

Optimizacija sustava grijanja i hlađenja zgrade HAVK Mladost

Pongrac, Karlo

Undergraduate thesis / Završni rad

2024

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:235:368748>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-04-03**

Repository / Repozitorij:

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



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

ZAVRŠNI RAD

Karlo Pongrac

Zagreb, 2024.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

ZAVRŠNI RAD

Mentori:

Prof. dr. sc. Igor Balen

Student:

Karlo Pongrac

Zagreb, 2024.

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

Zahvaljujem se svome mentoru prof. dr. sc. Igoru Balenu na pruženoj pomoći i stručnim savjetima tijekom izrade ovog rada.

Karlo Pongrac



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

Središnje povjerenstvo za završne i diplomske ispite

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



Sveučilište u Zagrebu	
Fakultet strojarstva i brodogradnje	
Datum	Prilog
Klasa: 602 – 04 / 24 – 06 / 1	
Ur.broj: 15 – 24 –	

ZAVRŠNI ZADATAK

Student: **Karlo Pongrac**

JMBAG: **0035227525**

Naslov rada na hrvatskom jeziku: **Optimizacija sustava grijanja i hlađenja zgrade HAVK Mladost**

Naslov rada na engleskom jeziku: **Optimization of heating and cooling system for the building HAVK Mladost**

Opis zadatka:

Hrvatski akademski veslački klub Mladost koristi zgradu na području grada Zagreba, koja se sastoji od prostora za veslačke treninge, teretane s pripadajućim garderobama i sanitarijama te ureda na dvije etaže (Pr+1K), prema zadanoj arhitektonskoj podlozi. Korisna površina zgrade iznosi 1000 m². Zgradu je potrebno obnoviti, pri čemu se predviđa rekonstrukcija kompletnog sustava grijanja i hlađenja. Potrebno je provesti energetska analiza potencijalnih rješenja i optimizaciju sustava prema kriteriju potrošnje energije, troškova pogona i troškova investicije. U sklopu optimizacije sustava potrebno je usporediti najmanje tri tehnička rješenja. Na temelju provedene analize treba predložiti novo tehničko rješenje sustava grijanja i hlađenja zgrade.

Ulazne podatke za potrebe rada prikupiti obilaskom zgrade i od mentora.

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

Zadatak zadan:

30. 11. 2023.

Datum predaje rada:

1. rok: 22. i 23. 2. 2024.
 2. rok (izvanredni): 11. 7. 2024.
 3. rok: 19. i 20. 9. 2024.

Predviđeni datumi obrane:

1. rok: 26. 2. – 1. 3. 2024.
 2. rok (izvanredni): 15. 7. 2024.
 3. rok: 23. 9. – 27. 9. 2024.

Zadatak zadao:


 Prof. dr. sc. Igor Baten

Predsjednik Povjerenstva:


 Prof. dr. sc. Vladimir Soldo

SADRŽAJ

SADRŽAJ	I
POPIS SLIKA	III
POPIS TABLICA.....	IV
POPIS TEHNIČKE DOKUMENTACIJE	V
POPIS OZNAKA	VI
SAŽETAK.....	X
SUMMARY	XI
1. UVOD.....	1
1.1. Optimizacija termotehničkog sustava	1
1.2. Sustav grijanja i hlađenja	2
1.3. Ogrjevna i rashladna tijela	5
1.4. Konvektori	5
1.5. Podno grijanje i hlađenje.....	6
2. OPIS ZGRADE	8
3. TOPLINSKA BILANCA ZGRADE	11
3.1. Toplinski gubici	11
3.2. Ulazni podaci za proračun toplinskih gubitaka.....	14
3.2.1. Rezultati proračuna gubitka topline	15
4. PRORAČUN RASHLADNOG OPTEREĆENJA	18
4.1. Rezultati proračuna toplinskog opterećenja	19
5. PRORAČUN GODIŠNJE POTREBNE TOPLINSKE ENERGIJE ZA GRIJANJE ($Q_{g,nd}$) I HLAĐENJE ($Q_{c,nd}$) PREMA HRN EN ISO 13790.....	21
5.1. Ulazni podaci za proračun.....	22
5.2. Rezultati proračuna	23
6. ODABIR OPTIMALNOG SUSTAVA GRIJANJA I HLAĐENJA	25
6.1. Kotao na biomasu i rashladnik vode	25
6.2. Dizalica topline voda/voda.....	26
6.3. Dizalica topline zrak/voda	27
6.4. Usporedba rješenja sustava grijanja i hlađenja	28
7. DIMENZIONIRANJE SUSTAVA GRIJANJA I HLAĐENJA	29
7.1. Odabir dizalice topline	29
7.2. Odabir akumulacijskog spremnika.....	30
7.3. Dimenzioniranje sustava podnog grijanja i hlađenja	32
7.4. Dimenzioniranje ventilokonvektora.....	36
7.5. Odabir cijevnog razvoda i cirkulacijske pumpe.....	40
7.6. Odabir ekspanzijske posude.....	45
7.7. Odabir kalorimetara	47
8. TEHNIČKI OPIS SUSTAVA	48

8.1. Sustav grijanja i hlađenja	48
8.2. Regulacija.....	49
9. ZAKLJUČAK.....	50
LITERATURA.....	51
PRILOZI.....	52

POPIS SLIKA

Slika 1. Centralni sustav grijanja [3].....	3
Slika 2. Dvocijevni vodeni sustav hlađenja [4].....	4
Slika 3. Ventilokonvektor [6].....	6
Slika 4. Cijevne petlja podnog grijanja i hlađenja [8].....	7
Slika 5. Temperaturni profil po visini prostorije[7]	7
Slika 6. Situacija zgrade	8
Slika 7. Tlocrt prizemlja zgrade	9
Slika 8. Tlocrt prvog kata zgrade	9
Slika 9. Pročelja zgrade	9
Slika 10. Izometrijski prikaz modela zgrade i sustava grijanja i hlađenja	10
Slika 11. Mjesečni iznos potrebne toplinske energije za grijanje	23
Slika 12. Mjesečni iznos potrebne energije za hlađenje.....	24
Slika 13. Prikaz troškova po kategorijama tehničkim rješenjima u analizi	28
Slika 14. Dizalica topline BOSCH CS3000 AWP59 P [12]	29
Slika 15. Akumulacijski spremnik topline CAS 1503 [13].....	31
Slika 16. REHAU Noppenplate Varionova 30-2 i RAUTHERM SPEED 17x2 [14].....	32
Slika 17. Podne petlje prizemlja.....	33
Slika 18. Razdjelnik REHAU HKV-D.....	34
Slika 19. Razdjelni ormarić REHAU UP	34
Slika 20. Ventilokonvektor iVector [6].....	37
Slika 21. Tlačno neovisni balans ventil AB-QM [15].....	39
Slika 22. Karakteristika pumpe dizalice topline BOSCH CS3000AWP 59	41
Slika 23. Krivulja pumpe kruga podnog grijanja MAGNA3 32-80 F[16].....	43
Slika 24. Krivulja pumpe kruga ventilokonvektora HAVK Mladost MAGNA3 50-40 F [16]	44
Slika 25. Krivulja pumpe kruga ventilokonvektora fitness centra MAGNA3 65-40 F[16].....	44
Slika 26. Ekspanzijska posuda Elbi ERCE-100 [17]	46
Slika 27. Kalorimetar SonoMeter40 [15]	47
Slika 28. Kalorimetar SonoSafe10 [15]	47

POPIS TABLICA

Tablica 1. Iskaz površina zgrade HAVK Mladost	10
Tablica 2. Unutarnje projektne temperature i minimalni broj izmjena zraka	15
Tablica 3. Vrijednost koeficijenta prijelaza topline za pojedine građevne elemente.....	15
Tablica 4. Primjer proračuna gubitka topline jedne prostorije.....	16
Tablica 5. Vrijednosti toplinskih gubitaka po prostorijama.....	17
Tablica 6. Projektna temperatura po prostorijama u sezoni hlađenja	19
Tablica 7. Rezultati proračuna projektnih dobitaka po prostorijama	20
Tablica 8. Rashladno opterećenje po prostorijama za najnepovoljnije dane u godini	20
Tablica 9. Ulazni podaci geometrijskih karakteristika zgrade	22
Tablica 10. Opći podaci o građevinskim dijelovima.....	23
Tablica 11. Opći podaci o vanjskim otvorima	23
Tablica 12. Vrijednosti primarne i isporučene energije prvog tehničkog rješenja.....	26
Tablica 13. Vrijednosti primarne i isporučene energije drugog tehničkog rješenja.....	27
Tablica 14. Vrijednosti primarne i isporučene energije trećeg tehničkog rješenja	27
Tablica 15. Tehnički podaci dizalice topline BOSCH CS3000 AWP59 P	30
Tablica 16. Tehničke karakteristike spremnika CAS 1503.....	31
Tablica 17. Rezultati podnog grijanja po razdjelnicima	35
Tablica 18. Popis prostorija sa instaliranim kapacitetima podnog grijanja/hlađenja.....	36
Tablica 19. Odabir ventilokonvektora i učin po sobama	38
Tablica 20. Odabir AB-QH ventila po ventilokonvektoru.....	39
Tablica 21. Pad tlaka u primarnom krugu	41
Tablica 22. Pad tlaka u sekundarnom krugu podnog grijanja	42
Tablica 23. Pad tlaka u sekundarnom krugu ventilokonvektora HAVK Mladost	42
Tablica 24. Pad tlaka u sekundarnom krugu ventilokonvektora fitness centra.....	43
Tablica 25. Volumen vode po komponentama sustava.....	46
Tablica 26. Ulazni podaci za dimenzioniranje dizalice topline	46
Tablica 27. Odabrani tip kalorimetra po regulacijskom krugu	47

POPIS TEHNIČKE DOKUMENTACIJE

1. Funkcionalna shema spajanja
2. Tlocrt prizemlja – Podno grijanje
3. Tlocrt prizemlja – Razvod ventilokonvektora
4. Tlocrt 1.kata – Razvod ventilokonvektora
5. Tlocrt krova – Dispozicija opreme

POPIS OZNAKA

Oznaka	Jedinica	Opis
Φ_{HL}	[W]	-Projektne toplinski gubitci
$\Phi_{T,i}$	[W]	-Projektne transmisijski gubitci prostorije
$\Phi_{V,i}$	[W]	-Projektne ventilacijski gubitci prostorije
$\Phi_{RH,i}$	[W]	-Dodatni toplinski učinak za kompenzaciju prekida grijanja
$H_{T,ie}$	[W/K]	-Koeficijent transmisijskog gubitka od grijanog prostora prema vanjskom okolišu
$H_{T,iue}$	[W/K]	-Koeficijent transmisijskog gubitka od grijanog prostora kroz negrijani prostor prema vanjskom okolišu
$H_{T,ig}$	[W/K]	-Stacionarni koeficijent transmisijskog gubitka od grijanog prostora prema tlu
$H_{T,ij}$	[W/K]	-Koeficijent transmisijskog gubitka od grijanog prostora prema susjednom grijanom prostoru različite temperature
$\vartheta_{int,i}$	[°C]	-Unutarnja projektne temperatura grijanog prostora
ϑ_e	[°C]	-Vanjska projektne temperatura
A_k	[m ²]	-Površina plohe "k" (zid, prozor, vrata, strop, pod) kroz koju prolazi toplina
U_k	[W/m ² K]	-Koeficijent prolaza topline građevnog elementa "k"
e_k	[-]	-Korekcijski faktori izloženosti koji uzimaju u obzir klimatske utjecaje kao vlažnost, temperatura, brzina vjetera.
Ψ_l	[W/mK]	- Linijski koeficijent prolaza topline linijskog toplinskog mosta "l"
l_l	[m]	-Dužina linijskog toplinskog mosta između vanjskog okoliša i prostorije
b_u	[-]	-Faktor smanjenja temperaturne razlike koji uzima u obzir temperaturu negrijanog prostora i vanjsku projektne temperaturu
ϑ_u	[°C]	-Temperatura negrijanog prostora
f_{g1}	[-]	-Korekcijski faktor za utjecaj godišnje oscilacije vanjske temperature
f_{g2}	[-]	-Faktor smanjenja temperaturne razlike
$\vartheta_{m,e}$	[°C]	-Godišnja srednja vanjska temperatura

$U_{equiv,k}$	[W/m ² K]	-Ekvivalentni koeficijent prolaza topline iz tablica i dijagrama prema tipologiji poda
G_W	[-]	-korekcijski faktor za utjecaj podzemne vode
ϑ_{ads}	[°C]	-Temperatura susjedne prostorije različite temperature -faktor smanjenja temperaturne razlike koji uzima u obzir
f_{ij}	[-]	razliku između temperature susjednog prostora i vanjske projektne temperature
$H_{V,i}$	[-]	-Koeficijent ventilacijskih gubitaka
V_i	[m ³ /h]	-Protok zraka u grijani prostor
ρ	[kg/m ³]	-Gustoća zraka pri unutarnjoj projektnoj temperaturi
c_p	[J/kgK]	-Specifični toplinski kapacitet zraka pri unutarnjoj projektnoj temperaturi
$V_{inf,i}$	[m ³ /h]	-Maksimalni protok zraka u prostoriju uslijed infiltracije kroz zatore
$V_{min,i}$	[m ³ /h]	-Minimalni higijenski protok zraka
n_{50}	[h ⁻¹]	-Broj izmjena zraka u prostoriji pri razlici tlaka 50 Pa
V_i	[m ³]	-Volumen unutarnjeg prostora
ε_i	[-]	-Korekcijski faktor za visinu, uzima u obzir različit odnos tlakova sa povećanjem visine iznad okolnog tla
n_{min}	[h ⁻¹]	-Minimalni broj izmjena zraka (vrijednosti navedene u normi ovisno o tipu prostorije)
A_i	[m ²]	-površina poda grijanog prostora sa ½ debljine zidova
f_{RH}	[W/m ²]	-korekcijski faktor ovisan o vremenu zagrijavanja i pretpostavljenom padu temperature za vrijeme prekida
U_{max}	[W/m ² K]	-Dopuštena maksimalna vrijednost koeficijenta prolaza topline
Φ_R	[W]	-Rashladno opterećenje prostorije pri zadanoj temperaturi zraka
Φ_I	[W]	-Unutrašnje rashladno opterećenje
Φ_A	[W]	-Vanjsko rashladno opterećenje
Φ_P	[W]	-Toplinska opterećenja od osoba
Φ_E	[W]	-Toplinska opterećenja od uređaja i strojeva

Φ_{PR}	[W]	-Toplinska opterećenja susjednih prostorija različite temperature
Φ_B	[W]	-Toplinsko opterećenje od rasvjete
Φ_M	[W]	-Toplinsko opterećenje od uređaja i strojeva
Φ_G	[W]	-Toplinsko opterećenje pri prolazu materijala kroz prostoriju
Φ_W	[W]	-Toplinski tok kroz zidove i krovove
Φ_F	[W]	-Toplinski tok kroz prozore
Φ_T	[W]	-Transmisijski dobitak topline
Φ_S	[W]	-Toplina dobivena od sunčevog zračenja
$Q_{H,nd,cont}$	[kWh]	-Potrebna toplinska energija za grijanje
$Q_{H,ht}$	[kWh]	-Ukupno izmijenjena toplinska energija u periodu grijanja
η_{Hgn}	[-]	-Faktor iskorištenja toplinskih dobitaka
$Q_{H,gn}$	[kWh]	-Ukupni toplinski dobitci zgrade u periodu grijanja (ljudi, uređaji, rasvjeta i sunčevo zračenje)
Q_{Tr}	[kWh]	-Izmijenjenu toplinsku energiju transmisijom
Q_{Ve}	[kWh]	-Potrebnu toplinsku energiju za ventilaciju/klimatizaciju
Q_{int}	[kWh]	-Unutarnje toplinske dobitke
Q_{sol}	[kWh]	-Solarni dobitci od sunčevog zračenja
$Q_{C,nd}$	[kWh]	-Potrebna toplinska energija za hlađenje
$Q_{C,gn}$	[kWh]	-Ukupni toplinski dobitci zgrade u periodu hlađenja
$\eta_{C,ls}$	[-]	-Faktor iskorištenja toplinskih gubitaka
$Q_{C,ht}$	[kWh]	-Ukupno izmijenjena toplinska energija u periodu hlađenja
$Q_{gen,in}$	[kWh]	-Toplinska energija na ulazu u podsustav
W_{aux}	[kWh]	-Pomoćna energija po podsustavima (el. Energija za pogon pumpe, regulacija kotla i sl.)
E_{del}	[kWh]	-Ukupna isporučena energija aktivne zone
f_p	[-]	-faktor primarne energije
E_{prim}	[kWh]	-Primarna energija objekta
U_w	[W/m ² K]	-Koeficijent prolaza topline prozora
Δp	[Pa]	-Pad tlaka
λ	[-]	-Koeficijent trenja
l	[m]	-Dužina dionice

d	[m]	-Promjer cijevi dionice
ξ	[-]	-Koefficient lokalnog otpora strujanja
w	[m/s]	-Brzina strujanja unutar cijevi
$V_{n,min}$	[l]	-Potreban minimalni volumen ekspanzijske posude
V_e	[l]	-Volumen širenja vode izazvan povišenjem temperature vode od 10°C do temperature polaznog voda
V_v	[l]	-Dodatni volumen – oko 0,5% volumena vode u instalacijama (minimalno 3 l)
p_e	[bar]	-projektni krajnji tlak
p_0	[bar]	-primarni tlak ekspanzijske posude (tlak plina prilikom isporuke)
n	[%]	-postotak širenja ovisno o temperaturi
V_A	[l]	-ukupni volumen vode u sustavu

SAŽETAK

U ovom radu je optimiran sustav grijanja i hlađenja za zgradu sportske namjene (veslački klub) u Zagrebu, površine 838 m². Glavni cilj bio je provesti energetska analizu za tri rješenja i predložiti optimalno tehničko rješenje sustava grijanja i hlađenja. Na temelju proračuna u skladu s normom HRN EN 12831 dobiveni su projektirani toplinski gubitci koji iznose 105,5 kW, dok je rashladno opterećenje provedeno u skladu sa smjericama VDI 2078 te iznosi 80,3 kW. Proračun je proveden uz pomoć programa LINEAR Building 24

Nakon analize tri opcije sustava grijanja i hlađenja (kotao na biomasu i rashladnik vode, dizalica topline voda/voda, dizalica topline zrak/voda), dizalica topline zrak/voda pokazala se kao najbolje rješenje u pogledu potrošnje energije i troškova. Sustav koristi dvije dizalice topline BOSCH CS3000 AWP59 P, koje su smještene na krovu zgrade i rade u kaskadi. Ukupni učin grijanja doseže 110,8 kW uz pomoć električnih grijača, dok rashladni učin iznosi 79,2 kW po dizalici čime se omogućava rad dizalice topline pri manjim opterećenjima što rezultira boljom efikasnošću i manjom potrošnjom energije.

Sustav predaje topline kombinira podno grijanje i ventilokonvektore, pri čemu ventilokonvektori igraju glavnu ulogu zbog nedostatnog kapaciteta podnog grijanja. Dizalice topline koriste R32 kao radnu tvar, što smanjuje negativan utjecaj na okoliš zahvaljujući nižem potencijalu globalnog zagrijavanja i boljoj energetska učinkovitosti. Sustav je opremljen spremnikom za akumulaciju topline od 1500 l proizvođača Centrometal tip CAS 1503, te brojnim regulacijskim i balansirajućim ventilima, osiguravajući učinkovit rad i optimalnu raspodjelu energije.

U prilogu se nalaze tlocrti sa shemama grijanja i hlađenja po etažama, dispozicija opreme na krovu te funkcionalna shema spajanja.

Ključne riječi: Dizalica topline zrak/voda, ventilokonvektori, podno grijanje i hlađenje, cirkulacijska pumpa

SUMMARY

In this thesis, a heating and cooling system was developed for a sports facility in Zagreb, with an area of 838 m². The main goal was to conduct an energy analysis for three solutions and propose an optimal technical solution for the heating and cooling system. Based on calculations in accordance with the HRN EN 12831 standard, the designed heat losses amounted to 105.5 kW, while the cooling load, calculated according to the VDI 2078 guidelines, amounted to 80.3 kW.

After analyzing three heating and cooling system options (biomass boiler, water-to-water heat pump, air-to-water heat pump), the air-to-water heat pump proved to be the best solution in terms of energy consumption and cost. The system utilizes two BOSCH CS3000 AWP59 P heat pumps, which are installed on the building's roof and operate in cascade. The total heating capacity reaches 110.8 kW with the help of electric heaters, while the cooling capacity is 79.2 kW per heat pump, allowing for efficient operation at lower loads, resulting in better efficiency and reduced energy consumption.

The heat transfer system combines underfloor heating and fan coil units, with fan coils playing the primary role due to the insufficient capacity of underfloor heating. The heat pumps use R32 as the refrigerant, which reduces the environmental impact due to its lower global warming potential and improved energy efficiency. The system is equipped with a 1500-liter thermal storage tank, Centrometal model CAS 1503, and numerous control and balancing valves, ensuring efficient operation and optimal energy distribution.

Attached to this paper are the floor plans with heating and cooling schematics for each floor, the equipment layout on the roof, and the functional connection diagram.

Keywords: Air-to-water heat pump, fan coil units, underfloor heating and cooling, circulation pump, LINEAR Building 24

1. UVOD

U današnje vrijeme gdje su tehnološki napredak i industrijski razvoj postali glavni pokretači promjena, pitanje održivog i efikasnog korištenja resursima kao što je energija postao je glavni imperativ. Energija, s posebnim naglaskom na sustave grijanja, ventilacije i klimatizacije (u daljnjem tekstu: GViK), ima važnu ulogu u ostvarivanju udobnosti života i produktivnosti ljudi. Sa sve većim naglaskom na klimatske promjene počelo se više vremena ulagati na smanjenje emisija stakleničkih plinova i racionalno korištenje energije.

S obzirom da se većina energije danas crpi iz fosilnih izvora, postavlja se sve veći zahtjev na prelazak održivih alternativa kako bismo ograničili negativan utjecaj na okoliš. Pošto GViK sustavi u zgradarstvu troše oko 40% od ukupne potrošnje energije izuzetno je važna njihova energetska učinkovitost[1]. Primjena inovativnih tehnologija u GViK svijetu postaje esencijalna u postizanju održive energetske budućnosti.

Ovaj rad će istražiti različite aspekte energetskih sustava s naglaskom na grijanje i hlađenje, te analizirati kako se mogu implementirati napredne tehnologije radi postizanja optimalne energetske učinkovitosti. Razvoj održivih rješenja u sustavima grijanja i hlađenja ne doprinosi samo u smanjenju ugljičnog otiska, već ima izravan utjecaj na smanjenje troškova energije i poboljšanja životnog standarda. Kroz analizu suvremenih trendova i inovacija za energetske učinkovitost, radom će dati optimalno rješenje za dani prostor.

1.1. Optimizacija termotehničkog sustava

Zadaća termotehničkih sustava je postići toplinsku ugodnost u prostorijama u kojima borave ljudi. To se postiže sa nizom parametara kao što su temperatura zraka u prostoriji, temperatura zidova, vlažnost zraka, brzina strujanja zraka, kvaliteta unutarnjeg zraka i buka. Te parametre je potrebno održavati u dopuštenim granicama kako bi se većina ljudi koja tamo borave osjećala ugodno. Zona boravka se smatra područje unutar kojeg treba postići i održati tražene parametre, a to područje je definirano sa 0,5 m udaljenosti od unutarnjih zidova, 1 m od vanjskih zidova, prozora i vrata, do visine 1,8m iznad poda. Optimizacijom sustava se smatra poboljšanje i renovacija termotehničkih instalacija u cilju smanjivanja pogonskih troškova i potrošnje energije, a da se time ne naruši toplinska ugodnost.

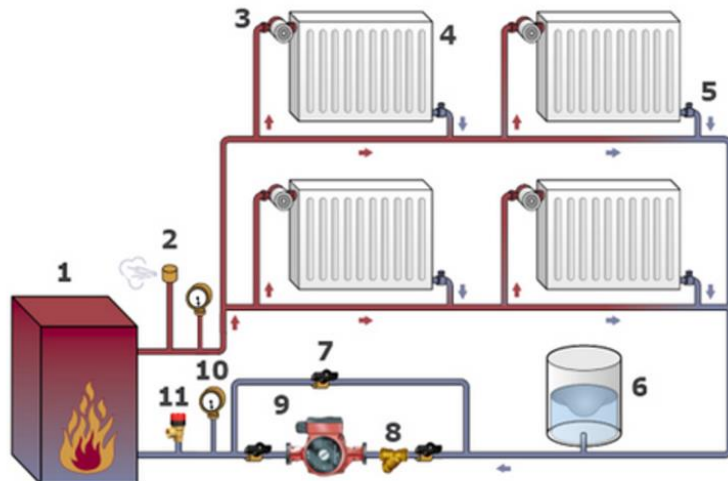
1.2. Sustav grijanja i hlađenja

Sustavi grijanja i hlađenja se biraju na temelju više faktora kao što su vremenski uvjeti, geografska lokacija, položaj i tip zgrade, vrijeme korištenja zgrade, raspoloživost izvora energije, investicijski i pogonski troškovi. Sustave grijanja možemo podijeliti prema izvedbi kao što su:

- Pojedinačno grijanje
- Centralno grijanje
- Daljinsko grijanje

Tipičan primjer pojedinačnog grijanja su kamini ili grijalice koji neposredno zagrijavaju prostor u kojem se nalaze. Centralni sustavi grijanja omogućavaju da se toplinski izvor makne iz prostorije te se pomoću ogrjevnog medija (topla ili vrela voda), toplina predaje prostoru pomoću ogrjevnog tijela kao što su radijatori, ventilokonvektori ili cijevne petlje podnog, stropnog ili zidnog grijanja (slika 1.). Sa time je omogućeno da sa jednim izvorom topline možemo zagrijati više prostorija. Daljinsko grijanje također koristi ogrjevna tijela kao i sustavi centralnog grijanja pri čemu je jedina razlika u tome da se toplinska energija proizvodi u toplanama pa se istovremeno može opskrbiti više zgrada ili dio grada.

U novije vrijeme sustavi s obnovljivim izvorima energije doživljavaju veliki napredak, što smanjuje uporabu fosilnih goriva, čija cijena posljednjih godina eksponencijalno raste. Osim toga, sagorijevanjem fosilnih goriva otpuštaju se značajne količine stakleničkih plinova. Sustavi s obnovljivim izvorima energije igraju ključnu ulogu prema održivom iskorištenju resursa. Neki primjeri ovakvih sustava su solarno grijanje, grijanje na biomasu kao toplinski izvor te dizalice topline. Ovaj rad će se primarno baviti s obnovljivim izvorima energije pošto se rekonstrukcija instalacija izvodi po Tehničkom propisu o racionalnoj uporabi energije i toplinskoj zaštiti zgrada koji zahtjeva da se prilikom značajne rekonstrukcije postojeće zgrade koristi minimalno 10% energije dobivene od obnovljivih izvora energije[2].

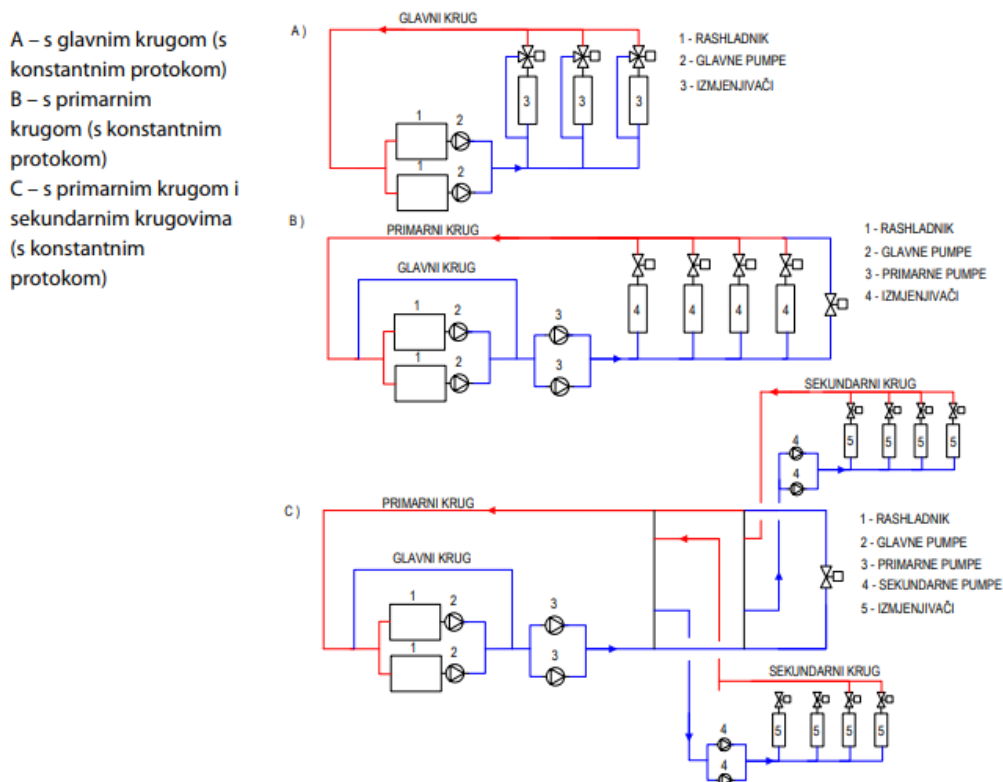


Slika 1. Centralni sustav grijanja [3]

Sustavi hlađenja se mogu podijeliti na četiri osnovne skupine:

- Zračni sustavi
- Zračno-vodeni sustavi
- Vodeni sustavi
- Neposredni sustav s radnom tvari

Zračni sustavi se koriste za postizanje najveće ugodnosti u zoni boravka, no ujedno su i najskuplji što se tiče investicijskih i pogonskih troškova. Češće se koriste zračno-vodeni sustavi, u kojima se temperirani zrak upuhuje u prostor kako bi se održali projektni parametri i dovodio svjež zrak dok voda pokriva glavni dio opterećenja. Time se smanjuju dimenzije zračnih kanala zbog manjeg potrebnog protoka zraka. Vodeni sustavi koriste vodu kao rashladni medij, koja se hladi pomoću rashladnika vode poznatog kao „chiller“. Budući da ne dovode vanjski zrak za ventilacijske zahtjeve, ne mogu se smatrati sustavima klimatizacije. Vodeni sustavi se mogu podijeliti na dvocijevni i četverocijevni sustav. Dvocijevni sustavi imaju razvod s jednom polaznom i povratnom cijevi pa u jednom trenutku može protjecati samo topla ili hladna voda (slika2.). Četverocijevni sustavi imaju odvojene cjevovode toplog i hladnog polaza i povrata pa se po različitim potrebama prostora zgrade može grijati ili hladiti.



Slika 2. Dvocijevni vodeni sustav hlađenja [4]

Neposredni sustavi koriste radnu tvar za hlađenje zraka. Ta radna tvar je najčešće halogenirani ugljikovodik koja sa promjenom agregatnog stanja izmjenjuje toplinu sa zrakom u prostoru preko izmjenjivača topline. Obično se sastoji od sklopova koji uključuju isparivač i kombinaciju kompresora i kondenzatora, a mogu se koristiti za grijanje i hlađenje. Dostupni su u paketnoj i razdvojenoj izvedbi (eng. *Split*). Paketne jedinice su izvedene kao jedan tvornički sklop i namijenjene su za hlađenje samo jedne prostorije dok je preko razdvojene izvedbe moguće povezati do 50 unutarnjih jedinica na jednu vanjsku (VRF sustav, Multi split sustav). Ovaj rad se fokusira na vodene sustave s obzirom da nije potrebno razmotriti i sustave ventilacije.

1.3. Ogrjevna i rashladna tijela

Ogrjevna i rashladna tijela su izmjenjivači topline preko kojih se prenosi toplina s ogrjevnog, odnosno rashladnog medija na zrak u prostoru. Ogrjevna tijela se mogu podijeliti na sljedeći način [5]:

- člankasta ogrjevna tijela
- pločasta ogrjevna tijela
- konvektori
- cijevni grijači
- panelni grijači

Odabir ogrjevnog, odnosno rashladnog tijela ima više zahtjeva kao što su niski investicijski troškovi, utjecaj na estetiku prostora, jednostavno čišćenje i održavanje te postizanje što veće toplinske ugodnosti u prostoru.

Većina navedenih ogrjevnih tijela ima dominantan konvektivni mehanizam prijelaza topline, za koje je karakteristična velika razlika temperature ogrjevnog vode. Pošto u režimu hlađenja rashladna voda radi sa nižim razlikama temperature nego u grijanju, potrebno je povećati izmjenjivaču površinu kako bi se ostvario potreban učin hlađenja. To povećanje površine je jedino izvedivo kod panelnih grijača u izvedbi podnog, stropnog i zidnog grijanja i hlađenja kako je i za njih specifičan niskotemperaturni režim rada. Kako bi se ista ogrjevna tijela mogla koristiti i za sustave hlađenja, te se tako mogli sniziti investicijski troškovi u ovome radu će se razmatrat podno grijanje/hlađenje i konvektori, posebice ventilokonvektora, kako oni imaju sposobnost rada sa malom temperaturnom razlikom .

1.4. Konvektori

Konvektori, danas najčešće korišteni kao ventilokonvektori (slika 4.), su uređaji koji se koriste za grijanje i hlađenje zraka u prostoriji. Osnovni mehanizam prijenosa topline je konvekcija, koja se pojačava uporabom ventilatora, čime se postiže visoka toplinska ugodnost u prostoru. Prednosti ovakvih uređaja su male dimenzije, mala masa i mali sadržaj vode, što rezultira brzim odazivom i kratkim vremenom zagrijavanja. Nedostaci ovakvih uređaja su otežano čišćenje i buka koju mogu stvarati ventilatori.



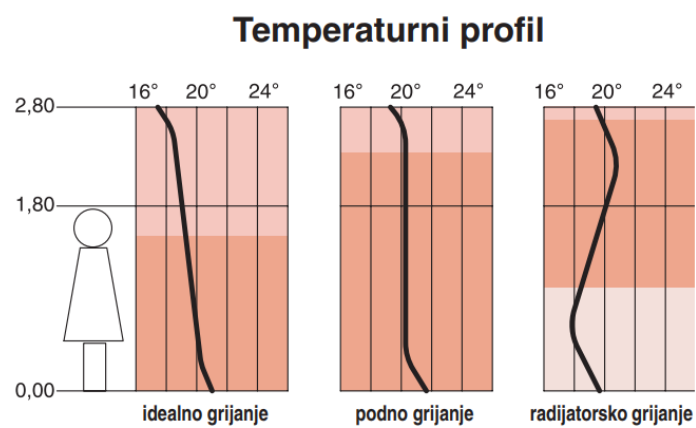
Slika 3. Ventilokonvektor [6]

1.5. Podno grijanje i hlađenje

Podno grijanje i hlađenje (slika 5.) je sustav preko kojeg se izmjena topline vrši preko površine poda u kojoj se nalaze cijevi kroz koje struji ogrjevni ili rashladni medij – voda. Kod ovakvog sustava glavni mehanizam izmjene topline je zračenje čime se zagrijavaju okolni zidovi te tako postiže najviša razina toplinske ugodnosti zbog malih razlika temperature u zoni boravka (slika 4.). Prednosti ovakvih sustava su niske temperature medija, izmjenjivača površina je cijeli pod pa nema vidljivih ogrjevnih tijela, veća ugodna zbog manje konvekcije i izostanak neugodnih toplinskih zona [7]. Nedostaci ovakvog sustava su veliki sadržaj vode, što rezultira „sporom“ regulacijom i tromim sustavom, skupi popravci u slučaju oštećenja te visoki investicijski troškovi.



Slika 4. Cijevne petlja podnog grijanja i hlađenja [8]



Slika 5. Temperaturni profil po visini prostorije[7]

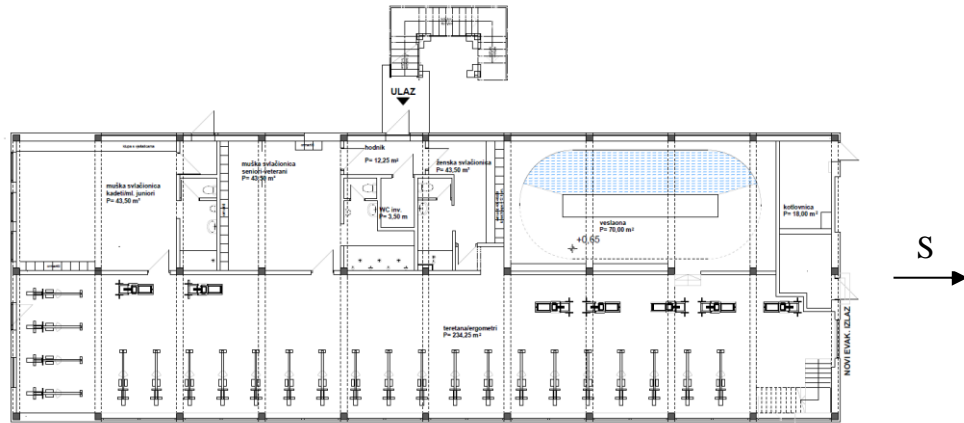
2. OPIS ZGRADE

Analiza sustava grijanja i hlađenja se provodi za zgradu HAVK Mladost na području grada Zagreba prema arhitektonskim podlogama. Situacija zgrade je prikazana na Slici 6. Zgrada se sastoji od dvije etaže, prizemlja i kata (Pr+1). U prizemlju se nalazi teretana s ergometrima za potrebe HAVK Mladosti, veslaona sa bazenom, svlačionice i sanitarni čvorovi za muškarce i žene te kotlovnica sa ulazom izvana, a na katu je fitness prostor s muškom i ženskom svlačionicom i kupaonicom, kancelarija u kojoj je tajništvo kluba i prostor za kardio treninge. Katovi su međusobno povezani stubištem unutar zgrade te preko vanjskog stubišta. Glavni ulaz u zgradu orijentiran je prema jugozapadu. Ukupna neto površina svakog kata je oko 450m², a ukupna neto grijana površina zgrade je 893 m². Zgrada je izduženog pravokutnog oblika u smjeru sjeverozapada-jugoistoka.

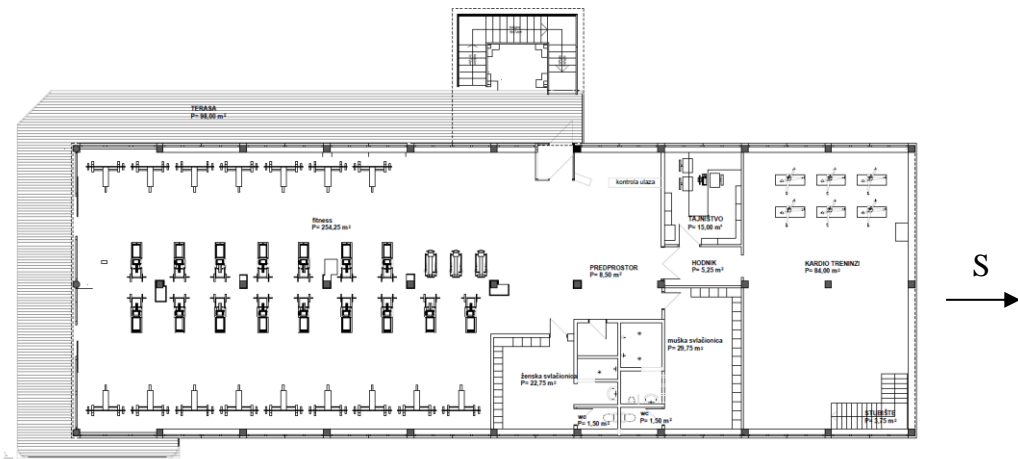


Slika 6. Situacija zgrade

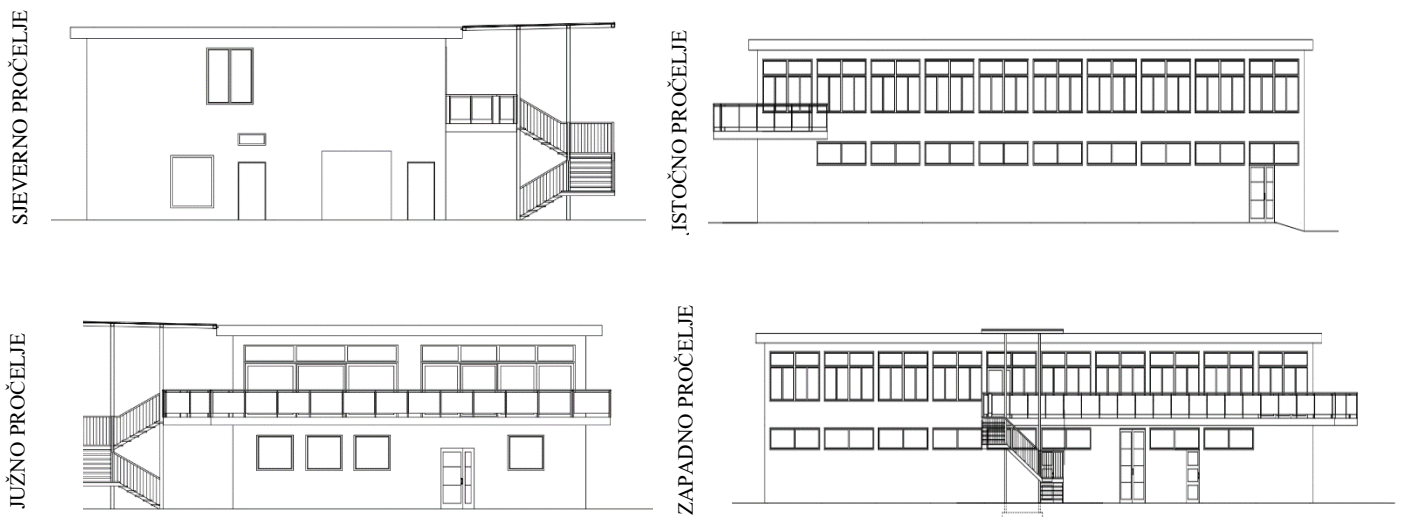
Na slikama 7 – 9 prikazani su tlocrti prizemlja i prvog kata te pročelja zgrade. Na slikama pročelja se vidi velika površina ostakljenja. Tlocrti i pročelja su dobiveni u arhitektonskim podlogama te se uz pomoć računalnog programa Autodesk Revit 2022 zgrada 3D modelirala. Uz program LINEAR Building 2024 određeni su toplinski gubitci i dobitci zgrade te su se također uz pomoć programa odabrala ogrjevna i rashladna tijela (slika 10.).



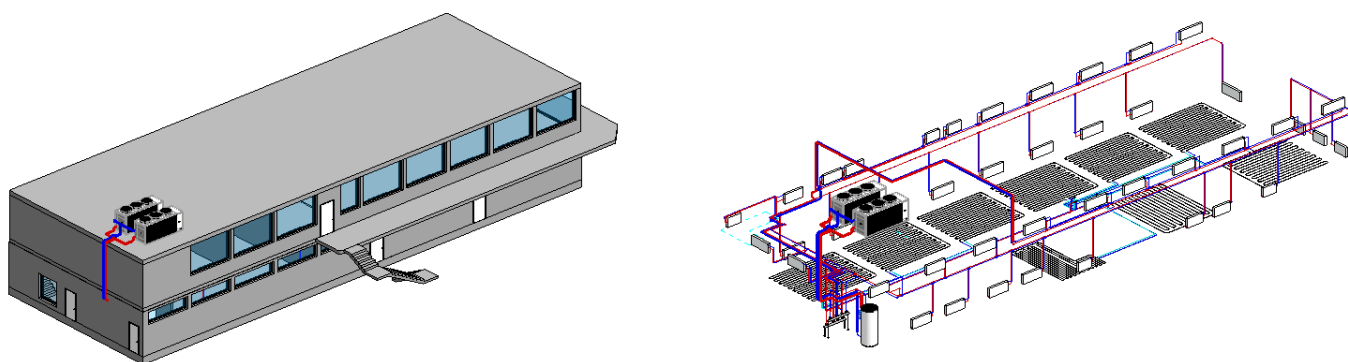
Slika 7. Tlocrt prizemlja zgrade



Slika 8. Tlocrt prvog kata zgrade



Slika 9. Pročelja zgrade



Slika 10. Izometrijski prikaz modela zgrade i sustava grijanja i hlađenja

U tablici 1. prikazan je iskaz površina zgrade HAVK Mladost prema podacima arhitekta. Sivo naznačene ćelije označavaju grijane i hlađene dijelove zgrade.

Tablica 1. Iskaz površina zgrade HAVK Mladost

Pozicija	Namjena	Neto površina [m ²]
Prizemlje		
Veslački klub prizemlje	Muška svlačionica kadeti/ml. juniori	2
	Teretana/ergometri	227
	Veslaona	70
	Ženska svlačionica	18
	Muška Svlačionica seniori-veterani	41
	Hodnik 1	2
	Hodnik 2	5
	WC inv.	3
1. Kat		
Veslački klub 1. kat	Tajništvo	14
	Kardio treninzi	84
	Stubište	5
	Hodnik	6
Fitness centar	Fitness	280
	Ženska svlačionica	20
	Muška svlačionica	14
	Spremište	3

3. TOPLINSKA BILANCA ZGRADE

3.1. Toplinski gubitci

Toplinske gubitke je potrebno izračunati kako bi se mogla dimenzionirati ogrjevna tijela, a samim time i potreban učin izvora topline. Za proračun toplinskih gubitaka koristi se norma HRN EN 12831 [9] zbog jednostavnosti i najšire primjene. Projektni toplinski gubitci se računaju preko izraza:

$$\Phi_{HL} = \Phi_{T,i} + \Phi_{V,i} + \Phi_{RH,i} [W] \quad (1)$$

$\Phi_{T,i}$ – projektni transmisivski gubitci topline prostorije [W]

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

$\Phi_{RH,i}$ – dodatni toplinski učinak za kompenzaciju prekida grijanja [W]

zatim se sumiranjem toplinskih gubitaka za svaku prostoriju dobivaju ukupni gubitci.

Projektni transmisivski gubitci se javljaju zbog prijenosa topline kroz građevne elemente postojanjem temperaturne razlike te se određuju preko sljedećeg izraza:

$$\Phi_{T,i} = (H_{T,ie} + H_{T,iue} + H_{T,ig} + H_{T,ij})(\vartheta_{int,i} - \vartheta_e)[W] \quad (2)$$

$H_{T,ie}$ – koeficijent transmisivskog gubitka od grijanog prostora prema vanjskom okolišu [W/K]

$H_{T,iue}$ – koeficijent transmisivskog gubitka od grijanog prostora kroz negrijani prostor prema vanjskom okolišu [W/K]

$H_{T,ig}$ – stacionarni koeficijent transmisivskog gubitka od grijanog prostora prema tlu [W/K]

$H_{T,ij}$ – koeficijent transmisivskog gubitka od grijanog prostora prema susjednom grijanom prostoru različite temperature [W/K]

$\vartheta_{int,i}$ – unutarnja projektna temperatura grijanog prostora [°C]

ϑ_e – vanjska projektna temperatura [°C]

Koeficijent transmisivskih gubitaka prema vanjskom okolišu se računa preko izraza:

$$H_{T,ie} = \sum_k A_k U_k e_k + \sum_l \Psi_l l_l e_l \left[\frac{W}{K} \right] \quad (3)$$

A_k – površina plohe "k" (zid, prozor, vrata, strop, pod) kroz koju prolazi toplina [m^2]

U_k – koeficijent prolaza topline građevnog elementa "k" [W/m^2K]

e_k, e_i – korekcijski faktori izloženosti koji uzimaju u obzir klimatske utjecaje kao vlažnost, temperatura, brzina vjetra. Određuju se na nacionalnoj razini. Ako vrijednosti nisu određene na nacionalnoj razini uzeti =1

Ψ_l – linijski koeficijent prolaza topline linijskog toplinskog mosta "l" [W/mK]

l_l – dužina linijskog toplinskog mosta između vanjskog okoliša i prostorije [m]

Transmisijski gubitci kroz negrijane prostore:

$$H_{T,iue} = \sum_k A_k U_k b_u + \sum_l \psi_l l_l b_u \left[\frac{W}{K} \right] \quad (4)$$

b_u – faktor smanjenja temperaturne razlike koji uzima u obzir temperaturu negrijanog prostora i vanjsku projekttnu temperaturu prema izrazu:

$$b_u = \frac{\vartheta_{int,i} - \vartheta_u}{\vartheta_{int,i} - \vartheta_e} [-] \quad (5)$$

Transmisijski gubitci prema tlu:

$$H_{T,ig} = f_{g1} f_{g2} \left(\sum_k A_k U_{equiv,k} \right) G_W \left[\frac{W}{K} \right] \quad (6)$$

f_{g1} – korekcijski faktor za utjecaj godišnje oscilacije vanjske temperature, predložena vrijednost =1.45

f_{g2} – faktor smanjenja temperaturne razlike koji uzima u obzir razliku između godišnje srednje vanjske i vanjske projektne temperature prema izrazu:

$$f_{g2} = \frac{\vartheta_{int,i} - \vartheta_{m,e}}{\vartheta_{int,i} - \vartheta_e} [-] \quad (7)$$

$\vartheta_{m,e}$ – godišnja srednja vanjska temperatura [$^{\circ}C$]

$U_{equiv,k}$ – ekvivalentni koeficijent prolaza topline iz tablica i dijagrama prema tipologiji poda [W/m^2K]

G_W - korekcijski faktor za utjecaj podzemne vode, za udaljenosti poda do vode <1m uzeti =1.15, inače =1.

Gubitci topline prema susjednim prostorijama grijanim na različitu temperaturu:

$$H_{T,ij} = \sum_k f_{ij} A_k U_k \left[\frac{W}{K} \right] \quad (8)$$

f_{ij} - faktor smanjenja temperaturne razlike koji uzima u obzir razliku između temperature susjednog prostora i vanjske projektne temperature:

$$f_{ij} = \frac{\vartheta_{int,i} - \vartheta_{ads}}{\vartheta_{int,i} - \vartheta_e} [-] \quad (8)$$

Ventilacijski toplinski gubitci se određuju prema izrazu:

$$\Phi_{V,i} = H_{V,i} (\vartheta_{int,i} - \vartheta_e) [W] \quad (9)$$

gdje je

$H_{V,i}$ – koeficijent ventilacijskih gubitaka [W/K]

Koeficijent ventilacijskih gubitaka se određuje preko izraza:

$$H_{V,i} = V_i \rho c_p = 0,34 V_i [W/K] \quad (10)$$

V_i – protok zraka u grijani prostor [m^3/h]

ρ – gustoća zraka pri unutarnjoj projektnoj temperaturi [kg/m^3]

c_p – specifični toplinski kapacitet zraka pri unutarnjoj projektnoj temperaturi [J/kgK]

Protok zraka bez ventilacijskih sustava se određuje tako da se odabere veća vrijednost između protoka zraka uslijed infiltracije kroz zazor ili minimalnog higijenskog protoka:

$$V_i = \max(V_{inf,i}, V_{min,i})$$

$V_{inf,i}$ – maksimalni protok zraka u prostoriju uslijed infiltracije kroz zazor [m^3/h]

$V_{min,i}$ – minimalni higijenski protok zraka [m^3/h]

Protok zraka u prostoriji uslijed infiltracije se računa preko izraza:

$$V_{inf,i} = 2V_i n_{50} e_i \varepsilon_i [m^3/h] \quad (11)$$

V_i – volumen unutarnjeg prostora [m^3]

n_{50} – broj izmjena zraka u prostoriji pri razlici tlaka 50 Pa [h^{-1}]

e_i – koeficijent zasićenosti, uzima u obzir utjecaj vjetra odnosno zasićenost zgrade i broj otvora prema okolišu

ε_i - korekcijski faktor za visinu, uzima u obzir različit odnos tlakova sa povećanjem visine iznad okolnog tla

Ove vrijednosti se uzimaju iz tablica u već navedenoj normi.

Minimalni higijenski protok zraka se računa preko izraza:

$$V_{min,i} = n_{min}V_i [m^3/h] \quad (12)$$

n_{min} – minimalni broj izmjena zraka (vrijednosti navedene u normi ovisno o tipu prostorije) [h⁻¹]

Dodatna toplina se uzima u obzir prilikom prestanka rada sustava te se dodaje u ukupnu bilancu kako bi se što prije prostor mogao zagrijati na već predviđenu temperaturu. Dodatna toplina za zagrijavanje ovisi o toplinskom kapacitetu građevnih elemenata, vremenu zagrijavanja, temperaturnom padu tijekom mirovanja sustava i svojstvima sustava regulacije, a određena je izrazom:

$$\Phi_{RH,i} = A_i f_{RH} [W] \quad (13)$$

A_i – površina poda grijanog prostora sa ½ debljine zidova [m²]

f_{RH} - korekcijski faktor ovisan o vremenu zagrijavanja i pretpostavljenom padu temperature za vrijeme prekida, odabran iz tablice u normi [W/m²]

3.2. Ulazni podaci za proračun toplinskih gubitaka

Za proračun je prvo potrebno definirati projektnu vanjsku temperaturu koja za grad Zagreb iznosi -13°C. U tablici 2. su definirane unutarnje projektne temperature grijanih prostorija od strane investitora te vrijednosti minimalnog broja izmjene zraka. Koeficijent prolaza topline U za građevinske dijelove zgrade prikazan je u tablici 3. Iz tablice je vidljivo da većina dijelova zgrade značajno prelazi dopuštene vrijednosti koeficijenta prolaza topline danog u Tehničkom propisu o racionalnoj uporabi energije i toplinskoj zaštiti u zgradama [2]. Utjecaj toplinskih mostova uzet je u obzir povećanjem koeficijenta prolaska topline U svakog građevnog dijela oplošja grijanog dijela zgrade za $U_{TM} = 0,10 \text{ W/(m}^2\text{K)}$. Kako se uz rekonstrukciju sustava grijanja i hlađenja planira obnoviti i izolirati ovojnica zgrade, to razmatranje nije u vidu ovog rada te će se sustav dimenzionirati za postojeće stanje.

Tablica 2. Unutarnje projektne temperature i minimalni broj izmjena zraka

Prostorija	Projektna temperatura unutarnjeg prostora u sezoni grijanja ϑ_{int} [°C]	Minimalni broj izmjene zraka n_{min} [h ⁻¹]
Muška svlačionica kadeti/juniori	18	1
Teretana/ergometri	15	2
Veslaona	15	2
Ženska svlačionica	18	1
Muška svlačionica seniori/veterani	18	1
Fitness	18	2
Ženska svlačionica	18	1
Muška svlačionica	18	1
Kardio treninzi	15	2
Tajništvo	20	0,5
Stubište	15	0,5

Tablica 3. Vrijednost koeficijenta prijelaza topline za pojedine građevne elemente

Oznaka	Građevinski element	U [W/m ² K]	U _{max} [W/m ² K]
VZ1	Vanjski zid prizemlja	1,37	0,3
VZ2	Vanjski zid 1. kat	1,4	0,3
UZ	Unutarnji zid	1,912	0,8
PD	Pod na tlu	1,39	0,4
RK	Ravni krov	1,15	0,25
ST	Strop	3,5	0,8
PR1	Novi prozor	0,8	1,6
PR2	Stari prozor	3,5	1,6
VR1	Vanjska vrata 1	1,3	2
VR2	Vanjska vrata 2	2	2
VR3	Unutarnja vrata	2	2

3.2.1. Rezultati proračuna gubitka topline

U nastavku je prikazan primjer proračuna gubitka topline za jednu prostoriju u skladu sa prethodno navedenom normom. Odabrana prostorija je Muška svlačionica kadeti/ml. juniori koja se nalazi u prizemlju. Karakteristike prostorije i proračun gubitaka topline prikazani su u Tablici 4. koji je proveden uz pomoć programa MS Excel.

Tablica 4. Primjer proračuna gubitka topline jedne prostorije

Muška svlačionica kadeti/ ml. Juniori											
Površina	48	m ²									
Visina	3,2	m									
Volumen	153,6	m ³									
Theta int,i	18	°C									
Theta e	-13	°C									
fg1	1,45	-									
n_min	1	1/h									
f_RH	11	-									
Transmisijski gubici prema vanjskom okolišu											
Oznaka	Građevinski element	Ak [m ²]	Broj elemenata	Ak' [m ²]	U [W/m ² K]	ΔU [W/m ² K]	Uk [W/m ² K]	e_k [-]	Ak'+Uk*ek [W/K]		
PR1	Prozor 1	1,82	3	5,46	0,8	0,1	0,9	1		4,914	
VZ1	Vanjski zid 1	20,29	1	14,83	1,37	0,1	1,47	1		21,80	
PR2	Prozor 2	3,06	1	3,06	3,5	0,1	3,6	1		11,02	
VZ1	Vanjski zid 1	24,32	1	21,26	1,37	0,1	1,47	1		31,25	
Ukupno transmisijski gubitak topline prema vanjskom okolišu							Ht,ie=Σk'Ak'+Uk*ek		68,98		
Transmisijski gubici prema negrijanim prostorima											
Oznaka	Građevinski element	Ak [m ²]	Broj elemenata	Ak' [m ²]	U [W/m ² K]	ΔU [W/m ² K]	Uk [W/m ² K]	b_u [-]	Ak'+Uk*ek [W/K]		
VR3	Unutranja vrata	2,03	1	2,03	2	0	2	0,26		1,0556	
UZ	Unutarnji zid	6,43	1	4,4	1,91	0	1,91	0,26		2,18504	
UZ	Unutarnji zid	6,31	1	6,31	1,91	0	1,91	0,26		3,133546	
Ukupni transmisijski gubici topline kroz negrijane prostore							Ht,iue=Σk'Ak'+Uk*bu		6,374186		
Transmisijski gubici prema tlu											
Izračun B	Ag	P	B=2*Ag/P								
	48	15,95	6,02								
Oznaka	Građevinski element	Ak	U	U_eq	fg1	fg2	G W	Ht,ig=(Σk'Ak'+Ueq)*fg1+fg2*G W [W/K]			
PD	Pod na tlu	48	1,39	0,38	1,45	0,24	1	6,34752			
Ukupni transmisijski gubici topline prema tlu							6,34752				
Transmisijski gubici prema susjednim prostorijama grijanih na različitu temperaturu											
Oznaka	Građevinski element	Ak [m ²]	Broj elemenata	Ak' [m ²]	U [W/m ² K]	ΔU [W/m ² K]	Uk [W/m ² K]	f_ij	Ak'+Uk*ek [W/K]		
VR3	Unutarnja vrata	2,03	1	2,03	2	0	2	0,096		0,38976	
UZ	Unutarnji zid	30,11	1	28,08	1,91	0	1,91	0,096		5,1487488	
Ukupni transmisijski gubici prema susjednim prostorijama različitih temperatura							Ht,ij=Σk'Ak'+Uk*f_ij [W/K]		5,5385088		
Ukupni transmisijski gubici topline							Ht_i=Ht_ie+Ht_iue+Ht_ig+Ht_ij [W/K]				87,24
Projektni transmisijski gubici prostorije							Φt=Ht_i*(θint,i-θe) [W]				2704,52
Ventilacijski gubici topline											
Vi=n_min*Vi		153,6		m ³ /h							
H_v,i=Vi*p*cp=0,34*Vi		52,224		W/K							
Φv,i=H_v,i*(θint,i-θe)		1618,9		W							
Potrebna toplina za dogrijavanje											
Φ RH,i=Ai*f_RH		528		W							
Ukupni toplinski gubici prostorije											
Φ GR,i=Φt+Φv,i+Φ RH		4851,46		W							

Po principu prethodnog proračuna, izračunati su toplinski gubici svih prostorija zgrade uz pomoć računalnog programa LINEAR Building 24. Rezultati proračuna su prikazani u Tablici 5., a ti podaci služe za daljnje dimenzioniranje ogrjevnih tijela i odabir izvora topline.

Tablica 5. Vrijednosti toplinskih gubitaka po prostorijama

Toplinski gubitci							
Prizemlje							
Br. prostorije	Prostorija	A [m ²]	ϑ_i [°C]	Φ_n [W]	Φ_T [W]	Φ_V [W]	Φ_{RH} [W]
1	Muška svlačionica kadeti/juniori	48	18	4851	2705	1618	528
2	Teretana/ergometri	228	15	24955	8418	14069	2502
3	Veslaona	70	15	6196	1975	3452	770
4	Ženska svlačionica	18	18	2100	1272	626	202
5	Muška svlačionica seniori/veterani	41	18	3715	1866	1398	451
Ukupno Prizemlje:		405		41817	16236	21163	4453
1. Kat							
Br. prostorije	Prostorija	A [m ²]	ϑ_i [°C]	Φ_n [W]	Φ_T [W]	Φ_V [W]	Φ_{RH} [W]
6	Fitness	280	18	41886	20161	18645	3079
7	Ženska svlačionica	20	18	2669	1780	668	221
8	Muška svlačionica	30	18	3700	2373	998	330
9	Kardio treninzi	84	15	12407	6452	5034	921
10	Tajništvo	14	20	1873	1472	247	153
11	Stubište	5	15	1136	1001	78	57
Ukupno 1. Kat:		433		63635	33239	25670	4761
Ukupno zgrada:		838		105452	49475	46834	9214

Iz tablice se može vidjeti da ukupni toplinski gubitci iznose 105,5 kW što je značajan iznos za toplinske gubitke po jedinici površine koji iznose na razini zgrade 123 W/m². To se može objasniti lošom izolacijom ovojnice zgrade te visokim vrijednostima ventilacijskih gubitaka topline zbog postizanja protoka higijenskog minimuma u prostorijama u kojima se vježba. Također može se vidjeti razlika od 21,8 kW između 1.Kata i prizemlja iako je gotovo ista grijana površina. To se može objasniti lošom izoliranošću ravnog krova koja graniči sa vanjskim zrakom projektne temperature, dok u prizemlju pod graniči sa tlom koji je znatno više temperature. Kako je ovo samo projektno opterećenje koje se može javiti nekoliko dana u godini, sustav će većinu vremena raditi u djelomičnom opterećenju.

4. PRORAČUN RASHLADNOG OPTEREĆENJA

Proračun toplinskog opterećenja zgrade se vrši preko smjernice VDI 2078[10] te služi za dimenzioniranje rashladnog uređaja i rashladnih tijela. Smjernica govori koliko je potrebno rashladnog učina da se postigne zadana temperatura zraka prostorije. Rashladno opterećenje prostorije se može izraziti preko jednadžbe:

$$\Phi_R = \Phi_I + \Phi_A \text{ [W]} \quad (14)$$

Pri čemu je:

Φ_R – Rashladno opterećenje prostorije pri zadanoj temperaturi zraka [W]

Φ_I – Unutrašnje rashladno opterećenje [W]

Φ_A – Vanjsko rashladno opterećenje [W]

Unutrašnje rashladno opterećenje se sastoji od zbroja toplinskih opterećenja kao što su toplinska opterećenja od osoba Φ_P , uređaja i strojeva Φ_E i susjednih prostorija različite temperature Φ_{PR} .

$$\Phi_I = \Phi_P + \Phi_E + \Phi_{PR} \text{ [W]} \quad (15)$$

Toplinsko opterećenje od uređaja se još može podijeliti na toplinsko opterećenje od rasvjete Φ_B , toplinsko opterećenje od uređaja i strojeva Φ_M i toplinsko opterećenje pri prolazu materijala kroz prostoriju Φ_G .

$$\Phi_E = \Phi_B + \Phi_M + \Phi_G \text{ [W]} \quad (16)$$

Vanjsko rashladno opterećenje se sastoji od topline dospjele kroz ovojnicu zgrade te se sastoji od toplinskog toka kroz zidove i krovove Φ_W i prozore Φ_F . Toplinski tok kroz prozore se dalje može podijeliti na transmisijske dobitke topline Φ_T i toplinu dobivenu iz sunčevog zračenja Φ_S .

$$\Phi_A = \Phi_W + \Phi_F \text{ [W]} \quad (17)$$

$$\Phi_F = \Phi_T + \Phi_S \text{ [W]} \quad (18)$$

Mora se naglasiti da je rashladno opterećenje prostorije vremenski promjenjivo zbog promjenjivih iznosa komponente opterećenja od sunčevog zračenja te zbog akumulacije topline ovojnice zgrade. Maksimalno rashladno opterećenja prostorije određuje se u intervalu od 24 sata te služi za dimenzioniranje rashladnih tijela. Različite prostorije ne moraju imati maksimum rashladnog opterećenja u istom vremenu pa se samim time za toplinsko opterećenje

zgrade mora provjeriti u kojem trenutku suma istovremenih rashladnih opterećenja daje najveći iznos (a ne kao suma rashladnog opterećenja prostorije).

$$\Phi_R = \max \sum \Phi_R(t) [W] \quad (19)$$

Iznos toplinskog opterećenja zgrade definira potreban rashladni učin uređaja za hlađenje. Zbog kompleksnosti samog proračuna u nastavku će biti prikazani samo rezultati proračuna opterećenja po prostorijama te iznosi rashladnog opterećenja u najnepovoljnijim danima.

4.1. Rezultati proračuna toplinskog opterećenja

U tablici 6. prikazane su projektne temperature po prostorijama potrebne za izračun toplinskog opterećenja. Temperature u prostorijama teretana/ergometri i veslaona se razlikuju od ostatka zgrade zbog većeg intenziteta vježbanja u tim prostorijama pa se bolja toplinska ugodnost postiže pri temperaturama od 22°C dok se u ostatku zgrade sa višom temperaturom zraka teži ka sniženju potrošnje energije sustava.

Tablica 6. Projektna temperatura po prostorijama u sezoni hlađenja

Prostorija	Projektna temperatura unutarnjeg prostora u sezoni hlađenja ϑ_{int} [°C]
Muška svlačionica kadeti/juniori	26
Teretana/ergometri	22
Veslaona	22
Ženska svlačionica	26
Muška svlačionica seniori/veterani	26
Fitness	26
Ženska svlačionica	26
Muška svlačionica	26
Kardio treninzi	26
Tajništvo	26
Stubište	26

Vrijednosti faktora propuštanja energije Sunčevog zračenja za starije prozore koji se nalaze u prizemlju iznosi $g=0,85$ dok za nove prozore iznosi $g=0,7$. Prozori nemaju zaštite od sunčevog zračenja osim nekolicine koji se nalaze na južnom i zapadnom pročelju prizemlja zbog izgrađenog balkona. Proračun je proveden pomoću programa LINEAR Building 24 u skladu sa VDI 2078, a rezultati proračuna rashladnog opterećenja nalaze se u tablici 7.

Tablica 7. Rezultati proračuna projektnih dobitaka po prostorijama

Prizemlje		
Br. prostorije	Prostorija	Toplinski dobitak [W]
1	Muška svlačionica kadeti/juniori	1905
2	Teretana/ergometri	14577
3	Veslaona	6538
4	Ženska svlačionica	1342
5	Muška svlačionica seniori/veterani	2036
Ukupno Prizemlje:		26398
1. Kat		
Br. Prostorije	Prostorija	Toplinski dobitak [W]
6	Fitness	35331
7	Ženska svlačionica	3767
8	Muška svlačionica	3770
9	Kardio treninzi	7759
10	Tajništvo	2789
11	Stubište	1265
Ukupno 1.Kat:		54681
Ukupno Zgrada		81079

Rezultati prikazani u tablici služe za dimenzioniranje ventilokonvektora te petlji podnog hlađenja. Kako se ova rashladna opterećenja javljaju u različitim trenucima, za potrebe dimenzioniranja rashladnog uređaja potrebno je provjeriti u kojem satu najnepovoljnijih dana u godini zbroj toplinskih opterećenja daje najveću vrijednost. U tablici 8. prikazani su rezultati zbroja toplinskih opterećenja zgrade, a maksimum se javlja 23. srpnja u 17 sati te iznosi 80,3 kW.

Tablica 8. Rashladno opterećenje po prostorijama za najnepovoljnije dane u godini

Prostorija	21. lipanj	23. srpanj	24. kolovoz	22. rujan
Muška svlačionica kadeti/juniori	1426	1819	1838	940
Teretana/ergometri	12241	14463	14356	8860
Veslaona	6042	6538	6461	4956
Ženska svlačionica	1201	1342	1319	890
Muška svlačionica seniori/veterani	1681	1949	1957	1371
Fitness	33323	35331	34923	27359
Ženska svlačionica	3608	3710	3600	3079
Muška svlačionica	3557	3691	3545	2853
Kardio treninzi	7078	7759	7463	4994
Tajništvo	2749	2789	2712	2320
Stubište	877	938	905	559
Ukupno	73783	80329	79079	58181

5. PRORAČUN GODIŠNJE POTREBNE TOPLINSKE ENERGIJE ZA GRIJANJE ($Q_{g,nd}$) I HLAĐENJE ($Q_{c,nd}$) PREMA HRN EN ISO 13790

Godišnja potrebna toplinska energija za grijanje i hlađenje je računski određena količina energije koju je potrebno dovesti sustavom grijanja i hlađenja tijekom jedne godine kako bi se održala projektna unutarnja temperatura u zgradi u razdoblju sezone grijanja i hlađenja. Proračun je proveden uz pomoć računalnog programa KI Expert Plus sukladno Algoritmu za proračun potrebne energije za grijanje i hlađenje prostora zgrade HRN EN ISO 13790[11]. Prema normi postoje tri pristupa proračunu koji se baziraju na različitim vremenskim odmacima, a to su godišnja, mjesečna i satna metoda, no u ovome radu proračun će biti baziran na mjesečnim vrijednostima.

Potrebna toplinska energija za grijanje :

$$Q_{H,nd,cont} = Q_{H,ht} - \eta_{H,gn} Q_{H,gn} [kWh] \quad (20)$$

Gdje su:

$Q_{H,ht}$ – ukupno izmijenjena toplinska energija u periodu grijanja [kWh]

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

$Q_{H,gn}$ – ukupni toplinski dobitci zgrade u periodu grijanja (ljudi, uređaji, rasvjeta i sunčevo zračenje) [kWh]

Pri čemu se ukupno izmijenjena toplinska energija u periodu grijanja može podijeliti na:

Q_{Tr} – izmijenjenu toplinsku energiju transmisijom [kWh]

Q_{Ve} – potrebnu toplinsku energiju za ventilaciju/klimatizaciju [kWh]

Dok se ukupni toplinski dobitci u periodu grijanja dijele na:

Q_{int} – unutarnje toplinske dobitke [kWh]

Q_{sol} – solarni dobitci od sunčevog zračenja [kWh]

Pri čemu konačan izraz za potrebnu toplinsku energiju za grijanjem glasi:

$$Q_{H,nd,cont} = Q_{Tr} + Q_{Ve} - \eta_{H,gn} (Q_{int} + Q_{sol}) [kWh] \quad (21)$$

Potrebna toplinska energija za hlađenje:

$$Q_{C,nd} = Q_{C,gn} - \eta_{C,ls} Q_{C,ht} \text{ [kWh]} \quad (22)$$

$$Q_{C,nd} = Q_{int} + Q_{sol} - \eta_{C,is} (Q_{Tr} + Q_{Ve}) \text{ [kWh]} \quad (23)$$

Gdje su:

$Q_{C,gn}$ – ukupni toplinski dobici zgrade u periodu hlađenja [kWh]

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

$Q_{C,ht}$ – ukupno izmijenjena toplinska energija u periodu hlađenja [kWh]

5.1. Ulazni podaci za proračun

Zgrada HAVK Mladosti se promatra kao jedna zona sa vrijednostima klimatskih podataka za grad Zagreb sa prosječnom godišnjom temperaturom od 12,6°C. Namjena zgrade je tipa sportske dvorane sa unutarnjom projektnom temperaturom 18°C u sezoni grijanja i 22°C u sezoni hlađenja. Period korištenja zgrade je od 7:00-23:00 h kroz sve dane u tjednu. U tablici 9. su dani osnovni podaci o zgradi.

Tablica 9. Ulazni podaci geometrijskih karakteristika zgrade

Potrebni podaci	Zona 1
Oplošje grijanog dijela zgrade – A [m ²]	1940,14
Obujam grijanog dijela zgrade – V _e [m ³]	2769,16
Obujam grijanog zraka – V [m ³]	2104,56
Faktor oblika zgrade - f ₀ [m ⁻¹]	0,70
Ploština korisne površine grijanog dijela zgrade – A _K	832,00
Proračunska korisna površina grijanog dijela zgrade –	832,00
Ukupna ploština pročelja – A _{uk} [m ²]	1450,76
Ukupna ploština prozora – A _{wuk} [m ²]	253,66

U tablici 10. dati su građevinski dijelovi koji graniče s vanjskim okolišem, njihov iznos površina te pripadajuće vrijednosti koeficijenta prolaza topline. Također u proračun je uzet utjecaj toplinskih mostova sa uvećanjem vrijednosti koeficijenta prolaza topline u iznosu od 0,1 W/m²K za sve dijelove ovojnice zgrade kako je već spomenuto ranije. U tablici 11. nalaze vanjski otvori, iznos njihovih površina sa pripadajućom orijentacijom i vrijednosti koeficijenta prolaza topline.

Tablica 10. Opći podaci o građevinskim dijelovima

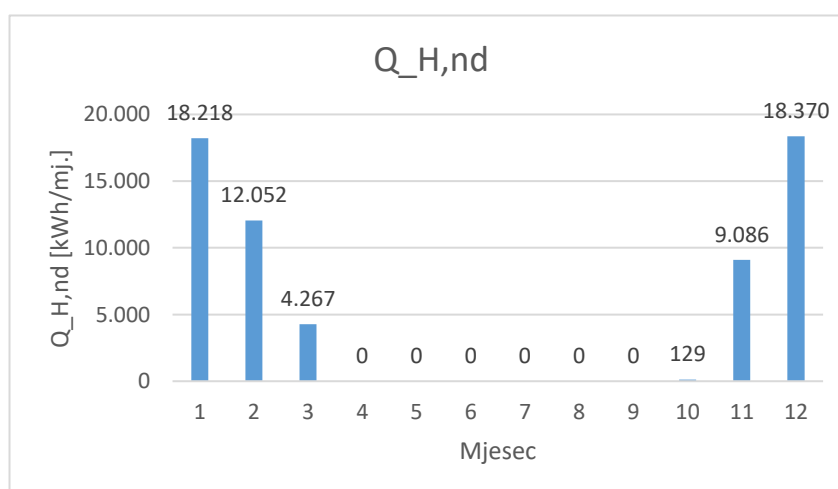
Naziv građevnog dijela	A [m ²]	U [W/m ² K]	U _{max} [W/m ² K]
VZ1 Vanjski zid 1	353,86	1,37	0,30
VZ2 Vanjski zid 2	353,86	1,37	0,30
PDV Pod veslaone	70,00	0,92	0,40
PD Pod prema tlu	85,38	1,51	0,40
PDP Pod prema tlu sa podnim grijanjem	334,00	1,70	0,50
RK Ravni krov	489,38	1,16	0,25

Tablica 11. Opći podaci o vanjskim otvorima

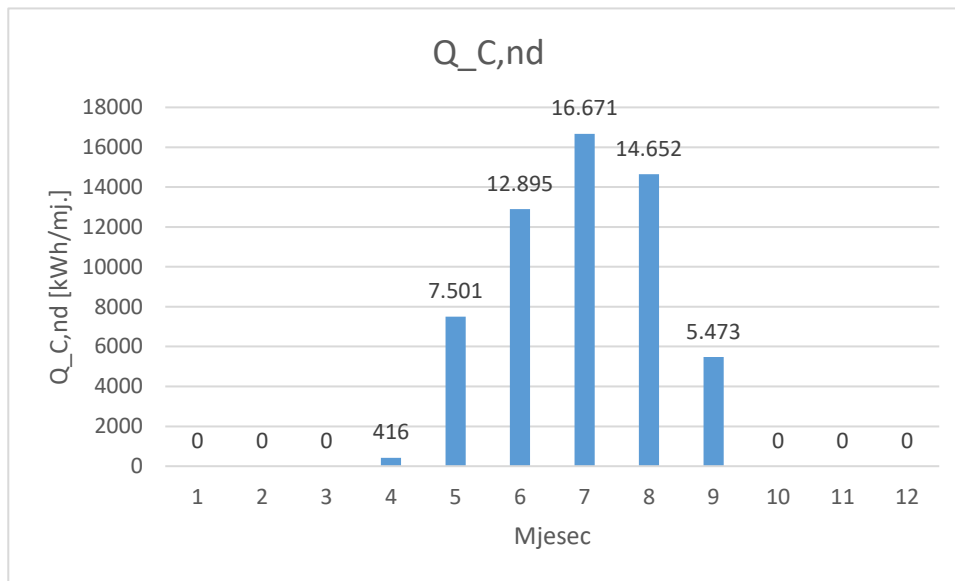
Naziv otvora	U _w [W/m ²]	Orientacija	A _w [m ²]
PR1 Prozor donji kat	3,50	Istok	27,54
	3,50	Zapad	12,24
PR2 Prozor gornji kat	0,80	Istok	74,8
	0,80	Zapad	67,32
PR3 Prozor donji kat jug	0,80	Jug	7,28
PR4 Prozor donji kat siever	0,80	Siever	3,15
PR5 Prozor gornji kat jug	0,80	Jug	31,92
PR6 Prozor sa balkonom kao zaštita	3,50	Zapad	15,30
VR1 Vanjska vrata prizemlje	1,30	Istok	2,90
	1,30	Zapad	5,80
	1,30	Jug	2,90
VR2 Vanjska vrata 1. kata	2,00	Istok	2,50

5.2. Rezultati proračuna

Na slici 11. se može vidjeti iznos potrebne energije za grijanje po mjesecima dok se na slici 12. može vidjeti iznosi potrebne energije za hlađenjem.



Slika 11. Mjesečni iznos potrebne toplinske energije za grijanje



Slika 12. Mjesečni iznos potrebne energije za hlađenje

Iznos ukupne godišnje potrebne energije za grijanje iznosi 62122,27 kWh odnosno 74,67 kWh/m², a iznos godišnje potrebne energije za hlađenje 57608,81 kWh odnosno 68,59 kWh/m². Ovi podaci će pomoći u odabiru optimalnog sustava grijanja i hlađenja što će detaljnije biti objašnjeno u nastavku.

6. ODABIR OPTIMALNOG SUSTAVA GRIJANJA I HLAĐENJA

Analiza energetske optimalnosti sustava grijanja i hlađenja će se izvršiti za tri različita izvora topline pri čemu će se odabrati optimalno rješenje u vidu kriterija potrošnje energije, troškova pogona i troškova investicija. Kako se rekonstrukcija vrši u skladu Tehničkog propisa o racionalnoj uporabi energije i toplinskoj zaštiti u zgradama, razmatrat će se samo izvedbe sa obnovljivim izvorima energije. U ovome radu usporedit će se sustavi:

- Kotao na biomasu za potrebe grijanja i rashladnikom vode za potrebe hlađenja
- Dizalica topline voda/voda
- Dizalica topline zrak/voda

Proračun za isporučenu i primarnu energiju svakog sustava proveden je u programu KI Expert Plus.

6.1. Kotao na biomasu i rashladnik vode

Prvi sustav u analizi je kotao na biomasu sa peletima kao gorivom, s nazivnim učinkom od 110 kW sa automatskim punjenjem i ventilatorskim plamenikom koji pokriva toplinske gubitke u sezoni grijanja i nalazi se u kotlovnici koja spada u negrijanu zonu. Sustav je priključen na akumulacijski spremnik tople vode volumena 1500 l preko izoliranog cjevovoda sa namještenom temperaturom od 70 °C također smještenim u kotlovnici. Predaja toplinskog učina se vrši preko ventilokonvektora i petlji podnog grijanja kako bi se ti sustavi mogli iskoristiti i u sezoni hlađenja za prijenos rashladnog učina. U sezoni hlađenja rashladnik vode je generator rashladnog učina nazivne snage 80 kW za temperaturu vanjskog okoliša 35°C i temperaturu polaza vode 7°C (dalje A35W7) smještenim izvan zgrade na sjevernoj strani u „monoblok“ izvedbi. Razvod prema ogrjevnim odnosno rashladnim tijelima je dvocijevni, regulacija je prema unutrašnjoj temperaturi te se sustav smatra hidraulički balansiranim. Rezultat proračuna za prvi sustav u analizi prikazan je u tablici 12.

Tablica 12. Vrijednosti primarne i isporučene energije prvog tehničkog rješenja

Energent	Termotehnički sustav	$Q_{gen,in}$ [kWh]	W_{aux} [kWh]	E_{del} [kWh]	f_p	E_{prim} [kWh]
Drveni peleti	Kotao na biomasu	71770,44	933,5	72703,94	0,12	10334,44
Električna energija	Podsustav razvoda grijanja	0	624,39	624,39	1,61	1007,77
Električna energija	Podsustav predaje grijanja	0	230,89	230,89	1,61	372,65
Električna energija	Rashladnik vode	23616,32	289,91	23906,23	1,61	38584,66
Električna energija	Podsustav razvoda hlađenja	0	1661,7	1661,7	1,61	2681,98
Električna energija	Podsustav predaje hlađenja	0	484,00	484,00	1,61	781,17
Ukupno		95135,19	4219,34	99353,52	-	53723,44

$Q_{gen,in}$ – toplinska energija na ulazu u podsustav [kWh]

W_{aux} – pomoćna energija po podsustavima (el. Energija za pogon pumpe, regulacija kotla i sl.) [kWh]

E_{del} – ukupna isporučena energija aktivne zone [kWh]

f_p – faktor primarne energije [-]

E_{prim} – primarna energija objekta [kWh]

6.2. Dizalica topline voda/voda

Drugi sustav u analizi je dizalica topline voda/voda. Dizalica topline bi se za razliku od prvog rješenja koristila za grijanje i hlađenje. Nazivni učin grijanja dizalice topline iznosi 125 kW dok nazivni učin hlađenja iznosi 80 kW. Dizalica topline se nalazi u prostoru kotlovnice koja spada u negrijanu zonu sa distribucijskom pumpom i njezinom regulacijom. Izmjenjivač dizalice topline spojen je na akumulacijski spremnik volumena 1500 l pomoću izoliranog cjevovoda polazne vode temperature 50 °C koji se također nalazi u kotlovnici. Predaja toplinskog i rashladnog učina se vrši preko ventilokonvektora i podnih petlji. Temperaturni režim rada ventilokonvektora u sezoni grijanja predviđen je na 45/38°C dok u sezoni hlađenja na 7/12°C. Razvod prema ogrjevnim odnosno rashladnim tijelima je dvocijevni, regulacija je prema unutrašnjoj temperaturi te se sustav smatra hidraulički balansiranim. Rezultat proračuna za drugi sustav u analizi prikazan je u tablici 13.

Tablica 13. Vrijednosti primarne i isporučene energije drugog tehničkog rješenja

Energent	Termotehnički sustav	$Q_{gen,in}$ [kWh]	W_{aux} [kWh]	E_{del} [kWh]	f_p	E_{prim} [kWh]
Električna energija	Dizalica topline voda/voda	61823,11	760,65	10921,23	1,61	17626,86
Električna energija	Podsustav razvoda grijanja	0	901,31	901,31	1,61	1454,72
Električna energija	Podsustav predaje grijanja	0	242,44	242,44	1,61	391,30
Električna energija	Dizalica topline voda/voda	18730,33	334,99	19065,32	1,61	30771,42
Električna energija	Podsustav razvoda hlađenja	0	1202,83	1202,83	1,61	1941,37
Električna energija	Podsustav predaje hlađenja	0	479,7	479,7	1,61	774,23
Ukupno		80553,44	3921,92	32812,82	-	52959,89

6.3. Dizalica topline zrak/voda

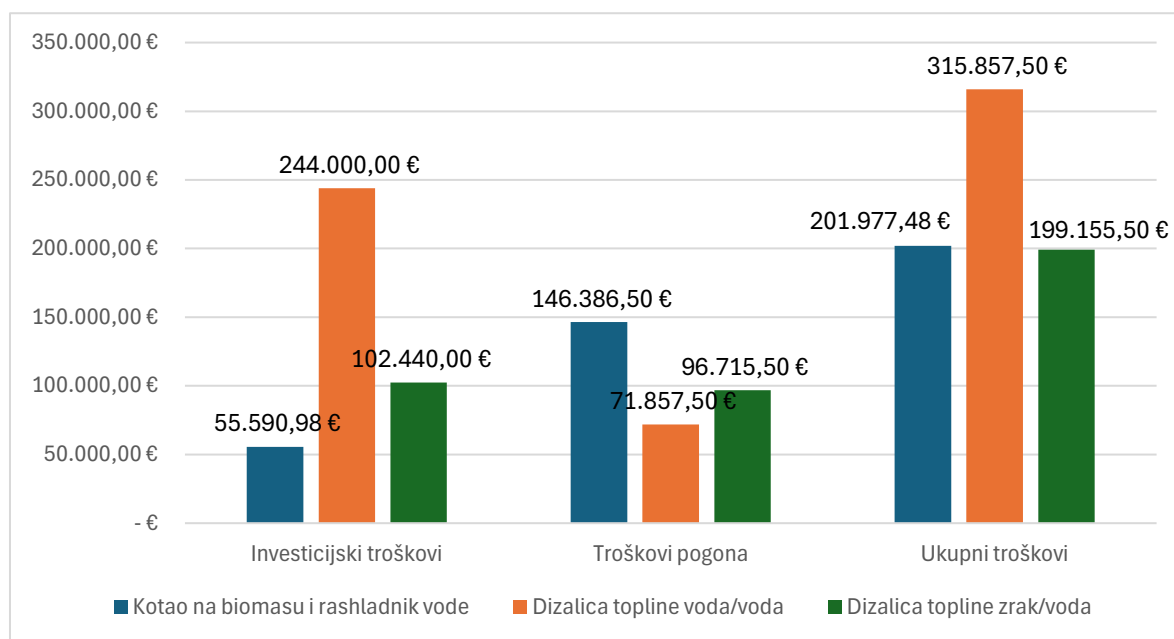
Treći sustav u analizi su dvije dizalice topline zrak/voda koje rade u kaskadi te rade u bivalentnom paralelnom pogonu sa dodatnim električnim grijačem od 5 kW. Projektna radna točka u sezoni grijanja je -13°C te učin pojedine dizalice u radnoj točki iznosi 50,2 kW za temperature polaza vode od 45°C . Učin pojedine dizalice topline u sezoni hlađenja iznosi 44,5 kW kod režima A35W7 te zajedno u kaskadi daju 90 kW. Izvedba dizalice topline je „monoblok“ smještenim na krov zgrade. Pločasti izmjenjivač topline je povezan sa akumulacijskim spremnikom od 1500 l koji se nalazi u negrijanoj zoni pomoću izoliranog cjevovoda. Predaja toplinskog i rashladnog učina se vrši preko ventilokonvektora i podnih petlji. Temperaturni režim rada ventilokonvektora u sezoni grijanja predviđen je na $45/38^{\circ}\text{C}$ dok u sezoni hlađenja na $7/12^{\circ}\text{C}$. Temperaturni režim podnog grijanja je $40/30^{\circ}\text{C}$. Razvod prema ogrjevnim odnosno rashladnim tijelima je dvocijevni, regulacija razvoda je prema unutrašnjoj temperaturi te se sustav smatra hidraulički balansiranim. Rezultat proračuna za treći sustav u analizi prikazan je u tablici 14.

Tablica 14. Vrijednosti primarne i isporučene energije trećeg tehničkog rješenja

Energent	Termotehnički sustav	$Q_{gen,in}$ [kWh]	W_{aux} [kWh]	E_{del} [kWh]	f_p	E_{prim} [kWh]
Električna energija	Dizalica topline zrak/voda	62064,45	760,65	17566,18	1,61	28351,81
Električna energija	Podsustav razvoda grijanja	0	907,25	907,25	1,61	1464,30
Električna energija	Podsustav predaje grijanja	0	243,97	243,97	1,61	393,77
Električna energija	Dizalica topline zrak/voda	23226,00	354,81	23580,81	1,61	38059,43
Električna energija	Podsustav razvoda hlađenja	0	1374,36	1374,36	1,61	2218,22
Električna energija	Podsustav predaje hlađenja	0	491,33	491,33	1,61	793,00
Ukupno		85290,45	4132,37	44163,89	-	71280,52

6.4. Usporedba rješenja sustava grijanja i hlađenja

Kako bi se mogao odabrati optimalni sustav za grijanje i hlađenje potrebno je provesti usporedbu između tri ranije navedena sustava. Uz ukupnu isporučenu energiju sustava potrebno je uzeti u obzir i investicijske troškove, troškove pogona te troškove održavanja. Ukupni troškovi svakog rješenja će se analizirati u periodu od 15 godina, a sustav će biti odabran na temelju najnižih troškova. Dijelovi sustava kao što su akumulacijski spremnik, cjevovod i regulacija neće ulaziti u proračun investicijskih troškova jer su to osnovne komponente koje se podrazumijevaju u svakom sustavu. Na slici 13. su dati iskazi troškova svakog sustava u po kategorijama.



Slika 13. Prikaz troškova po kategorijama tehničkim rješenjima u analizi

Iz slike se vidi da se nakon 15 godina dizalica topline zrak/voda najviše isplati u smislu ukupnih troškova. Iz prethodnih poglavlja se može vidjeti da je najniža vrijednost isporučene energije u sustavu dizalice topline voda/voda sa iznosom od 32182,82 kWh što ujedno znači da ima najnižu potrošnju energije što se može objasniti gotovo nepromjenjivim iznosom godišnjeg faktora grijanja (COP – eng. *Coefficient of Performance*) i faktora hlađenja (EER – eng. *Energy Efficiency of Ratio*).

7. DIMENZIONIRANJE SUSTAVA GRIJANJA I HLAĐENJA

7.1. Odabir dizalice topline

Dizalica topline zrak/voda koristi se za pokrivanje toplinskih gubitaka tijekom sezone grijanja i toplinskih dobitaka tijekom sezone hlađenja kako bi se održala predviđena unutarnja temperatura prostora. Dimenzioniranje se vrši prema već ranije izračunatim vrijednostima toplinskih gubitaka koji iznose $\Phi_{HL}=105,4$ kW i toplinskih dobitaka $\Phi_{CL}=80,3$ kW. Sa iznosom toplinskih gubitaka višim od dobitaka, odabir se bazira na većoj vrijednosti. Odabrana je dizalica topline BOSCH CS3000 AWP59 P (slika 14.) sa ugrađenom pumpom u monoblok izvedbi što znači da su sve komponente dizalice topline smještene u zajedničko kućište.



Slika 14. Dizalica topline BOSCH CS3000 AWP59 P [12]

Monoblok izvedba također omogućava jednostavnu ugradnju na krov zgrade na koju je predviđena. Pri temperaturi okoliša od -13°C i temperaturnom režimu 45/40 dizalica topline isporučuje toplinski učin od 50,4 kW čime je potrebno spojiti 2 dizalice topline u kaskadu sa zajedničkim učinkom od 100,8 kW. Dizalica topline ima ugrađene električne grijače snage 5 kW pri čemu tada ukupni iznos proizvedene topline iznosi 110,8 kW što je više od proračunatih gubitaka. Pogon dizalice je u bivalentnom paralelnom radu sa temperaturom uključivanja grijača na -7°C . Pojedina dizalica topline ima instalirani rashladni učin od 79,2 kW kod A35W7 sa režimom rada 7/12 $^{\circ}\text{C}$ čime bi sama mogla pokriti toplinske dobitke u projektnom uvjetu. Kako dizalica topline može varirati iznos opterećenja kompresora do 30% nazivne snage, sustav

od dvije dizalice topline može raditi u režimu manjeg opterećenja i tako pridonijeti samoj efikasnosti sustava te ujedno i manjim troškovima pogona. Radna tvar je R32 sa niskom vrijednošću Potencijala globalnog zatopljenja (GWP – eng. *Global Warming Potential*) u iznosu od 675 čime se smanjuje negativan utjecaj na okoliš u odnosu na standardne radne koje se koriste u dizalicama topline kao što je R410-A kod kojih GWP iznosi 2090. Tehnički podaci o dizalici topline prikazani su u tablici 15.

Tablica 15. Tehnički podaci dizalice topline BOSCH CS3000 AWP59 P

CS3000 AWP59 P	
Maks. Temperature polaznog voda, °C	60
SCOP (temperature polaznog voda 55°C)	3,2
SCOP (temperature polaznog voda 35°C)	4,2
Nazivna toplinska snaga (prosječni klimatski uvjeti), kW	63
Nazivna toplinska snaga (primjena na niskim temperaturama), kW	59
Razina zvučne snage, dB	71
Razina zvučne snage tijekom tihog rada, dB	64
Vrsta rashladnog sredstva	R32
GWP, kgCO ₂ eq	675
Vrsta konstrukcije rashladnog kruga	Nije hermetički zatvoreno
Količina punjenja rashladnog sredstva, kg	17,5
Integrirana pumpa	DA
Snaga električnih grijača, kW	5
Tip kompresora	Scroll
Broj kompresora	2
Dimenzije i masa uređaja	
Visina, mm	1510
Širina, mm	3300
Dubina, mm	110
Neto težina, kg	829

7.2. Odabir akumulacijskog spremnika

Akumulacijski spremnik omogućuje pohranu viška toplinske i rashladne energije kada je proizvodnja veća od trenutnih potreba i njeno korištenje kada je potražnja veća od proizvodnje. Kako dizalica topline nebi konstantno radila, ugrađuje se akumulacijski spremnik tople odnosno rashladne vode pri čemu omogućava da sustav radi u optimalnim uvjetima dulje vrijeme sa manjim učestalostima paljenja i gašenja sustava. U sustavu sa dizalicom topline proizvođači daju prijedloge odabira veličine spremnika koja iznosi oko 5-30 l/kW toplinskog učina. Kako u sezoni hlađenja sustav radi sa nižom razlikom temperature teži se višim vrijednostima predloženog raspona veličina. Odabran je akumulacijski spremnik CAS 1503 proizvođača Centrometal (slika 15.) te su njegove karakteristike naznačene u tablici 16. Kako

je predviđeno mjesto smještaja u kotlovnici, potrebno je bilo uzeti u obzir mogućnost transporta i montaže u istu kako su vrata ulaza u kotlovnicu širine 1200 mm.



Slika 15. Akumulacijski spremnik topline CAS 1503 [13]

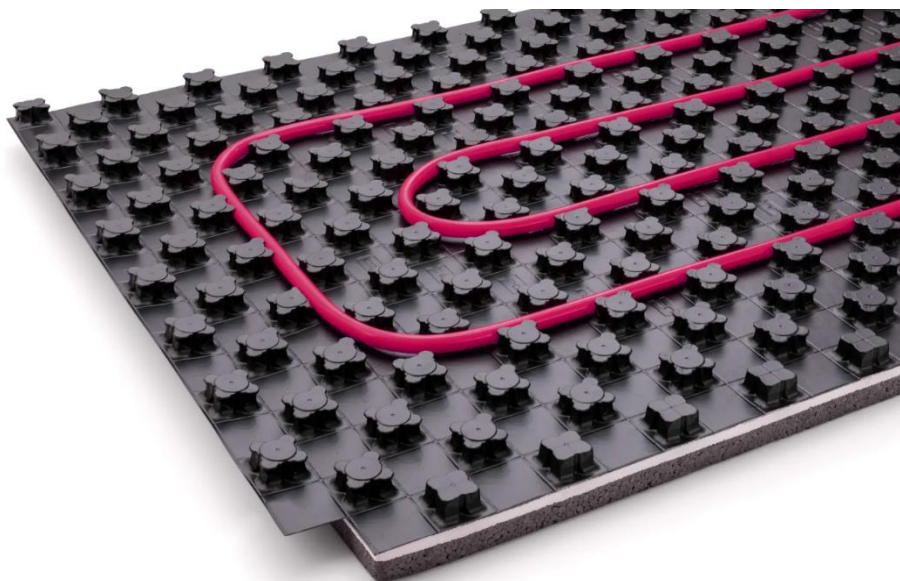
Tablica 16. Tehničke karakteristike spremnika CAS 1503

CAS 1503	
Volumen, l	1426
Promjer tijela spremnika, mm	1000
Vanjski promjer spremnika s izolacijom, mm	1200
Ukupna visina, mm	2050
Priključci	6/4''
Maksimalni radni talk, bar	3
Maksimalna radna temperatura, °C	100
Masa praznog tijela spremnika, kg	185
Toplinska izolacija, mm	100

7.3. Dimenzioniranje sustava podnog grijanja i hlađenja

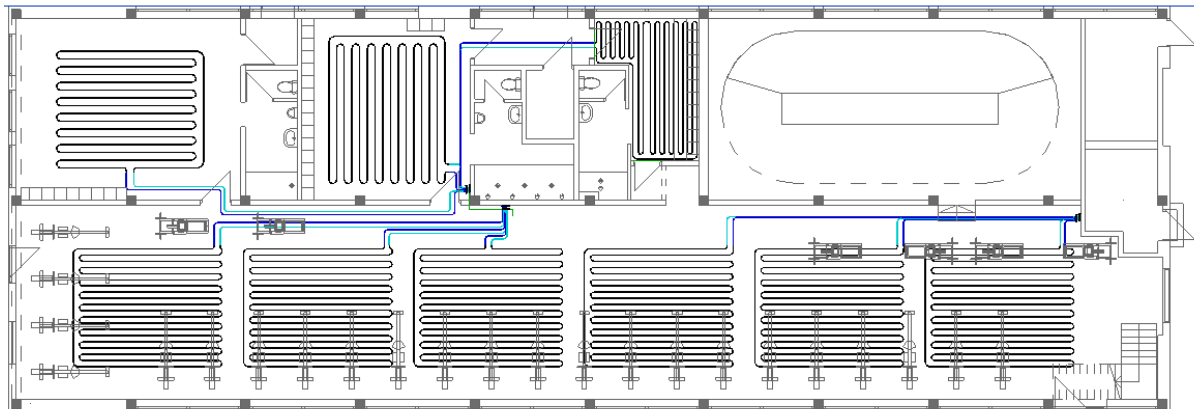
Kako je sustav podnih petlji ugrađen u sklopu prizemlja u pojedinim prostorijama, no nikad nije dovršen, sam sustav se neće dimenzionirati već će se samo provjeriti koliki je učinak moguće postići iz njega. Provest će se samo odabir opreme kao što je razdjelnik i zidni ormarić te balansiranje sustava. Sa toplinskim gubitcima većim od dobitaka sustav će se također dimenzionirati na strani gubitaka. Ostatak nepokrivenih gubitaka topline će se pokriti pomoću ventilokonvektora pa se samim time podno grijanje ne smatra primarnim sustavom grijanja

Polaganje cijevi podnog grijanja je izvršeno preko sustava proizvođača REHAU sa sustavom Noppenplate Varionova 30-2, ploča sa čepovima koja omogućava lakšu montažu cijevi. Ploča sadržava izolaciju od ekspaniranog polistirena (EBS). Postavljene cijevi su RAUTHERM SPEED 17x2 od peroksidom umreženog polietilena (PE-X-a) kako je prikazano na slici 16.



Slika 16. REHAU Noppenplate Varionova 30-2 i RAUTHERM SPEED 17x2 [14]

Podne petlje su suho ugrađene što znači da nakon postavljanja Noppenplate Varionova 30-2 ploča, cijevi se zalijevaju cementnim estrihom te su tako cijevi uronjene u vlažnu smjesu. Prednosti ovakve izvedbe su visoka akumulacija topline čime se sporije i ravnomjernije oslobađa toplina te je ekonomski isplativije. Petlje su povučene u obliku serpentine te ne zauzimaju cijelu moguću iskoristivu površinu poda kao što je vidljivo na slici 17.

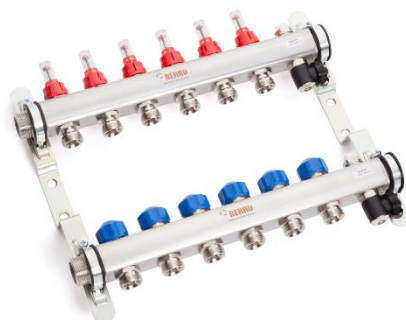


Slika 17. Podne petlje prizemlja

Ulazni podaci za proračun učina petlji podnog grijanja su:

- Temperaturni režim 40/30°C
- Maksimalna duljina petlje 150 m
- Maksimalni pad tlaka petlje 380 mbar
- Otpor podloge poda 0,08 m²K/W
- Razmak između cijevi prostora teretane 200 mm
- Razmak između cijevi prostora svlačionica 250 mm
- Maksimalna temperatura poda 27°C

Cijevi podnog grijanja će se povezati na tri razdjelnika proizvođača REHAU tipa HKV-D (slika 18.) svakog sa po tri petlje . Razdjelnik je opremljen sa armaturom za ručno zatvaranje, balansirajućim ventilima u povratnom vodu, vizualnim mjeracem protoka na dovodnom djelu razdjelnika i akuatorskim glavama za podešavanje protoka za regulaciju sobne temperature.



Slika 18. Razdjelnik REHAU HKV-D

Svaki razdjelnik je smješten u zidne podžbukne ormariće proizvođača REHAU tip UP (slika 19.). Odabrani je REHAU UP 110/750.



Slika 19. Razdjelni ormarić REHAU UP

Kako temperatura vode u spremniku proizvedena preko dizalice topline iznosi 45°C potrebno je spustiti temperaturu polaza na 40°C kako bi projektni temperaturni režim 40/30°C bio točan. To se ostvaruje u kotlovnici nakon glavnog razdjelnika u krugu podnog grijanja gdje se ugrađuje posebna pumpa sa prestrujnim vodom i troputnim miješajućim ventilom.

Analiza sa navedenim parametrima je provedena u programu LINEAR Building 24 koji za dimenzioniranje koristi normu HRN EN 1264 dok se za ucrtavanje koristi program Autodesk Revit 2022. Rezultati proračuna podnog grijanja po razdjelnicima navedeni u tablici 17.

Tablica 17. Rezultati podnog grijanja po razdjelnicima

REHAU UP 110/550	
REHAU HKV-D 03 (1.1)	
Temperatura polaza vode, °C	40
Temperatura povrata vode, °C	30
Broj priključaka	3
Ukupna površina petlje, m ²	61,6
Ukupna duljina cijevi, m	331
Instalirani učin, W	4134
Ukupni protok, kg/h	407,3
Maksimalni pad tlaka, mbar	336,6
REHAU UP 110/550	
REHAU HKV-D 03 (1.2)	
Temperatura polaza vode, °C	40
Temperatura povrata vode, °C	30
Broj priključaka	3
Ukupna površina petlje, m ²	61,6
Ukupna duljina cijevi, m	331
Instalirani učin, W	4134
Ukupni protok, kg/h	407,3
Maksimalni pad tlaka, mbar	336,6
REHAU UP 110/550	
REHAU HKV-D 03 (1.3)	
Temperatura polaza vode, °C	40
Temperatura povrata vode, °C	30
Broj priključaka	3
Ukupna površina petlje, m ²	53,9
Ukupna duljina cijevi, m	262
Instalirani učin, W	3860
Ukupni protok, kg/h	332
Maksimalni pad tlaka, mbar	368,9

Potrebno je napomenuti kako razdjelnici 1.1 i 1.2 zajedno pokrivaju prostoriju teretana/ergometri, dok razdjelnik 1.3 pokriva svaku svlačionicu prizemlja.

Iznos toplinskog i rashladnog učina po prostorijama od strane podnog grijanja/hlađenja te postotak pokrivenosti je prikazan u tablici 18.

Tablica 18. Popis prostorija sa instaliranim kapacitetima podnog grijanja/hlađenja

Podno grijanje				
Prostorija	Potrebni kapacitet grijanja [W]	Instalirani kapacitet grijanja [W]	Razlika [W]	Postotak pokrivenosti [%]
Teretana/Ergometri	24605	8226	16380	33,4
Muška svlačionica kadeti/ml. juniori	4609	1300	3301	28,2
Ženska svlačionica	2039	993	1046	48,7
Muška svlačionica seniori/veterani	3558	1058	1609	31,5
Podno hlađenje				
Prostorija	Potrebni kapacitet hlađenja [W]	Instalirani kapacitet hlađenja [W]	Razlika [W]	Postotak pokrivenosti [%]
Teretana/Ergometri	14577	2834	11745	19,4
Muška svlačionica kadeti/ml. juniori	1905	500	1405	26,2
Ženska svlačionica	1342	369	1046	27,5
Muška svlačionica seniori/veterani	2036	427	1609	21

Kako je vidljivo iz tablice podno grijanje može pokriti do maksimalno 49% potrebnog kapaciteta podnog grijanja što zapravo ostavlja značajnu količinu potrebnog kapaciteta koji treba biti pokriven od strane ventilokonvektora. Kod podnog hlađenja postotak pokrivenosti ne prelazi 27 % potrebnog učina što nam govori da će većinu kapaciteta hlađenja pokrivati ventilokonvektori zbog velike tromosti sustava podnog hlađenja.

7.4. Dimenzioniranje ventilokonvektora

Ventilokonvektori čine primarni sustav grijanja ovog objekta. Pokrivaju dio gubitaka u prostorijama u kojima se nalaze sustavi podnog grijanja, te cjelokupne gubitke u ostalim prostorima. Tokom sezone hlađenja pokrivaju sve dobitke kako je već spomenuto ranije. Odabiru se ventilokonvektori iVector od proizvođača Voogel&Noot u dvocijevnoj izvedbi (slika 20.) te se uz pomoć programa LINEAR Building 24 dimenzioniraju te ucrtavaju u programu Autodesk Revit 2022. Temperature polaza i povrata u sezoni grijanja iznose 45/38°C dok u sezoni hlađenja iznose 7/12°C. Ventilokonvektori se mogu izabrati u pet veličina sa dvije brzine vrtnje min/max. Ventilokonvektori se također biraju na temelju toplinskih gubitaka tako da pri minimalnoj brzine vrtnje ventilatora mogu pokriti potrebne gubitke prostorije. Kako prostorije stubišta, tajništva te muške i ženske svlačionice 1. kata imaju veći iznos toplinskih

dobitaka od gubitaka odabir ventilokonvektora će biti na temelju hlađenja u tim prostorijama. Ventilokonvektori se smještaju ispod svakog prozora kako bi se smanjio utjecaj hladnog odnosno toplog zraka koji dopijeva u prostor infiltracijom. Odabir ventilokonvektora po prostorijama i njihov instalirani učin prikazani su u tablici 19. Čelije obojane zelenom bojom označavaju po kojoj vrijednosti (gubitak ili dobitak) su ventilokonvektori dimenzionirani.



Slika 20. Ventilokonvektor iVector [6]

Tablica 19. Odabir ventilokonvektora i učin po sobama

Grijanje					
Prostorija	Tip ventilokonvektora	Potrebni kapacitet grijanja ventilokonvektor	Instalirani kapacitet grijanja[W]	Br. ventilokonvektora	Pokrivenost [%]
Prizemlje					
Teretana/Ergometri	iV60x160	16379	20394	9	+124,5
Muška svlačionica kadeti	iV60x100	3309	4604	4	+139,13
Ženska svlačionica	iV60x100	1046	1151	1	+110,03
Muška svlačionica seniori	iV60x120	2500	2834	2	+113,36
Veslaona	iV60x140	6196	6804	4	+109,8
Ukupno		29430	35787	20	+121,6
1.Kat					
Fitness	iV60x160	41886	48936	12	+116,8
Ženska svlačionica	iV60x100	2669	4510	2	+168,9
Muška svlačionica	iV60x140	3700	6948	2	+187,78
Kardio treninzi	iV60x140	12407	17370	5	+140
Tajništvo	iV60x160	1873	3702	1	+197,6
Stubište	iV60x100	1136	2047	1	+180,2
Ukupno		63671	83513	23	+131,2
Hlađenje					
Prostorija	Tip ventilokonvektora	Potrebni kapacitet hlađenja ventilokonvektor	Instalirani kapacitet hlađenja [W]	Br. ventilokonvektora	Pokrivenost [%]
Prizemlje					
Teretana/Ergometri	iV60x160	14577	14598	9	+100,1
Muška svlačionica kadeti	iV60x100	1905	3792	4	+139,1
Ženska svlačionica	iV60x100	1342	2162	1	+161,1
Muška svlačionica seniori	iV60x120	2036	2346	2	+115,2
Veslaona	iV60x140	6538	7752	4	+118,6
Ukupno		26398	35858	20	+135,83
1.Kat					
Fitness	iV60x160	35331	46692	12	+132,2
Ženska svlačionica	iV60x100	3767	4324	2	+114,8
Muška svlačionica	iV60x140	3770	6630	2	+175,8
Kardio treninzi	iV60x140	7759	16575	5	+213,6
Tajništvo	iV60x160	2789	3891	1	+139,5
Stubište	iV60x100	1265	2162	1	+170,9
Ukupno		54681	80274	23	+146,8

Vidljivo je iz tablice da su ventilokonvektori u mogućnosti pokriti gotovo sve gubitke prostorije. Učin ventilokonvektora se može smanjiti tako da pokrije samo potrebne gubitke prostorije, na način da se na svaki ventilokonvektor ugradi tlačno neovisni balansirajući ventil AB-QM proizvođača Danfoss kako bi se sustav ventilokonvektora izbalansirao. Taj ventil održava potpuni autoritet u sustavu pri čemu tijekom djelomičnog opterećenja u ventilokonvektor ne ulazi više protoka vode od namještene vrijednosti te uz pomoć membrane, pri fluktuaciji tlaka u sustavu (zatvaranjem jednog ventila i sl.) održava konstantni diferencijalni tlak. Za njihovo dimenzioniranje potreban je iznos protoka vode kojim se postiže željeni učin. Ventil je prikazan na slici 21., a odabir po ventilokonvektorima je dan u tablici 20.



Slika 21. Tlačno neovisni balans ventil AB-QM [15]

Tablica 20. Odabir AB-QH ventila po ventilokonvektoru

Prostorija	Tip ventilokonvektora	Veličina cjevovoda [DN]	Protok [l/h]	Odabrana dimenzija ventila [DN]	Postotak podešenosti ventila [%]
Muška svlačionica kadeti/ml. juniori	iV60x100	20	42,2	10	28
Teretana/ergometri	iV60x160	20	106,1	15	53
Veslaona	iV60x140	20	86,7	15	43
Ženska svlačionica	iV60x100	20	141,8	15	71
Muška svlačionica seniori/veterani	iV60x120	20	94,6	15	47
Fitness	iV60x160	25	245,1	15	54
Ženska svlačionica	iV60x100	20	53,6	15	27
Muška svlačionica	iV60x140	20	72,7	15	36
Kardio treninzi	iV60x140	20	100,3	15	50
Tajništvo	iV60x160	20	76,7	15	38
Stubište	iV60x100	15	37,4	10	25

Svaki ventilokonvektor opremljen je sa pumpom za odvod kondenzata te se odvod vrši preko cijevi PP DN32 sa padom od 1,5% prema najbližem vodokotliću ili odvodnoj vertikali.

7.5. Odabir cijevnog razvoda i cirkulacijske pumpe

Kako bi voda mogla cirkulirati od dizalice topline do odgovarajućih ogrjevnih/rashladnih tijela te tako predati svoju energiju potrebno je odabrati cirkulacijske pumpe. Da bi se pumpa mogla odabrati, prvo je potrebno dimenzionirati cjevovod, a to se izvodi na način da linijski pad tlaka dionice ne prelazi vrijednosti od 200 Pa/m u prostorijama u kojima se ne boravi dok se u prostorijama gdje ljudi borave preporučaju vrijednosti od 40-100 Pa/m. Prelazak tih vrijednosti linijskog pada tlaka može uzrokovati vibracije i buku u cjevovodu.

Dimenzioniranje cjevovoda počinje tako da se sustav podijeli na dionice, sa jednakim volumnim protokom. Nakon toga se određuje toplinski učin te protok koji prolazi kroz tu dionicu. To se postiže zbrajanjem topline predane preko ogrjevnih tijela (ventilokonvektora, podnog grijanja), a zatim se ta vrijednost podijeli s toplinskim kapacitetom vode i razlikom temperature kako bi se dobio protok. Sa tim vrijednostima se odabire promjer cijevi pri čemu se onda provjerava ako jedinični pad tlaka ne prelazi dopuštene vrijednosti. Nakon toga slijedi određivanje linijskih i lokalnih padova tlaka u dionici. Pumpa se odabire tako da može savladati sve lokalne i linijske gubitke do kritičnog radijatora. Pad tlaka u kritičnoj dionici se računa prema sljedećoj formuli:

$$\Delta p = \left(\sum \lambda \frac{l}{d} + \sum \xi \right) * \frac{\rho w^2}{2} \quad [Pa] \quad (25)$$

Gdje su:

λ – koeficijent trenja [-]

l – duljina dionice [m]

d – promjer cijevi dionice [m]

ξ – koeficijent lokalnog otpora strujanja [-]

ρ – gustoća vode [kg/m³]

w – brzina strujanja unutar cijevi [m/s]

Sustav se dijeli na primarni i sekundarni krug. Primarni krug povezuje izmjenjivač dizalice topline s akumulacijskim spremnikom dok sekundarni krug povezuje akumulacijski spremnik sa kritičnim ogrjevnim tijelom. Kako se sekundarni krug podijelio na tri regulacijske grupe: krug podnog grijanja, krug ventilokonvektora HAVK Mladosti i krug ventilokonvektora fitness centra potrebno je za svaki sustav odabrati pumpu. Kako dizalica topline dolazi sa ugrađenom

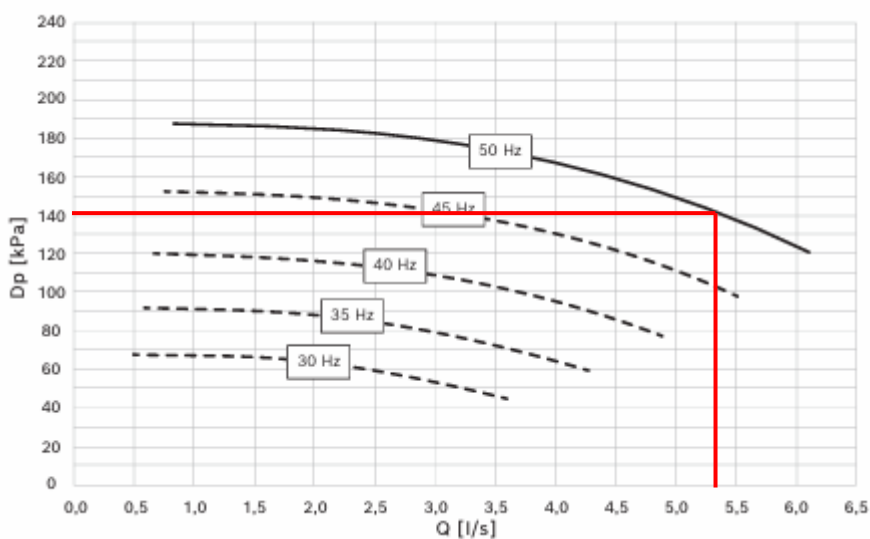
pumpom potrebno je provjeriti ako ona može savladati gubitke primarnog kruga. Cijevi se odabiru od čelika.

U tablici 21. dani je proračun pada tlaka primarnog kruga.

Tablica 21. Pad tlaka u primarnom krugu

Dionica	L	Q	Vodena vrijednost	Protok vode	D N	Unutarnji promjer	v	R	R L	$\Sigma \xi$	Z	RL+Z
	m	W	W/°C	kg/s	m	mm	m/s	Pa/m	Pa	-	Pa	Pa
1	4	50400	10040	2,396	65	70	0,64	60	240	7	1401	1614,6
2	14	11080	22160	5,3	80	82,5	0,98	110	1540	7	3286	4286,4
Pad tlaka kroz izmjenjivač topline, Pa												20000
Pad tlaka kroz troputne prekradne ventile, Pa												10000
Pad tlaka kroz razdjelnik, Pa												1500
Pad tlaka kroz armaturu, Pa												30000
Ukupno, Pa												67401

Proračunski je dobiveno da pad tlaka u primarnom krugu iznosi 67401 Pa. Na slici 22. prikazana je karakteristika pumpe dizalice topline. Iz slike je vidljivo je da kod protoka od 5,3 l/s pumpa može savladati gubitke od 140 kPa što je znatno više od izračunatih gubitaka u primarnom krugu pri čemu smo sigurni da pumpa zadovoljava.



Slika 22. Karakteristika pumpe dizalice topline BOSCH CS3000AWP 59

U tablicama 22., 23., 24., dati su padovi tlaka za kritične dionice svakog sekundarnog kruga.

Tablica 22. Pad tlaka u sekundarnom krugu podnog grijanja

Dionica	L	Q	Vodena vrijednost	Protok vode	DN	Unutarnji promjer	v	R	RL	$\Sigma\xi$	Z	RL+Z
	m	W	W/°C	kg/s	mm	mm	m/s	Pa/m	Pa	-	Pa	Pa
1	8	11577	1157,7	0,2763	32	35,75	0,28	30	240	5	191,63	431,6
2	38	7443	744,3	0,177	25	27	0,32	55	2090	0,5	25,03	2115,1
3	4	3330	333	0,07947	20	21,25	0,23	40	160	13	336,18	496,18
Pad tlaka najvećeg kruga (razdjelnik, cjevovod, ventili), Pa												36800
Pad tlaka kroz kalorimetar, Pa												2000
Pad tlaka kroz miješajući ventil, Pa												2000
Ukupno												43842,8
Ukupno uvećano za 10%, Pa												48227,2

Tablica 23. Pad tlaka u sekundarnom krugu ventilokonvektora HAVK Mladost

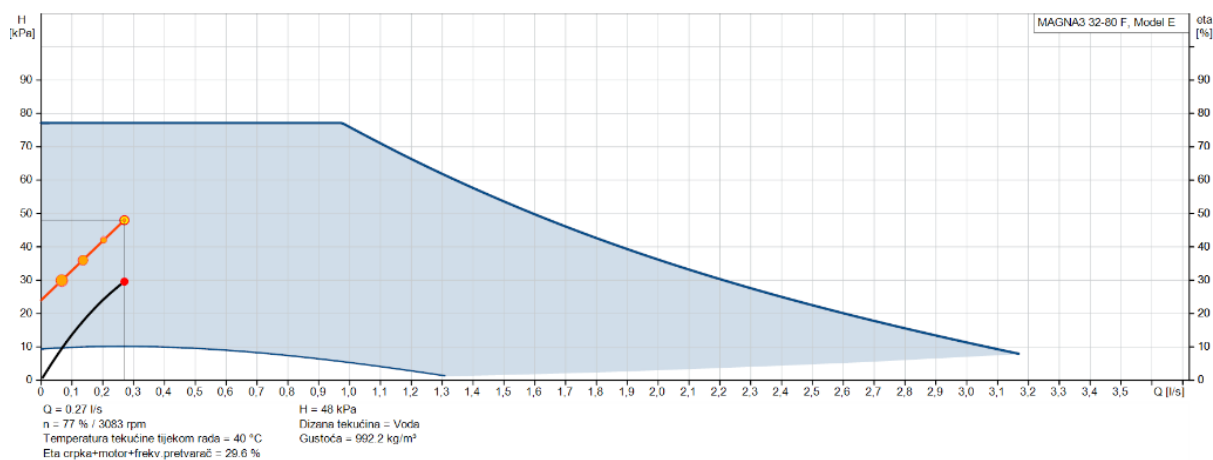
Dionica	L	Q	Vodena vrijednost	Protok vode	DN	Unutarnji promjer	v	R	RL	$\Sigma\xi$	Z	RL+Z
	m	W	W/°C	kg/s	mm	mm	m/s	Pa/m	Pa	-	Pa	Pa
1	6,2	48139	6877	1,64	50	51,5	0,79	140	868	6	1830,5	2699
2	7,4	23180	3311,43	0,79	40	39,5	0,66	130	962	4,5	958,2	1920
3	4,6	16345	2335	0,55	40	39,5	0,47	70	322	0,5	53,9	376
4	5	14406	2058	0,49	40	39,5	0,42	55	275	0,5	43,2	318
5	6,6	12467	1781	0,43	32	35,75	0,43	65	429	0,5	45	474
6	5	10528	1504	0,36	32	35,75	0,37	50	250	0,5	33,5	284
7	7,3	8589	1227	0,29	32	35,75	0,3	34	248,2	0,5	22	270
8	16,6	7438	1062,6	0,25	32	35,75	0,26	26	431,6	0,5	16,5	448
9	4	6021	860,1	0,21	25	27	0,36	70	280	0,5	31,6	312
10	7	4604	657,7	0,16	25	27	0,28	43	301	0,5	19,2	320
11	14,6	3453	493,3	0,12	25	27	0,21	26	379,6	1,5	32,3	412
12	3,6	2301	328,7	0,08	20	21,25	0,23	40	144	0,5	12,9	157
13	6,5	1150	164,3	0,04	20	21,25	0,12	12	78	13	91,5	170
Pad tlaka kroz ventilokonvektor, Pa												2100
Pad tlaka kroz AB-QM ventil												16000
Pad tlaka kroz kalorimetar, Pa												2000
Ukupno, Pa												28260
Ukupno uvećano za 10%, Pa												31086

Tablica 24. Pad tlaka u sekundarnom krugu ventilokonvektora fitness centra

Dionica	L	Q	Vodena vrijednost	Protok vode	DN	Unutarnji promjer	v	R	RL	$\Sigma\xi$	Z	RL+Z
	m	W	W/°C	kg/s	mm	mm	m/s	Pa/m	Pa	-	Pa	Pa
1	32	48262	6894,5	1,64	65	51,5	0,44	30	960	23	2176,8	3136,75
2	1	23825	3403,5	0,81	50	39,5	0,4	36	36	0,5	39,1	75,1
3	3,2	22490	3212,8	0,76	50	39,5	0,38	33	105,6	0,5	35,3	140,8
4	12	21155	3022,1	0,72	50	39,5	0,36	30	360	0,5	31,6	391,7
5	3	19305	2757,86	0,65	50	35,75	0,32	24	72	0,5	25,1	97,1
6	5	17455	2493,6	0,59	40	35,75	0,5	75	375	0,5	61,1	436,1
7	7,4	13964	1994,86	0,47	40	35,75	0,4	50	370	0,5	39,1	409,1
8	7,4	10473	1496,14	0,35	32	35,75	0,37	50	370	0,5	33,5	403,5
9	7,4	6982	997,4	0,24	32	27	0,25	24	177,6	0,5	15,3	192,8
10	8	3491	498,7	0,12	25	27	0,22	28	224	13	307,6	531,6
Pad tlaka kroz ventilokonvektor, Pa												7100
Pad tlaka kroz AB-QM ventil, Pa												16000
Pad tlaka kroz kalorimetar, Pa												2000
Ukupno, Pa												30914,6
Ukupno uvećano za 10%, Pa												34006,1

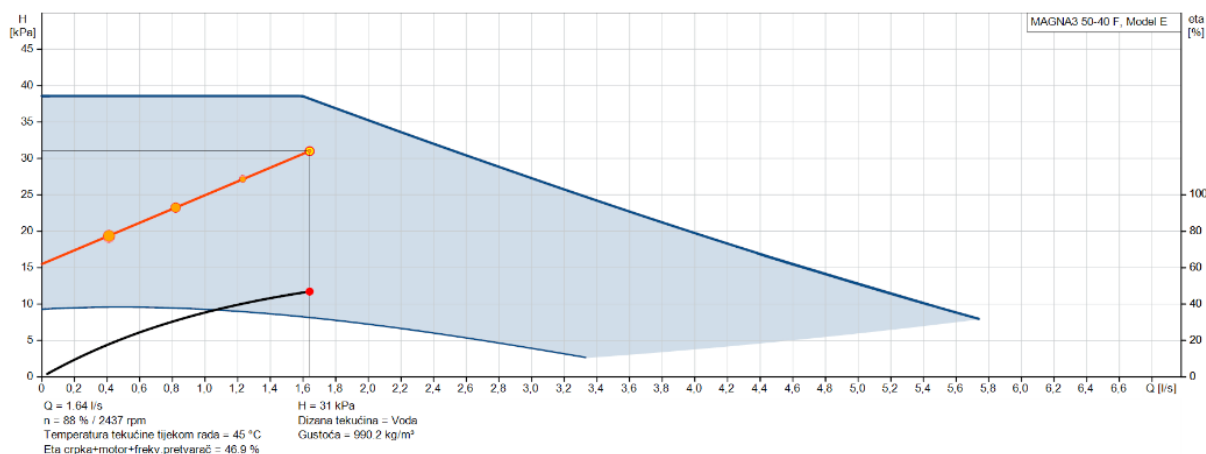
Izračunatim vrijednostima ukupnog pada tlaka kritične dionice dodaje se vrijednost od 10% kako bi se osigurala margina za moguće nepredviđene padove tlaka.

Iz podatka u tablici 22. očitava se ukupni pad tlaka kritične dionice podnog grijanja od 48227,2 Pa. Potreban volumni protok za krugove podnog grijanja iznosi 0,27 l/s. Odabrana je pumpa MAGNA3 32-80F proizvođača Grundfos. Slika 23. pokazuje karakterističnu krivulju pumpe.



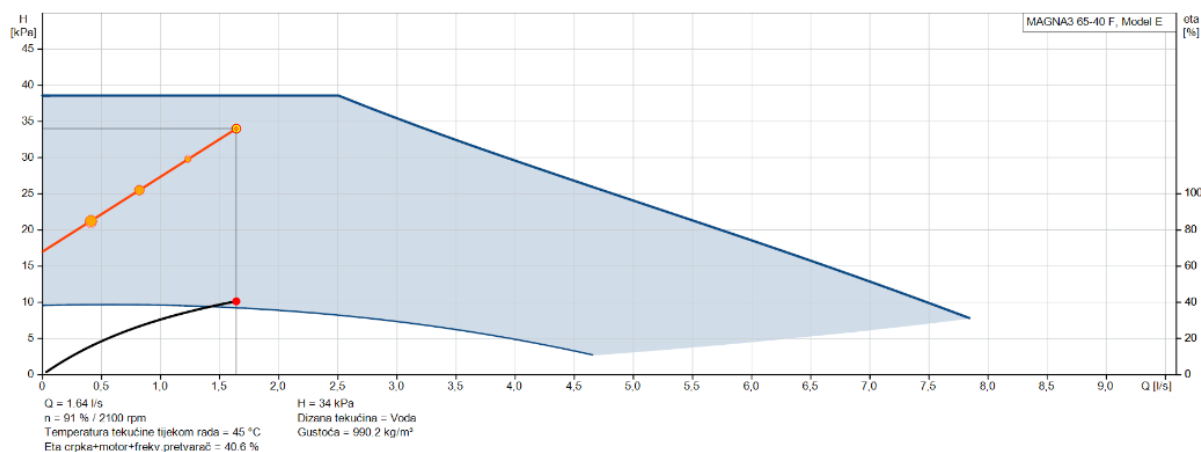
Slika 23. Krivulja pumpe kruga podnog grijanja MAGNA3 32-80 F[16]

Iz podatka u tablici 23. očitava se ukupni pad tlaka kritične dionice kruga ventilokonvektora HAVK Mladosti od 31086 Pa. Potreban volumni protok za krugove ventilokonvektora iznosi 1,64 l/s. Odabrana je pumpa MAGNA3 50-40F proizvođača Grundfos. Slika 24. pokazuje karakterističnu krivulju pumpe.



Slika 24. Krivulja pumpe kruga ventilokonvektora HAVK Mladost MAGNA3 50-40 F [16]

Iz podatka u tablici 24. očitava se ukupni pad tlaka kritične dionice kruga ventilokonvektora fitness centra od 34006,1 Pa. Potreban volumni protok za krugove ventilokonvektora iznosi 1,64 l/s. Odabrana je pumpa MAGNA3 65-40F proizvođača Grundfos. Slika 25. pokazuje karakterističnu krivulju pumpe.



Slika 25. Krivulja pumpe kruga ventilokonvektora fitness centra MAGNA3 65-40 F[16]

7.6. Odabir ekspanzijske posude

Ekspanzijska posuda služi za kompenzaciju promjene volumena tekućine u sustavima grijanja i hlađenja. Kada se temperatura tekućine poveća, ona se širi i zauzima više prostora čemu rezultira rast tlaka u sustavu. Ekspanzijska posuda uzima višak tekućine i održava tlak u sustavu stabilnim, sprečavajući prekomjerno opterećenje cijevi i komponente sustava. Također pomaže u sprečavanju stvaranja vakuuma kad se temperatura smanji i tekućina se skuplja.

Prilikom dimenzioniranja ekspanzijske posude uzima se u obzir:

- Ukupni volumen vode u sustavu
- Volumen širenja prilikom temperaturne promjene
- Tlak u sustavu grijanja, povezan sa točkom otvaranja sigurnosnog ventila
- Tlak u ekspanzijskoj posudi

Određivanje volumena ekspanzijske posude provodi se pomoću jednadžbe:

$$V_{n,min} = (Ve + Vv) * \frac{p_e + 1}{p_e - p_0} [l] \quad (26)$$

Gdje su:

Ve – volumen širenja vode izazvan povišenjem temperature vode od 10°C do temperature polaznog voda [l]

Vv – dodatni volumen – oko 0,5% volumena vode u instalacijama (minimalno 3 l) [l]

p_e – projektni krajnji tlak, kod sustava do 5 bara procjenjuje se na 0,5 bar ispod tlaka sigurnosnog ventila [bar]

p_0 – primarni tlak ekspanzijske posude (tlak plina prilikom isporuke) [bar]

Volumen širenja vode se određuje preko jednadžbe:

$$Ve = \frac{n * V_A}{1000} [l] \quad (27)$$

Gdje su:

V_A – ukupni volumen vode u sustavu [l]

n – postotak širenja ovisno o temperaturi – za zagrijavanje do 45°C, $n=0.93\%$ [5]

U tablici 25. su dati volumeni vode po komponentama sustava, a u tablici 26. ulazni podaci za dimenzioniranje ekspanzijske posude.

Tablica 25. Volumen vode po komponentama sustava

Komponenta sustava	Volumen vode, l
Akumulacijski spremnik	1500
Dizalica topline	31,2
Ventilokonvektori	65,53
Podno grijanje	130
Cijevni razvod	685
Ukupno	2409,73

Tablica 26. Ulazni podaci za dimenzioniranje dizalice topline

Ulazni podaci	
Tlak sigurnosnog ventila, bar	3
Projektni krajnji tlak, bar	2,5
Tlak isporuke, bar	1
Ukupni volumen vode u sustavu, l	2409,73
Volumen širenja vode, l	22,53
Dodatni volumen, l	12,05

Prema podacima iz tablice potrebni volumen ekspanzijske posude iznosi:

$$V_{n,min} = (Ve + Vv) * \frac{p_e + 1}{p_e - p_0} = (22,53 + 12,05) * \frac{2,5 + 1}{2,5 - 1} = 80,68 \text{ l} \quad (28)$$

Na temelju rezultat jednadžbe (28) odabire se ekspanzijska posuda proizvođača Elbi tip ERCE- 100 volumena 100 l (slika 26.).



Slika 26. Ekspanzijska posuda Elbi ERCE-100 [17]

7.7. Odabir kalorimetara

Kako se na razdjelniku i sabirniku smještenim u kotlovnici nalaze tri odvojene regulacijske grupe za grijanje i hlađenje potrebno je ugraditi kalorimetre na svaku grupu kako bi se pravilno mogla pratiti potrošnja energija. Uz to, prostorije fitness centra na prvome katu su u najmu što omogućava lakšu naplatu potrošnje energije za grijanje i hlađenje. Odabiru se kalorimetri proizvođača Danfoss tip SonoMeter 40 (slika 27.) i SonoSafe 10 (slika 28.). Kako su dimenzije polaznih i povratnih cijevi svakog kruga različite u tablici 27. su dati odabrani kalorimetri za pojedini regulacijski krug. Kalorimetar se sastoji od ultrazvučnog osjetnika protoka smještenog u povratni vod, dva osjetnika temperature Pt500 i kalkulatora s integriranim krugovima za mjerenje temperature, protoka i izračun energije [15].



Slika 27. Kalorimetar SonoMeter40 [15]



Slika 28. Kalorimetar SonoSafe10 [15]

Tablica 27. Odabrani tip kalorimetra po regulacijskom krugu

Regulacijski grupa	Tip kalorimetra
HAVK Mladost ventilokonvektori	SonoMeter40, 50mm
HAVK Mladost podno grijanje	SonoSafe 10, 32mm
Fitness centar ventilokonvektori	SonoMeter40, 65mm

8. TEHNIČKI OPIS SUSTAVA

8.1. Sustav grijanja i hlađenja

Sustav grijanja i hlađenja izrađen je za zgradu sportske namjene (veslački klub) na području grada Zagreba prema arhitektonskoj podlozi. Zgrada se sastoji od dvije etaže, Prizemlje + Kat s površinom grijanog i hlađenog prostora od 838 m². Zgrada se grije i hladi uz pomoć dvije dizalice topline zrak/voda BOSCH CS3000 AWP59 P spojene u kaskadi i smještene na krovu zgrade. Dizalice topline na projektnoj vanjskoj temperaturi -13°C te pri polaznoj temperaturi vode 45°C postižu zajednički učin grijanja od 100,8 kW. Uz pomoć ugrađenih električnih grijače od 5 kW koji se uključuju u vršnim opterećenjima ukupno se postiže učin grijanja od 110,8 kW. Svaka dizalica topline postiže rashladni učin od 79,2 kW kod vanjske temperature 35°C i temperaturom polaza vode 7°C. Svaka dizalica topline je opremljena cirkulacijskom pumpom koja distribuira vodu primarnog kruga. Sustav je opremljen akumulacijskim spremnikom CAS 1503 proizvođača Centrometal zapremnine 1426 litara smještenim u kotlovnici prizemlja kako bi se poboljšala efikasnost i spriječilo neprestano paljenje i gašenje dizalice topline. Sustav grijanja i hlađenja se dijeli na tri regulacijske grupe: grupa podnog grijanja, grupa ventilokonvektora HAVK Mladost i grupa ventilokonvektora fitness centra. Svaka regulacijska grupa je povezana na razdjelnik i sabirnik smješten u kotlovnici. Regulacijska grupa podnog grijanja s cirkulacijskom pumpom Grundfos tip MAGNA3 32-80 F radi u režimu 40/30°C. Temperaturni režim podnog grijanja se postiže uz pomoć troputnog miješajućeg ventila Danfoss tip VRB 3 PN16 15/1. Krug podnog grijanja sadrži tri razdjelnika Rehau HKV-D smještena u podžbukne razdjelne ormariće Rehau UP te PE-X cijevi dimenzija $\phi 17 \times 2$ mm. Balansiranje kruga podnog grijanja je ostvareno uz pomoć automatskih balans ventila Danfoss ASV-P DN15 i ASV-M DN15 postavljenih na polazni i povratni vod prije razdjelnika. Ukupni instalirani učin podnog grijanja iznosi 12,1 kW. Regulacijske grupe ventilokonvektora HAVK Mladost i fitness centra rade u režimu 45/38°C u sezoni grijanja i 7/12°C u sezoni hlađenja. Grupa ventilokonvektora veslačkog kluba je opremljena cirkulacijskom pumpom Grundfos tip MAGNA3 50-40F dok je grupa fitness centra opremljena pumpom MAGNA3 65-40F. Pumpe distribuiraju vodu do ventilokonvektora iVector proizvođača Voogel&Noot koji su različitih dimenzija. Ukupno instalirani učin grijanja krugova ventilokonvektora iznosi 119 kW, a instalirani učin hlađenja iznosi 116 kW. Sustav sadrži ekspanzijsku posudu proizvođača Elbi tip ERCE 100 volumena 100 l smještenu u povratnom vodu primarnog kruga grijanja. U svrhu hidrauličkog uravnoteženja i postizanja potrebnog učina, svaki ventilokonvektor je opremljen tlačnim

neovisnim balansirajućim ventilom AB-QM 4.0 proizvođača Danfoss dimenzija DN15 i DN10 ovisno o ventilokonvektoru. U svrhu praćenja potrošnje energije i pravilne raspodjele troškova sustava grijanja i hlađenja, ugrađuju se kalorimetri u svaku regulacijsku grupu iza glavnog razdjelnika. Predviđeni su ultrazvučni kalorimetri proizvođača Danfoss tipa SonoMeter 40 i SonoSafe 10 koji mjere potrošnju toplinske energije putem protoka i temperature polazne i povratne vode.

8.2. Regulacija

Regulacija grijanja i hlađenja ostvarena je pomoću Siemensovog regulatora Climatix S400. U primarnom krugu na regulator su povezani aktuatori troputnih prekretnih ventila koji preusmjeravaju vodu u gornji ili donji dio akumulacijskog spremnika ovisno o režimu rada i dizalica topline. Regulator u primarnom krug prilagođava temperaturu polazne vode na izlazu iz izmjenjivača dizalice topline, u ovisnosti o vanjskoj temperaturi prema namještenoj krivulji grijanja odnosno hlađenja. Na akumulacijski spremnik su priključeni temperaturni osjetnici na gornjem i donjem dijelu kako bi regulator pratio postignutu temperaturu vode u spremniku. Prilikom postizanja namještene temperature regulator isključuje dizalicu topline iz rada. Nakon sniženja ili porasta temperature u spremniku, koja obično iznosi 3°C dizalica topline se ponovo uključuje. Vodu iz spremnika temperature 45°C je potrebno sniziti za sustav podnog grijanja, a to se ostvaruje uz pomoć troputnog miješajućeg ventila VRB 3 PN16 15/1. U cjevovodu nakon pumpe postavlja se temperaturni osjetnik kako bi regulator mogao pratiti postignutu temperaturu i ovisno o tome, preko aktuatora miješajućeg ventila, puštao više ili manje vode iz povratnog voda. Također se u cjevovod podnog grijanja postavlja sigurnosni graničnik temperature koji isključuje pumpu iz rada prilikom postizanja temperature više od 40°C te je ponovo uključuje nakon što temperatura polaznog voda padne. Svaki razdjelnik podnog grijanja sadrži regulator REHAU NEA-H, na koji su povezani aktuatori na povratnog voda. Uloga mu je reguliranje protoka vode prema pojedinoj petlji podnog grijanja i hlađenja u ovisnosti o temperaturi koja je postavljena na sobnom termostatu u svakoj prostoriji. Regulacija sustava ventilokonvektora se ostvaruje preko zasebnog termostata, koji se nalazi u svakoj prostoriji, dok su veće prostorije: teretana, fitness centar i kardio treninzi podijeljene na zone. Termostat ventilokonvektora daje signal regulatoru koji zatim više ili manje otvara ventile preko termoelektričnih aktuatora. Regulator također upravlja i pumpama sekundarnih krugova pri čemu se regulira protok vode ovisno o potrebi potrošača. Pumpe su frekventno upravljane.

9. ZAKLJUČAK

U ovom radu se daje tehničko rješenje sustav grijanja i hlađenja za zgradu sportske namjene ukupne površine grijanja 838 m^2 na području grada Zagreba. Cilj rada je bio napraviti energetska analizu i prema analizi dati prijedlog optimalnog tehničkog rješenja sustava grijanja i hlađenja.

Projektni toplinski gubici su određeni u skladu s normom HRN EN 12831 za klimatske podatke grada Zagreba te iznose $105,5 \text{ kW}$, odnosno 125 W/m^2 . Projektno rashladno opterećenje je provedeno prema smjernici VDI 2078 te je određen potreban rashladni učin od $80,3 \text{ kW}$ odnosno 96 W/m^2 . Iznos visokih vrijednosti toplinskih gubitaka i rashladnog opterećenja se može povezati s lošim karakteristikama ovojnice zgrade koje značajno prelaze dopuštene vrijednosti koeficijenta prolaza topline danog u Tehničkom propisu o racionalnoj uporabi energije i toplinskoj zaštiti u zgradama. Kako bi se smanjili toplinski gubici i toplinsko opterećenje, predlaže se poboljšanje svojstava ovojnice zgrade, čime bi se postigle niže vrijednosti.

Proračun ukupne godišnje potrošnje energije za grijanje i hlađenje proveden je preko Algoritma za proračun potrebne energije za grijanje i hlađenje prostora zgrade prema HRN EN ISO 13790 uz pomoć programa KI Expert Plus. Iznos ukupne godišnje potrebne energije za grijanje iznosi $62122,27 \text{ kWh}$ odnosno $74,67 \text{ kWh/m}^2$, a iznos godišnje potrebne energije za hlađenje $57608,81 \text{ kWh}$ odnosno $68,59 \text{ kWh/m}^2$. Napravljena je analiza tri izvora topline: kotao na biomasu i rashladnik vode, dizalica topline voda/voda i dizalica topline zrak/voda. Prema kriteriju potrošnje energije, troškova pogona i troškova investicije u periodu od 15 godina ispostavilo se kao optimalno rješenje dizalica topline zrak/voda.

Predložen sustav predaje topline je uz pomoć podnih petlji i ventilokonvektora. Primarnim sustavom grijanja i hlađenja se smatraju ventilokonvektori zbog loše izvedbe podnog grijanja čime se uspije pokriti tek 30% potreba prostorije. Podno grijanje radi u režimu $40/30^\circ\text{C}$, a ventilokonvektori u režimu $45/38^\circ\text{C}$ u sezoni grijanja te $7/12^\circ\text{C}$ u sezoni hlađenja.

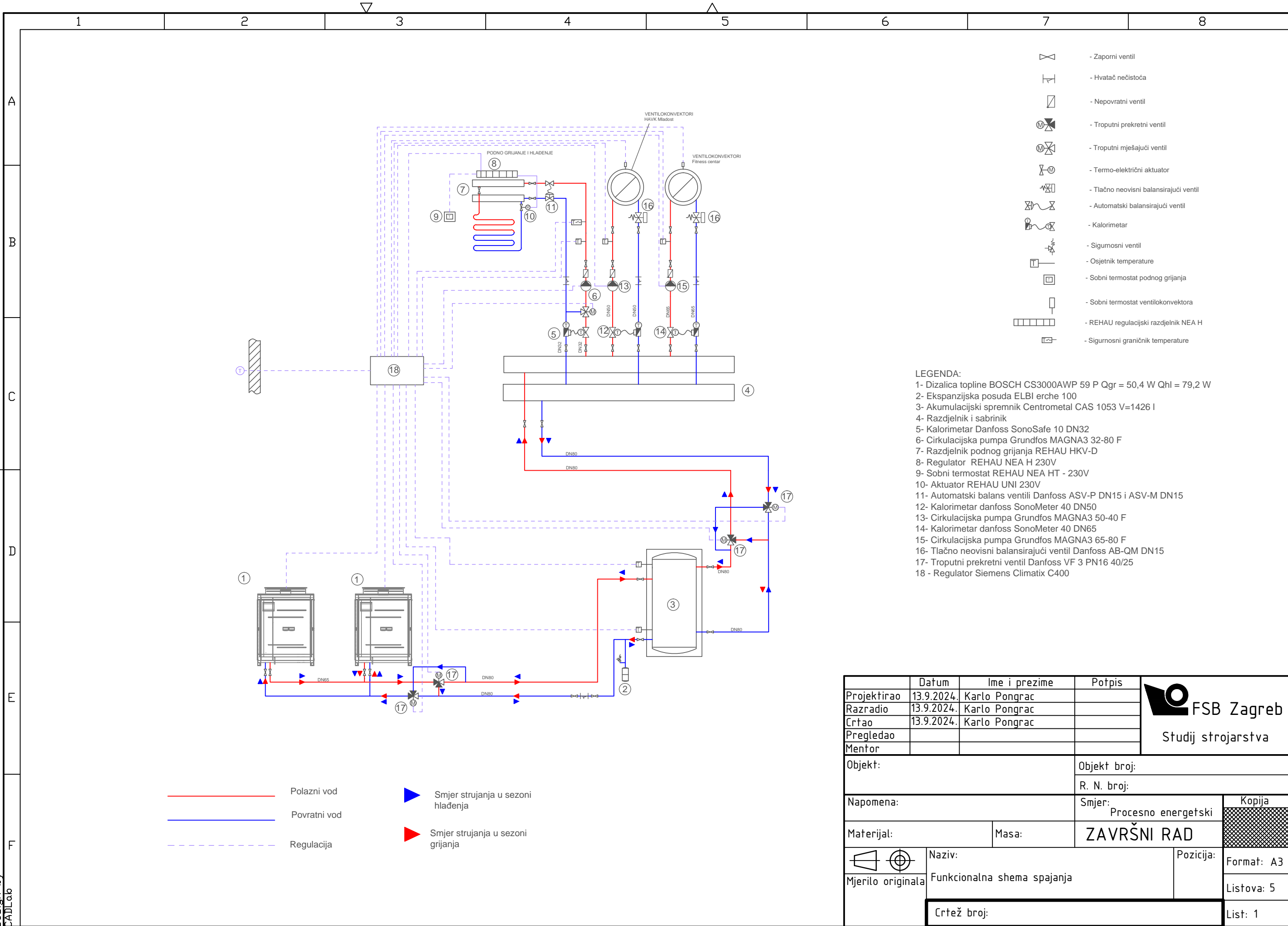
Ovim radom se pokazalo kako je moguće izvesti sustav grijanja i hlađenja uz pomoć dizalica topline zrak/voda u zgradi sa lošim karakteristikama toplinske zaštite. Kako dizalica topline radi sa R32 kao radnom tvari, smanjuje se negativni utjecaj na okoliš zbog nižeg potencijala globalnog zatopljenja (GWP) u usporedbi s tradicionalnim rashladnim sredstvima, te zbog veće energetske učinkovitosti, što doprinosi smanjenju emisija stakleničkih plinova.

LITERATURA

- [1] <https://www.fzoeu.hr/hr/enu-u-zgradarstvu/7571>
- [2] Tehnički propis o racionalnoj uporabi energije i toplinskoj zaštiti u zgradama (NN 128/15, 70/18, 73/18, 86/18, 125/19, 102/20)
- [3] <https://sarmaiusluge.hr/centralno-grijanje/>
- [4] Fond za zaštitu okoliša i energetska učinkovitost, Priručnik za energetska certificiranje zgrada, Program Ujedinjenih naroda za razvoj (UNDP), Zagreb, 2010.
- [5] I. Balen: Podloge za predavanja iz kolegija "Grijanje", FSB, Zagreb
- [6] <https://www.vogelundnoot.com/int/products/ivector.htm>
(Pristupljeno: 31..2024.)
- [7] HERZ Armaturen, Grijanje i hlađenje prostora za pod, zid i strop
URL: https://herzmediaserver.com/data/_www/hrv/literatura/grijanje_hladenje_hr.pdf
(Pristupljeno 31.1.2024.)
- [8] <https://www.tim-novak.hr/blog/podno-grijanje/> (Pristupljeno: 31.1.2024.)
- [9] HRN EN 12831
- [10] VDI 2078
- [11] Algoritam za proračun potrebne energije za grijanje i hlađenje zgrade prema HRN EN ISO 13790
- [12] <https://www.bosch-homecomfort.com/hr> (Pristupljeno: 30.8.2024.)
- [13] <https://www.centrometal.hr/portfolio/cas/>(Pristupljeno: 30.8.2024.)
- [14] <https://www.rehau.com/hr-hr> (Pristupljeno: 30.8.2024.)
- [15] <https://www.danfoss.com/hr-hr/> (Pristupljeno: 5.9.2024.)
- [16] <https://www.grundfos.com/hr> (Pristupljeno: 5.9.2024.)
- [17] <https://termoidraulica.elbi.it/> (Pristupljeno: 12.9.2024.)

PRILOZI

I. Tehnička dokumentacija

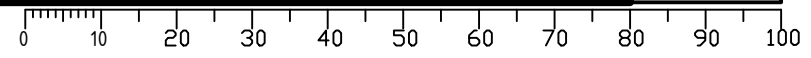


- Zaporni ventil
- Hvatač nečistoća
- Nepovratni ventil
- Troputni prekretni ventil
- Troputni mješajući ventil
- Termo-električni aktuator
- Tlačno neovisni balansirajući ventil
- Automatski balansirajući ventil
- Kalorimetar
- Sigurnosni ventil
- Osjetnik temperature
- Sobni termostat podnog grijanja
- Sobni termostat ventilokonvektora
- REHAU regulacijski razdjelnik NEA H
- Sigurnosni graničnik temperature

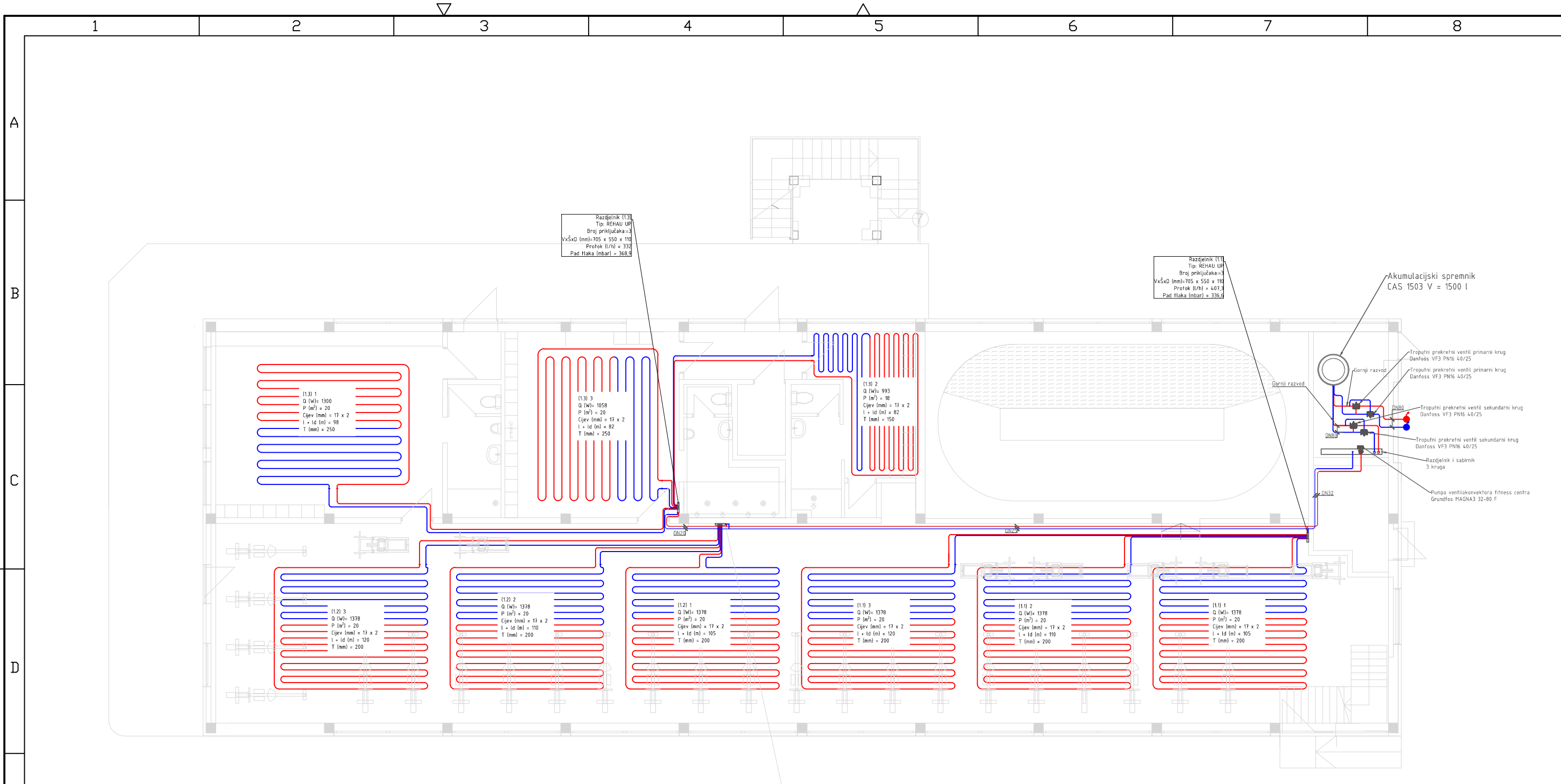
- LEGENDA:
- 1- Dizalica topline BOSCH CS3000AWP 59 P Qgr = 50,4 W Qhl = 79,2 W
 - 2- Ekspanzijska posuda ELBI erche 100
 - 3- Akumulacijski spremnik Centrometal CAS 1053 V=1426 l
 - 4- Razdjelnik i sabrinik
 - 5- Kalorimetar Danfoss SonoSafe 10 DN32
 - 6- Cirkulacijska pumpa Grundfos MAGNA3 32-80 F
 - 7- Razdjelnik podnog grijanja REHAU HKV-D
 - 8- Regulator REHAU NEA H 230V
 - 9- Sobni termostat REHAU NEA HT - 230V
 - 10- Aktuator REHAU UNI 230V
 - 11- Automatski balans ventili Danfoss ASV-P DN15 i ASV-M DN15
 - 12- Kalorimetar danfoss SonoMeter 40 DN50
 - 13- Cirkulacijska pumpa Grundfos MAGNA3 50-40 F
 - 14- Kalorimetar danfoss SonoMeter 40 DN65
 - 15- Cirkulacijska pumpa Grundfos MAGNA3 65-80 F
 - 16- Tlačno neovisni balansirajući ventil Danfoss AB-QM DN15
 - 17- Troputni prekretni ventil Danfoss VF 3 PN16 40/25
 - 18 - Regulator Siemens Climatix C400

- Polazni vod
- Povratni vod
- Regulacija
- Smjer strujanja u sezoni hlađenja
- Smjer strujanja u sezoni grijanja

Projektirao	Datum	Ime i prezime	Potpis	 FSB Zagreb Studij strojarstva
Razradio	13.9.2024.	Karlo Pongrac		
Crtao	13.9.2024.	Karlo Pongrac		
Pregledao				
Mentor				
Objekt:		Objekt broj:		
		R. N. broj:		
Napomena:		Smjer: Procesno energetski		Kopija
Materijal:		Masa:	ZAVRŠNI RAD	
	Naziv: Funkcionalna shema spajanja		Pozicija:	Format: A3
				Listova: 5
Crtež broj:				List: 1



Design by CADLab



Razdjelnik (1.3)
 Tip: REHAU UP
 Broj priključaka=3
 VxŠxD (mm)=705 x 550 x 110
 Protok (l/h) = 332
 Pad tlaka (mbar) = 368,9

Razdjelnik (1.1)
 Tip: REHAU UP
 Broj priključaka=3
 VxŠxD (mm)=705 x 550 x 110
 Protok (l/h) = 407,8
 Pad tlaka (mbar) = 336,6

Akumulacijski spremnik
 CAS 1503 V = 1500 l

Gornji razvod
 DN80
 DN32
 DN50
 Tropadni prekretni ventili primarni krug
 Danfoss VF3 PN16 40/25
 Tropadni prekretni ventili sekundarni krug
 Danfoss VF3 PN16 40/25
 Tropadni prekretni ventili sekundarni krug
 Danfoss VF3 PN16 40/25
 Razdjelnik i sabirnik
 3 kruga
 Pumpa ventilokonvektora fitness centra
 Grundfos MAGNA3 32-80 F

(1.3) 1
 Q (W) = 1300
 P (m²) = 20
 Cijev (mm) = 17 x 2
 l + ld (m) = 98
 T (mm) = 250

(1.3) 3
 Q (W) = 1058
 P (m²) = 20
 Cijev (mm) = 17 x 2
 l + ld (m) = 82
 T (mm) = 250

(1.3) 2
 Q (W) = 993
 P (m²) = 18
 Cijev (mm) = 17 x 2
 l + ld (m) = 82
 T (mm) = 150

(1.2) 3
 Q (W) = 1378
 P (m²) = 20
 Cijev (mm) = 17 x 2
 l + ld (m) = 120
 T (mm) = 200

(1.2) 2
 Q (W) = 1378
 P (m²) = 20
 Cijev (mm) = 17 x 2
 l + ld (m) = 110
 T (mm) = 200

(1.2) 1
 Q (W) = 1378
 P (m²) = 20
 Cijev (mm) = 17 x 2
 l + ld (m) = 105
 T (mm) = 200

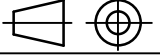
(1.1) 3
 Q (W) = 1378
 P (m²) = 20
 Cijev (mm) = 17 x 2
 l + ld (m) = 120
 T (mm) = 200

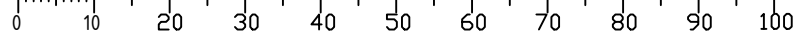
(1.1) 2
 Q (W) = 1378
 P (m²) = 20
 Cijev (mm) = 17 x 2
 l + ld (m) = 110
 T (mm) = 200

(1.1) 1
 Q (W) = 1378
 P (m²) = 20
 Cijev (mm) = 17 x 2
 l + ld (m) = 105
 T (mm) = 200

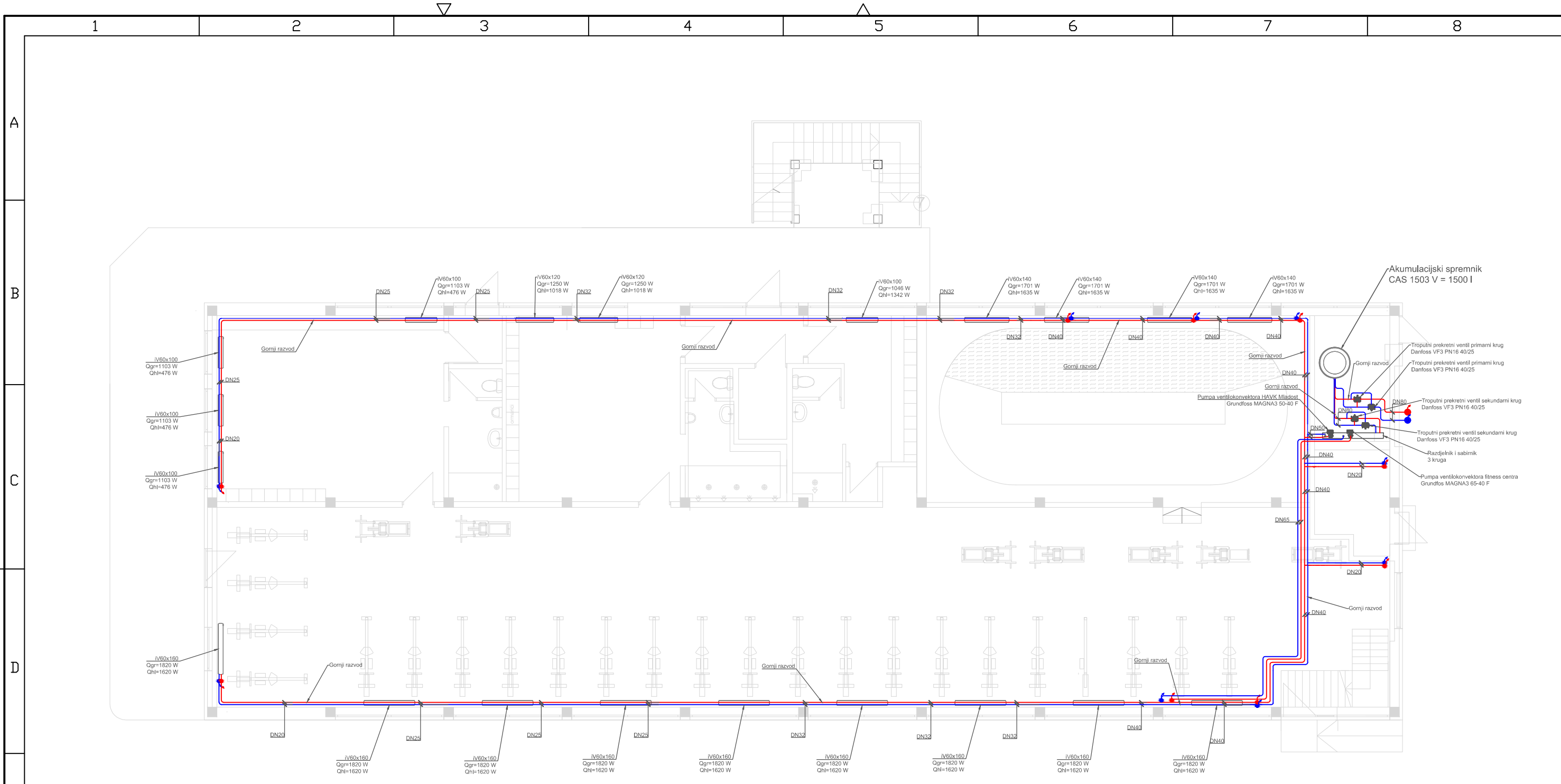
Razdjelnik (1.2)
 Tip: REHAU UP
 Broj priključaka=3
 VxŠxD (mm)=705 x 550 x 110
 Protok (l/h) = 331
 Pad tlaka (mbar) = 336,6

Legenda
 — Polazni vod
 — Povratni vod

Projektirao	Datum	Ime i prezime	Potpis	 FSB Zagreb Studij strojarstva
Razradio	13.9.2024.	Karlo Pongrac		
Crtao	13.9.2024.	Karlo Pongrac		
Pregledao				
Mentor				
Objekt:		Objekt broj:		
		R. N. broj:		
Napomena:		Smjer: Procesno energetski		Kopija
Materijal:		Masa:	ZAVRŠNI RAD	
 Mjerilo originala		Naziv: Tlocrt prizemlja - Podno grijanje		Pozicija: Format: A3
1:125		Crtež broj:		Listova: 5
				List: 2

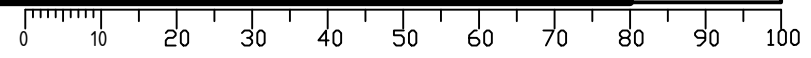


Design by CADLab

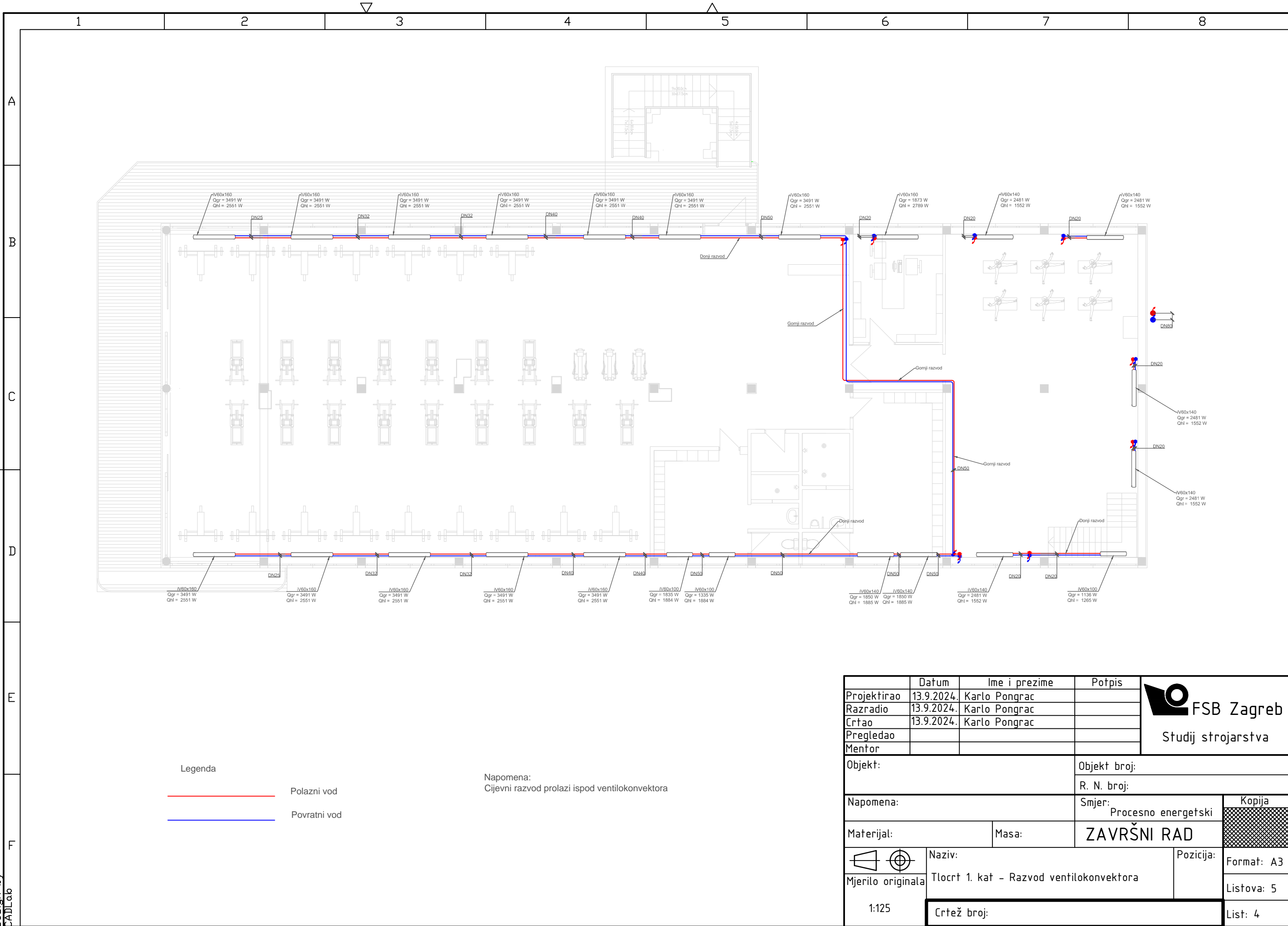


Napomena:
 Cijevi koje prolaze kroz strojarnicu izolirati mineralnom vunom debljine 30 mm
 Vertikale prema svakom ventilokonvektoru su DN20
 Gornji razvod cijevi polaza i povrata

	Datum	Ime i prezime	Potpis	 FSB Zagreb Studij strojarstva
Projektirao	13.9.2024.	Karlo Pongrac		
Razradio	13.9.2024.	Karlo Pongrac		
Crtao	13.9.2024.	Karlo Pongrac		
Pregledao				
Mentor				
Objekt:		Objekt broj:		
		R. N. broj:		
Napomena:		Smjer: Procesno energetski		Kopija
Materijal:		Masa:	ZAVRŠNI RAD	
 Mjerilo originala		Naziv: Tlocrt prizemlja - Razvod ventilokonvektora		Pozicija: Format: A3
1:125		Crtež broj:		Listova: 5
				List: 3



Design by CADLab

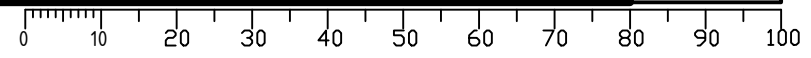


Legenda

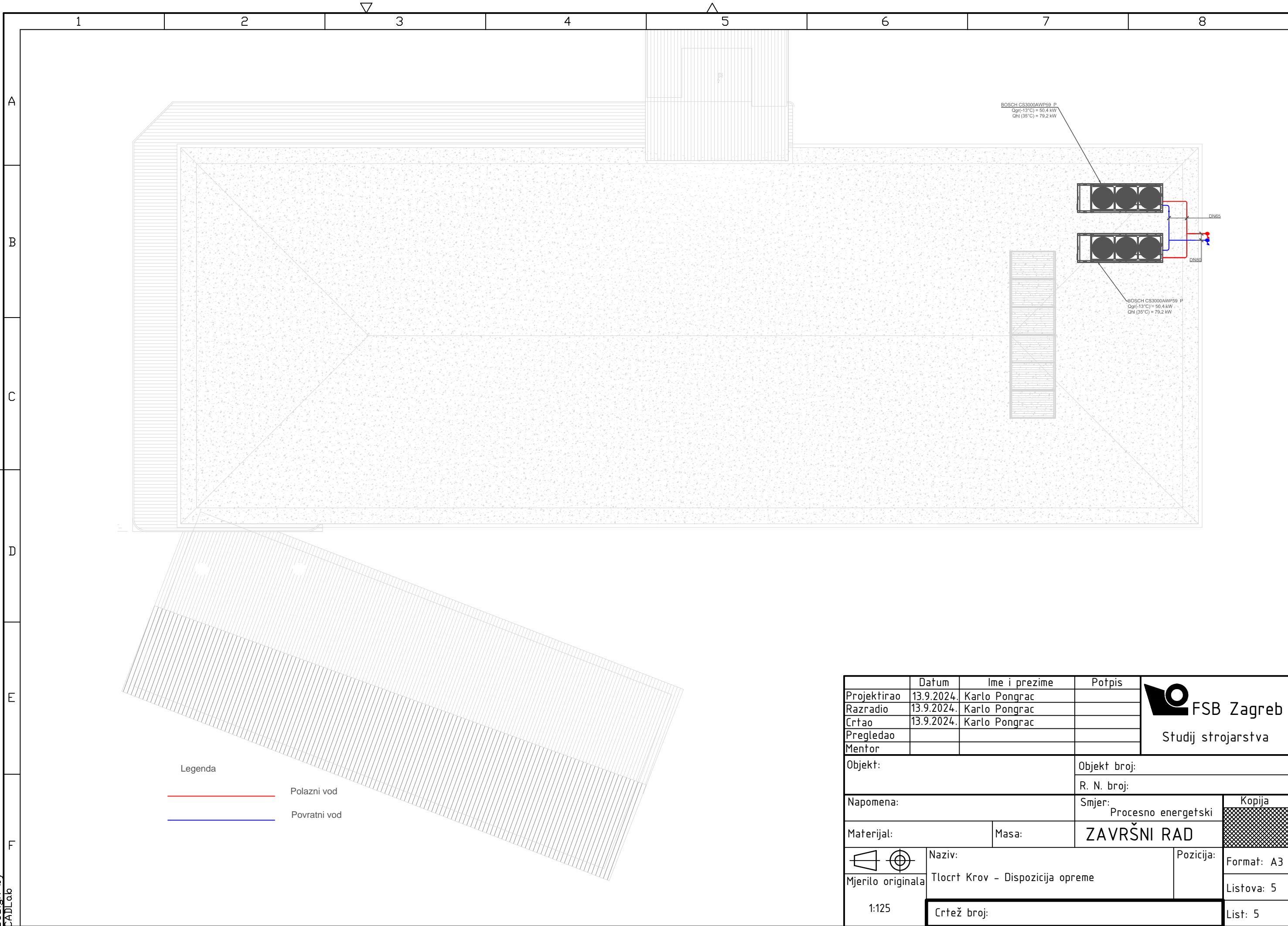
- Polazni vod
- Povratni vod

Napomena:
Cijevni razvod prolazi ispod ventilokonvektora

	Datum	Ime i prezime	Potpis	 FSB Zagreb Studij strojarstva
Projektirao	13.9.2024.	Karlo Pongrac		
Razradio	13.9.2024.	Karlo Pongrac		
Crtao	13.9.2024.	Karlo Pongrac		
Pregledao				
Mentor				
Objekt:		Objekt broj:		
		R. N. broj:		
Napomena:		Smjer: Procesno energetski		Kopija
Materijal:		Masa:	ZAVRŠNI RAD	
 Naziv:		Pozicija:		Format: A3
Mjerilo originala		Tlocrt 1. kat - Razvod ventilokonvektora		Listova: 5
1:125		Crtež broj:		List: 4



Design by CADLab

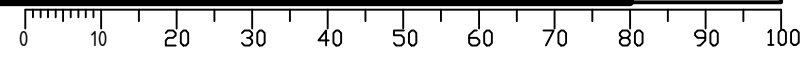


Legenda

— Polazni vod

— Povratni vod

	Datum	Ime i prezime	Potpis	 FSB Zagreb Studij strojarstva
Projektirao	13.9.2024.	Karlo Pongrac		
Razradio	13.9.2024.	Karlo Pongrac		
Crtao	13.9.2024.	Karlo Pongrac		
Pregledao				
Mentor				
Objekt:		Objekt broj:		
		R. N. broj:		
Napomena:		Smjer: Procesno energetski		Kopija
Materijal:		Masa:	ZAVRŠNI RAD	
	Naziv: Tlocrt Krov - Dispozicija opreme		Pozicija:	Format: A3
Mjerilo originala	1:125		Crtež broj:	Listova: 5
				List: 5



Design by CADLab