Razina buke koju emitiraju difuzori ne prelazi dopuštene vrijednosti.

Brzina strujanja zraka u zatvorenom prostoru utječe na toplinsku ugodnost te su njene vrijednosti definirane ovisno o temperaturi vanjskog zraka. Prema pravilniku u zaštiti na radu, brzina strujanja zraka ne smije biti veća od 0,5 m/s ako je temperatura vanjskog zraka do 10 °C, 0,6 m/s ako je temperatura vanjskog zraka od 10 °C do 27 °C te 0,8 m/s ako je temperatura vanjskog zraka iznad 27 °C [15]. Brzine strujanja zraka iz difuzora u zoni boravka ne prelaze dopuštene vrijednosti.

Mjesto postavljanja difuzora odabrano je sukladno rasvjeti, stropnim ukrasima i smještaju unutarnjih jedinica dizalice topline (Slika 20).



Slika 20. Prikaz predviđene stropne rasvjete i ukrasa u slastičarnici

4.2.3. Jedinica za ventilaciju

Jedinica za ventilaciju namijenjena je za unutarnju ugradnju u spuštenu strop slastičarnice. Prema izračunatim ventilacijskim zahtjevima, odabrana je jedinica za pripremu zraka s rekuperacijom topline VAM, proizvođača Daikin (Slika 21).



Slika 21. Ventilacijska jedinica s rekuperacijom topline VAM [12]

Ventilacijska jedinica s povratom topline ima izmjenjivač topline kojim se omogućuje iskorištavanje otpadne topline prostora. Ljeti otpadni zrak odsisan iz prostora prolazi kroz

izmjenjivač topline i hladi vrući zrak iz okoliša. U režimu grijanja, otpadni zrak iz prostora prolazi kroz izmjenjivač topline i grije hladniji zrak okoliša. Jedinica ima ugrađen električni grijač koji služi za dogrijavanje izlaznog zraka s rekuperatora zimi. Karakteristike ventilacijske jedinice prikazane su u Tablici 17:

Tablica 17. Ventilacijska jedinica s rekuperatorom VAM [12]

| Karakteristike | VAM1500 |
|------------------------------------|-------------------|
| Učinkovitost povrata topline, [%] | 83,2/84,8/88,1 |
| Protok zraka, [m ³ /h] | 1500/1275/825 |
| Nivo zvučnog tlaka, [dB(A)] | 42/39/33,5 |
| Dimenzije (VxŠxD), [mm] | 700x1350x1170 |
| Masa, [kg] | 157 |
| Napajanje (faza/frekvencija/napon) | 1/50 Hz/220/240 V |
| Statički tlak ventilatora, [Pa] | 90/70/50 |

Učinkovitost povrata topline, nivo zvučnog tlaka, tlak ventilatora i protok zraka dani su za 3 brzine vrtnje ventilatora.

Veličina jedinice za ventilaciju odabrana je prema potrebnom protoku zraka za ventilaciju. Uz odabranu jedinicu dolazi električni grijač 2,5 kW čije su karakteristike prikazane u Tablici 18 (Slika 22).

Tablica 18. Električni grijač za VAM [12]

| Karakteristike | Električni grijač za VAM |
|--------------------|--------------------------|
| Napon napajanja | 220/250 V, 50/60 Hz |
| Priključak | monofazni |
| Senzor temperature | 0 do 40 °C |



Slika 22. Električni grijač za VAM [12]

Statički tlak ventilatora iz Tablice 18 odnosi se na vanjski pad tlaka koji ventilator jedinice može savladati. Unutarnji pad tlaka je u jedinici, a vanjski od priključka jedinice na kanal pa do difuzora te od priključka jedinice do granice s vanjskim okolišem. Na izlaz kanala na vanjski zid stavlja se protukišna rešetka čiji se pad tlaka također uračunava u statički tlak koji ventilator treba savladati (Slika 23).



Slika 23. Protukišna rešetka [17]

Potrebno je provjeriti može li ventilator odabrane ventilacijske jedinice zadovoljiti ukupan pad tlaka kritične dionice sustava:

$$\Delta p_{uk} = \Delta p_{tot} + \Delta p_{distr.} + \Delta p_{reš.} + \Delta p_{kanal-ok.} \quad (15)$$

gdje je:

| | | |
|------------------------|------|---|
| Δp_{uk} | [Pa] | ukupni pad tlaka kritične dionice |
| $\Delta p_{distr.}$ | [Pa] | pad tlaka na difuzoru za odsis zraka |
| $\Delta p_{reš.}$ | [Pa] | pad tlaka na rešetki |
| $\Delta p_{kanal-ok.}$ | [Pa] | pad tlaka u kanalu od jedinice do vanjskog zida |

Dobiva se:

$$\Delta p_{uk} = 26 + 18 + 5 + 14 = 63 \text{ Pa}$$

Ukupni pad tlaka koji ventilator može savladati pri srednjoj brzini vrtnje iznosi 70 Pa. Odabrani uređaj može savladati padove tlaka sustava.

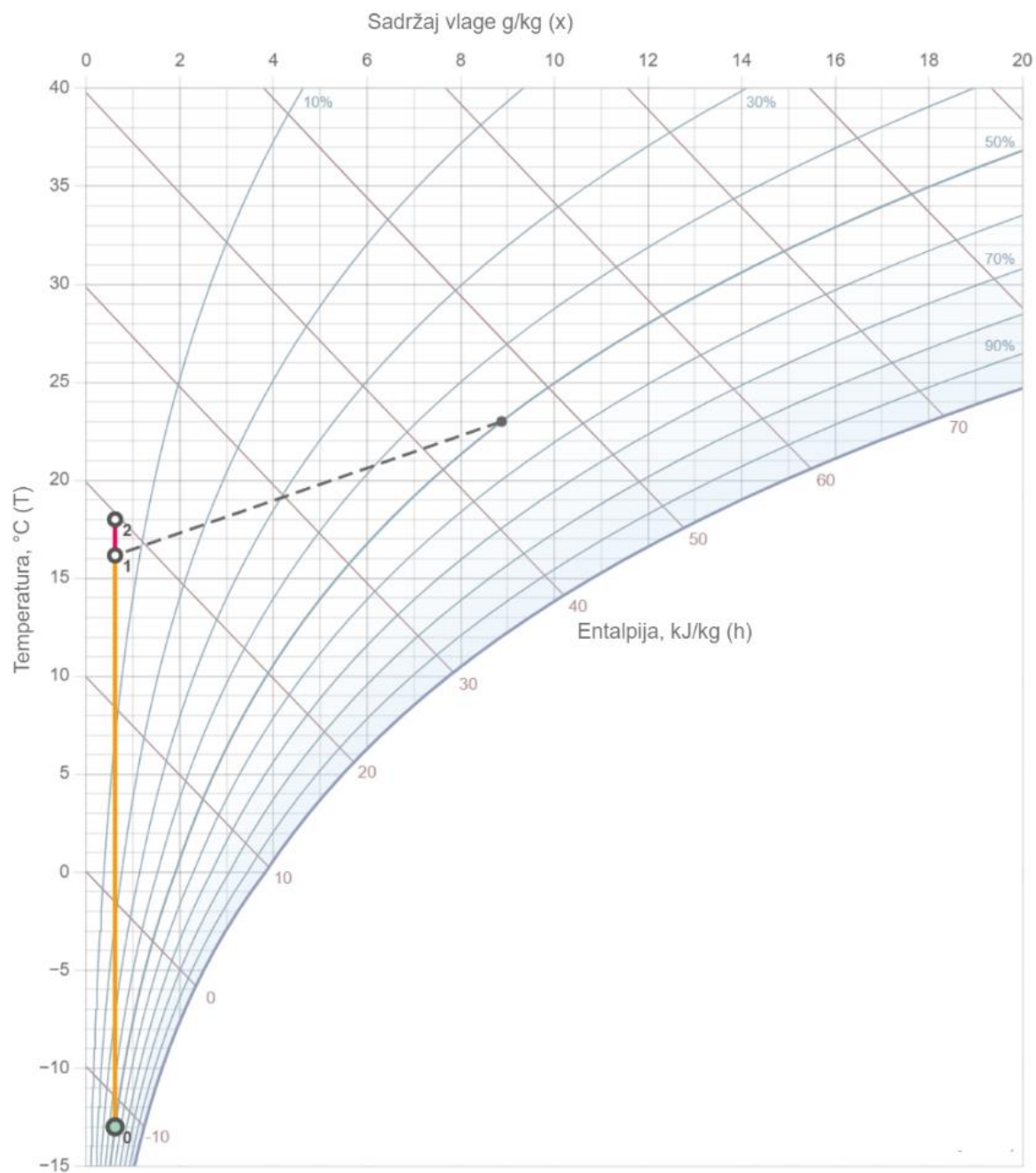
Projektna unutarnja temperatura u režimu grijanja iznosi 22 °C, a u režimu hlađenja 26 °C. Temperaturu na izlazu iz rekuperatora moguće je izračunati koristeći stupanj povrata topline prema formuli:

$$\varphi = \frac{T_{rek} - T_{ok}}{T_p - T_{ok}} \quad (14)$$

gdje su:

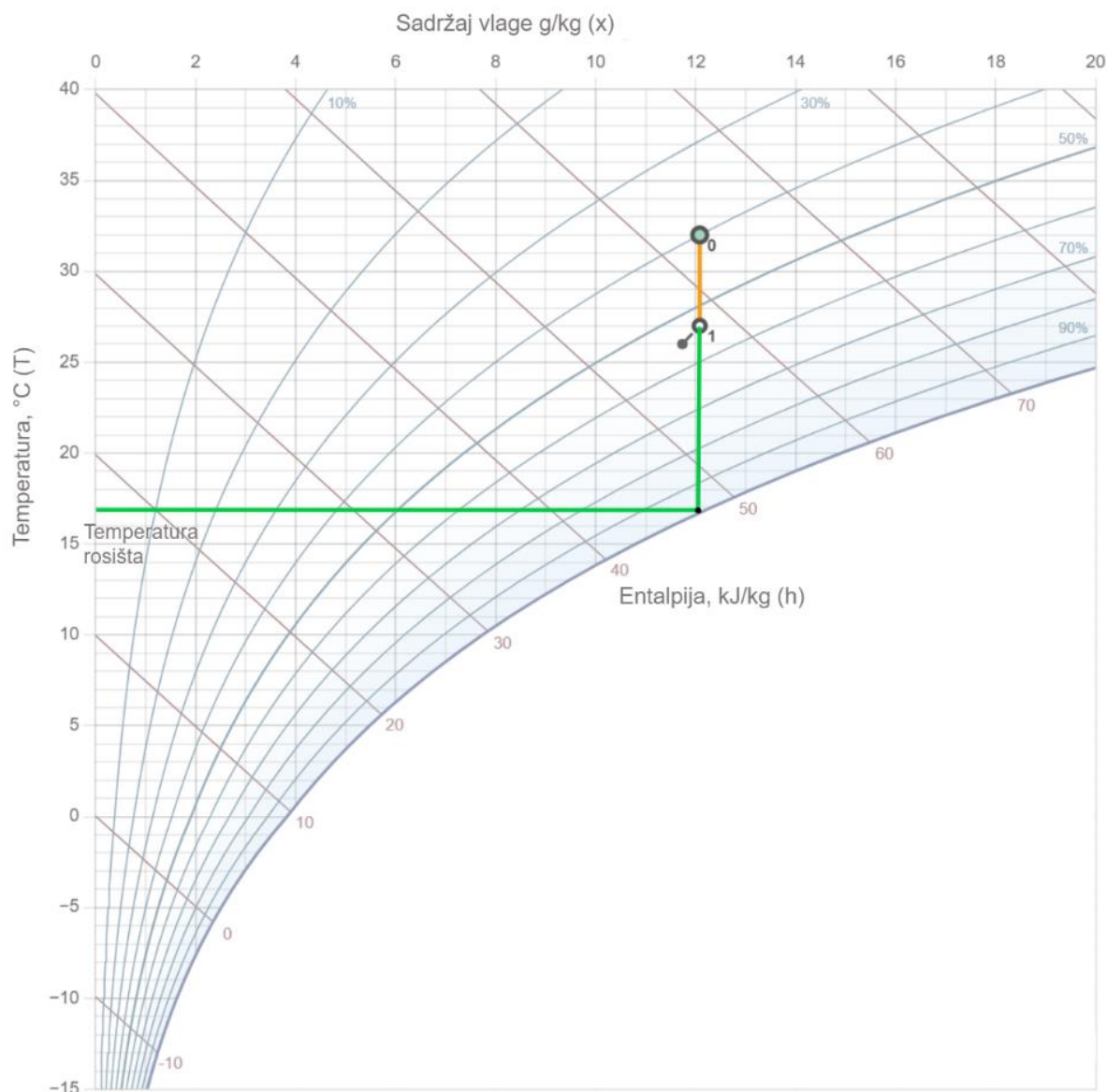
| | | |
|-----------|------|---|
| φ | [%] | stupanj povrata topline |
| T_{rek} | [°C] | temperatura zraka na izlazu iz rekuperatora |
| T_{ok} | [°C] | temperatura vanjskog zraka |
| T_p | [°C] | projektna unutarnja temperatura zraka |

Pri projektnim uvjetima gdje je vanjski zrak temperature -13 °C i stupanj povrata topline uzet za najveću brzinu vrtnje ventilatora 83 %, dobiva se temperatura zraka na izlazu iz rekuperatora od 16,05 °C. Uz pretpostavku da se ne koristi električni grijač, temperatura na izlazu iz rekuperatora jednaka je temperaturi ubacivanog zraka u prostor. Proces s rekuperacijom topline i dogrijavanjem na temperaturu od 18 °C prikazan je u Mollierovom dijagramu (Slika 24).



Slika 24. Proces rekuperacije topline i dogrijavanja u ventilacijskoj jedinici VAM [16]

U režimu hlađenja, uz vanjsku temperaturu od 32 °C i stupanj rekuperacije topline od 83 %, dobiva se temperatura na izlazu iz rekuperatora od 27,02 °C (Slika 25).



Slika 25. Prikaz procesa rekuperacije topline u slučaju hlađenja u ventilacijskoj jedinici VAM [16]

Tijekom procesa hlađenja smanjuje se temperatura vlažnom zraku. Temperatura očitana lijevo je temperatura rosišta (Slika 25). Temperatura rosišta je ona temperatura pri kojoj dolazi do kondenzacije vlage u zraku. Hlađenjem zraka ispod temperature rosišta, višak vodene pare prelazi u tekuće stanje.

Pripadajuća temperatura rosišta za vanjski zrak stanja 32 °C i 40 % sadržaja vlage iznosi 17 °C (Slika 25). Rekuperacijom topline zrak se hladi na 27 °C, a projektna unutarnja temperatura na koju unutarnje jedinice hlade prostor iznosi 26 °C. U ovom slučaju neće doći do stvaranja kondenzata.

Temperatura ubacivanja zraka ljeti viša je od projektne unutarnje temperature za jedan stupanj. Toplina dovedena prostoru uslijed razlike u temperaturama jednaka je (17):

$$Q_{dod,VAM} = q_m \cdot c_p \cdot \Delta T \quad (15)$$

gdje je:

c_p [kJ/kgK] specifični toplinski kapacitet zraka

$$Q_{dod,VAM} = 0,504 \cdot 1,005 \cdot (27,2 - 26) = 0,6 \text{ kW}$$

Prostoru je protokom zraka od 1500 m³/h, temperature 27,2 °C predano 0,6 kW topline. Sustav hlađenja potrebno je dimenzionirati na način da ima rezervu koja će pokriti navedene dobitke mehaničke ventilacije.

S obzirom da VAM rekuperator nema mogućnost odvlaživanja, prostoru se predaje latentna toplina prema izrazu:

$$Q_{dod,VAM(l)} = q_m \cdot \Delta h \quad (16)$$

gdje je:

Δh [kJ/kg] razlika entalpija

Dodatna latentna toplina koja se treba ukloniti iz prostora iznosi:

$$Q_{dod,VAM} = 0,504 \cdot 3 = 1,5 \text{ kW}$$

Odabrani sustav hlađenja zadovoljava potrebne rezerve uslijed ubacivanja zraka više temperature i veće vlažnosti.

Smještaj ventilacijskih difuzora odabran je sukladno pozicijama stropne rasvjete, ukrasa i unutarnjih jedinica multi – split sustava prema nacrtu u Prilogu II.

Rekuperator visine 70 cm smješten je u područje spušenog stropa iznad šanka gdje je najviša visina spušenog stropa od 75 cm. Kanali za usis svježeg zraka i izbacivanje otpadnog imaju otvor dalje od terase. Zbog blizine navedenih kanala potrebno je napraviti barijeru ili zakrenuti kanal kako ne bi došlo do stvaranja zatvorenog kruga strujanja zraka. U tom slučaju kanal za usis svježeg zraka uzimao bi otpadni zrak direktno iz kanala pokraj.

VAM ima tri mogućnosti rada: rad s rekuperacijom topline, rad s bypassom i automatski rad. Rad u režimu s rekuperacijom topline uključuje prolaz vanjskog zraka kroz rekuperator topline te je objašnjen i proračunat ranije. Kod bypass načina rada, vanjski zrak ne prolazi kroz rekuperator već ulazi izravno u prostoriju. U ovom režimu rada nema izmjene topline između vanjskog svježeg zraka i unutarnjeg otpadnog već vanjski zrak ulazi u prostoriju s nepromijenjenim parametrima (temperatura, vlažnost). Ovaj način rada koristi se kada je vanjska temperatura zraka približno jednaka ili viša od projektne unutarnje temperature. Automatski način rada samostalno prebacuje rad sustava između načina rada s rekuperacijom topline i bypass-a. [12]

4.2.4. Regulacija i upravljanje

Kako bi se ostvarila valjana komunikacija između korisnika i sustava za grijanje hlađenje i ventilaciju, potrebno je predvidjeti sustav upravljanja i regulacije. S obzirom da sustav grijanja i hlađenja nije povezan sa sustavom ventilacije, koriste se odvojeni sustavi regulacije. Predviđeni su žičani daljinski upravljači koji se smještaju na zid slastičarnice. Točna lokacija određuje se u dogovoru s arhitektom.

Za upravljanje sustavom grijanja i hlađenja odabran je zidni upravljač Madoka proizvođača Daikin (Slika 26). Upravljač ima mogućnost spajanja Bluetoothom na mobitel ili korištenje preko aplikacije (Slika 26). Regulator nema svoje napajanje već se napaja sa same unutarnje jedinice.



Slika 26. Zidni upravljač Madoka i izgled aplikacije na mobilnom uređaju [12]

Mogućnosti upravljanja su [12]:

- puštanje sustava u pogon
- postavljanje parametara sustava
- tri različita vremenska rasporeda temperatura
- ograničavanje izbornika pojedinačnih funkcija
- postavljanje vanjske jedinice u tihi način rada
- praćenje potrošnje električne energije
- mjerač vremena
- prikaz pogrešaka ili poteškoća u radu sustava grijanja i hlađenja.

Postavljanje parametara sustava podrazumijeva uključivanje i isključivanje sustava, postavljanje unutarnje temperature, mijenjanje brzine rada ventilatora i regulacija smjera strujanja zraka iz unutarnje jedinice.

Uz VAM jedinicu za mehaničku ventilaciju s rekuperacijom topline dolazi zidni daljinski upravljač BRC301 (Slika 27). Ovaj upravljač razvijen je isključivo za VAM jedinicu te ima sljedeće mogućnosti [12]:

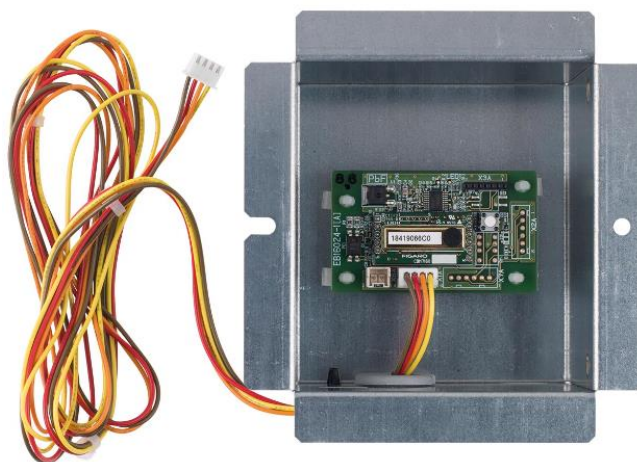
- regulacija protoka zraka
- regulacija temperature ubacivanja zimi
- regulacija načina rada
- mjerač vremena
- tihi način rada
- ušteda energije
- upozorenje za potrebno čišćenje filtera zraka
- prikaz pogrešaka ili poteškoća u radu.



Slika 27. Zidni upravljač za jedinicu VAM [12]

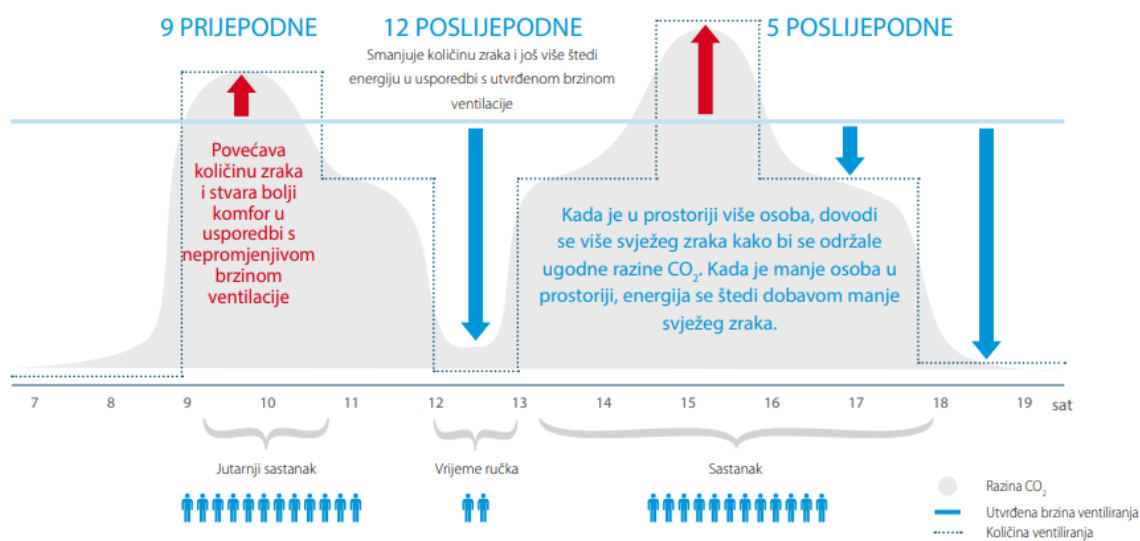
Regulator nema svoje napajanje već se napaja sa same ventilacijske jedinice.

Ušteda energije sprečava gubitak energije prekomjernom ventilacijom korištenjem CO₂ senzora (Slika 28). Senzor se smješta u povratni vod ventilacijskih kanala gdje uzima referentnu vrijednost sadržaja CO₂ u otpadnom zraku. Ovaj senzor isključuje sustav ventilacije kada osjeti da je u prostoriji dovoljno svježeg zraka.



Slika 28. CO₂ senzor [12]

Primjer regulacije korištenjem CO₂ senzora za urede prikazan je na Slici 29:



Slika 29. Primjer regulacije ventilacije korištenjem CO₂ senzora [12]

5. TEHNIČKO – EKONOMSKA USPOREDBA DVA TERMOTEHNIČKA SUSTAVA

Projektom zadatkom definirana je tehničko – ekonomska usporedba dva tehnička rješenja sustava s neposrednim protokom radne tvari. Odabran je termotehnički sustav za grijanje i hlađenje dizalice topline zrak – zrak i sustav mehaničke ventilacije s rekuperacijom. Odabrani sustav usporedit će se sa sustavom mehaničke ventilacije s mogućnošću povezivanja na sustav grijanja i hlađenja.

5.1. Odabir usporednog termotehničkog sustava

Za usporedbu sustava mehaničke ventilacije odabran je rekuperator s mogućnošću spajanja na sustav grijanja i hlađenja. Ovakav oblik mehaničke ventilacije s rekuperacijom topline, osim osiguravanja potrebne količine svježeg zraka za disanje, može grijati i hladiti prostor. Prikladan odabir je VKM rekuperator, proizvođača Daikin koji ima mogućnost spajanja na VRF sustav.

5.1.1. Sustav mehaničke ventilacije s rekuperacijom topline

Daikin uz VAM ventilacijsku jedinicu s rekuperacijom topline, nudi i VKM jedinicu koja ima mogućnost spajanja na sustav za grijanje i hlađenje prostora. Ovakva jedinica, osim ventilacije, doprinosi toplinskoj bilanci čime smanjuje potrebnu snagu unutarnjih jedinica VRF sustava. Jedinicu je potrebno odabrati s obzirom na traženi protok svježeg zraka od 1500 m³/h. Za razliku od jedinice za ventilaciju VAM, VKM nema jedinice za tako velike protoke zraka stoga je potrebno odabrati dvije jedinice s karakteristikama kako slijedi u Tablici 19 (Slika 30):

Tablica 19. Karakteristike ventilacijske jedinice s rekuperacijom topline VKM [12]

| Karakteristike | VKM80 |
|---------------------------------------|-------------------|
| Učinkovitost povrata temperature, [%] | 78/78/79 |
| Protok zraka, [m ³ /h] | 750/750/640 |
| Nivo zvučnog tlaka, [dB(A)] | 41,5/39/37 |
| Dimenzije (VxŠxD), [mm] | 387x1764x1214 |
| Masa, [kg] | 1 |
| Napajanje (faza/frekvencija/napon) | 1/50 Hz/220/240 V |
| Statički tlak ventilatora, [Pa] | 210/160/110 |

Učinkovitost povrata topline, nivo zvučnog tlaka, tlak ventilatora i protok zraka dani su za 3 brzine vrtnje ventilatora.



Slika 30. Dvije VKM ventilacijske jedinice spojene za montažu [12]

Statički pad tlaka ventilatora odnosi se na vanjski pad tlaka u ventilacijskim kanalima i na difuzorima zraka. Izračun pada tlaka kritične dionice prikazan je u Tablici 20:

Tablica 20. Pad tlaka kritične dionice razvoda ventilacijskih kanala za VKM

| Dionica | q_v | b | L | A | w | R | ξ | $\sum R \cdot L + Z$ |
|---------|---------------------|------|------|-------------------|-------|--------|-------|----------------------|
| [-] | [m ³ /h] | [mm] | [mm] | [m ²] | [m/s] | [Pa/m] | [-] | [Pa] |
| 1 | 750 | 1 | 10 | 0,0491 | 4,2 | 0,94 | 0,78 | 4,9 |

Odabrani su stropni difuzori za dobavu zraka (Tablica 21):

Tablica 21. Difuzor za dobavu zraka DEK-K-600-B-A-H [12]

| Difuzor/karakteristika | DEK-K-600-B-A-H |
|---|-----------------|
| Protok zraka, [m ³ /h] | 750 |
| Pad tlaka, [Pa] | 18 |
| Nivo zvučnog tlaka, [dB(A)] | 25 |
| Efektivna brzina, [m/s] | 3,7 |
| Brzina u razini boravka, [m/s] | 0,33 |
| Priključak na ventilacijski kanal, [mm] | 250 |

Odabrani su stropni difuzori za odsis zraka (Tablica 22):

Tablica 22. Difuzor za odsis zraka DEK-K-600-B-B-H [12]

| Difuzor/karakteristika | DEK-K-600-B-B-H |
|---|-----------------|
| Protok zraka, [m ³ /h] | 750 |
| Pad tlaka, [Pa] | 12 |
| Nivo zvučnog tlaka, [dB(A)] | 21 |
| Priključak na ventilacijski kanal, [mm] | 250 |

Ukupni pad tlaka sustava dobiva se zbrojem pada tlaka u kritičnoj dionici, pada tlaka na difuzoru, protukišnoj rešetci i dijelu kanala od jedinice do vanjskog zida:

$$\Delta p_{uk} = 5 + 18 + 5 + 14 = 40 \text{ Pa}$$

Ventilator može pokriti padove tlaka sustava.

Projektna unutarnja temperatura u režimu grijanja iznosi 22 °C, a u režimu hlađenja 26 °C. Odabrana je temperatura ubacivanja zraka 20 °C zimi i 18 °C ljeti.

Preko stupnja povrata topline rekuperatora izračunava se temperatura na izlazu iz rekuperatora te dodatna energija koja je potrebna za zagrijavanje struje zraka do odabranih 20 °C ubacivanja. Proračun je proveden za karakterističan dan u svakom mjesecu kako slijedi. Referentne temperature zraka uzete su prema meteorološkoj postaji Zagreb – Maksimir.

Dodatna energija potrebna za zagrijavanje zraka od temperature na izlazu iz rekuperatora do unutarnje temperature jednaka je:

$$Q_{dod,rek} = q_m \cdot c_p \cdot (T_{ub} - T_{rek}), \quad [kW] \quad (17)$$

gdje su:

T_{ub} [°C] temperatura ubacivanja zraka od 20 °C

T_{rek} [°C] temperatura na izlazu iz rekuperatora

Potrebno je uzeti u obzir i toplinski tok koji se oduzima prostoru ubacivanjem zraka koji je 2 °C hladniji od projektne temperature prostora. Taj tok dobiva se:

$$Q_{dod,gr} = q_m \cdot c_p \cdot (T_p - T_{ub}), \quad [kW] \quad (18)$$

Primjer proračuna za siječanj prikazan je u Tablici 23:

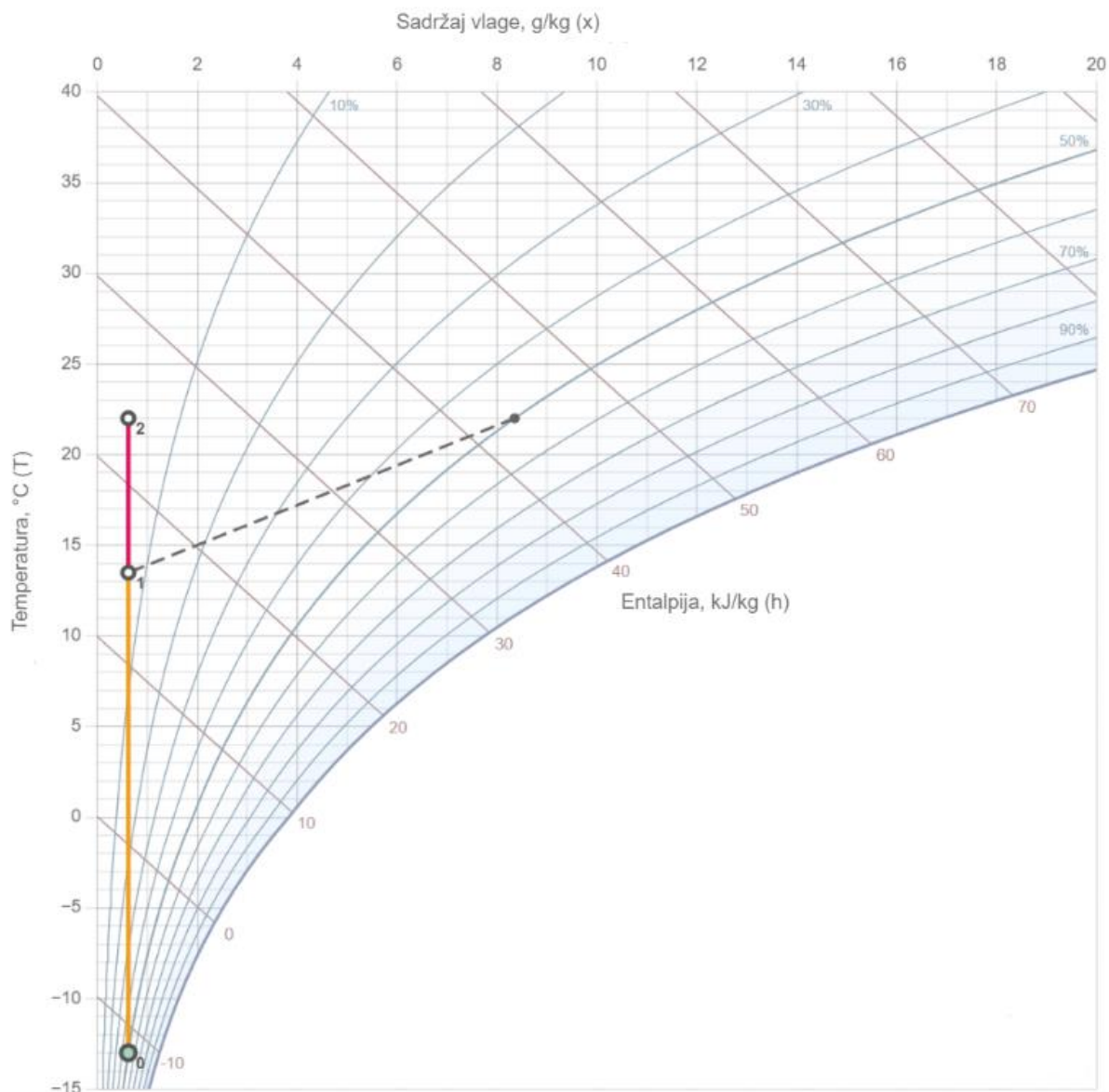
Tablica 23. Proračun za režim grijanja

| Siječanj | T_{sr} , [°C] | T_{rek} , [°C] | $T_{ub}-T_{rek}$ | $Q_{dod,gr}$, [kW] | T_{un} , [°C] | Q_{gr} , [kW] |
|--------------|-----------------|------------------|------------------|---------------------|-----------------|-----------------|
| 9-10 | 0.8 | 17.336 | 2.66 | 1.34 | 22 | -1.01 |
| 10-11 | 2.1 | 17.622 | 2.38 | 1.19 | 22 | -1.01 |
| 11-12 | 3.5 | 17.93 | 2.07 | 1.04 | 22 | -1.01 |
| 12-13 | 4.4 | 18.128 | 1.87 | 0.94 | 22 | -1.01 |
| 13-14 | 4.8 | 18.216 | 1.78 | 0.90 | 22 | -1.01 |
| 15-16 | 5.3 | 18.326 | 1.67 | 0.84 | 22 | -1.01 |
| 16-17 | 4.4 | 18.128 | 1.87 | 0.94 | 22 | -1.01 |
| 17-18 | 3.5 | 17.93 | 2.07 | 1.04 | 22 | -1.01 |
| 18-19 | 2.6 | 17.732 | 2.27 | 1.14 | 22 | -1.01 |
| 19-20 | 1.9 | 17.578 | 2.42 | 1.22 | 22 | -1.01 |
| 20-21 | 1.2 | 17.424 | 2.58 | 1.29 | 22 | -1.01 |
| 21-22 | 0.8 | 17.336 | 2.66 | 1.34 | 22 | -1.01 |
| 22-23 | 0.1 | 17.182 | 2.82 | 1.42 | 22 | -1.01 |

Proračun je prikazan za ukupni protok od 1500 m³/h, tj. simulira rad dvije ventilacijske jedinice.

Toplinski tok Q_{gr} koji se oduzima prostoru zapravo prikazuje rashladni učin sustava ventilacije te je zato označen kao negativan. Također, ako temperaturna razlika $T_{ub} - T_{rek}$ ispadne negativna znači da u navedenim satima nije potrebno dodatno dogrijavati zrak sustavom grijanja jer on rekuperacijom topline dolazi do projektne temperature od 22 °C. Primjeri takvih mjeseci su travanj i svibanj. Proračun ostalih mjeseca grijanja vidljiv je u Prilogu I.

Pri dimenzioniranju sustava grijanja potrebno je uzeti u obzir dodatnu energiju koju treba nadodati snazi vanjske jedinice za pokrivanje zagrijavanja zraka nakon rekuperatora. Također je potrebno pokriti rashladni učin koji nastaje ubacivanjem hladnijeg zraka u prostor. Cijeli proces grijanja prikazan je u Mollierovom dijagramu (Slika 31):



Slika 31. Prikaz procesa rekuperacije topline i dogrijavanja u VKM jedinici [16]

Polazna točka je temperatura vanjskog okoliša od $-13\text{ }^{\circ}\text{C}$ i relativne vlažnosti 50% . Druga točka je stanje nakon rekuperacije topline sa stupnjem povrata topline od 78% . Treća točka je stanje nakon dogrijavanja na temperaturu ubacivanja.

Za ljetne mjesecе odabrana je temperatura ubacivanja od $18\text{ }^{\circ}\text{C}$ koja će značajno doprinosti rashladnom učinku prostora. Ponovno se računa dodatani kapacitet sustava hlađenja koji je potreban za hlađenje zraka s temperature na izlazu iz rekuperatora na temperaturu ubacivanja:

$$Q_{dod,rek-hl} = q_m \cdot c_p \cdot (T_{rek} - T_{ub}), [kW] \quad (19)$$

Rashladni učin izračunava se prema:

$$Q_{hl,VKM} = q_m \cdot c_p \cdot (T_{ub} - T_{un}), [kW] \quad (20)$$

Primjer proračuna za mjesec srpanj prikazan je u Tablici 24:

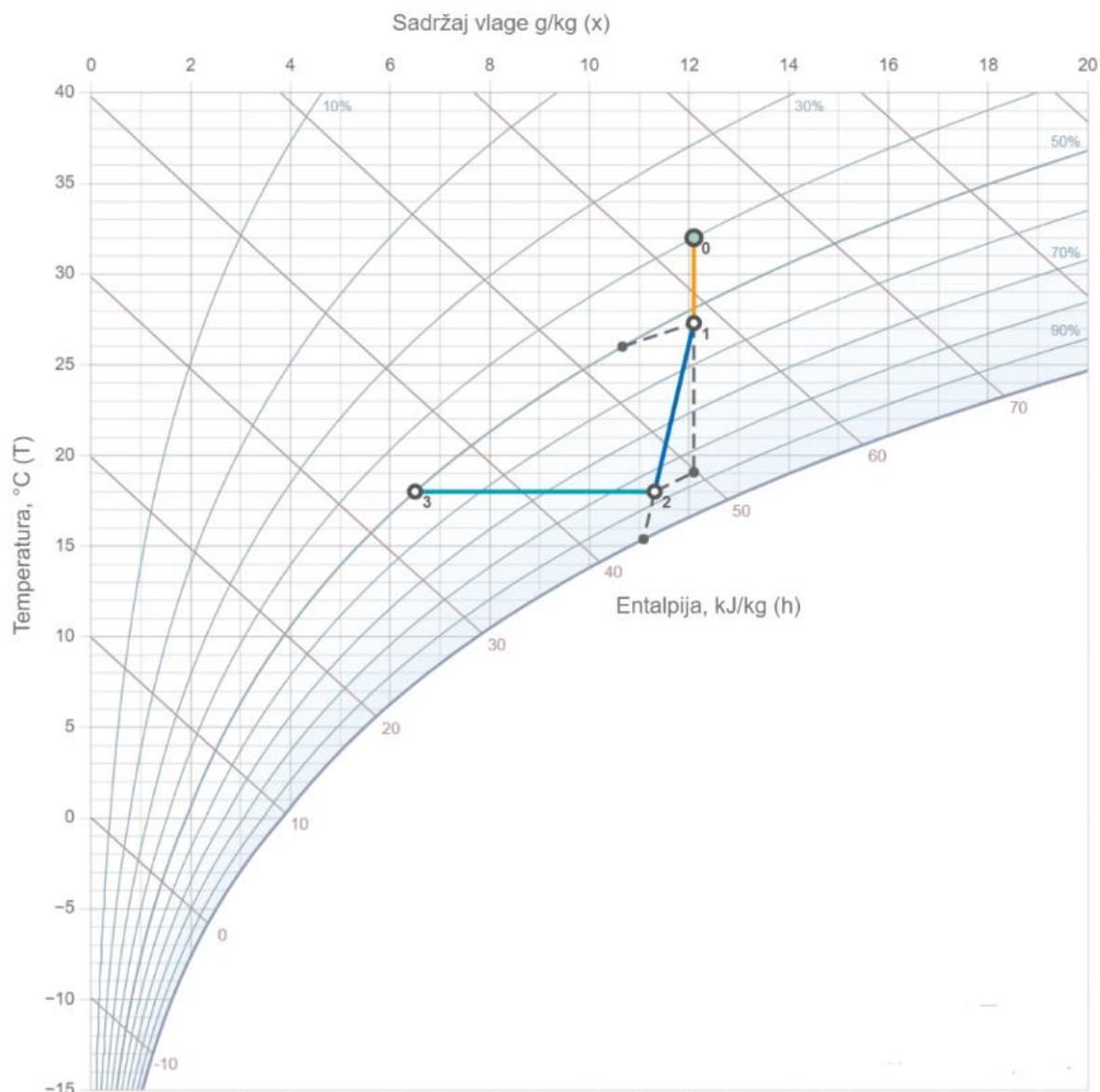
Tablica 24. Proračun za režim hlađenja

| Srpanj | T_{sr}, [°C] | T_{rek}, [°C] | T_{rek}-T_{ub} | Q_{dod,hl}, [kW] | T_{un}, [°C] | Q_{hl}, [kW] |
|---------------|-----------------------------|------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| 9-10 | 23.7 | 22.374 | 4.37 | 2.20 | 26 | 4.02 |
| 10-11 | 24.9 | 22.638 | 4.64 | 2.33 | 26 | 4.02 |
| 11-12 | 26.1 | 22.902 | 4.90 | 2.46 | 26 | 4.02 |
| 12-13 | 27.1 | 23.122 | 5.12 | 2.57 | 26 | 4.02 |
| 13-14 | 27.4 | 23.188 | 5.19 | 2.61 | 26 | 4.02 |
| 15-16 | 27.5 | 23.21 | 5.21 | 2.62 | 26 | 4.02 |
| 16-17 | 27.2 | 23.144 | 5.14 | 2.58 | 26 | 4.02 |
| 17-18 | 26.9 | 23.078 | 5.08 | 2.55 | 26 | 4.02 |
| 18-19 | 26.2 | 22.924 | 4.92 | 2.47 | 26 | 4.02 |
| 19-20 | 24.9 | 22.638 | 4.64 | 2.33 | 26 | 4.02 |
| 20-21 | 23 | 22.22 | 4.22 | 2.12 | 26 | 4.02 |
| 21-22 | 20.9 | 21.758 | 3.76 | 1.89 | 26 | 4.02 |
| 22-23 | 20 | 21.56 | 3.56 | 1.79 | 26 | 4.02 |

Proračun je prikazan za ukupni protok od 1500 m³/h, tj. simulira rad dvije ventilacijske jedinice.

Toplinski tok odveden prostoru Q_{hl} zapravo je rashladni učin predan prostoru od strane ventilacijskog sustava.

Proces hlađenja prikazan je u Mollierovom dijagramu (Slika 32).



Slika 32. Prikaz procesa rekuperacije topline i hlađenja u jedinici VKM [16]

Polazna temperatura je temperatura vanjskog okoliša temperature 32 °C i 40 % vlage. Druga točka je stanje nakon rekuperacije topline sa stupnjem povrata topline od 78 %. Treća točka je stanje nakon hlađenja do temperature ubacivanja i odvlaživanja stanja u prostoriji.

5.1.2. VRF sustav za grijanje i hlađenje

U ovom radu, za slastičarnicu površine 85 m², odabran je multi – split sustav za grijanje i hlađenje. Odabrani sustav treba pokrivati proračunato ogrjevno i rashladno opterećenje. Za usporedni sustav odabire se sustav koji će raditi u skladu sa sustavom mehaničke ventilacije s rekuperacijom topline. S obzirom da je odabrana VKM ventilacijska jedinica spojiva na VRF sustav za grijanje i hlađenje, taj sustav se odabire. Tvrtka Daikin koristi registrirani naziv za VRF sustav VRV (eng. *variable refrigerent volume* – varijabilni volumen radne tvari) čime odražava načelo rada sustava.

Uz pokrivanje ogrjevnog zimskog opterećenja od 7,94 kW, sustav grijanja treba imati rezervu od 1,5 kW. Rezerva se koristi za dogrijavanje zraka na izlazu iz rekuperatora na temperaturu

ubacivanja. Pri dimenzioniranju unutarnjih jedinica potrebno je uzeti u obzir rashladni učin ventilacijskog sustava te također predvidjeti rezervu od 1,1 kW.

Sumirano, sustavom grijanja potrebno je pokriti sljedeće toplinsko opterećenje:

$$Q_{gr,uk} = 7,94 + 1,5 + 1,1 = 10,54 \text{ kW}$$

U ljetnom razdoblju, uz pokrivanje rashladnog opterećenja od 12,1 kW potrebno je predvidjeti 2,6 kW rezerve. Rezerva se koristi za hlađenje zraka s temperature nakon izlaza s rekuperatora na temperaturu ubacivanja. Pri dimenzioniranju unutarnjih jedinica potrebno je uzeti u obzir rashladni učin ventilacijskog sustava od 4 kW. Rashladni učin je posljedica ubacivanja zraka od 18 °C što je 8 °C niže od projektne unutarnje temperature.

Sumirano, sustavom hlađenja potrebno je pokriti sljedeće rashladno opterećenje:

$$Q_{hl,uk} = 12,1 + 2,6 - 4 = 10,7 \text{ kW}$$

Potrebno je odabrati VRV sustav koji će odgovarati izračunatom toplinskom i rashladnom opterećenju. VKM jedinica za ventilaciju spaja se na vanjsku jedinicu VRV sustava te ima ulogu unutarnje jedinice. Potrebno je obratiti pozornost na broj priključaka vanjske jedinice.

Odabrana je vanjska jedinica sustava RXYSCQ čije su karakteristike prikazane u Tablici 25 (Slika 33):

Tablica 25. Karakteristike vanjske jedinice VRV sustava RXYSCQ6 [12]

| Vanjska jedinica dizalice topline RXCSCQ | |
|--|--------------|
| Model | RXYSCQ6 |
| Rashladni učin (nom.), [kW] | 12,1 |
| Ogrjevni učin (nom.), [kW] | 13,5 |
| Dimenzije (DxŠxV), [mm] | 460x940x823 |
| Maksimalna duljina cjevovoda, [m] | 300 |
| Maksimalna visinska duljina cjevovoda, [m] | 160 |
| Radno područje za hlađenje, [°C] | -5 do +46 |
| Radno područje za grijanje, [°C] | -20 do +15,5 |
| Priključak radne tvari (tekuća faza), [mm] | 9,52 |
| Priključak radne tvari (plinovita faza), [mm] | 19,1 |
| SEER, [-] | 7,1 |
| SCOP, [-] | 4,7 |
| Masa, [kg] | 89 |

SCOP je izračunat za prosječnu godišnju vanjsku temperaturu od 7 °C i temperaturu prostora od 20 °C. SEER je izračunat za prosječnu godišnju vanjsku temperaturu od 35 °C i temperaturu prostora od 27 °C.



Slika 33. Vanjska jedinica VRV sustava RXYSCQ6 [12]

Odabrana vanjska jedinica u izvedbi dizalice topline koristi radnu tvar R410-A. Jedinica ima mogućnost promjene temperature isparavanja u odnosu na vanjsku temperaturu i toplinsko opterećenje. Raspon promjene temperature isparavanja je širok i iznosi između 3 °C i 16 °C. Vanjska jedinica opremljena je jednim ventilatorom. [12]

Odabrana je unutarnja jedinica VRV sustava kazetne izvedbe s ugradnjom u strop modela FXZQ, proizvođača Daikin (Slika 34). Jedinica ima mogućnost ispuhivanja zraka u četiri smjera i nisku razinu buke. Jedinica je opremljena ventilatorom, izmjenjivačem topline s direktnom ekspanzijom radne tvari i pumpom za kondenzat. [12]



Slika 34. Unutarnja jedinica VRV sustava FXZQ50 [12]

Tehničke karakteristike unutarnje jedinice VRV sustava prikazane su u Tablici 26:

Tablica 26. Karakteristike unutarnje jedinice VRV sustava FXZQ50 [12]

| Unutarnja jedinica dizalice topline | |
|--|-------------|
| Model | FXZQ50 |
| Rashladni učin (nom.), [kW] | 5,5 |
| Ogrjevni učin (nom.), [kW] | 6,3 |
| Dimenzije (DxŠxV), [mm] | 575x575x260 |
| Protok zraka za hlađenje, [m³/min] | 10 – 14,5 |
| Protok zraka za grijanje, [m³/min] | 10 – 14,5 |
| Nivo zvučnog tlaka – hlađenje, [dBA] | 33 – 43 |
| Nivo zvučnog tlaka – grijanje, [dBA] | 33 – 43 |
| Masa, [kg] | 18,5 |

Rashladni i ogrjevni učin izračunati su za nominalne uvjete. Ljeti nominalni uvjeti podrazumijevaju vanjsku temperaturu od 32 °C i unutarnju od 26 °C. Zimi nominalni uvjeti podrazumijevaju vanjsku temperaturu od -10 °C i unutarnju od 20 °C.

Regulacija i upravljanje sustavom predviđeno je na jednak način kao i kod multi – split sustava za grijanje i hlađenje i VAM ventilacijske jedinici. Jednaki uređaji za upravljanje su kompatibilni s oba sustava.

Smještaj ventilacijskih jedinica i kanala te unutrašnjih jedinica VRV sustava prikazan je na nacrtu u Prilogu II.

5.2. Tehničko – ekonomska usporedba

Ekonomska usporedba dva tehnička rješenja za grijanje, hlađenje i ventilaciju slastičarnice u Zagrebu uključuje troškovnik osnovne opreme i godišnju isporučenu električnu energiju za zgradu.

5.2.1. Usporedba cijena sustava

Troškovnik za dizalicu topline u izvedbi multi – split sustava i sustav mehaničke ventilacije s rekuperacijom topline VAM prikazan je u Tablici 27.

Tablica 27. Troškovnik multi - split sustava s VAM ventilacijskom jedinicom [12]

| Stavka | Jedinica mjere | Količina | Jedinična cijena, [kn] | Cijena ukupno, [kn] |
|--|----------------|----------|------------------------|---------------------|
| VAM1500 ventilacijska jedinica s rekuperacijom topline | kom | 1 | 32250 | 32250 |
| Električni grijač za VAM1500 | kom | 1 | 10000 | 10000 |
| CO ₂ senzor za VAM1500 | kom | 1 | 4300 | 4300 |
| Vanjska jedinica multi – split sustava RZASG125 | kom | 1 | 16300 | 16300 |
| Unutarnja jedinica multi – split sustava FFA50 | kom | 3 | 8000 | 24000 |
| Žičani daljinski upravljač Madoka | kpl | 1 | 1200 | 1200 |
| Ukupno: | | | | 88050 kn |

Troškovnik osnovne opreme za VKM ventilacijsku jedinicu i VRV sustav grijanja i hlađenja prikazan je u Tablici 28:

Tablica 28. Troškovnik VRF sustava i VKM ventilacijske jedinice [12]

| Stavka | Jedinica mjere | Količina | Jedinična cijena, [kn] | Cijena ukupno, [kn] |
|--|----------------|----------|------------------------|---------------------|
| VKM80 ventilacijska jedinica s rekuperacijom topline | kom | 2 | 24600 | 49200 |
| CO ₂ senzor za VKM80 | kom | 2 | 4300 | 8600 |
| Vanjska jedinica multi – split sustava RXYSCQ6 | kom | 1 | 29000 | 29000 |
| Unutarnja jedinica multi – split sustava FXZQ5050 | kom | 2 | 9250 | 18500 |
| Žičani daljinski upravljač Madoka | kpl | 1 | 1200 | 1200 |
| Ukupno: | | | | 106500 kn |

Osnovna oprema uključuje ventilacijsku jedinicu, vanjsku jedinicu i unutarnje jedinice za sustav grijanja i hlađenja te opremu za regulaciju i održavanje. Iako je VAM ventilacijska jedinica skuplja i zahtijeva kupovinu dodatnog električnog grijača, varijanta sustava s VKM

ventilacijskom jedinicom ispada 17 % skuplja. Razlog tome je manji kapacitet VKM jedinice i potreba za naručivanjem dvije. Uz to, vanjska jedinica VRV sustava je preko 40 % skuplja od vanjske jedinice multi – split sustava. Razlog tome je mogućnost spajanja velikog broja unutarnjih jedinica. U slučaju veće zgrade s većim brojem unutarnjih jedinica isplativiji bi bio jedan VRV sustav nego više multi – split sustava, ali to nije slučaj u ovom projektu stambenice površine 85 m².

5.2.2. Usporedba godišnje isporučene energije

Godišnja isporučena energija za zgradu je ona energija koja se dovodi u termotehnički sustav kako bi se zadovoljile potrebe za grijanjem, hlađenjem i ventilacijom. Potrebna energija za grijanje i hlađenje dobiva se iz faktora grijanja (COP) i faktora hlađenja (EER).

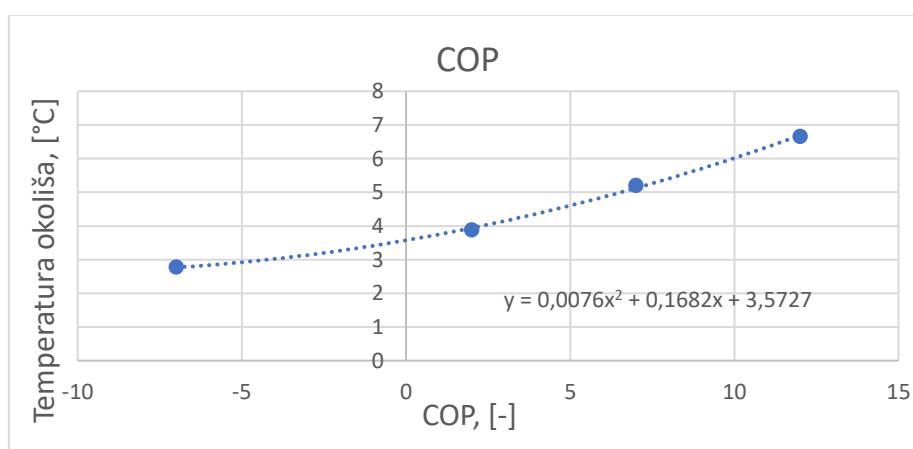
5.2.2.1. Multi – split sustav za grijanje i hlađenje i VAM sustav mehaničke ventilacije s rekuperacijom topline

Da bi se dobile vrijednosti godišnje potrošene energije za grijanje i hlađenje, za odabrani sustav, izračunate su vrijednosti toplinskih množitelja za srednju temperaturu svakog mjeseca. Srednje mjesečne temperature su uzete prema referentnoj meteorološkoj postaji Zagreb – Maksimir. Dobivene su vrijednosti po mjesecima (Tablica 29):

Tablica 29. Vrijednosti COP-a po mjesecima za multi – split sustav [12]

| Mjesec | Srednja temperatura, [°C] | COP, [-] |
|----------|---------------------------|----------|
| Siječanj | 1 | 3,75 |
| Veljača | 2,9 | 4,12 |
| Ožujak | 7,1 | 5,15 |
| Travanj | 11,7 | 6,58 |
| Listopad | 11,4 | 6,48 |
| Studeni | 6,5 | 4,99 |
| Prosinac | 1,4 | 3,82 |

Grafički prikaz ovisnosti COP-a o vanjskoj temperaturi zraka prikazan je u dijagramu na Slici 35:



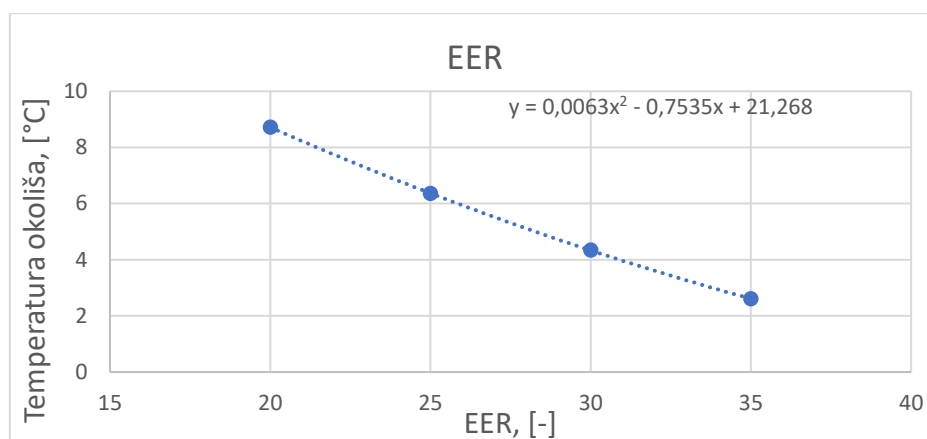
Slika 35. Dijagram ovisnosti COP-a o vanjskoj temperaturi zraka za multi – split sustav

Vrijednosti EER-a po mjesecima prikazane su u Tablici 30:

Tablica 30. Vrijednosti EER-a po mjesecima za multi – split sustav [12]

| Mjesec | Srednja temperatura, [°C] | EER, [-] |
|----------------|---------------------------|----------|
| Svibanj | 16,8 | 10,39 |
| Lipanj | 20,3 | 8,57 |
| Srpanj | 21,9 | 7,79 |
| Kolovoz | 21,3 | 8,08 |
| Rujan | 16,3 | 10,66 |

Grafički prikaz ovisnosti EER-a o vanjskoj temperaturi zraka prikazan je u dijagramu na Slici 36:



Slika 36. Dijagram ovisnosti EER-a o vanjskoj temperaturi zraka

Dijeljenjem potrebne toplinske energije za grijanje s COP-om iz tablice dobiva se potrebna energija za sustav grijanja i hlađenja. Množenjem te energije s brojem sati u mjesecu dobiva se potrebna električna energija. Dobivene su vrijednosti potrošnje električne energije za grijanje po mjesecima i potrebna električna energija za sustav grijanja (Tablica 31):

Tablica 31. Potrebna električna energija za sustav grijanja – multi – split sustav

| Mjesec | Toplinsko opterećenje, [kW] | Broj sati u mjesecu, [-] | Potrebna električna energija za sustav grijanja, [kWh] |
|-----------------|-----------------------------|--------------------------|--|
| Siječanj | 7 | 372 | 199,2 |
| Veljača | 3,9 | 336 | 355,3 |
| Ožujak | 3,1 | 372 | 618 |
| Travanj | 2,1 | 360 | 1128,2 |
| Listopad | 2,3 | 372 | 1047,7 |
| Studeni | 3,3 | 360 | 544 |
| Prosinac | 4,3 | 372 | 330,7 |

Za sustav grijanja ukupno je potrebno 4223,2 kWh električne energije godišnje.

Dijeljenjem potrebne energije za hlađenje s EER-om dobiva se potrebna energija za taj sustav. Množenjem te energije s brojem sati u mjesecu dobiva se potrebna električna energija. Dobivene su vrijednosti potrošnje električne energije za grijanje po mjesecima i potrebna električna energija za sustav grijanja (Tablica 32):

Tablica 32. Potrebna električna energija za sustav hlađenja – multi – split sustav

| Mjesec | Rashladno opterećenje, [kW] | Broj sati u mjesecu, [-] | Potrebna električna energija za sustav hlađenja, [kWh] |
|----------------|-----------------------------|--------------------------|--|
| Svibanj | 4 | 372 | 143,3 |
| Lipanj | 12,1 | 360 | 508,4 |
| Srpanj | 12 | 372 | 573,2 |
| Kolovoz | 11,2 | 360 | 499,2 |
| Rujan | 9,8 | 372 | 342 |

Potrebna električna energija za sustav hlađenja iznosi 2066,1 kWh godišnje.

Električna energija potrebna za rad ventilacijske jedinice s rekuperacijom topline VAM izračunata je u računalnom programu KI – Expert. Dobivene vrijednosti za karakterističan dan u mjesecu prikazane su u Tablici 33:

Tablica 33. Električna energija za električni grijač VAM rekuperatora za karakterističan dan [11]

| sat/mjesec | siječanj | veljača | ožujak | listopad | studeni | prosinac |
|-----------------------|----------|---------|--------|----------|---------|----------|
| 9-10 | 1,25 | 0,56 | 0,05 | 0,21 | 0,92 | 1,98 |
| 10-11 | 1,05 | 0,69 | 0 | 0 | 0,73 | 1,7 |
| 11-12 | 0,84 | 0,42 | 0 | 0 | 0,61 | 1,55 |
| 12-13 | 0,7 | 0,3 | 0 | 0 | 0,45 | 1,39 |
| 13-14 | 0,64 | 0,14 | 0 | 0 | 0,43 | 1,33 |
| 14-15 | 0,54 | 0,12 | 0 | 0 | 0,39 | 1,33 |
| 15-16 | 0,7 | 0,01 | 0 | 0 | 0,56 | 1,42 |
| 16-17 | 0,84 | 0,05 | 0,1 | 0 | 0,7 | 1,58 |
| 17-18 | 0,97 | 0,45 | 0,45 | 0 | 0,92 | 1,64 |
| 18-19 | 1,08 | 0,73 | 0,69 | 0 | 1,05 | 1,76 |
| 19-20 | 1,19 | 0,93 | 0,96 | 0 | 1,14 | 1,8 |
| 20-21 | 1,25 | 1,02 | 1,07 | 0,44 | 1,26 | 1,89 |
| 21-22 | 1,36 | 1,1 | 1,19 | 0,56 | 1,29 | 1,95 |
| 22-23 | 1,36 | 1,1 | 1,29 | 0,68 | 1,31 | 2,01 |
| Ukupno, [kWh]: | 13,78 | 7,6 | 5,8 | 1,89 | 11,76 | 23,3 |

Električna energija koju koristi električni grijač VAM sustav za grijanje iznosi 64,15 kWh godišnje.

Potrebno je uzeti u obzir energiju za pomoćne sustave koji uključuju:

- ventilator vanjske jedinice multi – split sustava
- pumpu za kondenzat
- ventilator VAM ventilacijske jedinice.

Procijenjena je priključna snaga od 35 W po unutarnjoj jedinici multi- split sustava i 700 W za ventilacijsku jedinicu. Priključna snaga se množi s brojem radnih sati u godini kako bi se dobila godišnja potrošnja električne energije. Proračun multi – split sustava obuhvaća faktor istovremenosti koji uzima u obzir vrijeme rada svih uređaja u isto vrijeme. Iskustveno je odabran faktor istovremenosti od 0,7. Pri proračunu ventilacijske jedinice uzet je u obzir stupanj opterećenja koji uzima u obzir stupanj opterećenja jedinice tokom dana. Iskustveno je odabran stupanj opterećenja od 0,6.

Pretpostavljen rad ventilacijskog sustava je cjelogodišnje ponedjeljak - subota za vrijeme cijelog radnog vremena, tj. 14 sati dnevno. Dobiva se vrijeme rada od 4242 sati godišnje i godišnja potrošnja električne energije od 2970 kWh. Množenjem s faktorom istovremenosti dobiva se 1780 kWh potrebne električne energije godišnje za rad pomoćnih sustava ventilacijske jedinice.

Pretpostavljeno vrijeme rada sustava za grijanje i hlađenje isključuje četiri tjedna rada: po dva tjedna u prijelaznom vremenskom razdoblju proljeće/jesen. Time se dobiva vrijeme rada sustava od 3850 sati godišnje i potrebna električna energija od 134,7 kWh godišnje. Množenjem sa stupnjem opterećenja dobiva se 95 kWh potrebne električne energije godišnje za rad pomoćnih sustava multi – split sustava.

U tablici je prikazana ukupno potrebna godišnja električna energija za rad multi – split sustava grijanja i hlađenja sa sustavom mehaničke ventilacije s rekuperacijom topline VAM (Tablica 34):

Tablica 34. Ukupna potrebna električna energija za sustav multi - split i VAM jedinice

| Sustav: | Potrošnja električne energije, [kWh] |
|--|--------------------------------------|
| Sustav grijanja | 4223,2 |
| Sustav hlađenja | 2066,1 |
| Električni grijač za VAM ventilacijsku jedinicu | 64,1 |
| Pomoćna energija sustava grijanja i hlađenja | 95 |
| Pomoćna energija sustava mehaničke ventilacije | 1780 |
| UKUPNO: | 8228,4 kWh |

Ukupna potrebna električna energija za rad multi – split sustava za grijanje i hlađenje i VAM ventilacijske jedinice s rekuperacijom topline iznosi 8228,4 kWh godišnje.

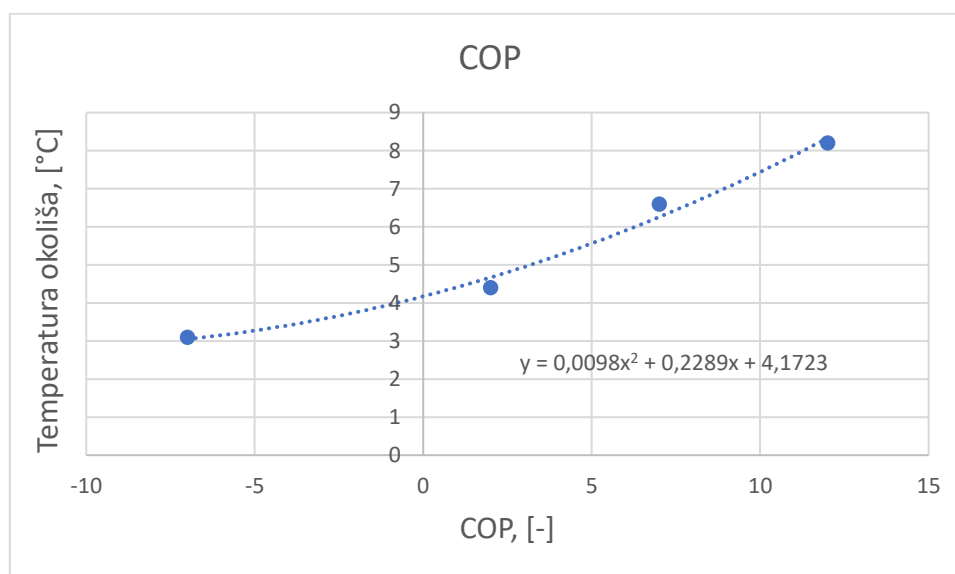
5.2.2.2. VRV sustav za grijanje i hlađenje i VKM sustav mehaničke ventilacije s rekuperacijom topline

Za izračun energije za grijanje i hlađenje koristi se jednak postupak kao i kod proračuna multi – split sustava. Vrijednosti COP-a u ovisnosti o srednjoj temperaturi zraka za karakterističan dan za VRV sustav prikazane su u Tablici 35:

Tablica 35. Vrijednosti COP-a po mjesecima za VRV sustav [12]

| Mjesec | Srednja temperatura, [°C] | COP, [-] |
|----------|---------------------------|----------|
| Siječanj | 1 | 4,41 |
| Veljača | 2,9 | 4,92 |
| Ožujak | 7,1 | 6,29 |
| Travanj | 11,7 | 8,19 |
| Listopad | 11,4 | 8,06 |
| Studeni | 6,5 | 6,07 |
| Prosinac | 1,4 | 4,51 |

Vrijednosti su prikazane u dijagramu na Slici 37:



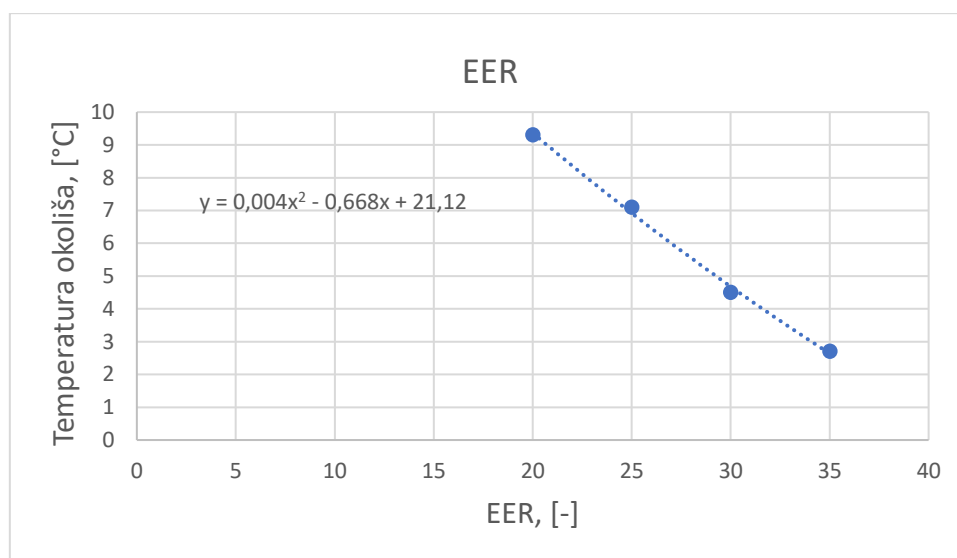
Slika 37. Dijagram ovisnosti COP-a o vanjskoj temperaturi zraka za VRV sustav

Vrijednosti EER-a po mjesecima prikazane su u Tablici 36:

Tablica 36. Vrijednosti EER-a po mjesecima za VRV sustav [12]

| Mjesec | Srednja temperatura, [°C] | EER, [-] |
|----------------|---------------------------|----------|
| Svibanj | 16,8 | 11,03 |
| Lipanj | 20,3 | 9,21 |
| Srpanj | 21,9 | 8,41 |
| Kolovoz | 21,3 | 8,71 |
| Rujan | 16,3 | 11,29 |

Grafički prikaz ovisnosti EER-a o vanjskoj temperaturi zraka prikazan je u dijagramu na Slici 38:



Slika 38. Dijagram ovisnosti EER-a o vanjskoj temperaturi zraka

Dobivene su vrijednosti potrošnje električne energije za grijanje po mjesecima i potrebna električna energija za sustav grijanja (Tablica 37):

Tablica 37. Potrebna električna energija za sustav grijanja – VRV sustav

| Mjesec | Toplinsko opterećenje, [kW] | Broj sati u mjesecu, [-] | Potrebna električna energija za sustav grijanja, [kWh] |
|-----------------|-----------------------------|--------------------------|--|
| Siječanj | 7 | 372 | 234,4 |
| Veljača | 3,9 | 336 | 423,8 |
| Ožujak | 3,1 | 372 | 755 |
| Travanj | 2,1 | 360 | 1404,3 |
| Listopad | 2,3 | 372 | 1302,9 |
| Studeni | 3,3 | 360 | 662,6 |
| Prosinac | 4,3 | 372 | 390,3 |

Za sustav grijanja ukupno je potrebno 5173,3 kWh električne energije godišnje.

Dobivene su vrijednosti potrošnje električne energije za grijanje po mjesecima i potrebna električna energija za sustav grijanja (Tablica 38):

Tablica 38. Potrebna električna energija za sustav hlađenja – VRV sustav

| Mjesec | Rashladno opterećenje, [kW] | Broj sati u mjesecu, [-] | Potrebna električna energija za sustav hlađenja, [kWh] |
|----------------|-----------------------------|--------------------------|--|
| Svibanj | 4 | 372 | 134,9 |
| Lipanj | 12,1 | 360 | 473,1 |
| Srpanj | 12 | 372 | 530,8 |
| Kolovoz | 11,2 | 360 | 463,1 |
| Rujan | 9,8 | 372 | 322,8 |

Potrebna električna energija za sustav hlađenja iznosi 1924,8 kWh godišnje.

Potrebna električna energija za sustav mehaničke ventilacije s rekuperacijom topline VKM izračunata je koristeći računalni program KI – Expert. Dobiveni rezultati za grijanje i hlađenje prikazani su u Tablicama 39 i 40:

Tablica 39. Električna energija potrebna za rad VKM jedinice u režimu grijanja [11]

| $Q_{H,ve}$, mech | 22-23 | 21-22 | 20-21 | 19-20 | 18-19 | 17-18 | 16-17 | 15-16 | 14-15 | 13-14 | 12-13 | 11-12 | 10-11 | 9-10 | mjesec/ sat |
|----------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|----------------|
| 42.19 | 3.38 | 3.38 | 3.28 | 3.22 | 3.11 | 3 | 2.87 | 2.73 | 2.59 | 2.67 | 2.73 | 2.87 | 3.08 | 3.28 | siječanj |
| 36.73 | 3.12 | 3.12 | 3.05 | 2.96 | 2.76 | 2.48 | 2.25 | 2.19 | 2.16 | 2.18 | 2.33 | 2.45 | 2.73 | 2.95 | veljača |
| 26.49 | 2.61 | 2.25 | 2.39 | 2.25 | 1.93 | 1.76 | 1.54 | 1.42 | 1.48 | 1.53 | 1.61 | 1.73 | 1.9 | 2.09 | ožujak |
| 11.07 | 1.98 | 1.88 | 1.79 | 1.65 | 1.4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1.08 | 1.29 | travanj |
| 1.3 | 1.3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | svibanj |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | lipanj |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | srpanj |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | kolovoz |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | rujan |
| 8.76 | 1.89 | 1.78 | 1.78 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.46 | 1.3 | 1.55 | listopad |
| 30.97 | 2.64 | 2.63 | 2.59 | 2.47 | 2.38 | 2.25 | 2.04 | 1.85 | 1.72 | 1.72 | 1.79 | 1.94 | 2.7 | 2.25 | studeni |
| 41.48 | 3.27 | 3.21 | 3.12 | 3.08 | 2.96 | 2.96 | 2.9 | 2.75 | 2.66 | 2.66 | 2.72 | 2.87 | 3.02 | 3.3 | prosinac |

Tablica 40. Električna energija potrebna za rad VKM jedinice u režimu hlađenja [11]

| $Q_{H,ve,mach}$ | 22-23 | 21-22 | 20-21 | 19-20 | 18-19 | 17-18 | 16-17 | 15-16 | 14-15 | 13-14 | 12-13 | 11-12 | 10-11 | 9-10 | mjesec/ sat |
|-----------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|----------------|
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | siječanj |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | veljača |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | ožujak |
| 4.45 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1.28 | 0.77 | 0.61 | 0.61 | 0.41 | 0.77 | 0 | 0 | 0 | travanj |
| 6.84 | 0 | 0 | 0 | 0.27 | 0.57 | 0.79 | 0.91 | 0.97 | 0.98 | 0.89 | 0.7 | 0.49 | 0.27 | 0 | svibanj |
| 20.1 | 0 | 0.09 | 0.36 | 0.96 | 1.46 | 1.89 | 2.04 | 2.03 | 2.11 | 2.16 | 2.09 | 1.84 | 1.61 | 1.46 | lipanj |
| 28.17 | 0.36 | 0.64 | 0.96 | 1.62 | 2.14 | 2.52 | 2.72 | 2.79 | 2.8 | 2.75 | 2.68 | 2.42 | 2.05 | 1.72 | srpanj |
| 23.4 | 0.1 | 0.3 | 0.6 | 1.12 | 1.73 | 2.03 | 2.25 | 2.38 | 2.47 | 2.57 | 2.32 | 2.15 | 1.85 | 1.53 | kolovoz |
| 6.13 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.08 | 0.51 | 0.77 | 0.9 | 0.96 | 0.97 | 0.85 | 0.67 | 0.42 | 0 | rujan |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | listopad |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | studen |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | prosinac |

Ukupno je potrebno 199 kWh godišnje za rad VKM ventilacijske jedinice u režimu grijanja i 90 kWh u režimu hlađenja godišnje. U taj izračun uključeni su svi pomoćni sustavi sustava mehaničke ventilacije.

Potrebno je uzeti u obzir energiju za pomoćne sustave grijanja i hlađenja koji uključuju:

- ventilator vanjske jedinice multi – split sustava
- pumpu za kondenzat.

Procijenjena je priključna snaga od 35 W po unutarnjoj jedinici VRV sustava. Priključna snaga se množi s brojem radnih sati u godini kako bi se dobila godišnja potrošnja električne energije i faktorom istovremenosti. Pretpostavljeno vrijeme rada sustava za grijanje i hlađenje odabire se na isti način kao i za multi – split sustav – isključuje četiri tjedna rada. Time se dobiva vrijeme rada sustava od 5055 sati godišnje i potrebna električna energija od 123 kWh godišnje.

U Tablici 41 prikazana je ukupno potrebna godišnja električna energija za rad VRV sustav grijanja i hlađenja sa sustavom mehaničke ventilacije s rekuperacijom topline VKM.

Tablica 41. Ukupna potrebna električna energija za VRV sustav i VKM

| Sustav: | Potrošnja električne energije, [kWh] |
|---|---|
| Sustav grijanja | 5173,3 |
| Sustav hlađenja | 1924,8 |
| VKM ventilacijska jedinica - grijanje | 199 |
| VKM ventilacijska jedinica - hlađenje | 90 |
| Pomoćna energija sustava grijanja i hlađenja | 123 |
| UKUPNO: | 7510,1 kWh |

Ukupno potrebna električna energija za VRV sustav za grijanje i hlađenje i ventilacijsku jedinicu VKM iznosi 7510,1 kWh godišnje.

6. ZAKLJUČAK

U ovom diplomskom radu projektiran je sustav grijanja, hlađenja i ventilacije elastičarnice u centru Zagreba. Unutarnja projektna temperatura u režimu grijanja iznosi 22 °C te 26 °C u režimu hlađenja. Potrebna toplinska energija za grijanje i rashladna energija za hlađenje izračunate su koristeći računalni program IntegraCAD sukladno normi HRN EN 12831 i smjernici VDI 287. Projektni toplinski gubici iznose 7,94 kW, a rashladno opterećenje iznosi 12,1 kW. Toplinska bilanca uzima u obzir gubitke zbog prekida rada grijanja noću. Prema dobivenim podacima dimenzioniran je sustav grijanja i hlađenja. Potrebna količina dobavnog zraka proračunata je prema normi HRN EN 16798-1:2019 i iznosi 1500 m³/h. Na temelju protoka dimenzionirani su kanali i difuzori te proračunat pad tlaka u kritičnoj dionici sustava.

Sukladno proračunima, odabrana je dizalica topline zrak – zrak u izvedbi multi – split sustava za grijanje i hlađenje te sustav mehaničke ventilacije s rekuperacijom topline. Ova dva sustava su odvojena. Samostalna jedinica ventilacije ima električni grijač kojim dogrijava zrak na temperaturu ubacivanja zimi od 18 °C. Dimenzioniran je sustav s tri unutarnje kazetne jedinice i jednom ventilacijskom jedinicom.

Provedena je tehničko ekonomska usporedba dva sustava mehaničke ventilacije s rekuperacijom: samostalna jedinica i jedinica spojiva na sustav grijanja i hlađenja. Spojiva jedinica ima mogućnost spajanja na VRF sustav za grijanje i hlađenje. Tehnička usporedba sustava uključuje dimenzioniranje VRF sustava ovisno o toplinskom i rashladnom opterećenju koje ventilacijska jedinica može pokriti. Ekonomska usporedba sustava uključuje cjenovnu usporedbu osnovne opreme kroz troškovnik te proračun godišnje isporučene električne energije.

Spojiva jedinica u režimu grijanja u prostor ubacuje zrak temperature 20 °C čime povećava toplinsko opterećenje sustava. U režimu hlađenja temperatura ubacivanja iznosi 18 °C čime se smanjuje rashladno opterećenje sustava. Predviđena je rezerva VRF sustava za dohlađivanje i dogrijevanje zraka nakon rekuperacije topline u ventilacijskoj jedinici. Dobiveno je toplinsko opterećenje od 10,54 kW i rashladno opterećenje od 10,7 kW i odabran VRF sustav s dvije unutarnje kazetne jedinice. Spojive jedinice dolaze u manjim veličinama zbog čega je, za zadovoljavanje potrebnog protoka zraka, potrebno uzeti dvije.

Osnovna oprema uključuje vanjsku i unutarnju jedinicu za sustav grijanja i hlađenja, ventilacijsku jedinicu te opremu za regulaciju i upravljanje. Varijanta sustava sa spojom ventilacijskom jedinicom je skuplja iako je samostalna jedinica skuplja i zahtijeva kupnju dodatnog električnog grijača. Zbog manjeg kapaciteta spojive jedinice, a da bi se zadovoljio potrebni protok zraka, koriste se dvije jedinice. Također, vanjska jedinica VRV sustava je 40 % skuplja od vanjske jedinice multi – split sustava. Razlika u cijeni osnovne opreme je 17 % viša za sustav s VRV-om i spojom ventilacijskom jedinicom.

Usporedba godišnje isporučene energije uzima u obzir potrošnju električne energije sustava dizalice topline zrak – zrak i sustava mehaničke ventilacije. Dobivena je 8 % veća godišnja potrošnja električne energije za VRV sustav i spojivu ventilacijsku jedinicu. Razlog je veća potrošnja energije VRV sustava te dvije VKM ventilacijske jedinice s visokom potrošnjom ventilatora.

7. LITERATURA

- [1] Priručnik za energetska certificiranje zgrada, Program ujedinjenih naroda za razvoj – UNDP, Zagreb
- [2] <https://klimatizacija.hr/blog/novosti/mono-i-multi-split-klima-uredaji-prednosti-i-nedostaci-24/> (stranica posjećena: 28.11.2022.)
- [3] Igor Balen: Podloge za predavanja iz kolegija „Klimatizacija“, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb
- [4] Norma HRN EN 16798-1:2019
- [5] Izvod iz katastra
- [6] Tehnički propis o racionalnoj uporabi energije i toplinskoj zaštiti u zgradama, Prilog E: Tablični prikazi meteoroloških veličina, položaja i visina za referentne postaje
- [7] Računalni program IntegraCAD
- [8] Norma HRN EN 12831
- [9] 29.8 2001 ASHRAE Handbook
- [10] Tehnički propis o uštedi toplinske energije i toplinskoj zaštiti u zgradama, Razred arhitekata HKAIG, Zagreb, 2006.
- [11] Računalni program KI – Expert plus
- [12] Daikin katalog proizvoda
- [13] Računalni program za proračun sustava ventilacije Solveair, Klimaoprema
- [14] Pravilnik o najvišim dopuštenim razinama buke s obzirom na vrstu izvora buke, vrijeme i mjesto nastanka, Narodne novine, Zagreb, prosinac 2021.
- [15] Pravilnik o zaštiti na radu, Narodne novine, Zagreb, rujan 2020.
- [16] <https://www.mollier-diagram.com/> (stranica zadnje posjećena: 28.11.2022.)
- [17] <https://www.hvac.hr/okrugla-protukisna-resetka-100/723/product/> (stranica zadnje posjećena: 28.11.2022.)

PRILOG I – Proračun sustava grijanja i hlađenja

| Veljača | T_{sr}, [°C] | T_{rek}, [°C] | T_{ub}-T_{rek} | Q_{dod,gr}, [kW] | T_{un}, [°C] | Q_{gr}, [kW] |
|----------------|-----------------------------|------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| 9-10 | 2.9 | 17.79 | 2.20 | 1.11 | 22 | -1.01 |
| 10-11 | 4.4 | 18.12 | 1.87 | 0.94 | 22 | -1.01 |
| 11-12 | 6.2 | 18.52 | 1.48 | 0.74 | 22 | -1.01 |
| 12-13 | 7 | 18.7 | 1.30 | 0.65 | 22 | -1.01 |
| 13-14 | 8 | 18.92 | 1.08 | 0.54 | 22 | -1.01 |
| 15-16 | 8.1 | 18.94 | 1.06 | 0.53 | 22 | -1.01 |
| 16-17 | 8.3 | 18.98 | 1.01 | 0.51 | 22 | -1.01 |
| 17-18 | 7.5 | 18.81 | 1.19 | 0.60 | 22 | -1.01 |
| 18-19 | 6 | 18.48 | 1.52 | 0.76 | 22 | -1.01 |
| 19-20 | 4.2 | 18.08 | 1.92 | 0.96 | 22 | -1.01 |
| 20-21 | 2.9 | 17.79 | 2.20 | 1.11 | 22 | -1.01 |
| 21-22 | 2.3 | 17.66 | 2.33 | 1.17 | 22 | -1.01 |
| 22-23 | 1.8 | 17.55 | 2.44 | 1.23 | 22 | -1.01 |

| Ožujak | T_{sr}, [°C] | T_{rek}, [°C] | T_{ub}-T_{rek} | Q_{dod,gr}, [kW] | T_{un}, [°C] | Q_{gr}, [kW] |
|---------------|-----------------------------|------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| 9-10 | 8.6 | 19.05 | 0.95 | 0.48 | 22 | -1.01 |
| 10-11 | 9.8 | 19.31 | 0.68 | 0.34 | 22 | -1.01 |
| 11-12 | 10.9 | 19.55 | 0.44 | 0.22 | 22 | -1.01 |
| 12-13 | 11.9 | 19.77 | 0.22 | 0.11 | 22 | -1.01 |
| 13-14 | 12.2 | 19.84 | 0.16 | 0.08 | 22 | -1.01 |
| 15-16 | 12.5 | 19.91 | 0.09 | 0.05 | 22 | -1.01 |
| 16-17 | 12.5 | 19.91 | 0.09 | 0.05 | 22 | -1.01 |
| 17-18 | 11.9 | 19.77 | 0.22 | 0.11 | 22 | -1.01 |
| 18-19 | 10.7 | 19.51 | 0.49 | 0.24 | 22 | -1.01 |
| 19-20 | 9 | 19.14 | 0.86 | 0.43 | 22 | -1.01 |
| 20-21 | 7.5 | 18.81 | 1.19 | 0.60 | 22 | -1.01 |
| 21-22 | 6.6 | 18.61 | 1.39 | 0.70 | 22 | -1.01 |
| 22-23 | 5.8 | 18.43 | 1.56 | 0.79 | 22 | -1.01 |

| Travanj | T _{sr} , [°C] | T _{rek} , [°C] | T _{ub} -T _{rek} | Q _{dod,gr} , [kW] | T _{un} , [°C] | Q _{gr} , [kW] |
|---------|------------------------|-------------------------|-----------------------------------|----------------------------|------------------------|------------------------|
| 9-10 | 13.8 | 20.19 | -0.20 | 0.00 | 22 | -1.01 |
| 10-11 | 15.1 | 20.48 | -0.48 | 0.00 | 22 | -1.01 |
| 11-12 | 16 | 20.68 | -0.68 | 0.00 | 22 | -1.01 |
| 12-13 | 16.5 | 20.79 | -0.79 | 0.00 | 22 | -1.01 |
| 13-14 | 17.2 | 20.94 | -0.94 | 0.00 | 22 | -1.01 |
| 15-16 | 16.8 | 20.85 | -0.86 | 0.00 | 22 | -1.01 |
| 16-17 | 16.8 | 20.85 | -0.86 | 0.00 | 22 | -1.01 |
| 17-18 | 16.5 | 20.79 | -0.79 | 0.00 | 22 | -1.01 |
| 18-19 | 15.5 | 20.57 | -0.57 | 0.00 | 22 | -1.01 |
| 19-20 | 13.6 | 20.15 | -0.15 | 0.00 | 22 | -1.01 |
| 20-21 | 11.5 | 19.69 | 0.31 | 0.16 | 22 | -1.01 |
| 21-22 | 10.6 | 19.49 | 0.51 | 0.26 | 22 | -1.01 |
| 22-23 | 10 | 19.36 | 0.64 | 0.32 | 22 | -1.01 |

| Svibanj | T _{sr} , [°C] | T _{rek} , [°C] | T _{ub} -T _{rek} | Q _{dod,gr} , [kW] | T _{un} , [°C] | Q _{gr} , [kW] |
|---------|------------------------|-------------------------|-----------------------------------|----------------------------|------------------------|------------------------|
| 9-10 | 19.3 | 21.40 | -1.41 | -0.71 | 22 | -1.01 |
| 10-11 | 20.3 | 21.62 | -1.63 | -0.82 | 22 | -1.01 |
| 11-12 | 21.2 | 21.82 | -1.82 | -0.92 | 22 | -1.01 |
| 12-13 | 21.9 | 21.97 | -1.98 | -0.99 | 22 | -1.01 |
| 13-14 | 22.2 | 22.04 | -2.04 | -1.03 | 22 | -1.01 |
| 15-16 | 22.4 | 22.08 | -2.09 | -1.05 | 22 | -1.01 |
| 16-17 | 22.3 | 22.06 | -2.07 | -1.04 | 22 | -1.01 |
| 17-18 | 22 | 22 | -2.00 | -1.01 | 22 | -1.01 |
| 18-19 | 20.9 | 21.75 | -1.76 | -0.88 | 22 | -1.01 |
| 19-20 | 19.3 | 21.40 | -1.41 | -0.71 | 22 | -1.01 |
| 20-21 | 16.6 | 20.81 | -0.81 | -0.41 | 22 | -1.01 |
| 21-22 | 15 | 20.46 | -0.46 | -0.23 | 22 | -1.01 |
| 22-23 | 14.2 | 20.28 | -0.28 | -0.14 | 22 | -1.01 |

| Lipanj | T _{sr} , [°C] | T _{rek} , [°C] | T _{rek} -T _{ub} | Q _{dod,hl} , [kW] | T _{un} , [°C] | Q _{hl} , [kW] |
|--------|------------------------|-------------------------|-----------------------------------|----------------------------|------------------------|------------------------|
| 9-10 | 23.2 | 22.26 | 4.26 | 2.14 | 26 | 4.02 |
| 10-11 | 23.9 | 22.41 | 4.42 | 2.22 | 26 | 4.02 |
| 11-12 | 24.6 | 22.57 | 4.57 | 2.30 | 26 | 4.02 |
| 12-13 | 25.1 | 22.68 | 4.68 | 2.35 | 26 | 4.02 |
| 13-14 | 25.5 | 22.77 | 4.77 | 2.40 | 26 | 4.02 |
| 15-16 | 25.5 | 22.77 | 4.77 | 2.40 | 26 | 4.02 |
| 16-17 | 25.3 | 22.72 | 4.73 | 2.37 | 26 | 4.02 |
| 17-18 | 25.1 | 22.68 | 4.68 | 2.35 | 26 | 4.02 |
| 18-19 | 24.6 | 22.57 | 4.57 | 2.30 | 26 | 4.02 |
| 19-20 | 23.3 | 22.28 | 4.29 | 2.15 | 26 | 4.02 |
| 20-21 | 21.1 | 21.80 | 3.80 | 1.91 | 26 | 4.02 |
| 21-22 | 19.2 | 21.38 | 3.38 | 1.70 | 26 | 4.02 |
| 22-23 | 17.9 | 21.09 | 3.10 | 1.56 | 26 | 4.02 |

| Kolovoz | T _{sr} , [°C] | T _{rek} , [°C] | T _{rek} -T _{tub} | Q _{dod,hl} , [kW] | T _{un} , [°C] | Q _{hl} , [kW] |
|---------|------------------------|-------------------------|------------------------------------|----------------------------|------------------------|------------------------|
| 9-10 | 23.3 | 22.28 | 4.29 | 2.15 | 26 | 4.02 |
| 10-11 | 24.5 | 22.55 | 4.55 | 2.29 | 26 | 4.02 |
| 11-12 | 25.6 | 22.79 | 4.79 | 2.41 | 26 | 4.02 |
| 12-13 | 26 | 22.88 | 4.88 | 2.45 | 26 | 4.02 |
| 13-14 | 27 | 23.1 | 5.10 | 2.56 | 26 | 4.02 |
| 15-16 | 27.2 | 23.14 | 5.14 | 2.58 | 26 | 4.02 |
| 16-17 | 27.3 | 23.16 | 5.17 | 2.60 | 26 | 4.02 |
| 17-18 | 26.8 | 23.05 | 5.06 | 2.54 | 26 | 4.02 |
| 18-19 | 25.8 | 22.83 | 4.84 | 2.43 | 26 | 4.02 |
| 19-20 | 24 | 22.44 | 4.44 | 2.23 | 26 | 4.02 |
| 20-21 | 21.3 | 21.84 | 3.85 | 1.93 | 26 | 4.02 |
| 21-22 | 19.8 | 21.51 | 3.52 | 1.77 | 26 | 4.02 |
| 22-23 | 18.9 | 21.31 | 3.32 | 1.67 | 26 | 4.02 |

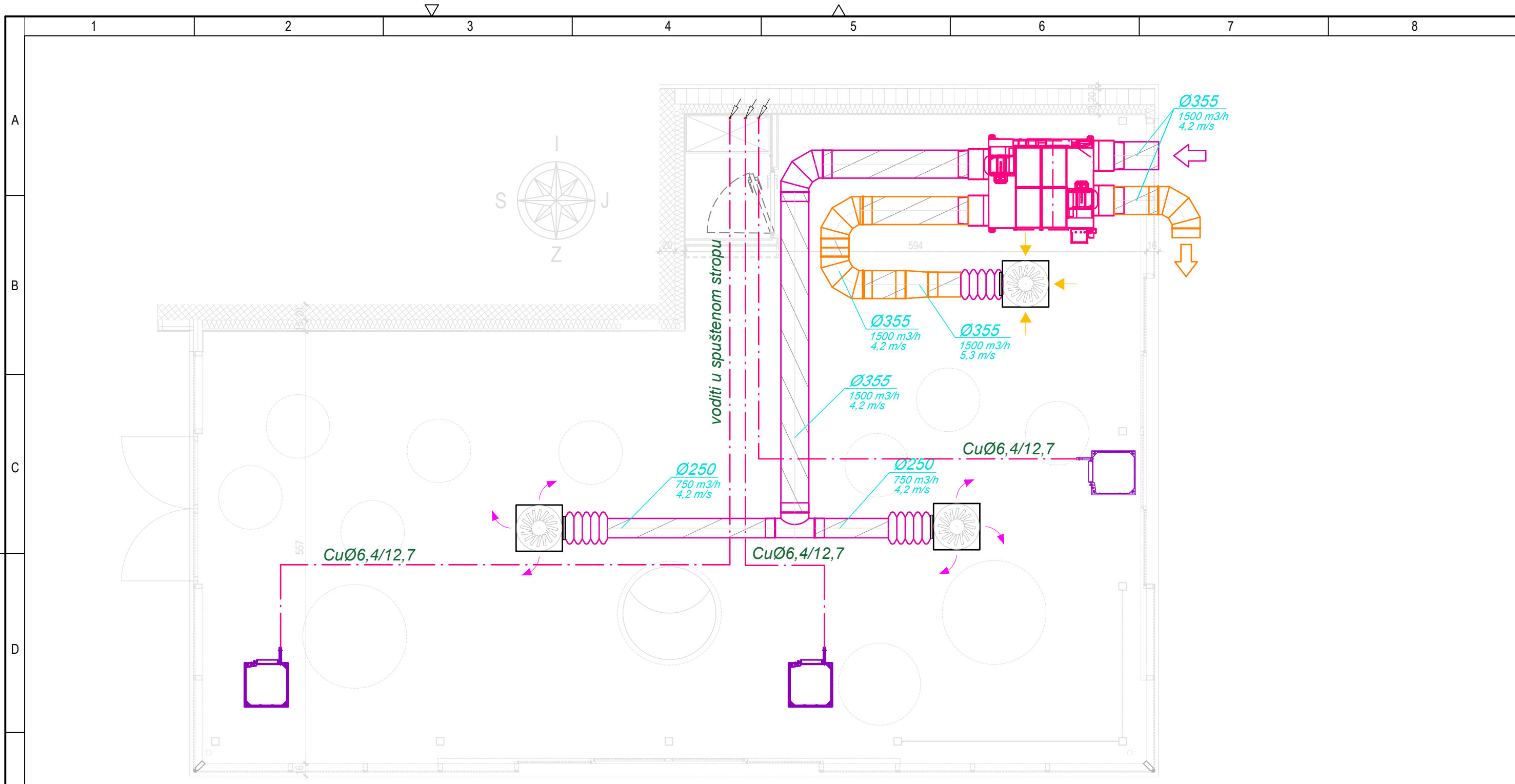
| Rujan | T _{sr} , [°C] | T _{rek} , [°C] | T _{rek} -T _{tub} | Q _{dod,hl} , [kW] | T _{un} , [°C] | Q _{hl} , [kW] |
|-------|------------------------|-------------------------|------------------------------------|----------------------------|------------------------|------------------------|
| 9-10 | 18.5 | 21.23 | 1.23 | 0.62 | 26 | 4.02 |
| 10-11 | 19.7 | 21.49 | 1.49 | 0.75 | 26 | 4.02 |
| 11-12 | 20.7 | 21.71 | 1.71 | 0.86 | 26 | 4.02 |
| 12-13 | 21.4 | 21.86 | 1.87 | 0.94 | 26 | 4.02 |
| 13-14 | 21.8 | 21.95 | 1.96 | 0.98 | 26 | 4.02 |
| 15-16 | 21.9 | 21.97 | 1.98 | 0.99 | 26 | 4.02 |
| 16-17 | 21.7 | 21.93 | 1.93 | 0.97 | 26 | 4.02 |
| 17-18 | 21.2 | 21.82 | 1.82 | 0.92 | 26 | 4.02 |
| 18-19 | 20.1 | 21.58 | 1.58 | 0.79 | 26 | 4.02 |
| 19-20 | 17.9 | 21.09 | 1.10 | 0.55 | 26 | 4.02 |
| 20-21 | 16.1 | 20.70 | 0.70 | 0.35 | 26 | 4.02 |
| 21-22 | 14.8 | 20.41 | 0.42 | 0.21 | 26 | 4.02 |
| 22-23 | 14.1 | 20.26 | 0.26 | 0.13 | 26 | 4.02 |

| Listopad | T _{sr} , [°C] | T _{rek} , [°C] | T _{tub} -T _{rek} | Q _{dod,gr} , [kW] | T _{un} , [°C] | Q _{gr} , [kW] |
|----------|------------------------|-------------------------|------------------------------------|----------------------------|------------------------|------------------------|
| 9-10 | 12.2 | 19.844 | 0.16 | 0.08 | 22 | -1.01 |
| 10-11 | 13.8 | 20.196 | -0.20 | -0.10 | 22 | -1.01 |
| 11-12 | 15.1 | 20.482 | -0.48 | -0.24 | 22 | -1.01 |
| 12-13 | 16.1 | 20.702 | -0.70 | -0.35 | 22 | -1.01 |
| 13-14 | 16.8 | 20.856 | -0.86 | -0.43 | 22 | -1.01 |
| 15-16 | 16.8 | 20.856 | -0.86 | -0.43 | 22 | -1.01 |
| 16-17 | 16.6 | 20.812 | -0.81 | -0.41 | 22 | -1.01 |
| 17-18 | 15.5 | 20.57 | -0.57 | -0.29 | 22 | -1.01 |
| 18-19 | 13.3 | 20.086 | -0.09 | -0.04 | 22 | -1.01 |
| 19-20 | 12.1 | 19.822 | 0.18 | 0.09 | 22 | -1.01 |
| 20-21 | 11.4 | 19.668 | 0.33 | 0.17 | 22 | -1.01 |
| 21-22 | 10.7 | 19.514 | 0.49 | 0.24 | 22 | -1.01 |
| 22-23 | 10 | 19.36 | 0.64 | 0.32 | 22 | -1.01 |

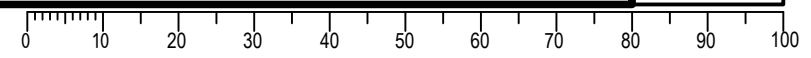
| Studeni | T _{sr} , [°C] | T _{rek} , [°C] | T _{ub} -T _{rek} | Q _{dod,gr} , [kW] | T _{un} , [°C] | Q _{gr} , [kW] |
|---------|------------------------|-------------------------|-----------------------------------|----------------------------|------------------------|------------------------|
| 9-10 | 7.6 | 18.832 | 1.17 | 0.59 | 22 | -1.01 |
| 10-11 | 8.8 | 19.096 | 0.90 | 0.45 | 22 | -1.01 |
| 11-12 | 9.6 | 19.272 | 0.73 | 0.37 | 22 | -1.01 |
| 12-13 | 10.6 | 19.492 | 0.51 | 0.26 | 22 | -1.01 |
| 13-14 | 11 | 19.58 | 0.42 | 0.21 | 22 | -1.01 |
| 15-16 | 11 | 19.58 | 0.42 | 0.21 | 22 | -1.01 |
| 16-17 | 10.2 | 19.404 | 0.60 | 0.30 | 22 | -1.01 |
| 17-18 | 9 | 19.14 | 0.86 | 0.43 | 22 | -1.01 |
| 18-19 | 7.6 | 18.832 | 1.17 | 0.59 | 22 | -1.01 |
| 19-20 | 6.8 | 18.656 | 1.34 | 0.68 | 22 | -1.01 |
| 20-21 | 6.2 | 18.524 | 1.48 | 0.74 | 22 | -1.01 |
| 21-22 | 5.4 | 18.348 | 1.65 | 0.83 | 22 | -1.01 |
| 22-23 | 5.2 | 18.304 | 1.70 | 0.85 | 22 | -1.01 |

| Prosinac | T _{sr} , [°C] | T _{rek} , [°C] | T _{ub} -T _{rek} | Q _{dod,gr} , [kW] | T _{un} , [°C] | Q _{gr} , [kW] |
|----------|------------------------|-------------------------|-----------------------------------|----------------------------|------------------------|------------------------|
| 9-10 | -0.7 | 17.006 | 2.99 | 1.50 | 22 | -1.01 |
| 10-11 | 0.7 | 17.314 | 2.69 | 1.35 | 22 | -1.01 |
| 11-12 | 2.5 | 17.71 | 2.29 | 1.15 | 22 | -1.01 |
| 12-13 | 3.5 | 17.93 | 2.07 | 1.04 | 22 | -1.01 |
| 13-14 | 4.5 | 18.15 | 1.85 | 0.93 | 22 | -1.01 |
| 15-16 | 4.9 | 18.238 | 1.76 | 0.89 | 22 | -1.01 |
| 16-17 | 4.9 | 18.238 | 1.76 | 0.89 | 22 | -1.01 |
| 17-18 | 4.3 | 18.106 | 1.89 | 0.95 | 22 | -1.01 |
| 18-19 | 3.3 | 17.886 | 2.11 | 1.06 | 22 | -1.01 |
| 19-20 | 2.9 | 17.798 | 2.20 | 1.11 | 22 | -1.01 |
| 20-21 | 2.1 | 17.622 | 2.38 | 1.19 | 22 | -1.01 |
| 21-22 | 1.9 | 17.578 | 2.42 | 1.22 | 22 | -1.01 |
| 22-23 | 1.3 | 17.446 | 2.55 | 1.28 | 22 | -1.01 |

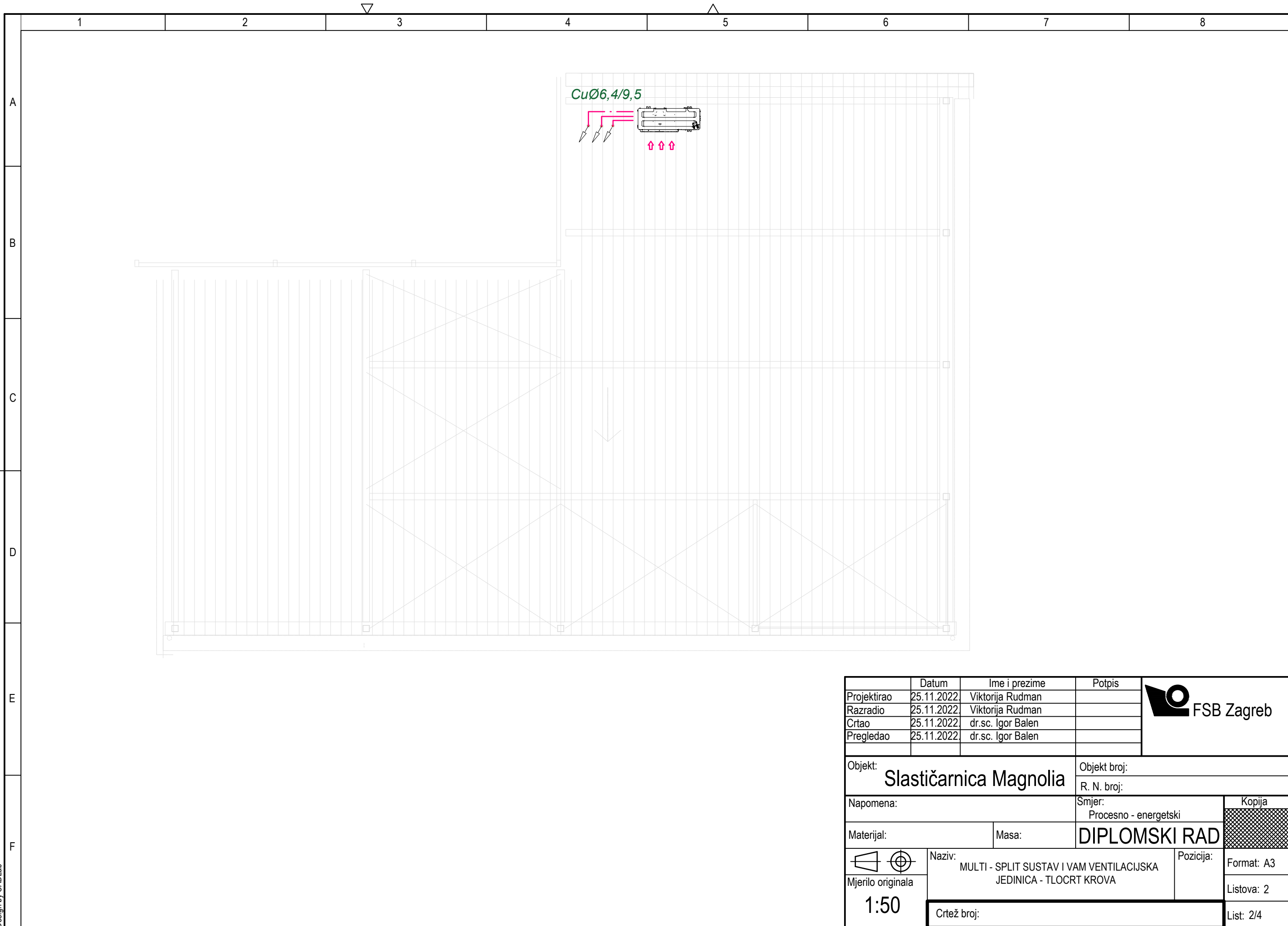
PRILOG II – Nacrti



| | | | | |
|-------------------|-------------|---|----------------------|--------------|
| | Datum | Ime i prezime | Potpis | |
| Projektirao | 25.11.2022. | Viktorija Rudman | | |
| Razradio | 25.11.2022. | Viktorija Rudman | | |
| Crtao | 25.11.2022. | dr.sc. Igor Balen | | |
| Pregledao | 25.11.2022. | dr.sc. Igor Balen | | |
| Objekt: | | Slastičarnica Magnolia | | Objekt broj: |
| Napomena: | | | | R. N. broj: |
| Materijal: | | Masa: | DIPLOMSKI RAD | Kopija |
| | | Naziv: | | Format: A3 |
| Mjerilo originala | | MULTI - SPLIT SUSTAV I VAM VENTILACIJSKA JEDINICA - TLOCRT SOUŠTENOG STROPA | | Listova: 1 |
| 1:50 | | Crtež broj: | | List: 1/4 |



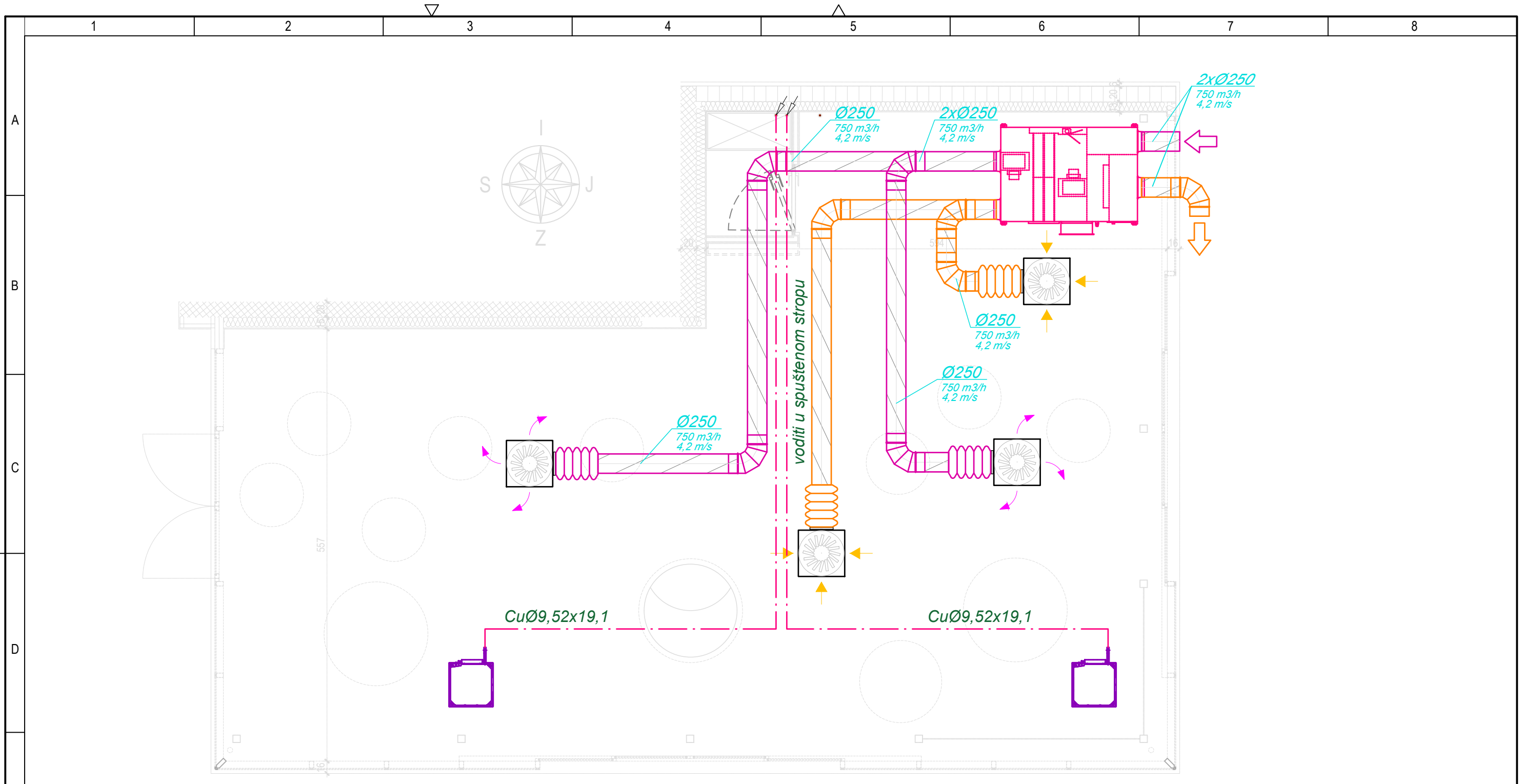
Design by CADLab



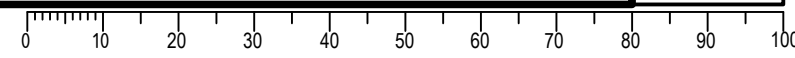
| | | | | |
|--------------------------------------|-------------|---|----------------------|--|
| | Datum | Ime i prezime | Potpis | |
| Projektirao | 25.11.2022. | Viktorija Rudman | | |
| Razradio | 25.11.2022. | Viktorija Rudman | | |
| Crtao | 25.11.2022. | dr.sc. Igor Balen | | |
| Pregledao | 25.11.2022. | dr.sc. Igor Balen | | |
| Objekt: | | Slastičarnica Magnolia | | Objekt broj: |
| Napomena: | | | | R. N. broj: |
| Materijal: | | Masa: | DIPLOMSKI RAD | Kopija |
| Mjerilo originala 1:50 | | Naziv: MULTI - SPLIT SUSTAV I VAM VENTILACIJSKA JEDINICA - TLOCRT KROVA | | Pozicija: Format: A3 Listova: 2 List: 2/4 |
| | | Crtež broj: | | |



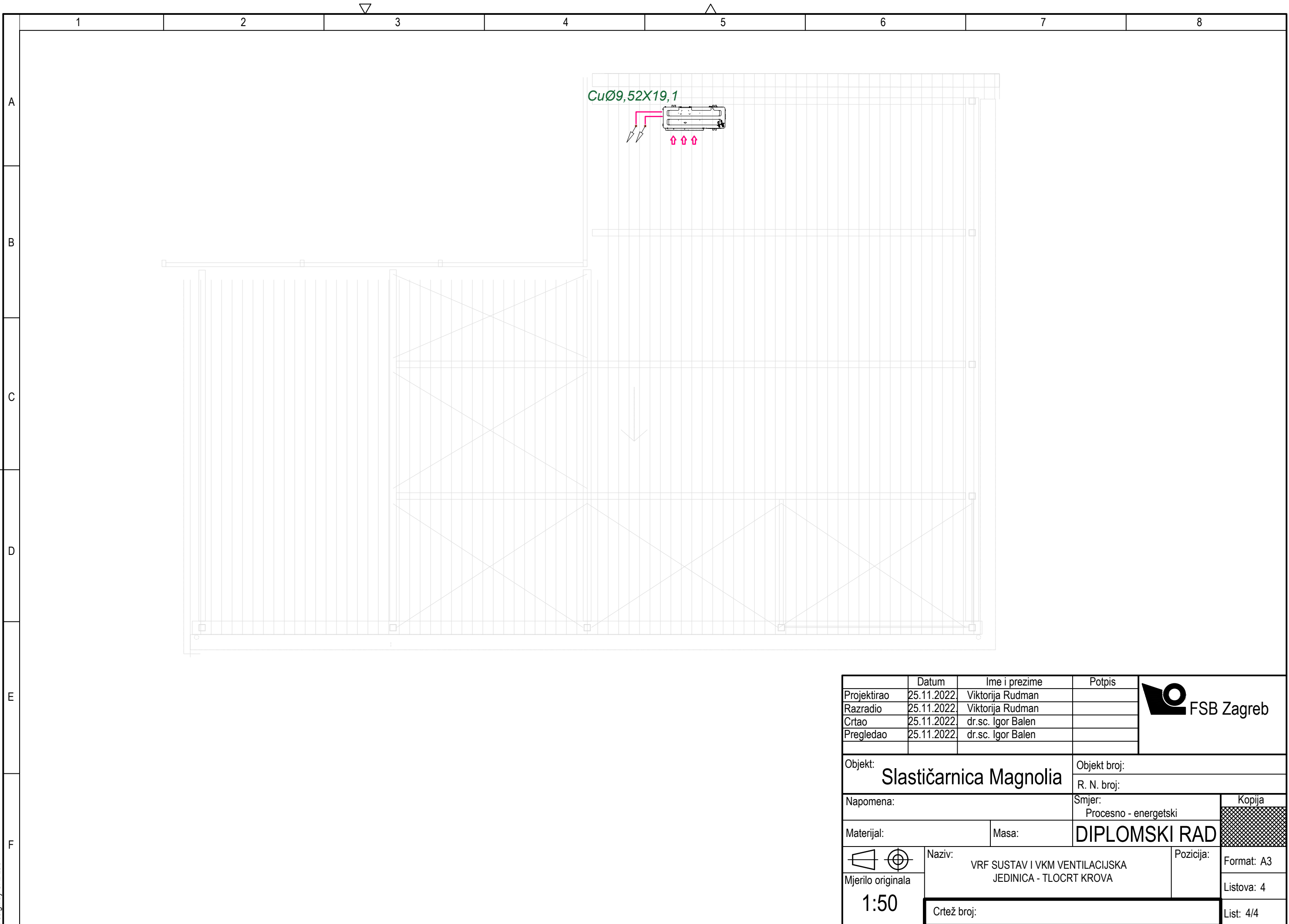
Design by CADLab

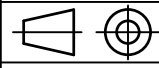


| | | | | |
|--------------------------------------|-------------|--|----------------------|--|
| | Datum | Ime i prezime | Potpis | |
| Projektirao | 25.11.2022. | Viktorija Rudman | | |
| Razradio | 25.11.2022. | Viktorija Rudman | | |
| Crtao | 25.11.2022. | dr.sc. Igor Balen | | |
| Pregledao | 25.11.2022. | dr.sc. Igor Balen | | |
| Objekt: | | Slastičarnica Magnolia | | Objekt broj: |
| Napomena: | | | | R. N. broj: |
| Materijal: | | Masa: | DIPLOMSKI RAD | Kopija |
| Mjerilo originala 1:50 | | Naziv: VRF SUSTAV I VKM VENTILACIJSKA JEDINICA - TLOCRT SPUŠTENOG STROPA | | Pozicija: Format: A3 Listova: 3 List: 3/4 |
| | | Crtež broj: | | |



Design by CADLab



| | | | | |
|---|-------------|---|----------------------|---|
| | Datum | Ime i prezime | Potpis |  |
| Projektirao | 25.11.2022. | Viktorija Rudman | | |
| Razradio | 25.11.2022. | Viktorija Rudman | | |
| Crtao | 25.11.2022. | dr.sc. Igor Balen | | |
| Pregledao | 25.11.2022. | dr.sc. Igor Balen | | |
| Objekt: | | Slastičarnica Magnolia | | Objekt broj: |
| Napomena: | | | | R. N. broj: |
| Materijal: | | Masa: | DIPLOMSKI RAD | Kopija |
|  Mjerilo originala 1:50 | | Naziv: VRF SUSTAV I VKM VENTILACIJSKA JEDINICA - TLOCRT KROVA | | Pozicija: Format: A3 Listova: 4 List: 4/4 |
| | | Crtež broj: | | |



Design by CADLab