

# Projekt sustava grijanja, hlađenja i ventilacije osnovne škole

---

**Kovačević, Lovro**

**Master's thesis / Diplomski 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:235:980272>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-01-27**

*Repository / Repozitorij:*

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



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

# DIPLOMSKI RAD

**Lovro Kovačević**

Zagreb, 2024.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

# DIPLOMSKI RAD

Mentor:

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

Student:

Lovro Kovačević

Zagreb, 2024

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

Prije svega, zahvaljujem se mentoru, dr.sc. Igoru Balenu na pruženoj pomoći, stručnim savjetima i smjernicama prilikom izrade ovog rada.

Zahvaljujem kolegama iz tvrtke Best projekt na razumijevanju, podršci i savjetima tijekom izrade rada.

Posebno hvala mojim roditeljima što su mi omogućili studij te bili neprestana podrška i pomoć tijekom cijelog školovanja. Također, hvala sestrama što su uvijek vjerovale u mene i bile mi podrška.

Na kraju se zahvaljujem svojoj djevojci Luciji na potpori i razumijevanju tijekom svih godina studija i pisanja diplomskog rada.

Lovro Kovačević



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

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

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



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

## DIPLOMSKI ZADATAK

Student: **Lovro Kovačević**

JMBAG: 0035219815

Naslov rada na  
hrvatskom jeziku:

**Projekt sustava grijanja, hlađenja i ventilacije osnovne škole**

Naslov rada na  
engleskom jeziku:

**Design of heating, cooling and ventilation system for elementary school**

Opis zadatka:

U ovom radu, potrebno je izraditi projekt sustava grijanja, hlađenja i ventilacije za rekonstrukciju zgrade osnovne škole sa sportskom dvoranom i zatvorenim bazenom, površine 2000 m<sup>2</sup> na dvije etaže (Pr+1K), prema zadanoj arhitektonskoj podlozi. U prostorima škole treba osigurati odgovarajuće mikroklimatske uvjete s regulacijom temperature i održavanjem kvalitete zraka tijekom cijele godine, sukladno stručnim preporukama za tu vrstu prostora. Kao izvor energije za grijanje i hlađenje predvidjeti kombinaciju plinskog kondenzacijskog kotla i dizalice topline zrak-voda. Predvidjeti temperaturni režim grijanja 60/50 °C i temperaturni režim hlađenja 7/13 °C. Prislilnu ventilaciju osigurati upotrebom odgovarajuće opreme s promjenjivim protokom zraka i s povratom topline iz istrošenog zraka. Tehničko rješenje treba obuhvatiti opremu za grijanje, hlađenje, ventilaciju, razvod vode te razvod zraka i difuziju zraka. Zgrada se nalazi na području grada Zagreba.

Na raspolaganju su energetske izvori:

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

Rad treba sadržavati:

- analizu sustava grijanja, hlađenja i ventilacije školskih zgrada,
- toplinsku bilancu za zimsko i ljetno razdoblje,
- količinsku bilancu ventilacijskog sustava,
- tehničko ekonomsku analizu s prijedlogom optimalnog udjela učina kotla i dizalice topline u režimu grijanja,
- tehničke proračune koji definiraju izbor opreme,
- tehnički opis funkcije sustava,
- funkcionalnu shemu spajanja i automatske regulacije,
- crteže kojima se definira montaža i raspored opreme.

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

Zadatak zadan:

Datum predaje rada:

Predvideni datumi obrane:

26. rujna 2024.

28. studeni 2024.

5., 6. i 9.12.2024.

Zadatak zadao:

Prof. dr. sc.  Igor Balen

Predsjednik Povjerenstva:

Prof. dr. sc.  Tanja Jurčević Lulić

## SADRŽAJ

SADRŽAJ .....	I
POPIS SLIKA .....	III
POPIS TABLICA.....	IV
OPIS TEHNIČKE DOKUMENTACIJE .....	V
POPIS OZNAKA .....	VI
SAŽETAK.....	VIII
SUMMARY .....	IX
1. UVOD .....	1
2. OPIS ZGRADE .....	3
3. PRORAČUN TOPLINSKOG OPTEREĆENJA PREMA HRN EN 12831 .....	6
3.1. REZULTATI PRORAČUNA .....	8
3.1.1. Bazenska tehnika.....	9
3.2.2. Proračun potrebnog učina grijača PTV .....	9
3.2.3 Grijači klima jedinica za pripremu zraka KK-1 i KK-2.....	10
4. PRORAČUN RASHLADNOG OPTEREĆENJA PREMA VDI 2078 .....	12
5. PRORAČUN POTREBNE ENERGIJE ZA GRIJANJE I HLAĐENJE .....	13
6. TEHNO-EKONOMSKA ANALIZA SUSTAVA GRIJANJA.....	15
6.1. ANALIZA RADA DIZALICE TOPLINE I KONDENZACIJSKOG KOTLA .....	15
6.2. ANALIZA POTROŠNJE ENERGIJE .....	16
6.2.1 Kondenzacijski kotao za grijanje i PTV .....	17
6.2.2 Dizalica topline + kondenzacijski kotao za grijanje + kondenzacijski kotao za PTV	17
6.2.3 Dvije dizalice topline + kondenzacijski kotao .....	18
6.2.4 Rezultati analize .....	19
7. PRORAČUN ISPORUČENE I PRIMARNE ENERGIJE.....	22
8. VENTILACIJSKI ZAHTJEVI.....	23
9. ODABIR OPREME .....	27
9.1 GRIJANJE I HLAĐENJE .....	27
9.1.1 Kondenzacijski kotao .....	27
9.1.2. Dizalica topline zrak voda.....	28
9.1.3 Potrošna topla voda .....	29
9.1.4. Odabir inercijskog spremnika kruga grijanja .....	30
9.1.5 Odabir inercijskog spremnika kruga hlađenja.....	31
9.1.6 Odabir ekspanzijske posude kruga grijanja.....	31
9.1.7 Odabir ekspanzijske posude kruga hlađenja .....	33

---

9.1.8 Ekspanzijska posuda kruga PTV .....	33
9.1.9. Ogrjevna tijela kruga grijanja.....	34
9.1.10 Odabir cirkulacijske pumpe kruga grijanja .....	35
9.2 VENTILACIJA .....	37
9.2.1 Klima jedinice za pripremu zraka .....	37
9.2.2 Difuzor za dobavu i odsis zraka .....	46
9.2.3 Ventilatori za odsis sanitarija .....	47
9.2.4 Regulatori protoka zraka .....	50
9.2.5 Upravljač sustava ventilacije.....	51
10. TEHNIČKI OPIS RADA SUSTAVA.....	52
10.1 Sustav grijanja i hlađenja .....	52
10.2 Ventilacija .....	53
11. ZAKLJUČAK .....	55
LITERATURA.....	56
PRILOG I – Proračun toplinskog opterećenja zgrade.....	57
PRILOG II – Proračun rashladnog opterećenja zgrade.....	61
PRILOG III – Proračun potrošnje energije – kondenzacijski kotlovi .....	64
PRILOG IV – Proračun potrošnje energije jedne dizalice topline u kombinaciji s kondenzacijskim kotlovima .....	65
PRILOG V – Proračun potrošnje energije dvije dizalice topline i kondenzacijskog kotla.....	67
PRILOG VI – Odabir pumpi primarnog i sekundarnog kruga.....	69
PRILOG VII – Tehnička dokumentacija .....	74

**POPIS SLIKA**

Slika 1 Primjer distribucije zraka [2] .....	1
Slika 2 Osnovna škola – ulaz [3].....	3
Slika 3 Tlocrt prizemlja.....	4
Slika 4 Tlocrt kata .....	4
Slika 5 Godišnja potrebna energija za grijanje i hlađenje po mjesecima.....	14
Slika 6 Promjena faktora grijanja u ovisnosti o vanjskoj temperaturi .....	15
Slika 7 Točka bivalencije dizalice topline.....	16
Slika 8 Pogonski troškovi pojedinog sustava .....	19
Slika 9 Kretanje troškova pojedinog sustava .....	20
Slika 10 Kondenzacijski kotao Hoval 300 [12] .....	27
Slika 11 Dizalica topline Zeta Zero [13].....	28
Slika 12 Spremnik potrošne tople vode [12].....	29
Slika 13 Presjek spremnika potrošne tople vode [12].....	30
Slika 14 Inercijski spremnik kruga grijanja [14].....	31
Slika 15 Ekspanzijska posuda kruga grijanja [14] .....	32
Slika 16 Ekspanzija posuda kruga hlađenja [14] .....	33
Slika 17 Ekspanzijska posuda kruga PTV.....	34
Slika 18 Radijator Radson Integra 22 [15].....	35
Slika 19 Dijagram radne točke pumpe Magna 3 25-120.....	36
Slika 20 Presjek klima jedinice za pripremu zraka 1 [17].....	37
Slika 21 Presjek klima jedinice 2 [17] .....	40
Slika 22 Proces pripreme zraka u zimskom režimu .....	44
Slika 23 Proces pripreme zraka u ljetnom režimu.....	45
Slika 24 Stropni difuzor [18].....	46
Slika 25 Odsisni ventil [18].....	47
Slika 26 Odsisni ventilator Systemair [19] .....	48
Slika 27 Dionice odsisne ventilacije sanitarija 1 .....	49
Slika 28 Radna točka ventilatora [17] .....	49
Slika 29 Regulator varijabilnog protoka VAV, tip RVP-C [19].....	51
Slika 30 Upravljač iSMA CONTROLLI .....	51



**POPIS TABLICA**

Tablica 1 Geometrija zgrade .....	5
Tablica 2 Koeficijenti prolaza topline građevnih elemenata.....	8
Tablica 3 Toplinsko opterećenje škole prema HRN EN 12831 .....	9
Tablica 4 Sumarno toplinsko opterećenje .....	11
Tablica 5 Rashladno opterećenje prema VDI 2078 .....	12
Tablica 6 Godišnja potrošnja energije kondenzacijskog kotla.....	17
Tablica 7 Godišnja potrošnja energije dizalice topline i kondenzacijskog kotla .....	18
Tablica 8 Godišnja potrošnja energije dvije dizalice topline i kondenzacijskog kotla .....	18
Tablica 9 Ukupni troškovi pojedinog sustava .....	19
Tablica 10 Emisije ugljikovog dioksida.....	21
Tablica 11 Isporučena i primarna energija sustava .....	22
Tablica 12 Volumni protok zraka prema učionicama i uredima .....	23
Tablica 13 Izmjene zraka u hodnicima, blagovaonici i ostalim prostorijama.....	24
Tablica 14 Odsis zraka iz sanitarija.....	25
Tablica 15 Radson radijatori korišteni u radu .....	35
Tablica 16 Pad tlaka sekundarnog kruga od razdjelnika do učionica .....	35
Tablica 17 Veličine stanja za proces pripreme zraka zimi.....	44
Tablica 18 Veličine stanja za proces pripreme zraka ljeti.....	46
Tablica 19 Difuzori .....	47
Tablica 20 Proračun pada tlaka kritične dionice .....	48
Tablica 21 Odsisni ventilatori .....	50

## **OPIS TEHNIČKE DOKUMENTACIJE**

- Nacrt 1. Tlocrt prizemlja – grijanje, hlađenje i ventilacija
- Nacrt 2. Tlocrt kata – grijanje, hlađenje i ventilacija
- Nacrt 3. Tlocrt krova - grijanje, hlađenje i ventilacija
- Nacrt 4. Tlocrt strojarnice – izometrija, tlocrt, presjeci
- Nacrt 5. Prostorni raspored opreme
- Nacrt 6. Shema strojarnice
- Nacrt 7. Shema ventilacije KK-1
- Nacrt 8. Shema ventilacije KK-2
- Nacrt 9. Shema klima jedinice za pripremu zraka KK-1
- Nacrt 10. Shema klima jedinice za pripremu zraka KK-2

## POPIS OZNAKA

Oznaka	Jedinica	Opis
A	m <sup>2</sup>	Oplošje grijanog dijela zgrade
V <sub>e</sub>	m <sup>3</sup>	Obujam grijanog dijela zgrade
V	m <sup>3</sup>	Obujam grijanog zraka
f <sub>o</sub>	m <sup>-1</sup>	Faktor oblika zgrade
A <sub>k</sub>	m <sup>2</sup>	Ploština korisne površine
A <sub>f</sub>	m <sup>2</sup>	Površina kondicionirane zone računata s vanjskim dimenzijama
ϑ <sub>int,i</sub>	°C	Unutarnja projektna temperatura
ϑ <sub>e</sub>	°C	Vanjska projektna temperatura
Φ <sub>uk</sub>	W	Ukupno toplinsko opterećenje
Φ <sub>T</sub>	W	Transmisijski toplinski gubici
Φ <sub>V</sub>	W	Ventilacijski toplinski gubici
V <sub>i</sub>	m <sup>3</sup> /h	Volumni protok zraka u grijani prostor
V <sub>inf,i</sub>	m <sup>3</sup> /h	Maksimalni protok zraka u prostoriju uslijed infiltracije kroz zazore
V <sub>min,i</sub>	m <sup>3</sup> /h	Minimalni higijenski protok zraka
n <sub>min</sub>	1/h	Minimalan broj izmjena zraka
U	W/(m <sup>2</sup> · K)	Koeficijent prolaza topline
COP	-	Faktor grijanja
Q <sub>B</sub>	J	Toplina predana izmjenjivaču bazenske tehnike
Φ <sub>B</sub>	W	Toplinski učin izmjenjivača bazenske tehnike
V <sub>PTV</sub>	l	Volumen spremnika PTV
Q <sub>PTV</sub>	J	Toplina potrebna za zagrijavanje potrošne tople vode
Φ <sub>PTV</sub>	W	Toplinski tok potreban za zagrijavanje potrošne tople vode

$c_w$	$\text{kJ}/(\text{kg} \cdot \text{K})$	Specifični toplinski kapacitet vode
$\varphi$	-	Faktor istovremenosti
$\Phi_{KK}$	W	Toplinski tok grijača klima jedinice za pripremu zraka
$\vartheta_x$	$^{\circ}\text{C}$	Temperatura zraka nakon rekuperacije
$\eta_{rek}$	-	Stupanj rekuperacije topline
$Q_{h,nd}$	kWh	Potrebna energija za grijanje zgrade
$Q_{c,nd}$	kWh	Potrebna energija za hlađenje zgrade
$E_{del}$	kWh	Isporučena energija
$E_{prim}$	kWh	Primarna energija
$f_k$	-	Faktor korekcije vremena korištenja ustanove
$\eta_k$	-	Stupanj iskorištenja kotla
L	m	Duljina dionice cjevovoda
v	m/s	Brzina strujanja vode
Re	-	Reynoldsov broj
$\lambda$	-	Faktor trenja
$\xi$	-	Koeficijent lokalnog otpora
Z	Pa	Lokalni pad tlaka dionice cjevovoda
$\Delta p$	Pa	Pad tlaka
$V_{n,min}$	l	Minimalan volumen ekspanzijske posude
$V_a$	l	Ukupni volumen vode u sustavu
$V_e$	l	Volumen širenja vode izazvan zagrijavanjem
$V_v$	l	Dodatni volumen
$p_e$	bar	Projektni krajnji tlak
$p_o$	bar	Primarni tlak
$h_{sys}$	m	Statička visina instalacije od ekspanzijske posude do najviše točke sustava
$h_{dod}$	m	Dodatna visina iz sigurnosnih razloga

## SAŽETAK

Radom je obuhvaćena rekonstrukcija termotehničkog sustava osnovne škole na području Zagreba. Školska zgrada se sastoji od tri dijela; škole, bazena i školske dvorane. Radom je razrađeno tehničko rješenje grijanja, hlađenja i mehaničke ventilacije škole. Škola se sastoji od prizemlja i prvog kata, ukupne površine  $3217 m^2$ . Ukupno toplinsko opterećenje zgrade iznosi  $470,2 kW$  pri vanjskoj projektnoj temperaturi  $-13^{\circ}C$ . Postojeća strojarnica s kotlovima koji kao izvor energije koriste loživo ulje zamjenjuje se kondenzacijskim kotlom na ukapljeni naftni plin u kombinaciji s dvije dizalice topline zrak-voda. Dizalice topline isporučuju toplinski učin od  $264 kW$  pri projektnim uvjetima, a kondenzacijski kotao toplinskog učina  $283 kW$  se uključuje kada dizalice topline više ne mogu na sebe preuzeti toplinsko opterećenje zgrade. Ogrjevna tijela u svim prostorima su radijatori srednjetermperaturnog režima  $60/50^{\circ}C$  koji se zadržavaju. Uz sustav grijanja predviđen je centralni sustav mehaničke ventilacije škole koji se koristi i za hlađenje ljeti. Tehničko rješenje hlađenja je putem ventilacijskog sustava kako bi se izbjeglo postavljanje dodatnog rashladnog tijela u prostore učionica. Priprema zraka za mehaničku ventilaciju i hlađenje je pomoću klima jedinica za pripremu zraka koje rekuperiraju toplinu iz istrošenog zraka. Izvor rashladne energije ljeti su dizalice topline unutar kojih se hladi voda temperaturnog režima  $7/13^{\circ}C$  te se distribuira do hladnjaka klima jedinice za pripremu zraka, dok potrebe za potrošnom toplom vodom ljeti pokriva kondenzacijski kotao. Upravljanje sustavom grijanja, hlađenja i mehaničke ventilacije omogućeno je putem centralnog nadzornog sustava. Analizom potrošnje energije tri različita sustava grijanja odabrano je rješenje koje je tehnički i ekološki najprihvatljivije za promatranu zgradu. U prilogu se nalaze proračuni toplinskih opterećenja, potrošnje energije te dispozicije i sheme termotehničkih sustava.

Ključne riječi : škola, rekonstrukcija, dizalica topline, kondenzacijski kotao, tehno-ekonomska analiza

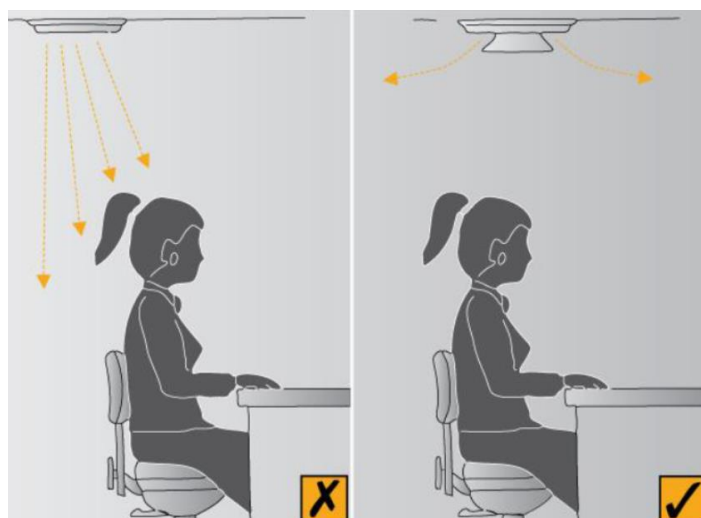
## **SUMMARY**

This paper includes the reconstruction of the thermotechnical system of an elementary school in Zagreb. The school building consists of three parts : school, swimming pool and school hall. The school consists of a ground floor and the first floor, with a total area of 3217 m<sup>2</sup>. The total heat load of the building is 470,2 kW at external design temperature of -13°C. The existing engine room with boilers that use fuel oil as an energy source is replaced by a condensing boiler using liquefied petroleum gas in combination with two air to water heat pumps. The heat pumps deliver a heat output of 264 kW at design conditions, and the condensing boiler with a heat output of 283 kW is switched on when the heat pumps can no longer take on the heat load of the building. The heating elements in all rooms are radiators with a medium temperature regime of 60/50°C, which are contained. In addition to heating system, a central mechanical ventilation system is planned for the school, which is also used for cooling in the summer. The technical solution for cooling is through a ventilation system in order to avoid installing an additional cooling units in the classrooms. Air preparation for mechanical ventilation and cooling is carried out using air conditioning units that recover heat from exhaust air. The source of cooling energy in the summer are heat pumps, inside which water with a temperature regime 7/13°C is cooled and distributed to the air conditioning unit cooler, while the need for domestic hot water is covered by a condensing boiler. Management of the heating, cooling and mechanical ventilation system is through a central monitoring system. By analyzing the energy consumption of three different heating systems, the solution that is technically and environmentally most acceptable for the observed building was selected. In the attachment there are calculations of heat loads and energy consumption, dispositions and schemes of thermotechnical systems.

Key words : school, reconstruction, heat pump, condensing boiler, techno-economic analysis

## 1. UVOD

Osnovna škola predstavlja temelj formalnog obrazovanja i namijenjena je djeci od 6 do 14 godina. Svrha osnovne škole je pružiti početna znanja i vještine te postaviti temelj za daljnje obrazovanje. Obzirom da djeca i nastavno osoblje u školi provode pet dana u tjednu, 10 mjeseci u godini, od velike je važnosti da se u ustanovi održavaju ugodni mikroklimatski uvjeti. Osnovni parametar mikroklimatske je temperatura zraka u prostoru. U sezoni grijanja potrebno je postići unutarnju temperaturu  $20^{\circ}\text{C}$ , dok je projektna unutarnja temperatura za sezonu hlađenja  $26^{\circ}\text{C}$  [1]. Uz održavanje unutarnje temperature, potrebno je održavati i relativnu vlažnost u rasponu između 40% i 60%. Preniska relativna vlažnost izaziva isušivanje sluznice nosa, dok previsoka vlažnost izaziva osjećaj sparine. Također, unutar učionica vrlo je važno održavati dopuštenu koncentraciju  $\text{CO}_2$ . Koncentracija  $\text{CO}_2$  u prostoru veća od 1000 ppm dovodi do smanjenja koncentracije učenika, pospanosti i čestih glavobolja. Iz tog razloga se uz sustav grijanja predlaže i sustav mehaničke ventilacije. Mehanička ventilacija koristi ventilatore i zračne kanale za kontrolirano prozračivanje s kontinuiranim izmjenama zraka u prostorima s velikim brojem učenika. Kvalitetna ventilacija nužna je za osiguravanje optimalnih uvjeta boravka u prostoru koji će omogućiti koncentraciju i učinkovito učenje. Brzina strujanja zraka također utječe na osjećaj toplinske ugodnosti [2]. Prejako strujanje može uzrokovati osjećaj hladnoće, dok nedostatak ventilacije može dovesti do zagušljivosti i povišene koncentracije ugljikovog dioksida. Optimalna brzina strujanja u zoni boravka je između 0,1 i 0,25 m/s. Na slici 1 [2] prikazana je neispravna i ispravna distribucija zraka ako osoba sjedi ispod difuzora.



Slika 1 Primjer distribucije zraka [2]

Potreba za grijanjem i hlađenjem usko je povezana s vanjskim klimatskim uvjetima i izolacijskim svojstvima zgrade. U zimskim mjesecima potrebna je dodatna energija za kompenzaciju toplinskih gubitaka kako bi se održala željena temperatura, dok se tijekom toplijih mjeseci javlja potreba za uklanjanjem suvišne topline iz prostora. Održavanje odgovarajuće temperature uz minimalnu potrošnju energije zahtijeva pažljiv pristup planiranju i implementaciji sustava grijanja, hlađenja i ventilacije prostora.

Osnovna podjela sustava grijanja, hlađenja i ventilacije obrazovnih ustanova je na centralizirani i decentralizirani sustav. U centraliziranom sustavu priprema ogrjevnog i rashladnog medija odvija se u središnjoj jedinici zgrade, najčešće strojarnici ili krovu zgrade. Iz strojarnice se zatim grana razvod prema ogrjevnim i rashladnim tijelima. Centralizirani sustavi su jednostavniji za održavanje i uobičajeni su u većim školama. Za razliku od centraliziranih sustava, u decentraliziranim sustavima koriste se pojedinačne jedinice za svaku učionicu, poput krovnih jedinica (rooftop), monosplit jedinica i lokalnih jedinica za pripremu zraka (rekuperatori). Takvi sustavi uobičajeni su u manjim školama. Česta je pojava kombinacije centraliziranog i decentraliziranog sustava, posebno ako je zgrada podvrgnuta rekonstrukciji. Najčešći način zagrijavanja prostora učionica je putem radijatora. Radijatori su izmjenjivači topline namijenjeni prijenosu toplinske energije u svrhu grijanja prostora. S druge strane, u modernim ustanovama moguća je primjena sustava u kojima se zrak grije, te se putem ventilacijskih kanala dobavlja u učionice. Također, moderne škole često mogu biti grijane podno ili podnim konvektorima. Predviđenom rekonstrukcijom sustava grijanja škole zadržavaju se radijatori kao ogrjevna tijela, a mijenja se samo izvor topline i dodaje se centralni sustav mehaničke ventilacije kojim se povećava ugodnost boravka unutar prostora.



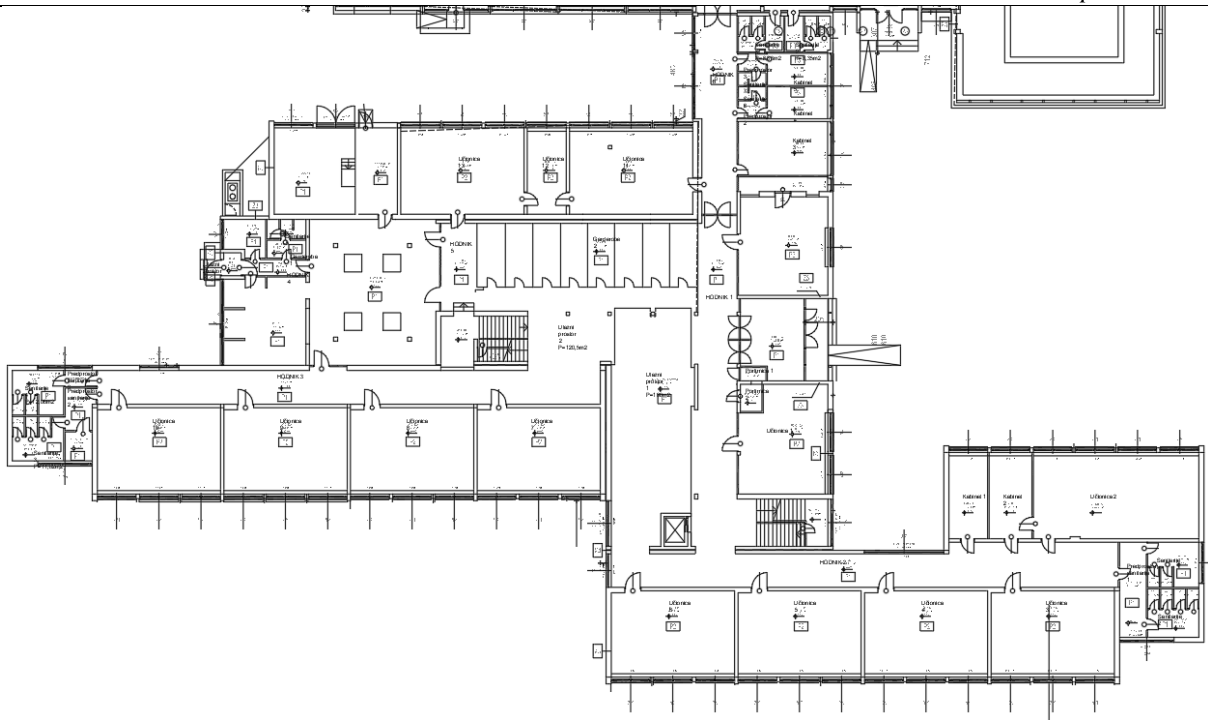
## 2. OPIS ZGRADE

Glavni gabarit zgrade (školski prostori) izgrađen je 1964. godine, a dogradnja gabarita bazena i sportske dvorane izvedena je 1980. godine. Zgrada ima ukupnu bruto površinu 5597,11 m<sup>2</sup>. Sastoji se od učionica, kabineta, kuhinje i blagovaonice, sportske dvorane sa pripadajućim svlačionicama i bazena sa pripadajućim svlačionicama te pomoćnih prostora. Obzirom da sklop sportske dvorane i bazena ima i zaseban ulaz, zgrada se može podijeliti na tri uporabne cjeline – školu, dvoranu i bazen. Na slici 2 prikazan je ulaz u školu.

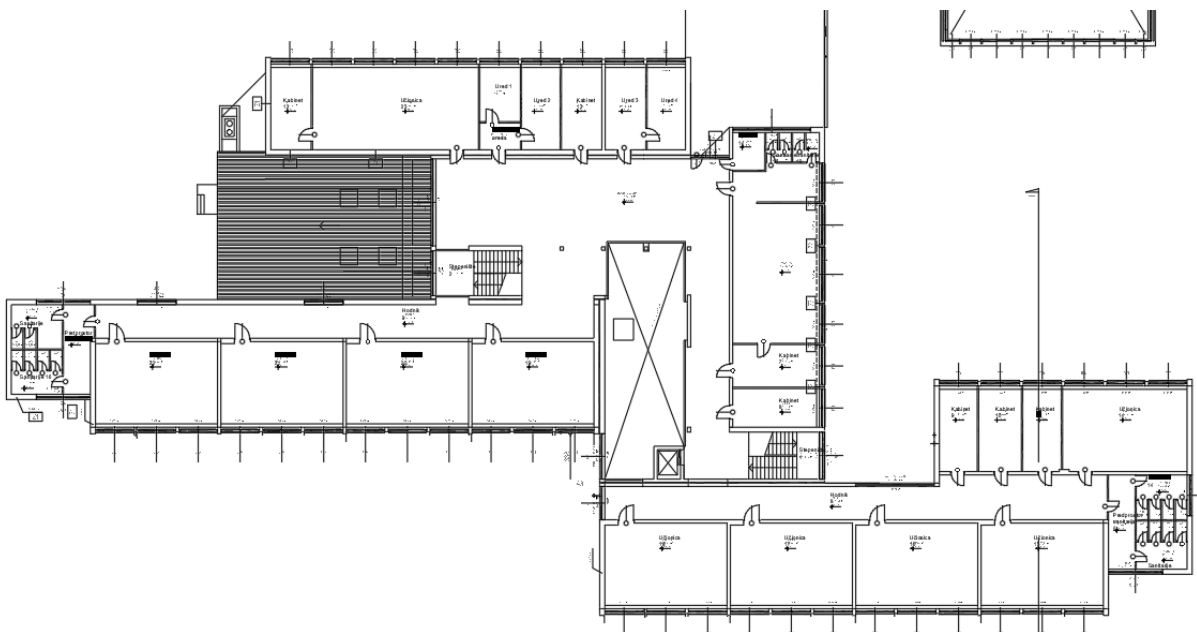


**Slika 2 Osnovna škola – ulaz [3]**

U prizemlju škole nalazi se ulazni prostor iz kojeg se pristupa hodnicima koji povezuju 13 učionica, 5 kabineta, 10 sanitarija, blagovaonicu, kuhinju, biblioteku i garderobu. Na slici 3 prikazan je tlocrt prizemlja. Središnjem hodniku na katu škole pristupa se stepeništima. Na katu se nalazi galerija koja povezuje 10 učionica, 7 kabineta, sanitarije, urede i zbornicu. Tlocrt kata nalazi se na slici 4. Učionice su smještene po cijelom obodu zgrade, dok se sanitarije nalaze na kraju svakog hodnika.



Slika 3 Tlocrt prizemlja



Slika 4 Tlocrt kata

U tablici 1 nalaze se geometrijske karakteristike zgrade.

**Tablica 1 Geometrija zgrade**

Škola			
Oplošje grijanog dijela zgrade	A	5038,9	[m <sup>2</sup> ]
Obujam grijanog dijela zgrade	V <sub>e</sub>	8759,1	[m <sup>2</sup> ]
Obujam grijanog zraka	V	6656,9	[m <sup>3</sup> ]
Faktor oblika zgrade	f <sub>o</sub>	0,58	[m <sup>-1</sup> ]
Ploština korisne površine	A <sub>k</sub>	3217	[m <sup>2</sup> ]
Površina kondicionirane zone računata s vanjskim dimenzijama	A <sub>f</sub>	3173,5	[m <sup>2</sup> ]
Dvorana			
Oplošje grijanog dijela zgrade	A	3247,9	[m <sup>2</sup> ]
Obujam grijanog dijela zgrade	V <sub>e</sub>	8740,3	[m <sup>2</sup> ]
Obujam grijanog zraka	V	6642,6	[m <sup>3</sup> ]
Faktor oblika zgrade	f <sub>o</sub>	0,37	[m <sup>-1</sup> ]
Ploština korisne površine	A <sub>k</sub>	1118,1	[m <sup>2</sup> ]
Površina kondicionirane zone računata s vanjskim dimenzijama	A <sub>f</sub>	1182,2	[m <sup>2</sup> ]
Bazen			
Oplošje grijanog dijela zgrade	A	1868,1	[m <sup>2</sup> ]
Obujam grijanog dijela zgrade	V <sub>e</sub>	4169,1	[m <sup>2</sup> ]
Obujam grijanog zraka	V	3168,5	[m <sup>3</sup> ]
Faktor oblika zgrade	f <sub>o</sub>	0,45	[m <sup>-1</sup> ]
Ploština korisne površine	A <sub>k</sub>	620,45	[m <sup>2</sup> ]
Površina kondicionirane zone računata s vanjskim dimenzijama	A <sub>f</sub>	745,79	[m <sup>2</sup> ]

### 3. PRORAČUN TOPLINSKOG OPTEREĆENJA PREMA HRN EN 12831

Proračun toplinskog opterećenja proveden je prema normi HRN EN 12831 [4]. Projektno opterećenje je opisano kao suma transmisijskih opterećenja, ventilacijskih opterećenja i opterećenja potrebnog za ponovno zagrijavanje prostora, prema formuli :

$$\Phi_{uk} = \Phi_{T,i} + \Phi_{V,i} + \Phi_{RH,i} \quad [W]$$

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

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

$\Phi_{RH,i}$  – dodatni učin za ponovno zagrijavanje prostora [W]

Transmisijski gubici su gubici uslijed izmjene topline iz prostorije kroz građevne elemente prema okolišu, prema prostoru grijanom na nižu temperaturu, prema negrijanom prostoru i prema tlu. Transmisijski gubitak prema vanjskom okolišu opisan je formulom:

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

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

$H_{T,iue}$  – koeficijent transmisijskog gubitka od grijanog prostora kroz negrijani prostor prema vanjskom okolišu (W/K)

$H_{T,ig}$  – stacionarni koeficijent transmisijskog gubitka od grijanog prostora prema tlu (W/K)

$H_{T,ij}$  – koeficijent transmisijskog gubitka od grijanog prostora prema susjednom prostoru grijanom na nižu različitu temperaturu (W/K)

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

$\vartheta_e$  – vanjska projektna temperatura [°C]

Koeficijent transmisijskih gubitaka prema vanjskom okolišu računa se prema izrazu :

$$H_{T,ie} = \sum_k A_k U_k e_k + \sum_l \psi_l l_l e_l \quad [W/K]$$

$A_k$  – površina plohe  $k$  (zid, strop, pod ...) kroz koju prolazi toplina [m<sup>2</sup>]

$e_k, e_l$  – korekcijski faktori klimatskih utjecaja

$U_k$  – koeficijent prolaska topline građevnog elementa [W/(m<sup>2</sup>K)]

$l_l$  – duljina linijskog toplinskog mosta između prostora i vanjskog okoliša [m]

$\psi_l$  – linijski koeficijent prolaza topline linijskog toplinskog mosta [W/(m<sup>2</sup>K)]

U prostorijama škole predviđen je sustav mehaničke ventilacije učionica, hodnika, ureda, biblioteke i zbornice. Unatoč tomu, ventilacijski gubici su proračunati kao da je zgrada bez ventilacijskog sustava iz razloga što za predmetnu ustanovu ne postoje strogi ventilacijski zahtjevi. Uzimanjem ventilacijskog sustava u obzir projektni ventilacijski gubici bi zbog visokog povrata topline rekuperatora bili manji nego u slučaju kada se pretpostavlja da mehanička ventilacija ne postoji. Ovakav pristup služi kao svojevrsna sigurnost u slučaju da sustav ventilacije nije u funkciji.

Ventilacijski gubici uslijed infiltracije računaju se prema izrazima :

$$\Phi_{V,i} = 0,34 V_i \cdot (\vartheta_{int,i} - \vartheta_e) [W]$$

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

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

$\vartheta_e$  – vanjska projektna temperatura [ $^{\circ}C$ ]

Za iznos volumnog protoka zraka koji ulazi u prostoriju bez sustava mehaničke ventilacije odabire se veća vrijednost između  $V_{inf,i}$  i  $V_{min,i}$  :

$$V_i = \max(V_{inf,i}, V_{min,i}) [m^3/h]$$

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

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

Minimalni higijenski protok zraka računa se prema izrazu :

$$V_{min,i} = n_{min} V_i [m^3/h]$$

$V_i$  – volumen prostorije izračunat prema unutarnjim dimenzijama [ $m^3$ ]

$n_{min}$  – minimalan broj izmjena zraka [ $h^{-1}$ ]

Protok zraka u prostoriju uslijed infiltracije kroz zatore računa se prema izrazu :

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

$V_i$  – volumen prostorije izračunat prema unutarnjim dimenzijama [ $m^3$ ]

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

$e_i$  – koeficijent zaštićenosti

$\varepsilon_i$  – korekcijski faktor za visinu

$n_{50}, e_i, \varepsilon_i$  – tablične vrijednosti iz norme

Osnovna škola se nalazi na području Zagreba, stoga se kao referentni podatak za vanjsku projektanu temperaturu uzima meteorološka postaja Zagreb Maksimir [5]. Vanjska projektana temperatura i projektne vrijednosti u grijanim prostorijama su :

- Vanjska projektana temperatura Zagreb Maksimir :  $\vartheta_e = -12,8$  °C
- Unutarnja temperatura učionica, sanitarija, kabineta, kuhinje :  $\vartheta_{int} = 20$  °C
- Unutarnja temperatura hodnika :  $\vartheta_{int} = 18$  °C

### 3.1. REZULTATI PRORAČUNA

U tablici 2 prikazani su građevni elementi s pripadajućim koeficijentima prolaza topline.

**Tablica 2 Koeficijenti prolaza topline građevnih elemenata**

Građevni element	U [W/(m <sup>2</sup> K)]	U <sub>max</sub> [W/(m <sup>2</sup> K)]
Vanjski zid 1	0,18	0,3
Vanjski zid 2	0,20	0,3
Vanjski zid 3	0,19	0,3
Vanjski zid 4	0,20	0,3
Vanjski zid 5	0,15	0,3
Vanjski zid 6	0,16	0,3
Vanjski zid 7	0,20	0,3
Krov	0,14	0,25
Pod P1 – terazzo	1,97	0,3
Pod P2 – parket	1,28	0,3
Pod P3 – keramičke pločice	1,88	0,3
Vanjska vrata	2	2
Prozori VP1	2,05	1,4
Prozori VP2	2,18	1,4
Prozori VP3	1,4	1,4

Utjecaj toplinskih mostova uzet je u obzir povećanjem koeficijenata prolaza topline građevnih elemenata. U skladu s katalogom dobrih rješenja [6], uzima se uvećanje  $\Delta U_{TM} = 0,05$  W/(m<sup>2</sup>K).

Vrijednost toplinskog opterećenja škole prikazana je u tablici 3, dok se detaljan pregled proračuna nalazi u Prilogu I.

**Tablica 3 Toplinsko opterećenje škole prema HRN EN 12831**

$\Phi_{uk}$ (W)	284334
-----------------	--------

Rezultat proračuna toplinskog opterećenja nije dovoljan za dimenzioniranje izvora topline. Obzirom da se u sklopu škole nalazi bazen, potrebno je izračunati toplinski učin grijača za zagrijavanje bazenske vode nakon punjenja bazena, učin grijača spremnika PTV i učin grijača klima jedinica za pripremu zraka.

### 3. 1. 1. Bazenska tehnika

Toplinski učin izmjenjivača bazenske tehnike računa se prema količini vode koju je potrebno ugrijati do željene temperature. Toplinski učin ovisi o brzini zagrijavanja vode. Optimalno vrijeme zagrijavanja vode do željene razine je između 12 i 48 h .

Ulazni podaci :

Volumen bazena :  $202,5 \text{ m}^3$

Vrijeme zagrijavanja bazena : 24 h

Temperatura vodovodne vode :  $\vartheta_{w1} = 12 \text{ }^\circ\text{C}$

Temperatura bazenske vode :  $\vartheta_{w2} = 26 \text{ }^\circ\text{C}$

Potrebna toplina :  $Q_B = V \cdot \rho \cdot c_w \cdot (\vartheta_{w2} - \vartheta_{w1}) = 202,5 \cdot 999,8 \cdot 4,187 \cdot (26 - 12) = 11855900,83 \text{ kJ}$

Potreban toplinski učin :  $\Phi_B = Q_B / t = 11855900,83 / (24 \cdot 3600) = 137,22 \text{ kW}$

Prikazan je proračun grijača bazenske tehnike, no on se neće uzeti u obzir pri dimenzioniranju izvora topline jer se bazenska voda grije izvan radnih sati pogona ili ljeti, kada je na raspolaganju cijeli ogrjevni učin kondenzacijskog kotla.

### 3.2.2. Proračun potrebnog učina grijača PTV

Proračun potrebnog učina grijača potrošne tople vode računa se prema potrošnji vode i broju izljevniha mjesta. Uz sportsku dvoranu nalaze se dvije svlačionice s tuševima, dok se uz bazen nalaze još dvije svlačionice s tuševima, te tuš za invalide.

Proračun potrošnje PTV:

- Potrošnja vode po minuti : 12 l/min
- Trajanje tuširanja : 5 min
- Broj tuširanja u satu : 2
- Broj izljevniha mjesta, n : 19
- Faktor istovremenosti,  $\varphi = 0,7$
- Vrijeme zagrijavanja PTV : 45 min
- Specifični toplinski kapacitet vode :  $c_w = 4,187 \text{ kJ}/(\text{kg} \cdot \text{K})$

Volumen spremnika PTV :

$$V_{PTV} = 120 \cdot n \cdot \varphi = 120 \cdot 19 \cdot 0,7 = 1596 \text{ l}$$

Odabran je spremnik volumena 2000 l.

Potrebna toplina za zagrijavanje spremnika :

$$Q_{PTV} = V \cdot \rho \cdot c_w \cdot \Delta T = \frac{2000}{1000} \cdot 999,8 \cdot 4,187 \cdot (45 - 12) = 276\,286,73 \text{ kJ}$$

Potreban toplinski tok :

$$\phi_{PTV} = \frac{Q_{PTV}}{t} = \frac{276\,286,73}{2700} = 102,3 \text{ kW}$$

### 3.2.3 Grijači klima jedinica za pripremu zraka KK-1 i KK-2

Klima jedinicama za pripremu zraka je potrebno zagrijati zrak za mehaničko ventiliranje prostora na temperaturu od 20°C. Sustav mehaničke ventilacije podijeljen je na dvije klima jedinice prema geometriji zgrade. Klima jedinica za pripremu zraka KK-1 priprema zrak za ventiliranje jugoistočnog dijela škole, dok se u klima jedinici za pripremu zraka KK-2 priprema zrak za sjeverozapadni dio škole.

Klima jedinica za pripremu zraka 1 :

Volumni protok zraka za zagrijavanje u zimskom periodu : 12850 m<sup>3</sup>/h

Stupanj rekuperacije topline :  $\eta_{rek} = 0,801$

Vanjska projektna temperatura :  $\vartheta_e = -13^\circ\text{C}$

Temperatura prostora :  $\vartheta_{int} = 20^\circ$

Temperatura zraka nakon rekuperacije :

$$\vartheta_x = \eta \cdot (\vartheta_{int} - \vartheta_e) + \vartheta_{int}$$



$$\vartheta_x = 0,8 \cdot (20 - (-13)) + (-13) = 13,4^\circ\text{C}$$

Snaga grijača :

$$\begin{aligned}\Phi_{KK,1} &= q_{v,zr} \cdot c_z \cdot \rho_{zr} \cdot \Delta T \text{ [kW]} \\ \Phi_{KK,1} &= \frac{12850}{3600} \cdot 1,005 \cdot 1,2 \cdot (20 - 13,4) = 28,41 \text{ kW}\end{aligned}$$

Klima jedinica za pripremu zraka 2 :

Volumni protok zraka za zagrijavanje u zimskom periodu :  $18560 \text{ m}^3/\text{h}$

Stupanj rekuperacije topline :  $\eta = 0,801$

Vanjska projektna temperatura :  $\vartheta_e = -13^\circ\text{C}$

Temperatura prostora :  $\vartheta_{int} = 20^\circ$

Temperatura zraka nakon rekuperacije :

$$\begin{aligned}\vartheta_x &= \eta \cdot (\vartheta_{int} - \vartheta_e) + \vartheta_{int} \\ \vartheta_x &= 0,8 \cdot (20 - (-13)) + (-13) = 13,4^\circ\text{C}\end{aligned}$$

Snaga grijača :

$$\begin{aligned}\Phi_{KK,2} &= q_{v,zr} \cdot c_z \cdot \rho_{zr} \cdot \Delta T \text{ [kW]} \\ \Phi_{KK,2} &= \frac{18560}{3600} \cdot 1,005 \cdot 1,2 \cdot (20 - 13,4) = 41,03 \text{ kW}\end{aligned}$$

Nakon proračuna grijača klima jedinica za pripremu zraka, možemo odrediti potreban ukupni ogrjevni učin izvora topline.

**Tablica 4 Sumarno toplinsko opterećenje**

	[W]
Proračun Integra	284334
Gubitak razvoda 5%	14122,4
PTV	102300
Grijač 1	28410
Grijač 2	41030
<b>UKUPNO</b>	<b>470196,4</b>

Izvor topline odabrat će se nakon tehno-ekonomske analize tri različita sustava. Prvi sustav je samo kondenzacijski kotao, drugi sustav je kombinacija dizalice topline zrak-voda i kondenzacijskog kotla, te posljednja opcija su dvije dizalice topline u kombinaciji s kondenzacijskim kotlom. Odabrat će se rješenje koje je za potrebe zgrade tehnički, ekonomski i ekološki najprihvatljivije.

#### 4. PRORAČUN RASHLADNOG OPTEREĆENJA PREMA VDI 2078

Obzirom na mijenjanje klimatskih uvjeta zadnjih nekoliko godina, hlađenje obrazovnih ustanova postaje neizbježno. Klimatske promjene dovode do sve toplijih ljeta, što povećava potrebu za učinkovitim sustavima hlađenja kako bi se osigurala ugodna temperatura unutar prostora. Bez adekvatnog hlađenja, visoke temperature mogu negativno utjecati na zdravlje. Proračun rashladnog opterećenja škole provodi se prema smjernici VDI 2078 [7]. Unutarnja projektna temperatura prostorija je 26°C. Rezultati proračuna nalaze se u Prilogu II. Ukupno rashladno opterećenje bira se za određeni dan u mjesecu. U tablici 5 nalaze se vršna opterećenja zgrade u ljetnim mjesecima.

**Tablica 5 Rashladno opterećenje prema VDI 2078**

Datum	21. Lipanj	23. Srpanj	24. Kolovoz	22. Rujan
Ukupno (W)	162603	173778	184142	182561

Iz tablice 5 su vidljive najveće potrebe za hlađenjem 24. Kolovoza, stoga se ta vrijednost uzima za dimenzioniranje rashladnog sustava. Hlađenje će biti izvedeno zračnim sustavom u kojem će se zrak pripremati u klima jedinicama za pripremu zraka, te će se distribuirati ventilacijskim kanalima prema prostorijama.

## 5. PRORAČUN POTREBNE ENERGIJE ZA GRIJANJE I HLAĐENJE

Proračun potrebnih energija za grijanje i hlađenje zgrade proračunava se u računalnom programu KI Expert Plus. Računalni program se koristi za energetske modeliranje, analize i optimizacije zgrada s ciljem osiguravanja energetske učinkovitosti, nižih troškova te udobnog okruženja za korisnike. Programski algoritam temelji se na normi HRN EN ISO 13790 [8], kojom se proračunava potrebna energija za grijanje i hlađenje na mjesečnoj razini. Algoritam se temelji na zbrajanju ukupnih gubitaka i dobitaka toplinske energije tijekom dvanaest mjeseci, ovisno o periodu grijanja ili hlađenja. Potrebna energija za grijanje računa se prema formuli :

$$Q_{h,nd} = (Q_{tr} + Q_{ve}) - \eta_{H,gn} \cdot Q_{h,gn} [kWh]$$

$Q_{Tr}$  – izmijenjena toplinska energija transmisijom [kWh]

$Q_{Ve}$  – potrebna toplinska energija za ventilaciju [kWh]

$\eta_{H,gn}$  – stupanj iskorištenja toplinskih dobitaka kod grijanja

$Q_{H,gn}$  – toplinski dobitci od ljudi, uređaja, rasvjete i sunčevog zračenja [kWh]

Godišnja toplinska energija za hlađenje računa se :

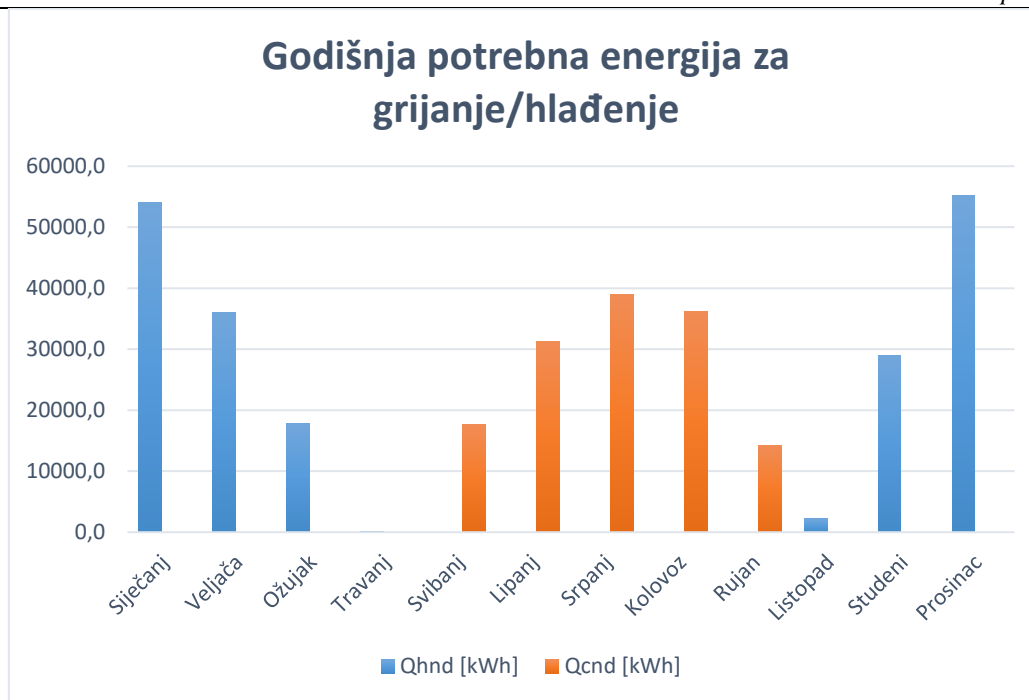
$$Q_{C,nd} = Q_{C,gn} - \eta_{C,is} \cdot Q_{C,ht} [kWh]$$

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

$\eta_{C,is}$  – faktor iskorištenja toplinskih dobitaka kod hlađenja

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

Nakon unošenja podataka o geometriji i svojstvima zgrade u program, dobiveni su rezultati potrebnih energija za grijanje i hlađenje zgrade. Ukupna potrebna energija za grijanje školske zgrade iznosi 194336,62 kWh, odnosno 64,30 kWh/(m<sup>2</sup>·a), dok potrebna energija za hlađenje iznosi 138517,96 kWh, odnosno 45,83 kWh/(m<sup>2</sup>·a). Na slici 5 prikazana je raspodjela potrebe ustanove prema mjesecima.



**Slika 5** Godišnja potrebna energija za grijanje i hlađenje po mjesecima

Izračunati iznos potrebne energije za grijanje zgrade ne zadovoljava Tehnički propis o racionalnoj upotrebi energije i toplinskoj zaštiti u zgradama, prema kojem vrijednost potrebne energije za grijanje u našem slučaju treba biti manja od  $27,2 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ . Kako bi se zadovoljio Tehnički propis, primarna energija mora biti 20% manja od dopuštene vrijednosti za obrazovnu ustanovu, koja iznosi  $90 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ .

## 6. TEHNO-EKONOMSKA ANALIZA SUSTAVA GRIJANJA

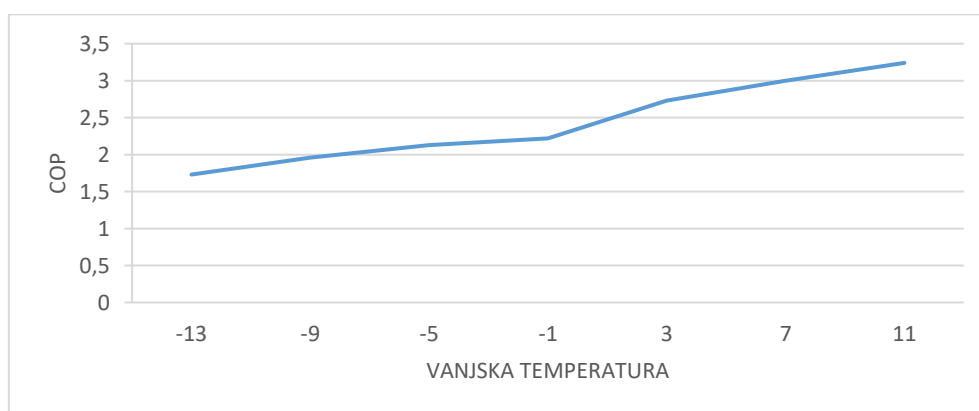
Tehno-ekonomskom analizom rada sustava grijanja potrebno je odabrati sustav koji je prihvatljiv s ekonomske i tehničke strane. Radom su promatrana tri različita sustava :

1. Kondenzacijski kotao za grijanje i PTV
2. Dizalica topline + kondenzacijski kotao za grijanje + kondenzacijski kotao za PTV
3. Dvije dizalice topline + kondenzacijski kotao za grijanje i PTV

Analizom se uspoređuje potrošnja energije svakog navedenog sustava prema satnim temperaturama. Najprije je potrebno odrediti točke bivalencije sustava 2 i 3 koji kombiniraju rad dizalice topline i kondenzacijskog kotla. Zatim će se usporediti investicijski i pogonski troškovi svakog sustava. Osim energetske usporedbe, usporedit će se i ekološka strana, odnosno emisije ugljikovog dioksida u atmosferu. U izračunu potrošnje energije prema satnim temperaturama računa se samo energija potrebna za pokrivanje toplinskog opterećenja zgrade bez potreba za potrošnom toplom vodom.

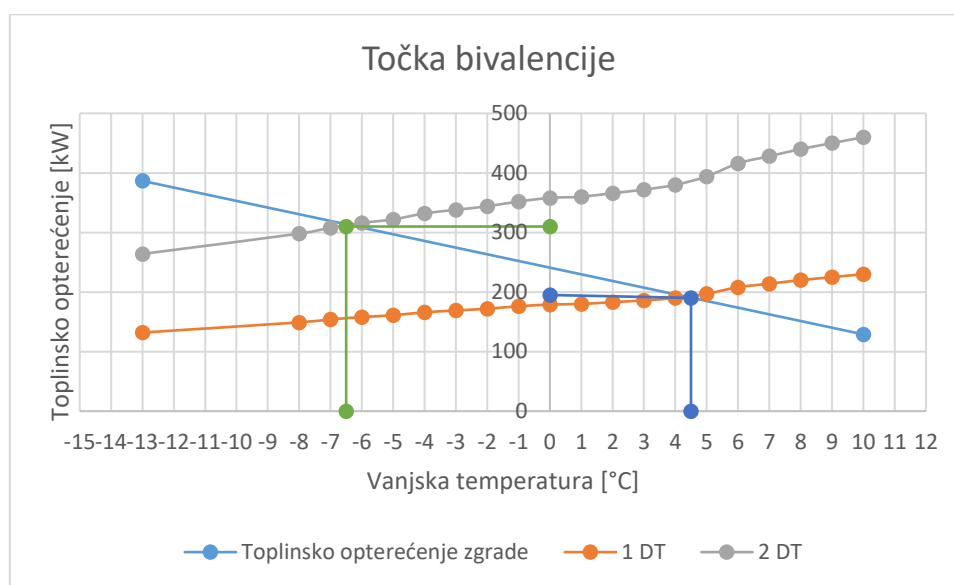
### 6.1. ANALIZA RADA DIZALICE TOPLINE I KONDENZACIJSKOG KOTLA

Bivalentan rad odnosi se na način rada sustava grijanja u kojem se kombiniraju dva izvora topline, u ovom slučaju dizalica topline zrak-voda i plinski kondenzacijski kotao. Obzirom da rad dizalice topline i njezina učinkovitost ovise o vanjskoj temperaturi, potrebno je odrediti do koje temperature dizalica topline može na sebe preuzeti toplinsko opterećenje zgrade. Na slici 6 prikazana je ovisnost faktora grijanja dizalice topline o vanjskoj temperaturi.



Slika 6 Promjena faktora grijanja u ovisnosti o vanjskoj temperaturi

Iz slike 6 se jasno vidi kako faktor grijanja opada pri smanjenju vanjske temperature. Idući korak je odrediti do kada dizalica može na sebe preuzimati cijelo toplinsko opterećenje zgrade, odnosno kada se kondenzacijski kotao treba uključiti. Tražena točka se zove točka bivalencije i različita je u slučaju s jednom ili dvije dizalice topline. Točka predstavlja presjek toplinskog učina dizalnice topline i toplinskog opterećenja zgrade. Prije točke bivalencije dizalica topline može sama zadovoljiti potrebe zgrade, dok je nakon te točke potrebno uključivanje kondenzacijskog kotla.



Slika 7 Točka bivalencije dizalnice topline

Iz slike 7 se vidi da je u slučaju rada samo jedne dizalnice topline potrebno kotao uključiti već pri temperaturi od 4,5 °C. U slučaju kombinacije dvije identične dizalice topline, točka bivalencije se pomiče na -6,5 °C.

## 6.2. ANALIZA POTROŠNJE ENERGIJE

Potrebno je odrediti potrošnju energije za svaki od tri različita sustava te odrediti koji je optimalan sustav za odabranu zgradu. Potrošnja energije određena je prema satnim temperaturama za kontinentalni dio Hrvatske. Cijena ukapljenog naftnog plina za spremnike od 0,1045 €/kWh preuzeta je s internet portala Vlade RH [9], a cijena električne energije 0,1298 €/kWh preuzeta sa internet portala HEP-a [10]. Prije proračuna potrošnje energije prema vanjskoj temperaturi potrebno je odrediti faktor korekcije pošto sustav grijanja ima određeno vrijeme rada.

Vrijeme rada sustava dnevno : 14 h [8]

Broj radnih dana sustava tjedno : 5 dana

Broj sati godišnje kada je temperatura ispod 12 °C : 4247 h

Broj mjeseci trajanja sezone grijanja : 6 mjeseci

Broj radnih sati sustava grijanja : 5 dan x 14 h x 4 tjedna x 6 mjeseci = 1680 h

Faktor korekcije :  $f_k = 1680/4247 = 0,377$

### 6.2.1 Kondenzacijski kotao za grijanje i PTV

U prvoj varijanti odabran je kondenzacijski kotao učina 565 kW kojim se pokriva čitavo toplinsko opterećenje zgrade. Prednost korištenja kondenzacijskog kotla ispred dizalice topline je što zauzima manje mjesta i održavanje je jednostavnije. Uz to, investicijski troškovi kondenzacijskog kotla znatno su manji. Tablica s proračunom potrošnje energije se nalazi u Prilogu III. Ukupna godišnja potrošnja energije za kondenzacijski kotao prikazana je u tablici 6.

**Tablica 6 Godišnja potrošnja energije kondenzacijskog kotla**

Kondenzacijski kotao	
Potrošnja plina [kWh]	304705,3
Ukupna cijena [€]	35379,7

### 6.2.2 Dizalica topline + kondenzacijski kotao za grijanje + kondenzacijski kotao za PTV

Idući korak je proračun potrošnje energije jedne dizalice topline u kombinaciji s kondenzacijskim kotlom. Dizalica topline ukupnog toplinskog učina 132 kW u projektnim uvjetima ne pokriva cijelo toplinsko opterećenje zgrade te je nužno ugraditi kondenzacijski kotao. Odabrani kotao za drugi sustav je toplinskog učina 283 kW pri projektnom opterećenju. Uz njega se ugrađuje zaseban kondenzacijski kotao snage 116 kW za pripremu potrošne tople vode. Detaljan izračun nalazi se u Prilogu IV, a suma godišnje potrošnje energije i ukupni troškovi prikazani su u tablici 7.

**Tablica 7 Godišnja potrošnja energije dizalice topline i kondenzacijskog kotla**

Dizalica topline i kondenzacijski kotao	
Potrošnja električne energije [kWh]	118482,6
Cijena električne energije [€]	15379,0
Potrošnja plina [kWh]	41955,9
Cijena plina [€]	4871,5
Ukupna cijena energenata [€]	20250,6

Kombinacijom dizalice topline zrak voda i kondenzacijskog kotla ostvaruju se značajne uštede potrošnje energenata. Ukupna godišnja ušteda na pogonskim troškovima iznosi 15129,1 €.

### 6.2.3 Dvije dizalice topline + kondenzacijski kotao

Promatra se još slučaj kada rade dvije dizalice topline u kombinaciji s kondenzacijskim kotlom. U ovom slučaju bivalentna točka se nalazi na  $-6,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Dakle, većinu vremena rade samo dizalice topline ukupnog toplinskog učina 264 kW u projektnim uvjetima, a kondenzacijski kotao učina 283 kW radi za zagrijavanje potrošne tople vode i pokrivanje vršnih opterećenja zgrade. Izračun satne potrošnje energije je prikazan u Prilogu V.

**Tablica 8 Godišnja potrošnja energije dvije dizalice topline i kondenzacijskog kotla**

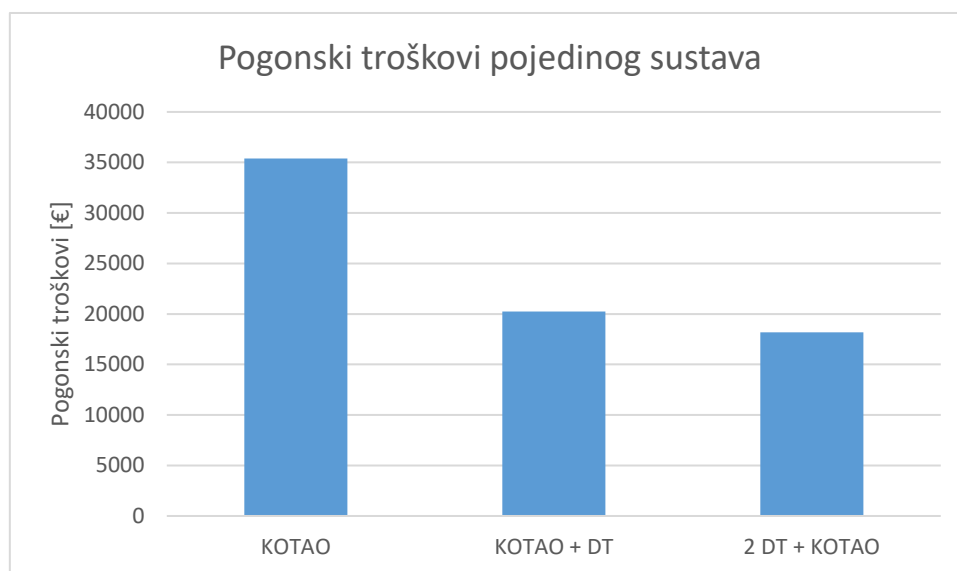
Dvije dizalice topline i kondenzacijski kotao	
Potrošnja električne energije [kWh]	139438,8
Cijena električne energije [€]	18099,2
Potrošnja plina [kWh]	590,5
Cijena plina [€]	68,6
Ukupna cijena energenata [€]	18167,7

U posljednjem slučaju s dvije dizalice topline ostvaruje se dodatna ušteda na pogonskim troškovima, koja sada na godišnjoj razini iznosi 17212 €, što je ušteda od 48,6% u odnosu na slučaj samo s kondenzacijskim kotlom.



### 6.2.4 Rezultati analize

Na slici 8 prikazani su pogonski troškovi svakog od analiziranih sustava. Kada kondenzacijski kotao radi samostalno, potrošnja energenata je najveća. Kombinacijom rada dizalice topline i kondenzacijskog kotla značajno se smanjuju pogonski troškovi, a s dvije dizalice topline u kombinaciji s kondenzacijskim kotlom potrošnja energije, odnosno troškovi su najniži.



Slika 8 Pogonski troškovi pojedinog sustava

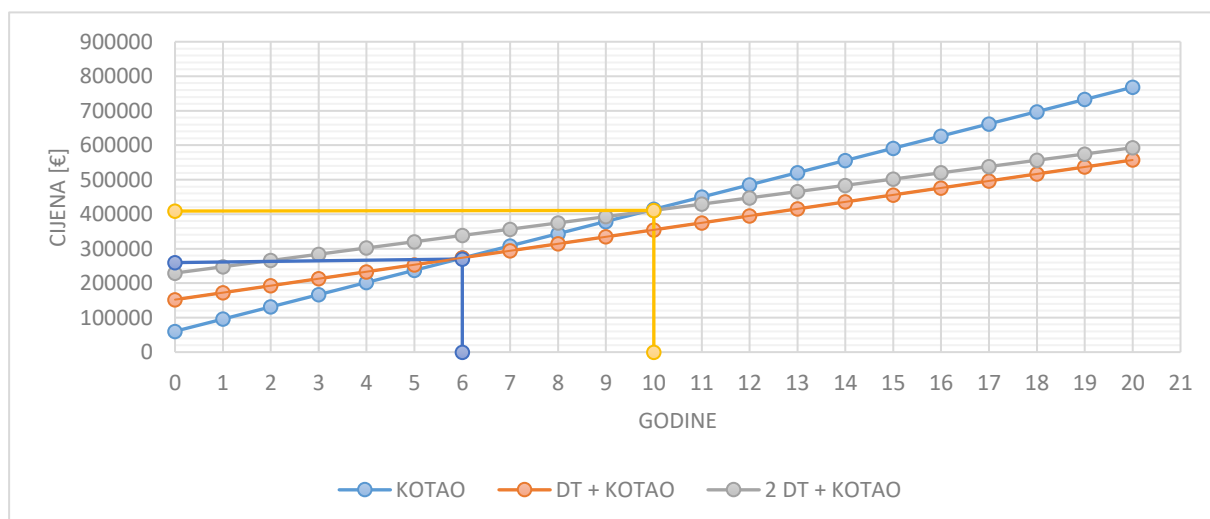
Uz pogonske troškove pojedinog sustava, važna stavka u odabiru je cjelokupna investicija za svaki od analiziranih sustava. U tablici 9 nalaze se cijene odabranih kondenzacijskih kotlova i dizalice topline s popratnom opremom.

Tablica 9 Ukupni troškovi pojedinog sustava

	Kondenzacijski kotao	Kondenzacijski kotao + dizalica topline	Dvije dizalice topline + kondenzacijski kotao
Cijena kotla [€]	33870	15135	15135
Cijena dizalice topline [€]	-	94000	188000
Cijena kotla za PTV [€]	-	9810	-

Cijena kotlovnice (armatura, spremnik, pumpe, cijevi...) [€]	25300	31200	31200
Cijena održavanja sustava [€]	1300	2000	3000
Ukupno [€]	60470	152145	229335

Iz tablice 9 se može zaključiti da je odabir kondenzacijskog kotla najjeftinija opcija. Ipak, pogonski troškovi takvog sustava su daleko veći od druga dva predstavljena sustava. Na slici 9 prikazana je projekcija troškova sustava tijekom 20 godina.



**Slika 9** Kretanje troškova pojedinog sustava

Prema projekciji troškova svakog sustava pokazano je da investicijski najjeftiniji sustav, kondenzacijski kotao, postaje najskuplja opcija nakon 10 godina. Nadalje, sustav s dvije dizalice topline je investicijski najskuplji ali pogonski troškovi su mu najmanji. Iako je sustav s jednom dizalicom topline i dva kondenzacijska kotla, jednim za dogrijavanje i drugim za zagrijavanje potrošne tople vode najisplativiji u pogledu troškova kroz godine, ipak nije odabran. Odabran je sustav dvije dizalice topline u kombinaciji s kondenzacijskim kotlom zbog mogućnosti hlađenja dizalicama topline ljeti. Obzirom da je uz sustav grijanja projektiran i sustav mehaničke ventilacije koji omogućava hlađenje zraka u sezoni hlađenja, dvjema dizalicama topline pokriva se rashladno opterećenje ustanove. U suprotnom, odabirom nekog

drugog sustava morali bi se ugraditi zasebni rashladnici vode koji poskupljuju ukupnu investiciju sustava. Također, odabir sustava osim s ekonomske strane možemo promatrati i s ekološke strane. Emisije ugljikovog dioksida iz sustava ovise o vrsti izvora energije koji se koristi za proizvodnju topline. U tablici 10 se nalazi godišnja emisija  $CO_2$  pojedinog sustava.

**Tablica 10 Emisije ugljikovog dioksida**

Sustav	Emisije $CO_2$ [kg]
Kondenzacijski kotao	54748,4
Dizalica topline + kondenzacijski kotao + kondenzacijski kotao za PTV	42085,05
Dvije dizalice topline + kondenzacijski kotao	25554,9

Emisije ugljikovog dioksida iz sustava smanjuju se kako se povećava udio obnovljivih izvora energije u sustavu. Sustav s dvije dizalice topline emitira 53,3 % manje ugljikovog dioksida u atmosferu od kondenzacijskog kotla. Obzirom da je grijanje jedan od najvećih izvora emisija stakleničkih plinova, važno je voditi računa o emisijama koje sustav ispušta. Odabirom sustava koji se temelji na obnovljivim izvorima energije uvelike se smanjuju emisije stakleničkih plinova u atmosferu i smanjuje se ovisnost o fosilnim gorivima.

## 7. PRORAČUN ISPORUČENE I PRIMARNE ENERGIJE

Isporučena i primarna energija računa se za sustav s dvije dizalice topline i kondenzacijski kotao. U programu KI Expert Plus, nakon unošenja geometrije i svojstava zgrade, definira se termotehnički sustav. U odabranom slučaju dvije identične dizalice topline, svaka toplinskog učina 132 kW pri nazivnom opterećenju na sebe preuzimaju cijelo opterećenje do temperature  $-6,5^{\circ}\text{C}$ , kako je prikazano na slici 7. Za sve temperature manje od  $-6,5^{\circ}\text{C}$  uključuje se kondenzacijski kotao, koji osim vršnog opterećenja pokriva i potrebu za potrošnom toplom vodom. U tablici 11 prikazane su izračunate isporučene i primarne energije.

**Tablica 11 Isporučena i primarna energija sustava**

	Isporučena energija $E_{del}$ [kWh]	Faktor pretvorbe $f$ [-]	Primarna energija $E_{prim}$ [kWh]
Kondenzacijski kotao	9972,56	1,16	11568,17
Dizalice topline	125495,1	1,61	202047,1

Ukupna primarna energija sustava iznosi 213615,3 kWh, odnosno  $70,69 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ , što je ispod maksimalne dopuštene vrijednosti od  $90 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ , čime je zadovoljen Tehnički propis o racionalnoj uporabi energije.

## 8. VENTILACIJSKI ZAHTJEVI

Ventilacijski zahtjevi ovise o vrsti prostora, njegovoj namjeni, broju korisnika prostora i specifičnim uvjetima okoline. Ventilacija je ključna za osiguravanje kvalitete zraka unutar prostora, uklanjanje onečišćenja te za održavanje optimalne razine vlažnosti i osiguravanje toplinske ugodnosti.

Vrste ventilacijskih zahtjeva :

- Ventilacijski zahtjev prema broju izmjena
- Ventilacijski zahtjev prema dopuštenoj koncentraciji zagađivača u zraku
- Ventilacijski zahtjev prema broju osoba u prostoru

ASHRAE Standard 62 [11] opisuje preporučeni ventilacijski minimum po osobi za disanje u zatvorenom prostoru. Za prostore kao što su učionice, blagovaonice ili konferencijske dvorane, ventilacijski zahtjevi određuju se prema broju ljudi koji će koristiti prostor. Proračun na temelju broja ljudi pomaže u izbjegavanju visokih koncentracija CO<sub>2</sub> i održavanju ugodnog okruženja. Za navedene prostore, uobičajena dobava po osobi iznosi 30 do 60 m<sup>3</sup>/h.

Za potrebe ventilacije škole, u tablici su prikazani prostori koji se ventiliraju. Učionice su ventilirane prema broju ljudi koji u njima boravi, dok su hodnici, kabineti i sanitarije ventilirani prema broju izmjena zraka u pojedinom prostoru. Obzirom da se učionice hlade zračnim sustavom, potrebno je kanale dimenzionirati prema protoku zraka koji može preuzeti dobitke topline unutar učionica. Dakle, ljeti protok zraka mora zadovoljiti potrebe za rashladnom energijom učionica, a ostatak godine je potrebno zadovoljiti predviđenu količinu zraka prema broju učenika. U tablici 12 nalaze se predviđene količine zraka po učionicama i uredima.

**Tablica 12 Volumni protok zraka prema učionicama i uredima**

Prostorija	Broj osoba	Protok zraka po osobi [m <sup>3</sup> /h]	Ukupni protok zraka [m <sup>3</sup> /h]	Protok zraka ljeti [m <sup>3</sup> /h]
Učionica 1	25	40	1000	1200
Učionica 2	25	40	1000	1800
Učionica 3	25	40	1000	2400
Učionica 4	25	40	1000	2400
Učionica 5	25	40	1000	2400

Učionica 6	25	40	1000	2400
Učionica 7	25	40	1000	2400
Učionica 8	25	40	1000	2400
Učionica 9	25	40	1000	2400
Učionica 10	25	40	1000	2500
Učionica 11	25	40	1000	1500
Učionica 12	10	40	400	400
Učionica 13	25	40	1000	1500
Učionica 14	25	40	1000	1800
Učionica 15	25	40	1000	2400
Učionica 16	25	40	1000	2400
Učionica 17	25	40	1000	2400
Učionica 18	25	40	1000	2400
Učionica 19	25	40	1000	2400
Učionica 20	25	40	1000	2400
Učionica 21	25	40	1000	2400
Učionica 22	25	40	1000	2400
Učionica 23	25	40	1000	2500
Učionica 24	25	40	1000	1600
Ured 1	2	50	100	100
Ured 2	2	50	100	100

**Tablica 13** Izmjene zraka u hodnicima, blagovaonici i ostalim prostorijama

Prostorija	V [ $m^3$ ]	Broj izmjena [ $h^{-1}$ ]	Odabran protok zraka [ $m^3/h$ ]
Hodnik 1	68,7	0,5	50
Hodnik 2	335,2	0,5	300

Hodnik 3	298,8	0,5	150
Ulazni prostor 1	690	0,5	400
Ulazni prostor 2	385,6	0,5	200
Blagovaonica	331,3	8	2700
Biblioteka	154,1	3	500
Zbornica	273,5	3	1000
Hodnik/galerija	742,7	0,5	400
Hodnik	339,3	0,5	350
Hodnik	298,8	0,5	150
Hodnik	130,5	0,5	300

U prostore poput sanitarija i kabineta neće se direktno ubacivati zrak, već će zrak iz hodnika prestrujavati u navedene prostore pomoću prestrujnih rešetki na vratima. U tablici 14 se nalaze količine zraka potrebne za prestrujavanje u prostore sanitarija prema broju izmjena zraka.

**Tablica 14 Odsis zraka iz sanitarija**

Prostorija	V [ $m^3$ ]	Broj izmjena [ $h^{-1}$ ]	Odabran protok zraka [ $m^3/h$ ]
Sanitarije 1	39,2	5	200
Sanitarije 2	41,1	5	200
Sanitarije 3	37,8	5	200
Sanitarije 4	38,6	5	200
Sanitarije inv	13,9	5	70
Sanitarije 5	13,44	5	70
Sanitarije 6	6,2	5	40
Sanitarije 7	6,2	5	40
Sanitarije 8	26,7	5	140
Sanitarije 9	26,7	5	140
Sanitarije 10	38,1	5	200
Sanitarije 11	41,1	5	200

Sanitarije 12	12,3	5	70
Sanitarije 13	13,4	5	70

Kabineti su prostorije u kojima se profesori ne zadržavaju, već provode vrijeme neposredno prije i poslije školskog sata. Iz tog razloga nema potrebe za posebnim mehaničkim ventiliranjem, već je dovoljno prestrujavati zrak iz hodnika u kabinete. Izuzetak su dva kabineta na sjevernoj strani zgrade, uz koje se nalaze sanitarije. Na tim se mjestima ubacuje zrak u kabinet kako bi se izbjeglo postavljanje prestrujnih rešetki te onemogućilo širenje mirisa iz sanitarija.



## 9. ODABIR OPREME

### 9.1 GRIJANJE I HLAĐENJE

#### 9.1.1 Kondenzacijski kotao

Kondenzacijski kotao je vrsta visokoučinkovitog kotla za grijanje koji koristi naprednu tehnologiju kako bi iskoristio što više energije iz goriva, prirodnog plina ili ukapljenog naftnog plina. Glavna prednost kondenzacijskog kotla je što može iskoristiti toplinu iz ispušnih dimnih plinova, čime se znatno povećava njegova energetska učinkovitost. Odabran je kondenzacijski kotao Hoval Ultragas 300 [12], ukupnog toplinskog učina 283 kW, prikazan na slici 10. Kotao se koristi za grijanje i pripremu potrošne tople vode školske zgrade, dvorane i bazena.



Slika 10 Kondenzacijski kotao Hoval 300 [12]

Karakteristike kotla :

$$Q_g = 283 \text{ kW pri } 60/50^\circ\text{C}$$

$$L_w = \text{do } 72 \text{ dB (A)}$$

$$\text{Sadržaj vode} = 472 \text{ l}$$

$$\text{Dimenzije} : 1790 \times 1880 \times 1923 \text{ mm}$$

$$\text{Težina} : 770 \text{ kg}$$

### 9.1.2. Dizalica topline zrak voda

Dizalica topline zrak voda koristi se za grijanje i hlađenje škole. Odabrane su dvije identične dizalice topline je Zeta Zero HP SLN 22.6, švedskog proizvođača Swegon [13]. Dizalica topline koristi propan kao radnu tvar, te joj je  $GWP = 0$ . Dizalica topline radi tako da zrak struji kroz isparivač unutar kojeg radna tvar preuzima toplinu iz zraka, te isparuje. Radna tvar zatim struji u kompresor, gdje joj raste tlak i temperatura. Vruća radna tvar zatim kondenzira, predajući energiju ogrjevnom mediju (vodi). Na kraju kondenzirana radna tvar ekspanzira na početni tlak, čime kreće novi ciklus. U slučaju hlađenja, proces je obrnut. Odabrana dizalica topline pri vanjskoj projektnoj temperaturi isporučuje toplinski učin od 132 kW.



Slika 11 Dizalica topline Zeta Zero [13]

Tehničke karakteristike dizalice topline :

Električni priključak : 3 Ph/ 400 V / 50 Hz

Ogrjevni učin A-13/W60 : 132 kW

Faktor grijanja COP u projektnim uvjetima : 1,78

Sezonski faktor grijanja SCOP : 3,21

Rashladni učin A35/W7 : 213 kW

Faktor hlađenja u projektnim uvjetima : 2,66

Sezonski faktor hlađenja SEER : 3,71

Radna tvar : R290

Tip kompresora : Scroll

Broj kompresora : 6

Dimenzije : 4952x1130x2405 mm

Težina : 2608 kg

### 9.1.3 Potrošna topla voda

Proračun potrebnog volumena potrošne tople vode nalazi se u pod točkom 3.2.2. Odabran potrební volumen spremnika tople vode iznosi 2000 l. Spremnik se koristi za potrebe školske dvorane, bazena i škole. Unutar spremnika se nalazi grijač toplinskog učina 105 kW, kojim se postiže željena temperatura u spremniku od 45°C. Razlog velikog grijača je kratko vrijeme zagrijavanja spremnika. Potrošna topla voda se najviše koristi za tuširanje učenika nakon tjelesnog odgoja. Dakle, period zagrijavanja je jedan školski sat, kako bi za idući razred voda za tuširanje bila ugrijana. Odabrani spremnik proizvođača Hoval, tip Combival CR 2000 [12], nalazi se na slici 12.



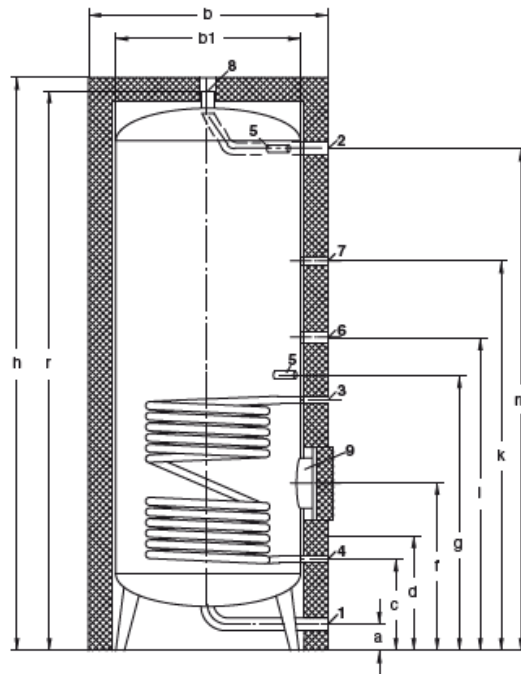
**Slika 12 Spremnik potrošne tople vode [12]**

Karakteristike spremnika tople vode :

- Zapremnina spremnika : 2000 l
- Visina : 2070 mm
- Promjer : 1250 mm

- Masa : 364 kg
- Snaga grijača : 105 kW

Na slici 13 prikazan je presjek spremnika potrošne tople vode.



**Slika 13 Presjek spremnika potrošne tople vode [12]**

Unutar spremnika nalazi se cijevni grijač u obliku zavojnice koji predaje toplinu potrošnoj toploj vodi. Jednom dnevno je potrebno temperaturu vode u spremniku zagrijati na 60°C, u svrhu zaštite od legionele.

#### 9.1.4. Odabir inercijskog spremnika kruga grijanja

Inercijski spremnik je sastavni dio sustava grijanja. Služi za skladištenje topline, te istovremeno kao hidraulička skretnica, odnosno odvaja primarni i sekundarni krug grijanja. Akumuliranjem viška energije unutar inercijskog spremnika smanjuje se opterećenje sustava i sprječavaju se ciklusi čestog uključivanja i isključivanja dizalice topline. Preporuka proizvođača dizalice topline za odabir volumena inercijskog spremnika je 10 l/kW. Dizalice imaju svaka svoj inercijski spremnik od 300 l koji nisu dovoljni za ispravan rad dizalice topline. Zato je u sustav dodan još jedan spremnik zapremnine 2000 l. Odabran je spremnik proizvođača Flamco, model Flexterm LS 2000 [14], prikazan na slici 14.

Karakteristike spremnika :

- Zapremnina spremnika : 2000 l
- Visina : 2440 mm

- Promjer : 1100 mm
- Masa : 474 kg



**Slika 14 Inercijski spremnik kruga grijanja [14]**

### **9.1.5 Odabir inercijskog spremnika kruga hlađenja**

Inercijski spremnik kruga hlađenja odabran je istim principom kao i u grijanju. Dizalice topline sadrže svaka po jedan inercijski spremnik od 300 l, te je potrebno još minimalno 3000 l vode da bi sustav stabilno radio. Iz tog razloga u krug hlađenja dodan je inercijski spremnik volumena 3000 l, tip Flamco LS 3000.

Karakteristike spremnika :

- Zapremnina spremnika : 3000 l
- Visina : 2830 mm
- Promjer : 1200 mm
- Masa : 730 kg

### **9.1.6 Odabir ekspanzijske posude kruga grijanja**

Uloga ekspanzijske posude je održavanje stabilnog tlaka u sustavu. Kada se voda zagrijava, njezin se volumen povećava, a ekspanzijska posuda sprječava povećanje tlaka u sustavu koje bi moglo dovesti do oštećenja cijevi, radijatora ili drugih komponenti.

Proračun ekspanzijske posude [1]:

Ulazni podaci :

$n$  (60°C) – 1,66% - postotak volumnog širenja vode od 10°C do temperature polaza vode

$V_a = 6800$  l – ukupni volumen vode u sustavu

$p_e = 2,5$  bar – projektni krajnji tlak, uzet kao 0,5 bar manji od tlaka sigurnosnog ventila

$h_{sys} = 10$  m – statička visina instalacije od ekspanzijske posude do najviše točke sustava

$h_{dod} = 3$  m – dodatna visina iz sigurnosnih razloga

Primarni tlak :

$$p_0 = \frac{h_{sys} + h_{dod}}{10} = \frac{10 + 3}{10} = 1,3 \text{ bar}$$

Dodatni volumen (0,5 % volumena vode u sustavu):

$$V_v = 0,005 \cdot V_a = 0,005 \cdot 6800 = 34 \text{ l}$$

Volumen širenja vode :

$$V_e = \frac{n \cdot V_a}{100} = \frac{1,66 \cdot 6800}{100} = 112,88 \text{ l}$$

Minimalni volumen ekspanzijske posude :

$$V_{n,min} = (V_e + V_v) \cdot \frac{p_e + 1}{p_e - p_0} = (112,88 + 34) \cdot \frac{2,5 + 1}{2,5 - 1,3} = 428,4 \text{ l}$$

Odabrana je ekspanzijska posuda volumena 500 l, proizvođača Flamco, tip Flexcon M [14], prema slici 15.



Slika 15 Ekspanzijska posuda kruga grijanja [14]

### 9.1.7 Odabir ekspanzijske posude kruga hlađenja

Postupak proračuna ekspanzijske posude je isti, uz novi faktor  $n(10^\circ\text{C}) = 0,21$ , te volumen vode u sustavu koji iznosi 4500 l.

Dodatni volumen (0,5 % volumena vode u sustavu):

$$V_v = 0,005 \cdot V_A = 0,005 \cdot 4500 = 22,5 \text{ l}$$

Volumen širenja vode :

$$V_e = \frac{n \cdot V_A}{100} = \frac{0,21 \cdot 4500}{100} = 9,45 \text{ l}$$

Minimalni volumen ekspanzijske posude :

$$V_{n,min} = (V_e + V_v) \cdot \frac{p_e + 1}{p_e - p_0} = (9,45 + 22,5) \cdot \frac{2,5 + 1}{2,5 - 1,3} = 93,2 \text{ l}$$

Odabrana je ekspanzija posuda volumena 100 l, tip Flamco Flexon [14], prikazana na slici 16.



Slika 16 Ekspanzija posuda kruga hlađenja [14]

### 9.1.8 Ekspanzijska posuda kruga PTV

Ulazni podaci :

$n(60^\circ\text{C}) = 1,66\%$  - postotak volumnog širenja vode od  $10^\circ\text{C}$  do temperature polaza vode

$V_a = 2000 \text{ l}$  – ukupni volumen vode u sustavu

$p_e = 5,5 \text{ bar}$  – projektni krajnji tlak, uzet kao 0,5 bar manji od tlaka sigurnosnog ventila

$h_{sys} = 10 \text{ m}$  – statička visina instalacije od ekspanzijske posude do najviše točke sustava

$h_{dod} = 3 \text{ m}$  – dodatna visina iz sigurnosnih razloga

Primarni tlak :

$$p_0 = \frac{h_{sys} + h_{dod}}{10} = \frac{10 + 3}{10} = 1,3 \text{ bar}$$

Dodatni volumen (0,5 % volumena vode u sustavu):

$$V_v = 0,005 \cdot V_A = 0,005 \cdot 2000 = 10 \text{ l}$$

Volumen širenja vode :

$$V_e = \frac{n \cdot V_A}{100} = \frac{1,66 \cdot 2000}{100} = 33,2 \text{ l}$$

Minimalni volumen ekspanzijske posude :

$$V_{n,min} = (V_e + V_v) \cdot \frac{p_e + 1}{p_e - p_0} = (33,2 + 10) \cdot \frac{5,5 + 1}{5,5 - 1,3} = 66,9 \text{ l}$$

Odabrana je ekspanzijska posuda Flmaco – Airfix D-E volumena 100 l, prema slici 17.



**Slika 17 Ekspanzijska posuda kruga PTV**

### 9.1.9. Ogrjevna tijela kruga grijanja

Za zagrijavanje prostora unutar škole koriste se radijatori s temperaturnim režimom 60/50°C. Odabrani su radijatori proizvođača Radson, tip integra 22 [15]. Radijatori su opremljeni termostatskim ventilom s termostatskom glavom, zaštitnom kapom za odzračivanje i ventilskim čepom za ispuštanje vode.





Slika 18 Radijator Radson Integra 22 [15]

Odabrani su radijatori prema tablici 15 :

Tablica 15 Radson radijatori korišteni u radu

Duljina radijatora [mm]	Visina radijatora [600mm]	Broj radijatora
450	600	19
600	600	6
750	600	5
900	600	11
1050	600	101
1200	600	28
1350	600	1
1500	600	6
1650	600	4
2400	600	4

### 9.1.10 Odabir cirkulacijske pumpe kruga grijanja

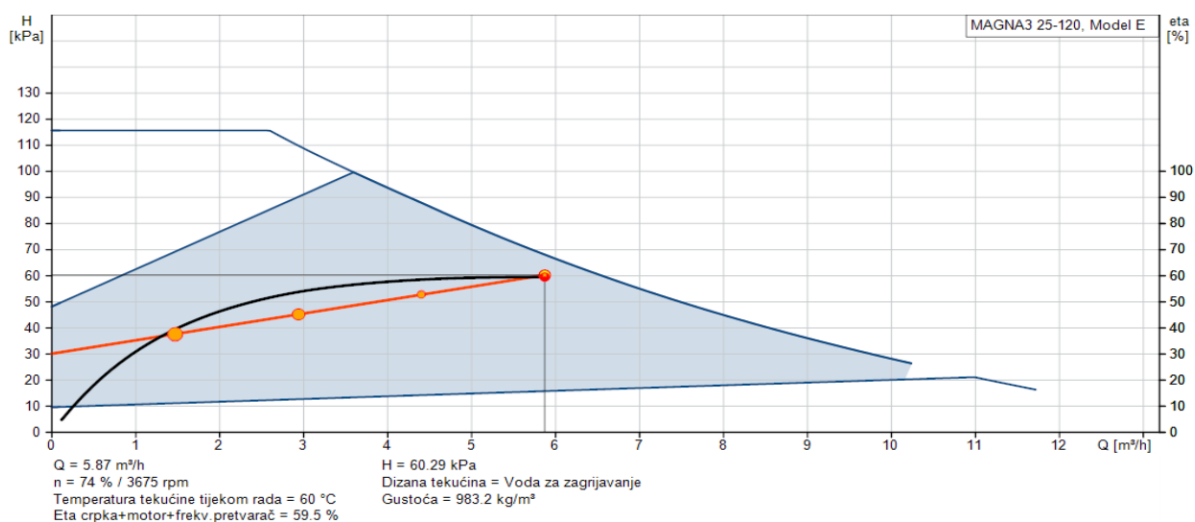
Cirkulacijske pumpe biraju se prema potrebnom protoku i padu tlaka kroz određenu dionicu. Odabir pumpi proveden je pomoću alata za odabir pumpi na stranici Grundfos [16]. U tablici 16 nalazi se primjer proračuna pada tlaka kruga od razdjelnika do učionica.

Tablica 16 Pad tlaka sekundarnog kruga od razdjelnika do učionica

Dionica	L	$\theta_{inst}$	$m_{cp}$	$q_m$	DN	du	v	R	RL	$\zeta$	Z	$\Sigma R \cdot L + Z$
[-]	[m]	[kW]	[W/K]	[kg/s]	[mm]	[mm]	[m/s]	[Pa/m]	[Pa]	[-]	[Pa]	[Pa]
1-2	6	68,41	6848	1,63	65	70,3	0,42	32,04	192,3	7,5	44,11	236,37
2-3	10,4	31,84	3187	0,76	40	43,1	0,52	87,46	909,6	2	270,45	1180,09
3-4	112,5	27,34	2737	0,65	40	43,1	0,48	66,45	7475,6	4	399,06	7874,67

4-5	0,5	14,61	1463	0,35	32	37,2	0,32	44,27	20,4	0,5	25,67	46,04
5-6	18,5	12,86	1287	0,31	32	37,2	0,28	35,30	653,7	0,5	19,88	637,58
7-8	18,7	11,51	1116	0,27	32	37,2	0,25	27,45	513,8	0,5	14,95	528,77
8-9	28,8	9,28	929	0,22	32	37,2	0,20	19,90	573,1	1	20,72	593,84
9-10	17,8	7,17	718	0,17	32	37,2	0,16	12,71	225,7	1	12,37	238,07
10-11	18,6	5,30	531	0,13	25	28,5	0,19	26,90	500,9	0,5	9,82	510,77
11-12	18,7	4,92	493	0,12	25	28,5	0,18	23,63	442,8	0,5	8,45	451,26
12-13	22,0	3,01	301	0,07	20	22,3	0,18	32,49	715,5	1,5	25,18	740,66
13-14	6,4	2,01	200	0,05	15	17,3	0,20	54,33	347,7	1,5	30,87	378,56
14-15	6,4	1,00	100	0,02	15	17,3	0,10	16,86	107,0	0,5	2,58	110,45
Pad tlaka razdjelnik/sabirnik [Pa]											8000	
Pad tlaka na zadnjem radijatoru [Pa]											15000	
Pad tlaka na termoregulacijskom ventilu [Pa]											12000	
Pad tlaka na regulacijsko-zapornom ventilu [Pa]											12000	
Ukupno [Pa]											61180,7	

Prema proračunu iz tablice 16 odabrana je pumpa Grundfos Magna 3 25-120, radne karakteristike prema slici 19.



**Slika 19** Dijagram radne točke pumpe Magna 3 25-120

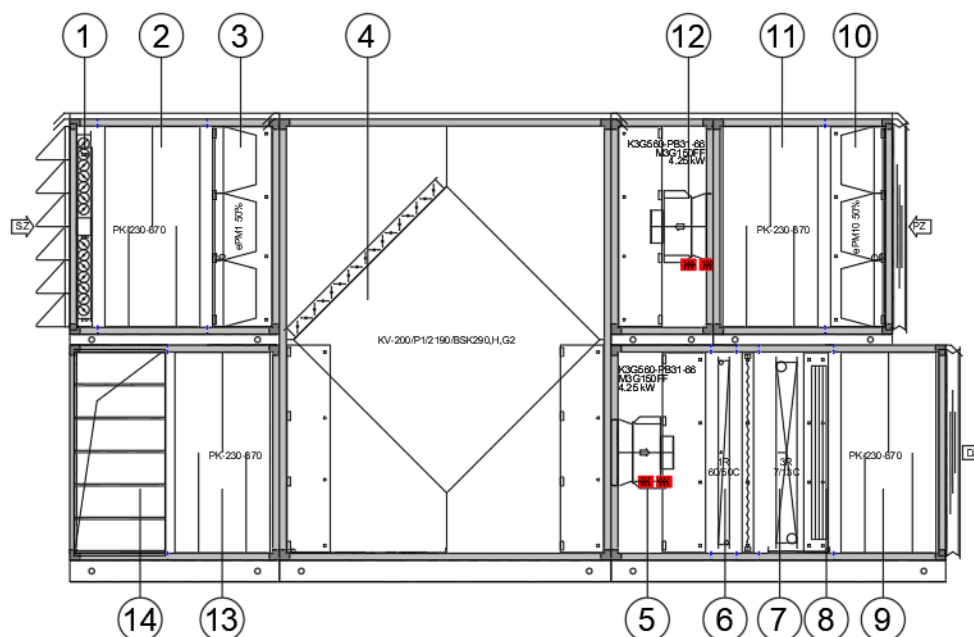
Istim principom odabrane su sve ostale pumpe korištene u radu. U Prilogu VI se nalaze dijagrami s radnim točkama svih pumpi.

## 9.2 VENTILACIJA

Ventilacijski otvori i pravilna distribucija zraka važni su za postizanje ugodnosti u prostoru. Pravilno postavljeni i dimenzionirani ventilacijski otvori omogućuju ravnomjernu raspodjelu dobavnog zraka u prostoru te učinkovito odvođenje zraka iz prostora. Pravilna distribucija zraka važna je kako ne bi nastale zone u prostoru do kojih ne dolazi zrak, što može dovesti do nakupljanja zagađivača ili štetnih mirisa u prostoru. Ventilacijski sustav treba omogućiti pravilno miješanje i distribuciju zraka. Od velike važnosti je brzina strujanja zraka u prostoru, koja mora biti u propisanim granicama, kako bi se izbjegao osjećaj propuha.

### 9.2.1 Klima jedinice za pripremu zraka

U sklopu tehničkog rješenja škole korištene su dvije klima jedinice za pripremu zraka, koje se nalaze na krovu objekta. Klima jedinice se koriste za centralnu pripremu zraka, koji je zatim zračnim kanalima distribuiran prema ciljanim prostorima. Obje klima jedinice za pripremu zraka sadrže rekuperator, grijač, hladnjak, filtere, ventilatore i ostalu popratnu opremu. Na slici 20 se nalazi klima jedinica za pripremu zraka 1.



Slika 20 Presjek klima jedinice za pripremu zraka 1 [17]

Dijelovi klima jedinice :

**1) Regulacijska zaklopka :**

TIP : SER100AL01RD

Materijal okvira : Aluminiij

**2) Prigušivač zvuka**

Model : PZ 3

Tip kulise : PK-230x1830x870-S-FEZ

Kvaliteta okvira kulisa : Pocičano

**3) Vrećasti filter F7**

Protok zraka :  $25850 \text{ m}^3/\text{h}$

Materijal filtera : stakleno vlakno

Klasa filtera : ePM1 50%, ISO16890

Duljina vreće : 380 mm

**4) Pločasti rekuperator**

Izvedba : protustrujni, s by-passom i žaluzijom

Tip : KV-200/P1/2190/BSK290,H,G2

Materijal : Aluminiij

Karakteristike : za režim grijanja i hlađenja

Učinkovitost rekuperatora u režimu grijanja :  $\eta_{gr} = 0,801$

Učinkovitost rekuperatora u režimu hlađenja :  $\eta_{hl} = 0,713$

**5) Ventilator bez spiralnog kućišta**

Tip ventilatora : 2x K3G560-PB31-66

Protok zraka po ventilatoru :  $12925 \text{ m}^3/\text{h}$

Eksterni pad tlaka : 300 Pa

Dinamički pad tlaka : 64 Pa

Snaga : 4,25 kW

Učinkovitost : 65,38 %

**6) Grijač**

Protok zraka :  $12850 \text{ m}^3/h$

Temperatura zraka na ulazu :  $13,4 \text{ }^\circ\text{C}$

Temperatura zraka na izlazu :  $20 \text{ }^\circ\text{C}$

Snaga grijača :  $28,41 \text{ kW}$

Materijal lamela : Aluminij

Materijal sabirnika : bakar

Materijal okvira : pocinčano

Pad tlaka medija u grijaču :  $16,53 \text{ kPa}$

**7) Hladnjak**

Protok zraka :  $25850 \text{ m}^3/h$

Temperatura zraka na ulazu :  $27 \text{ }^\circ\text{C}$

Relativna vlažnost zraka na ulazu :  $54 \%$

Temperatura zraka na izlazu :  $18 \text{ }^\circ\text{C}$

Relativna vlažnost zraka na izlazu :  $85 \%$

Učin hladnjaka :  $179,5 \text{ kW}$

Materijal lamela : Aluminij

Materijal sabirnika : Bakar

Materijal okvira : Nehrđajući čelik AISI 304

Pad tlaka medija u hladnjaku :  $36,1 \text{ kPa}$

**8) Eliminator kapljica**

Materijal okvira : Nehrđajući čelik AISI 304

Materijal lamela : PPTV

**9) Prigušivač zvuka**

Tip kulise : PK-230x1830x870-S-FEZ

Okvir kulise : Pocinčano

**10) Filter M5**

Protok zraka :  $24000 \text{ m}^3/h$

Materijal filtera : sintetski

Klasa filtera : ePM10 50%, ISO16890

Duljina vreće : 380 mm

### 11) Prigušivač zvuka

Tip kulise : PK-230x1830x870-S-FEZ

Okvir kulise : Pociščano

### 12) Ventilator bez spiralnog kućišta

Tip ventilatora : 2x K3G560-PB31-66

Protok zraka po ventilatoru :  $12000 \text{ m}^3/\text{h}$

Eksterni pad tlaka : 300 Pa

Dinamički pad tlaka : 55 Pa

Snaga : 4,25 kW

Učinkovitost : 65,44 %

### 13) Prigušivač zvuka

Tip kulise : PK-230x1830x870-S-FEZ

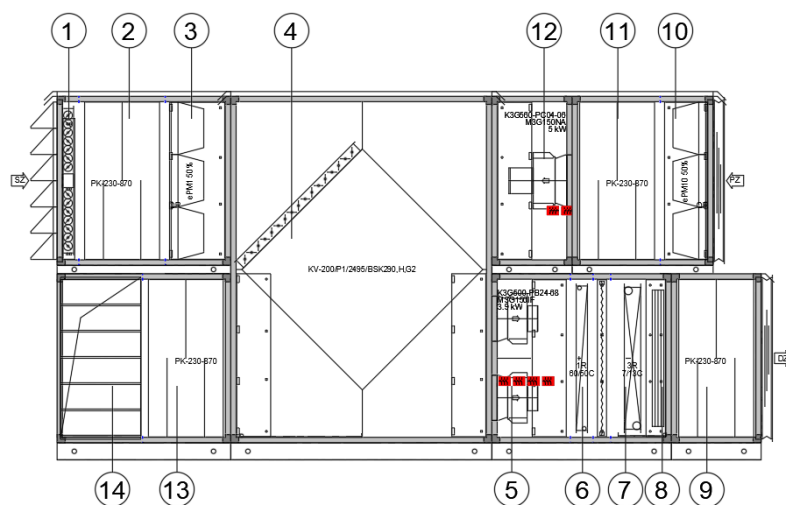
Okvir kulise : Pociščano

### 14) Regulacijska zaklopka

TIP : SER100AL01RD

Materijal okvira : Aluminij

Na slici 21 nalazi se klima jedinica 2, te ispis komponenti unutar klima jedinice.



Slika 21 Presjek klima jedinice 2 [17]

Dijelovi klima jedinice za pripremu zraka :

**1) Regulacijska zaklopka :**

TIP : SER100AL01RD

Materijal okvira : Aluminij

**2) Prigušivač zvuka**

Model : PZ 3

Tip kulise : PK-230x1830x870-S-FEZ

Kvaliteta okvira kulisa : Pocičano

**3) Vrećasti filter F7**

Protok zraka :  $31560 \text{ m}^3/h$

Materijal filtera : stakleno vlakno

Klasa filtera : ePM1 50%, ISO16890

Duljina vreće : 380 mm

**4) Pločasti rekuperator**

Izvedba : protustrujni, s by-passom i žaluzijom

Tip : KV-200/P1/2190/BSK290,H,G2

Materijal : Aluminij

Karakteristike : za režim grijanja i hlađenja

Učinkovitost rekuperatora u režimu grijanja :  $\eta_{gr} = 0,798$

Učinkovitost rekuperatora u režimu hlađenja :  $\eta_{hl} = 0,71$

**5) Ventilator bez spiralnog kućišta**

Tip ventilatora : 4x K3G500-PB24-68

Protok zraka po ventilatoru :  $7890 \text{ m}^3/h$

Eksterni pad tlaka : 300 Pa

Dinamički pad tlaka : 38 Pa

Snaga : 3,9 kW

Učinkovitost : 67,71 %

**6) Grijач**

Protok zraka :  $18560 \text{ m}^3/h$

Temperatura zraka na ulazu :  $13,3 \text{ }^\circ\text{C}$

Temperatura zraka na izlazu :  $20 \text{ }^\circ\text{C}$

Snaga grijaača :  $41,66 \text{ kW}$

Materijal lamela : Aluminiј

Materijal sabirnika : Bakar

Materijal okvira : Pocinčano

Pad tlaka medija u grijaaču :  $9,64 \text{ kPa}$

**7) Hladnjak**

Protok zraka :  $31560 \text{ m}^3/h$

Temperatura zraka na ulazu :  $27 \text{ }^\circ\text{C}$

Relativna vlažnost zraka na ulazu :  $54 \%$

Temperatura zraka na izlazu :  $18 \text{ }^\circ\text{C}$

Relativna vlažnost zraka na ulazu :  $85 \%$

Snaga hladnjaka :  $218,8 \text{ kW}$

Materijal lamela : Aluminiј

Materijal sabirnika : Bakar

Materijal okvira : Nehrđajući čelik AISI 304

Pad tlaka medija u hladnjaku :  $13,6 \text{ kPa}$

**8) Eliminator kapljica**

Materijal okvira : Nehrđajući čelik AISI 304

Materijal lamela : PPTV

**9) Prigušivač zvuka**

Tip kulise : PK-230x1830x870-S-FEZ

Okvir kulise : Pocinčano

**10) Filter M5**

Protok zraka :  $29130 \text{ m}^3/h$

Materijal filtera : sintetski



Klasa filtera : ePM10 50%, ISO16890

Duljina vreće : 380 mm

### **11) Prigušivač zvuka**

Tip kulise : PK-230x1830x870-S-FEZ

Okvir kulise : Pocinčano

### **12) Ventilator bez spiralnog kućišta**

Tip ventilatora : 2x K3G560-PC04-06

Protok zraka po ventilatoru :  $14565 \text{ m}^3/h$

Eksterni pad tlaka : 300 Pa

Dinamički pad tlaka : 86 Pa

Snaga : 5,0 kW

Učinkovitost : 64,85 %

### **13) Prigušivač zvuka**

Tip kulise : PK-230x1830x870-S-FEZ

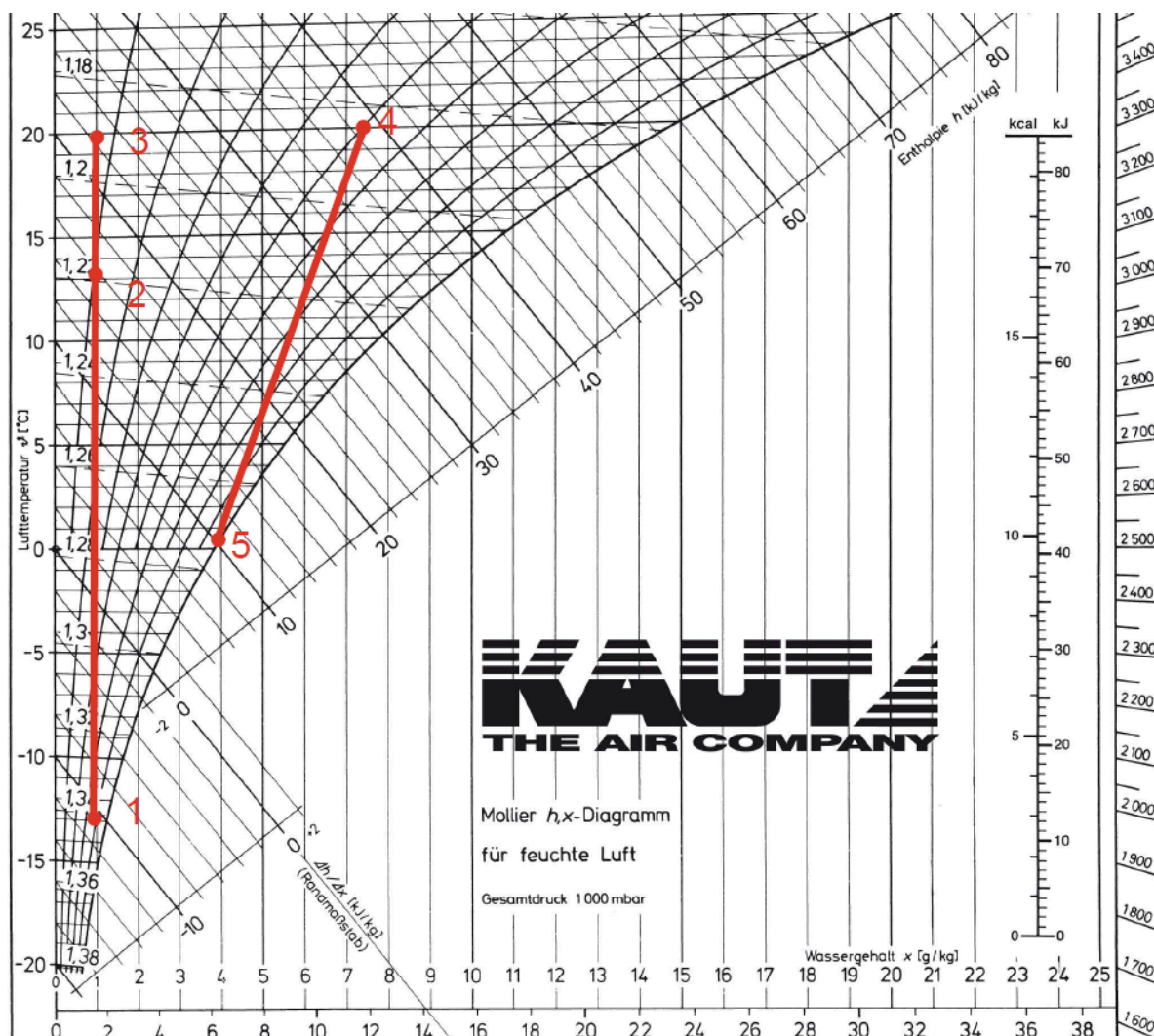
Okvir kulise : Pocinčano

### **14) Regulacijska zaklopka**

TIP : SER100AL01RD

Materijal okvira : Aluminij

Proces pripreme zraka prikazan je u dijagramu vlažnog zraka. Dijagram vlažnog zraka je grafički alat koji se koristi za prikazivanje svojstava vlažnog zraka te kako se mijenja njegova temperatura i vlaga. Zasebno su prikazani procesi pripreme zraka za zimski i ljetni režim. Prikazani proces pripreme zraka vrijedi za obje klima jedinice. Na slici 22 nalazi se dijagram s prikazanim procesom zraka u zimskom režimu, dok su u tablici 17 prikazane veličine stanja procesa.



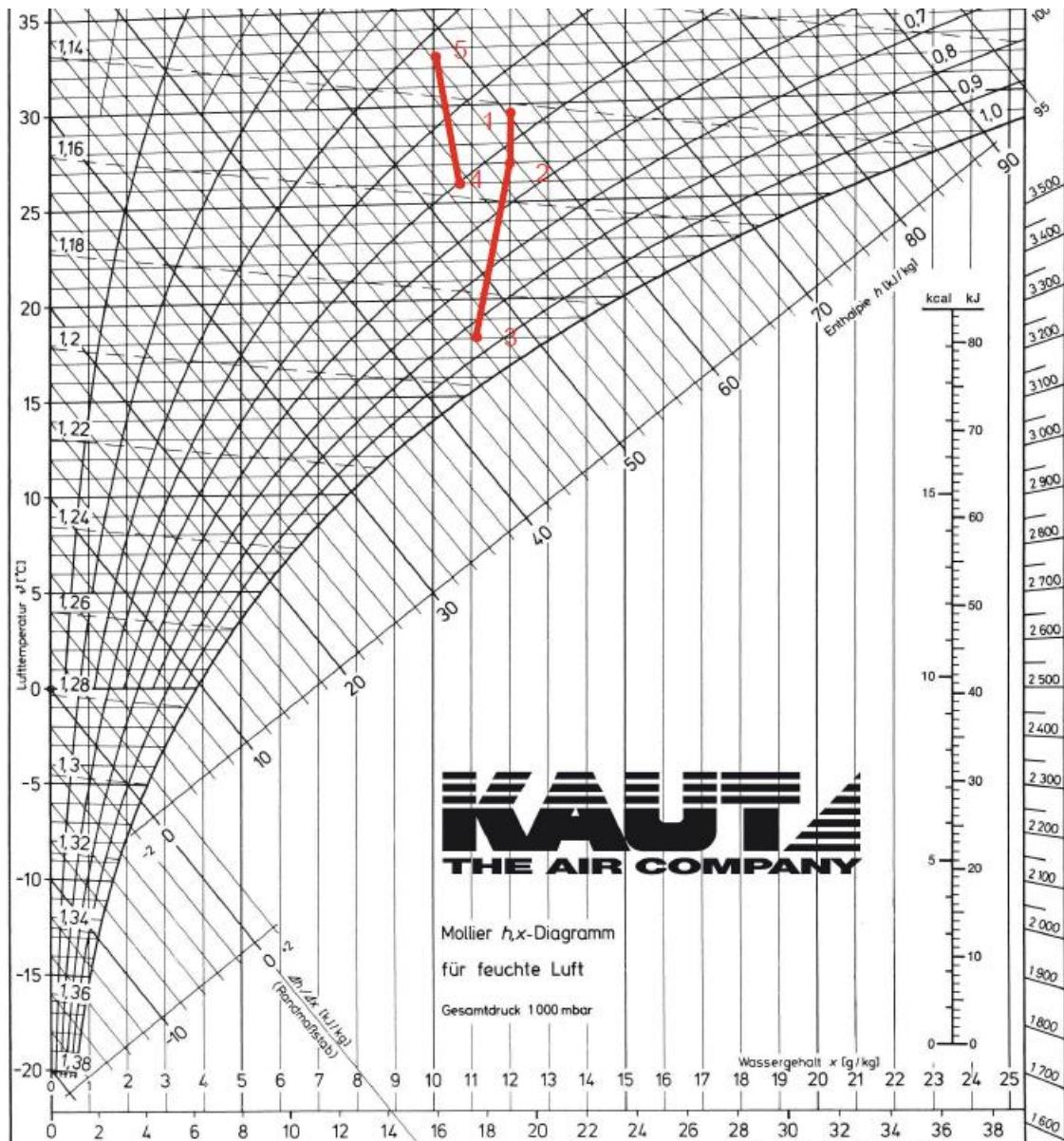
Slika 22 Proces pripreme zraka u zimskom režimu

Tablica 17 Veličine stanja za proces pripreme zraka zimi

Stanje	Točka [-]	Temperatura [°C]	Relativna vlažnost [%]	Sadržaj vlage [g/kg]	Entalpija [kJ/kg]
DOBAVA					
Vanjski zrak	1	-13	90	1	-10,5
Nakon rekuperatora	2	13,4	11,7	1	15,8
Nakon grijača	3	20	0,8	1	22,5

ODSIS					
Iz prostora	4	20	50	7,4	39
Nakon rekuperatora	5	0,5	100	3,9	10

Na slici 23 prikazan je proces pripreme zraka ljeti. Svježem toplom zraku potrebno je najprije spustiti temperaturu u rekuperatoru, a zatim u hladnjaku ohladiti na temperaturu ubacivanja ljeti, koja iznosi 18 °C. U tablici 18 se nalaze veličine stanja procesa za ljetni režim.



Slika 23 Proces pripreme zraka u ljetnom režimu

**Tablica 18 Veličine stanja za proces pripreme zraka ljeti**

Stanje	Točka [-]	Temperatura [°C]	Relativna vlažnost [%]	Sadržaj vlage [g/kg]	Entalpija [kJ/kg]
DOBAVA					
Vanjski zrak	1	29,6	45	16	60,3
Nakon rekuperatora	2	27	54	12,1	57,9
Nakon hladnjaka	3	18	85	11,2	46,1
ODSIS					
Iz prostora	4	26	50	10,8	53,1
Nakon rekuperatora	5	32,9	33,6	10,1	58,5

### 9.2.2 Difuzor za dobavu i odsis zraka

Dobava zraka u sve prostore izvedena je stropnim difuzorom DEK – K, proizvođača Klimaoprema [18]. Difuzor je namijenjen za ugradnju na visinu od 2,3 m do 4 m . Spoj s kanalom izveden je fleksibilnim kanalom, kako bi se izbjeglo prenošenje vibracija s kanalskog razvoda na difuzore. Prilikom odabira difuzora potrebno je definirati protok zraka kroz difuzor, udaljenost od zida, visinu prostorije, udaljenost između difuzora, sobnu temperaturu, te temperaturu dovoda zraka. Na slici 24 se nalazi primjer difuzora odabranog u radu. Isti tipovi korišteni su za odsis zraka iz učionica, ureda i blagovaonice.



**Slika 24 Stropni difuzor [18]**

Obzirom da se u ustanovi nalaze različite prostorije s različitim zahtjevima, veličina i protok kroz difuzor variraju od prostora do prostora. U tablici 19 se nalaze difuzori korišteni u radu.

Tablica 19 Difuzori

Difuzor	Raspon protoka zraka [ $m^3/h$ ]	Količina
DEK-K 600 -B-A-H-248-Z	500 - 850	142
DEK-K 500 -B-A-H-248-Z	350 - 400	8
DEK-K 400 -B-A-H-198-Z	150 - 300	6
DEK-K 300 -B-A-H-158-Z	100	12

Odsis zraka iz sanitarija izvodi se pomoću zračnih ventila ZOV, također proizvođača Klimaoprema [18]. Odsisni ventili su izrađeni od čeličnog lima, te su plastificirani u bijelu boju. Odabir odsisnih ventila vrši se prema potrebnoj količini zraka za odsisavanje iz prostora. Odsis iz sanitarija je preko fasade, pomoću kanalskog ventilatora. Na slici 25 se nalazi zračni odsisni ventil. Ventil identičnog izgleda, samo za dobavu zraka, ZOT, koristi se u radu za dobavu zraka u predprostore nekolicine sanitarija.

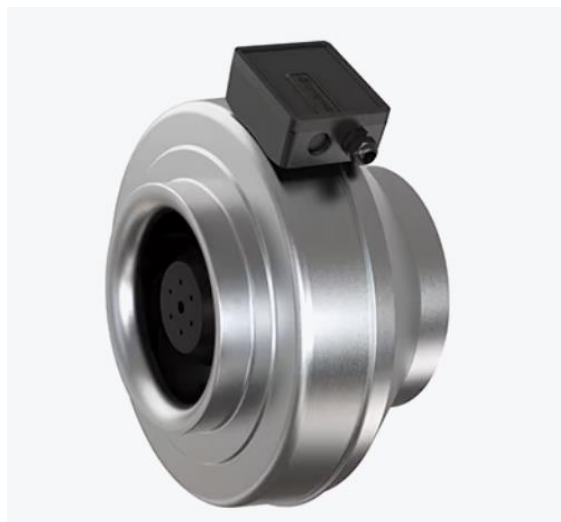


Slika 25 Odsisni ventil [18]

### 9.2.3 Ventilatori za odsis sanitarija

Ventilator je uređaj pogonjen elektomotorom, koji se koristi za dobavu ili odsis zraka. Osnovna funkcija je transport zraka rotiranjem lopatica ili krilaca. Ventilatori se dijele prema vrsti kretanja zraka i prema namjeni. Najčešća podjela ventilatora je na centrifugalne i aksijalne. Kod centrifugalnih ventilatora zrak struji u smjeru radijusa u odnosu na osovinu rotora, a kod aksijalnog zrak struji paralelno s osovinom.

Ventilatori za odsis sanitarija su uređaji dizajnirani za efikasno uklanjanje vlage, neugodnih mirisa i zagađenog zraka iz kupaonica, WC-a i drugih sanitarnih prostora. Uz tihi rad, ventilatori sadrže senzore za automatsko uključivanje i isključivanje, što doprinosi smanjenoj potrošnji energije. U sklopu rada korišteni su kanalni odsisni ventilatori proizvođača Systemair [19], pogonjeni visokoučinkovitim EC motorima. Primjer odsisnog ventilatora prikazan je na slici 26.



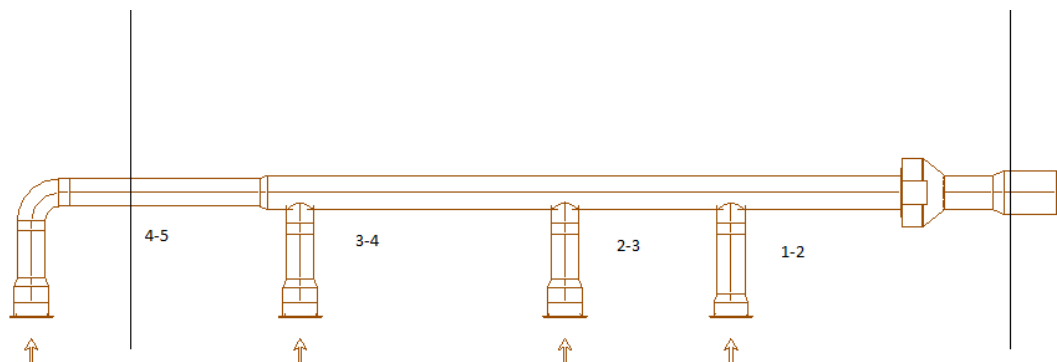
Slika 26 Odsisni ventilator Systemair [19]

Tipovi ventilatora odabrani su prema protoku zraka na temelju broja izmjena i padu tlaka u kanalskom razvodu. U tablici 20 je prikazan proračun pada tlaka za jedne sanitarije u sklopu zgrade.

Tablica 20 Proračun pada tlaka kritične dionice

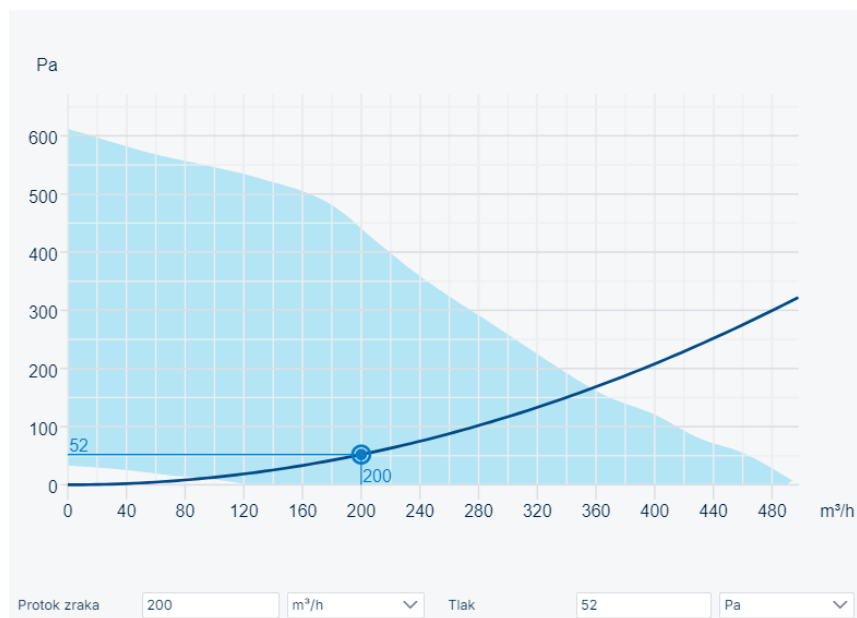
Dionica	qv	D	L	A	w	R	ζ	$\sum R \cdot L + Z$
[-]	[m <sup>3</sup> /h]	[mm]	[m]	[m <sup>2</sup> ]	[m/s]	[Pa/m]	[-]	[Pa]
1-2	200	125	1,2	0,012	4,53	2,53	0,13	4,64
2-3	160	125	0,6	0,012	3,62	1,68	0,13	1,99
3-4	120	125	1	0,012	2,72	0,99	0,15	1,63
4-5	60	100	1	0,008	2,12	0,84	0,36	1,79
Fasadna rešetka [Pa]								20
ZOV [Pa]								20

Ukupno [Pa]	52
Protok zraka [m <sup>3</sup> /h]	200



**Slika 27** Dionice odsisne ventilacije sanitarija 1

Prema prikazanom proračunu odabran je odsisni ventilator EC 125. Na slici 28 prikazana je radna točka ventilatora.



**Slika 28** Radna točka ventilatora [17]

Istim principom odabrani su svi ostali odsisni ventilatori korišteni u radu. U tablici 21 se nalaze odabrani ventilatori za odgovarajuće sanitarije.

Tablica 21 Odsisni ventilatori

Prostorija	Protok zraka [ $m^3/h$ ]	Odabran ventilator
Sanitarije 1	200	Systemair EC 125
Sanitarije 2	200	Systemair EC 125
Sanitarije 3	200	Systemair EC 125
Sanitarije 4	200	Systemair EC 160
Sanitarije inv	70	
Sanitarije 5	70	Systemair EC 125
Sanitarije 6	40	Systemair EC 100
Sanitarije 7	40	
Sanitarije 8	140	Systemair EC 125
Sanitarije 9	140	Systemair EC 125
Sanitarije 10	200	Systemair EC 125
Sanitarije 11	200	Systemair EC 125
Sanitarije 12	70	Systemair EC 125
Sanitarije 13	70	

#### 9.2.4 Regulatori protoka zraka

U radu se za regulaciju protoka zraka koriste varijabilni VAV (Variable Air Volume) regulatori. Pomoću regulatora ostvaruje se dinamička kontrola volumena zraka koji se isporučuje u različite zone ili prostorije zgrade. Njihova glavna funkcija je regulacija količine zraka ovisno o trenutnim potrebama prostorije, čime se poboljšava energetska efikasnost i udobnost unutar prostora. VAV regulatori omogućuju prilagodbu protoka zraka u svakoj prostoriji, ovisno o senzorskim očitajima temperature ili razine  $CO_2$ . Kada senzori očitaju promjenu unutar prostora (npr. porast temperature), VAV regulator automatski povećava ili smanjuje volumen zraka kako bi postigao željenu temperaturu prostora. Korištenjem takve vrste regulacije protoka smanjuje se potrošnja energije zbog smanjenja volumena zraka u prostorima u koji se ne koriste, pruža se točna količina zraka koja je potrebna i smanjuje se opterećenje klima sustava za pripremu zraka jer se smanjuje broj ciklusa uključivanja i isključivanja sustava. U radu su korišteni VAV regulatori tvrtke Klimaoprema [18], tip RVP-C (za kružne kanale) i RVP-P (za pravokutne kanale). Na slici 29 se nalazi primjer VAV regulatora.





**Slika 29** Regulator varijabilnog protoka VAV, tip RVP-C [19]

### 9.2.5 Upravljač sustava ventilacije

Lokalno upravljanje temperaturom i provjerom vrijednosti  $\text{CO}_2$  u prostorijama omogućeno je preko zidnih upravljačkih LCD modula iSMA CONTROLLI s integriranim osjetnicima temperature, prema slici 30. Povezivanje modula s upravljačkim sustavom predviđeno je putem Modbus RTU komunikacijskog protokola. Osim osnovnih funkcija mogu se prikazivati dodatne informacije poput alarma ili upravljanja rasvjetom. Također, modul uključuje senzor vlage.



**Slika 30** Upravljač iSMA CONTROLLI

## 10. TEHNIČKI OPIS RADA SUSTAVA

Tehničko rješenje grijanja, hlađenja i mehaničke ventilacije izrađeno je za školu na području Zagreba. Škola se sastoji od prizemlja i prvog kata, ukupne površine 3217 m<sup>2</sup>. U prizemlju škole nalaze se učionice, kabineti, sanitarije, kuhinja, blagovaonica, biblioteka i kabineti. Na katu škole se uz učionice i kabinete nalazi zbornica, uredi i sanitarije. Toplinsko opterećenje zgrade iznosi 470,2 kW (Prilog I), a rashladno opterećenje iznosi 184,1 kW (Prilog II).

### 10.1 Sustav grijanja i hlađenja

Unutar škole, kao zaseban prostor, na sjeverozapadnoj strani zgrade smještena je toplinska i rashladna stanica unutar koje se priprema topla i hladna voda prema potrebama pojedinih tehnoloških cjelina i vrsta instalacija. Potrebne količine tople vode u režimu 60/50 °C pripremaju se kombinacijom kondenzacijskog plinskog kotla i dvije dizalice topline. Kondenzacijski kotao Hoval Ultragas 300 smješten je u toplinskoj stanici. Ogrjevnost kondenzacijskog kotla je 283 kW, dok svaka dizalica topline pri zimskom projektu opterećenju isporučuje toplinski učin od 132 kW. U režimu hlađenja svaka dizalica topline u projektnim uvjetima omogućuje rashladni učin od 213 kW. Dizalice topline kompaktne izvedbe sustava zrak – voda predviđene su za vanjsku ugradnju, a način izvedbe dizalice topline omogućuje spajanje i povezivanje više dizalica topline. U sklopu isporuke pojedine dizalice topline ugrađena je i hidraulička grupa s inverterskom pumpom spremna za rad u sustavu promjenjivog protoka vode. Inverterska tehnologija za svaki kompresor unutar dizalice topline omogućuje regulaciju brzine kompresora prema trenutnom opterećenju sustava. Obzirom da dizalica topline sadrži 6 kompresora, osigurava se maksimalna operativna sigurnost i smanjeni rizik od zastoja u radu kroz 6 odvojenih krugova. Također, koncept s odvojenim krugovima omogućuje da u slučaju odmrzavanja jednog kruga u režimu grijanja ostali krugovi preuzmu na sebe „gubitak“ toplinskog učina kako korisnik ne bi osjetio smanjenu izlaznu temperaturu vode, odnosno osigurava se kontinuirano grijanje i pri najnižim temperaturama okoline. Dizalice topline smještene su na tlu, odmaknute od škole. Spojni cjevovod (četiri cijevi) od dizalice topline do toplinsko/rashladne stanice vodi se kroz tlo. Cijevi tople vode od dizalice topline i od kondenzacijskog kotla koji se nalazi u toplinsko/rashladnoj stanici spajaju se na hidrauličku skretnicu tople vode koja je ujedno i inercijski spremnik, ukupnog volumena 2000 l. Zgrada je podijeljena na pet krugova grijanja spojenih na razdjelnik i sabirnik, zajedno s grijačima klima jedinica za pripremu zraka i grijačem potrošne tople vode. Troputni miješajući ventili, smješteni na svakoj grani, reguliraju omjer vode iz povrata i vode iz inercijskog spremnika. Dvocijevnim

sustavom radijatora grijat će se svi prostori zgrade. Razvod cjevovoda od toplinske stanice do ogrjevnih tijela je pod stropom. Na radijatore se ugrađuju termostatski ventili s termostatskom glavom, kojima se regulira temperatura prostorije na način da se upravlja protokom ogrjevne vode kroz radijator. Centralni nadzorni sustav kontinuirano prati temperaturu u spremniku, vanjsku temperaturu te potrebe svakog kruga grijanja, izdajući naredbe ventilima i izvorima topline. Ako je potražnja visoka, sustav može prioritetno uključiti kondenzacijski kotao uz dizalice topline, dok pri nižim zahtjevima dizalice topline samostalno pokrivaju potrebe za grijanjem.

Ljeti se voda u režimu 7/13 °C priprema pomoću dvije dizalice topline. Distribucija rashladne vode vrši se preko inercijskog spremnika kruga hlađenja volumena 3000 l koji se nalazi u toplinsko/rashladnoj stanici, dalje prema hladnjacima klima jedinica za pripremu zraka. Regulacija rashladne vode je putem troputnog ventila na povratu iz hladnjaka. Rashladna voda iz inercijskog spremnika dolazi do hladnjaka klima jedinice gdje se preko troputnog miješajućeg ventila regulira omjer vode iz spremnika i povratne vode iz izmjenjivača klima jedinice. Ako je temperatura povratne vode iz klima jedinice niska, troputni miješajući ventil smanjuje protok vode prema izmjenjivaču kako bi se spriječilo prehlađivanje zraka. U slučaju većeg zahtjeva za hlađenjem, povećava se protok rashladne vode kroz izmjenjivač. Klima jedinice za pripremu zraka se nalaze na krovu zgrade.

## 10.2 Ventilacija

Uz sustav grijanja, predviđen je i sustav mehaničke ventilacije škole. Priprema zraka za mehaničku ventilaciju vrši se pomoću dvije dvoetažne klima jedinice smještene na krovu objekta. Klima sustavi opremljeni su rekuperatorom topline, tlačnim i odsisnim ventilatorom s frekventnom regulacijom, vodenim grijačem i hladnjakom, filterima, prigušivačem buke, te ostalim potrebnim elementima za nesmetan rad klima jedinice. Klima jedinice će u zimskom i prijelaznom režimu služiti isključivo za mehaničko ventiliranje prostora škole, dok će se u ljetnom periodu pripremati zrak za hlađenje učionica i popratnih prostora. Ukupno se u klima jedinicama priprema 57410 m<sup>3</sup>/h zraka. Razvod kanala od klima jedinice do šahta je horizontalan, zatim prelazi u vertikalu, spušta se i grana kanalima na prvi kat i prizemlje. Kanali za distribuciju zraka opremljeni su regulatorima varijabilnog protoka zraka. Zadaća regulatora varijabilnog protoka zraka je povećanje ili smanjenje protoka ovisno o potrebama prostora. Pogon regulatora povezan je s osjetnikom temperature i osjetnikom CO<sub>2</sub>, koji ovisno o temperaturi u prostoru i kvaliteti zraka otvaraju ili pritvaraju regulator. Rekuperatorom topline

omogućava se iskorištenje otpadne topline zimi i rashladne energije ljeti na način da se na temelju zadanog algoritma u pripadajućem DDC regulatoru vrši usporedba temperature otpadnog i svježeg zraka. Ovisno o temperaturnim uvjetima žaluzine se pozicioniraju tako da zrak struji preko rekuperatora kada je aktivan povrat topline iz prostora ili preko bypass žaluzinam, kada je aktivna opcija „free cooling“. Dobava i odsis zraka unutar prostora izveden je pomoću stropnih difuzora DEK-K. Za ventilaciju prostora sanitarija koriste se odsisni sustavi pomoću lokalnih odsisnih ventilatora s protupovratnim zaklopkama, smještenih u spuštenu strop sanitarija. Odvod zraka je izveden preko odsisne rešetke na fasadi. Odsisni ventilator povezan je s električnim krugom rasvjete u sanitarijama. Kada korisnik uključi svjetlo, električni signal također pokreće ventilator kojim se odvodi zrak i vlaga iz prostora. Nakon što se svjetlo isključi, ventilator se može isključiti odmah ili nastaviti raditi određeno vrijeme, ovisno o prisutnosti vremenske odgode u sustavu. Dobava zraka u sanitarije je putem prestrujnih rešetki na vratima iz okolnih prostora.

## 11. ZAKLJUČAK

Radom je razrađeno tehničko rješenje grijanja, hlađenja i mehaničke ventilacije škole na području Zagreba. Zgrada se sastoji od prizemlja i prvog kata, ukupne površine 3217 m<sup>2</sup>. Postojeći sustav grijanja s kotlovima na lož ulje zamjenjuje se kombinacijom kondenzacijskog kotla toplinskog učina 283 kW i dvije dizalice topline, svaka toplinskog učina 132 kW u zimskim projektnim uvjetima. Temperaturni režim u grijanju je srednjetermaturni, 60/50°C. Tehno-ekonomskom analizom prikazana je potrošnja energije za tri različita sustava. Pokazano je da iako je sustav s kondenzacijskim kotlovima investicijski najjeftiniji, pogonski troškovi takvog sustava su najveći. Također, prema prikazanim proračunima odabrani sustav s dvije dizalice topline i kondenzacijskim kotlom nije najpovoljniji, ali odabran je iz tehničkih i ekoloških razloga. Odabirom nekog od preostala dva sustava bilo bi potrebno ugraditi dodatan rashladnik vode za hlađenje zraka ljeti. Nadalje, obzirom da navedena zgrada prelazi dopuštenu vrijednost potrebne energije za grijanje od 27,2 kWh/(m<sup>2</sup>·a), primarna energija termotehničkog sustava mora biti 20% niža od dopuštene vrijednosti 90 kWh/(m<sup>2</sup>·a) kako bi se zadovoljio Tehnički propis o racionalnoj uporabi energije. Odabirom sustava s dvije dizalice topline i kondenzacijskim kotlom najmanje su emisije ugljikovog dioksida te odabrani sustav zadovoljava Tehnički propis o racionalnoj uporabi energije. Uz sustav grijanja predviđeno je i rješenje sustava mehaničke ventilacije zgrade. Zrak za distribuciju priprema se u klima jedinicama za pripremu zraka koje se nalaze na krovu zgrade. Ukupni volumni protok zraka iznosi 57410 m<sup>3</sup>/h. Razvod zraka dimenzioniran je prema ljetnom režimu rada sustava. Temperatura ubacivanja zraka ljeti iznosi 18 °C. Za upravljanje sustavom grijanja, hlađenja i mehaničke ventilacije predviđen je centralni nadzorni i upravljački sustav (CNUS). Tehničko rješenje prikazano u radu ostvaruje značajne uštede energije u odnosu na sustav bez obnovljivih izvora energije, smanjuje emisije ugljikovog dioksida i povećava komfor unutar prostora škole. Ipak, glavni razlog zašto se tehnička rješenja poput centralnog sustava mehaničke ventilacije ne pojavljuju u školama je visoka cijena investicije te zahtjevno i skupo održavanje. Obzirom da niti jednim zakonom nije obavezno hlađenje i mehaničko ventiliranje škole, rijetke su škole u kojima su izvedena ovakva ili slična rješenja.

---

**LITERATURA**

- [1] - Igor Balen; Podloge za predavanje iz kolegija „Grijanje“, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb
- [2] - <https://preventa.hr/zastita-na-radu-upit/nepovoljna-mikroklima>
- [3] - <http://os-mjzgorke-zg.skole.hr/>
- [4] - HRN EN 12831
- [5] - <https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/dodatni/432856.pdf>
- [6] - <https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/dodatni/438515.pdf>
- [7] –VDI 2078
- [8] – Vladimir Soldo, Silvio Novak, Ivan Horvat; Algoritam za proračun potrebne energije za grijanje i hlađenje prostora zgrade prema HRN EN 13790
- [9] - <https://vlada.gov.hr/>
- [10] - <https://www.hep.hr/elektra/poduzetnistvo/tarifne-stavke-cijene-1578/1578>
- [11] - <https://www.ashrae.org>
- [12] - <https://www.hoval.co.uk/>
- [13] - <https://www.swegon.com/>
- [14] - <https://flamco.aalberts-hfc.com/>
- [15] - <https://www.radson.com/>
- [16] - <https://product-selection.grundfos.com/>
- [17] - <https://www.proklima.hr/>
- [18] - <https://www.klimaoprema.hr/>
- [19] - <https://www.systemair.com/hr>

**PRILOG I – Proračun toplinskog opterećenja zgrade**

<b>K1</b>	<b>Kat 0</b>					
<b>P</b>	<b>Prostorija</b>	<b>A (m<sup>2</sup>)</b>	<b>t<sub>u</sub> (°C)</b>	<b>Φ<sub>n</sub> (W)</b>	<b>Φ<sub>T</sub> (W)</b>	<b>Φ<sub>V</sub> (W)</b>
P1	Vjetrobran	26	20	1288	810	478
P2	Hodnik 1	21	18	599	237	362
P3	Portirnica 1	1	20	59	25	34
P4	Portirnica 2	3	20	581	523	58
P5	Učionica 1	50	20	2216	1316	900
P6	Kabinet 1	18	20	1167	836	331
P7	Kabinet 2	20	20	1027	661	366
P8	Učionica 2	78	20	3997	2588	1409
P9	Predprostor sanitarija 1	13	20	531	283	248
P10	Sanitarije 1	12	20	939	279	660
P11	Sanitarije 2	12	20	1137	445	692
P12	Učionica 3	58	20	2984	1935	1049
P13	Učionica 4	58	20	2863	1814	1049
P14	Učionica 5	58	20	2863	1814	1049
P15	Učionica 6	58	20	3124	2075	1049
P16	Hodnik 2	104	18	3433	1666	1767
P17	Ulazni prostor	100	18	6481	2845	3636
P18	Ulazni prostor 2	120	18	3285	1253	2032
P19	Hodnik 3	93	18	2529	954	1575
P20	Učionica 7	58	20	2994	1945	1049
P21	Učionica 8	58	20	2871	1822	1049
P22	Učionica 9	58	20	2871	1822	1049
P23	Učionica 10	58	20	2948	1899	1049
P24	Predprostor sanitarija 2	6	20	163	43	120
P25	Sanitarije invalidi 1	4	20	432	198	234
P26	Sanitarije 3	11	20	1068	431	637
P27	Sanitarije 4	12	20	1082	433	649
P29	Predprostor sanitarija 3	2	20	670	620	50
P30	Kuhinja	39	20	3112	1010	2102
P31	Blagovaona	103	20	6254	2247	4007
P32	Hodnik 4	5	18	281	189	92
P33	Ulazni prostor 3	2	18	374	337	37
P34	Garderoba 1	3	20	289	220	69
P35	Sanitarije 5	4	20	676	450	226
P36	Spremište	7	10	308	209	99
P37	Umivaonici	17	18	605	310	295
P38	Hodnik 5	25	18	478	55	423
P39	Garderobe 2	77	20	2423	1039	1384

P40	Učionica 11	58	20	2890	1839	1051
P41	Učionica 12	17	20	878	560	318
P42	Učionica 13	56	20	2891	1881	1010
P43	Predprostor	18	18	1069	758	311
P44	Hodnik 6	40	18	2434	1746	688
P45	Biblioteka	48	20	2124	1260	864
P46	Spremište	7	15	291	172	119
P47	Kabinet 3	26	20	1730	1254	476
P48	Kabinet 4	10	20	698	507	191
P49	Predprostor 2	2	18	63	17	46
P50	Sanitarije 6	1	20	178	73	105
P51	Sanitarije 7	2	20	225	79	146
P52	Predprostor 3	2	18	63	17	46
P53	Kabinet 5	10	20	696	505	191
P54	Sanitarije 8	8	20	666	217	449
P55	Sanitarije 9	8	20	701	251	450
P56	Dvorana za korektivnu gimnastiku	58	18	2658	1728	930
P57	Garderoba 3	16	22	1186	920	266
P58	Predprostor 4	2	22	135	98	37
P59	Sanitarije 10	2	20	163	44	119
P60	Sanitarije 11	2	20	163	44	119
P61	Predprostor 5	2	22	148	105	43
P62	Garderoba 4	16	22	841	575	266
P63	Tuševi 1	7	24	349	227	122
P64	Tuševi 2	7	24	349	227	122
P65	Čisti hodnik	55	18	1314	521	793
P66	Hodnik 7	8	18	181	57	124
P67	Nečisti hodnik	71	18	5641	4620	1021
P68	Garderoba 5	16	22	878	612	266
P69	Predprostor 6	2	22	135	98	37
P70	Sanitarije 12	2	20	163	44	119
P71	Sanitarije 13	2	20	163	44	119
P72	Predprostor 7	2	22	148	105	43
P73	Garderoba 6	16	22	1148	882	266
P74	Tuševi 3	7	24	349	227	122
P75	Tuševi 4	7	24	349	227	122
P76	Ulazni prostor_dvorana	43	18	1876	1264	612
P77	Ulazni prostor_bazen	13	18	957	761	196
P78	Kabinet 6	14	20	605	387	218
P79	Hodnik 8	11	18	229	72	157
P80	Svlačionica 1	27	22	1274	838	436
P81	Hodnik 9	24	18	1056	706	350
P82	Garderoba 7	4	22	112	38	74
P83	Garderoba 8	6	22	236	138	98



P84	Garderoba 9	6	22	236	138	98
P85	Garderoba 10	6	22	236	138	98
P86	Garderoba 11	6	22	477	379	98
P87	Svlačionica 2	25	22	963	549	414
P88	Tuševi 5	9	24	939	774	165
P89	Sanitarije 14	2	20	134	19	115
P90	Sanitarije 15	2	20	134	19	115
P91	Tuševi 6	9	24	454	292	162
P92	Tuševi za invalide	5	24	339	244	95
P93	Bazen	359	28	33643	16156	17487
P94	Dvorana	678	18	64922	15208	49714
	<b>Ukupno: Kat 0</b>			<b>213882</b>	<b>98299</b>	<b>115583</b>

<b>K2</b>	<b>Kat 1</b>					
<b>P</b>	<b>Prostorija</b>	<b>A (m<sup>2</sup>)</b>	<b>t<sub>u</sub> (°C)</b>	<b>Φ<sub>n</sub> (W)</b>	<b>Φ<sub>T</sub> (W)</b>	<b>Φ<sub>V</sub> (W)</b>
P1	Zbornica	85	20	4938	3403	1535
P2	Kabinet 7	20	20	1004	633	371
P3	Kabinet 8	18	20	1081	745	336
P4	Hodnik 8	106	18	3671	1883	1788
P5	Kabinet 9	18	20	1349	1024	325
P6	Kabinet 10	20	20	1242	874	368
P7	Kabinet 11	18	20	1175	842	333
P8	Učionica 14	59	20	3514	2445	1069
P9	Predprostor sanitarija 4	13	20	539	291	248
P10	Sanitarije 14	11	20	905	263	642
P11	Sanitarije 15	12	20	1084	392	692
P12	Učionica 15	58	20	3002	1953	1049
P13	Učionica 16	58	20	2917	1868	1049
P14	Učionica 17	58	20	2917	1868	1049
P15	Učionica 18	58	20	3113	2064	1049
P16	Stepenište 1	18	18	1549	874	675
P17	Hodnik/galerija	232	18	5798	1884	3914
P18	Učionica 19	58	20	3040	1991	1049
P19	Učionica 20	58	20	2920	1871	1049
P20	Učionica 21	58	20	2920	1871	1049
P21	Učionica 22	58	20	2993	1944	1049
P22	Pretprostor sanitarija 5	14	20	1195	944	251
P23	Sanitarije 16	11	20	1012	380	632
P24	Sanitarije 17	12	20	1031	382	649
P25	Hodnik 9	93	18	2539	964	1575
P26	Kabinet 12	19	20	1630	1282	348
P27	Učionica 23	79	20	4489	3061	1428
P28	Pretprostor ureda	6	20	196	87	109
P29	Ured 1	12	20	779	559	220
P30	Ured 2	17	20	956	638	318

P31	Kabinet 13	19	20	997	649	348
P32	Ured 3	18	20	981	646	335
P33	Ured 4	17	20	1157	839	318
P34	Kabinet 14	6	20	315	194	121
P35	Sanitarije 18	3	20	340	132	208
P36	Sanitarije 19	4	20	429	202	227
P37	Stepenište 2	21	18	735	371	364
	<b>Ukupno: Kat 1</b>			<b>70452</b>	<b>42313</b>	<b>28139</b>
	<b>Ukupno:</b>			<b>284334</b>	<b>140612</b>	<b>143722</b>

**PRILOG II – Proračun rashladnog opterećenja zgrade**

	<b>21. Lipanj</b>	<b>23. Srpanj</b>	<b>24. Kolovoz</b>	<b>22. Rujan</b>
K1 Kat 0 \ P1 Vjetrobran	14	14	14	14
K1 Kat 0 \ P2 Hodnik 1	0	0	0	0
K1 Kat 0 \ P3 Portirnica 1	0	0	0	0
K1 Kat 0 \ P4 Portirnica 2	0	0	0	0
K1 Kat 0 \ P5 Učionica 1	3195	3257	3221	3080
K1 Kat 0 \ P6 Kabinet 1	288	320	266	173
K1 Kat 0 \ P7 Kabinet 2	287	319	265	172
K1 Kat 0 \ P8 Učionica 2	4684	4810	4598	4221
K1 Kat 0 \ P9 Predprostor sanitarija 1	334	388	491	545
K1 Kat 0 \ P10 Sanitarije 1	61	76	67	37
K1 Kat 0 \ P11 Sanitarije 2	346	400	503	557
K1 Kat 0 \ P12 Učionica 3	4962	5332	6045	6434
K1 Kat 0 \ P13 Učionica 4	4848	5303	6007	6269
K1 Kat 0 \ P14 Učionica 5	5191	5561	6274	6663
K1 Kat 0 \ P15 Učionica 6	5557	5927	6640	7029
K1 Kat 0 \ P16 Hodnik 2	1702	1836	1680	1320
K1 Kat 0 \ P17 Ulazni prostor	683	789	769	540
K1 Kat 0 \ P18 Ulazni prostor 2	0	0	0	0
K1 Kat 0 \ P19 Hodnik 3	472	499	428	322
K1 Kat 0 \ P20 Učionica 7	5191	5561	6274	6663
K1 Kat 0 \ P21 Učionica 8	5191	5561	6274	6663
K1 Kat 0 \ P22 Učionica 9	5191	5561	6274	6663
K1 Kat 0 \ P23 Učionica 10	5404	5859	6563	6825
K1 Kat 0 \ P24 Predprostor sanitarija 2	0	0	0	0
K1 Kat 0 \ P25 Sanitarije invalidi 1	335	390	494	551
K1 Kat 0 \ P26 Sanitarije 3	674	784	992	1106
K1 Kat 0 \ P27 Sanitarije 4	232	264	218	136
K1 Kat 0 \ P29 Predprostor sanitarija 3	121	137	114	73
K1 Kat 0 \ P30 Kuhinja	297	340	331	235
K1 Kat 0 \ P31 Blagovaona	88	88	88	88
K1 Kat 0 \ P32 Hodnik 4	6	6	6	6
K1 Kat 0 \ P33 Ulazni prostor 3	3	3	3	3
K1 Kat 0 \ P34 Garderoba 1	4	4	4	4
K1 Kat 0 \ P35 Sanitarije 5	4	4	4	4
K1 Kat 0 \ P36 Spremište	38	44	43	29
K1 Kat 0 \ P37 Umivaonici	0	0	0	0
K1 Kat 0 \ P38 Hodnik 5	0	0	0	0
K1 Kat 0 \ P39 Garderobe 2	0	0	0	0
K1 Kat 0 \ P40 Učionica 11	4095	4196	4037	3745
K1 Kat 0 \ P41 Učionica 12	1454	1488	1435	1338
K1 Kat 0 \ P42 Učionica 13	4095	4196	4037	3745
K1 Kat 0 \ P43 Predprostor	- 7	- 7	- 7	- 7
K1 Kat 0 \ P44 Hodnik 6	614	718	700	472
K1 Kat 0 \ P45 Biblioteka	139	170	152	82

K1 Kat 0 \ P46 Spremište	47	57	52	29
K1 Kat 0 \ P47 Kabinet 3	186	227	203	112
K1 Kat 0 \ P48 Kabinet 4	108	133	119	63
K1 Kat 0 \ P49 Predprostor 2	2	2	2	2
K1 Kat 0 \ P50 Sanitarije 6	2	2	2	2
K1 Kat 0 \ P51 Sanitarije 7	2	2	2	2
K1 Kat 0 \ P52 Predprostor 3	2	2	2	2
K1 Kat 0 \ P53 Kabinet 5	108	133	118	63
K1 Kat 0 \ P54 Sanitarije 8	7	7	7	7
K1 Kat 0 \ P55 Sanitarije 9	15	15	15	15
K1 Kat 0 \ P56 Dvorana za korektivnu gimnastiku	586	681	663	458
K1 Kat 0 \ P57 Garderoba 3	14	14	14	14
K1 Kat 0 \ P58 Predprostor 4	2	2	2	2
K1 Kat 0 \ P59 Sanitarije 10	2	2	2	2
K1 Kat 0 \ P60 Sanitarije 11	2	2	2	2
K1 Kat 0 \ P61 Predprostor 5	2	2	2	2
K1 Kat 0 \ P62 Garderoba 4	14	14	14	14
K1 Kat 0 \ P63 Tuševi 1	6	6	6	6
K1 Kat 0 \ P64 Tuševi 2	6	6	6	6
K1 Kat 0 \ P65 Čisti hodnik	48	48	48	48
K1 Kat 0 \ P66 Hodnik 7	7	7	7	7
K1 Kat 0 \ P67 Nečisti hodnik	6474	7522	9502	10551
K1 Kat 0 \ P68 Garderoba 5	14	14	14	14
K1 Kat 0 \ P69 Predprostor 6	2	2	2	2
K1 Kat 0 \ P70 Sanitarije 12	2	2	2	2
K1 Kat 0 \ P71 Sanitarije 13	2	2	2	2
K1 Kat 0 \ P72 Predprostor 7	2	2	2	2
K1 Kat 0 \ P73 Garderoba 6	14	14	14	14
K1 Kat 0 \ P74 Tuševi 3	6	6	6	6
K1 Kat 0 \ P75 Tuševi 4	6	6	6	6
K1 Kat 0 \ P76 Ulazni prostor dvorana	678	783	981	1086
K1 Kat 0 \ P77 Ulazni prostor bazen	951	1106	1395	1549
K1 Kat 0 \ P78 Kabinet 6	237	275	348	386
K1 Kat 0 \ P79 Hodnik 8	9	9	9	9
K1 Kat 0 \ P80 Svlačionica 1	23	23	23	23
K1 Kat 0 \ P81 Hodnik 9	16	16	16	16
K1 Kat 0 \ P82 Garderoba 7	4	4	4	4
K1 Kat 0 \ P83 Garderoba 8	5	5	5	5
K1 Kat 0 \ P84 Garderoba 9	5	5	5	5
K1 Kat 0 \ P85 Garderoba 10	5	5	5	5
K1 Kat 0 \ P86 Garderoba 11	5	5	5	5
K1 Kat 0 \ P87 Svlačionica 2	22	22	22	22
K1 Kat 0 \ P88 Tuševi 5	8	8	8	8
K1 Kat 0 \ P89 Sanitarije 14	2	2	2	2
K1 Kat 0 \ P90 Sanitarije 15	2	2	2	2
K1 Kat 0 \ P91 Tuševi 6	8	8	8	8
K1 Kat 0 \ P92 Tuševi za invalide	0	0	0	0

K1 Kat 0 \ P93 Bazen	4734	5303	5947	5950
K1 Kat 0 \ P94 Dvorana	23200	23590	21047	17751
K2 Kat 1 \ P1 Zbornica	621	758	678	370
K2 Kat 1 \ P2 Kabinet 7	143	174	156	86
K2 Kat 1 \ P3 Kabinet 8	141	172	154	84
K2 Kat 1 \ P4 Hodnik 8	1121	1255	1099	739
K2 Kat 1 \ P5 Kabinet 9	343	375	321	228
K2 Kat 1 \ P6 Kabinet 10	350	382	328	235
K2 Kat 1 \ P7 Kabinet 11	344	376	322	229
K2 Kat 1 \ P8 Učionica 14	4352	4478	4266	3889
K2 Kat 1 \ P9 Predprostor sanitarija 4	349	404	507	563
K2 Kat 1 \ P10 Sanitarije 14	71	86	77	47
K2 Kat 1 \ P11 Sanitarije 15	360	415	518	574
K2 Kat 1 \ P12 Učionica 15	5248	5618	6331	6720
K2 Kat 1 \ P13 Učionica 16	5241	5611	6324	6713
K2 Kat 1 \ P14 Učionica 17	5241	5611	6324	6713
K2 Kat 1 \ P15 Učionica 18	5241	5611	6324	6713
K2 Kat 1 \ P16 Stepenište 1	331	382	337	197
K2 Kat 1 \ P17 Hodnik/galerija	604	647	614	494
K2 Kat 1 \ P18 Učionica 19	5241	5611	6324	6713
K2 Kat 1 \ P19 Učionica 20	5241	5611	6324	6713
K2 Kat 1 \ P20 Učionica 21	5241	5611	6324	6713
K2 Kat 1 \ P21 Učionica 22	5395	5765	6478	6867
K2 Kat 1 \ P22 Pretprostor sanitarija 5	463	529	611	627
K2 Kat 1 \ P23 Sanitarije 16	349	403	508	565
K2 Kat 1 \ P24 Sanitarije 17	128	142	119	79
K2 Kat 1 \ P25 Hodnik 9	457	484	413	307
K2 Kat 1 \ P26 Kabinet 12	303	337	284	187
K2 Kat 1 \ P27 Učionica 23	4186	4320	4108	3719
K2 Kat 1 \ P28 Pretprostor ureda	5	5	5	5
K2 Kat 1 \ P29 Ured 1	296	330	277	180
K2 Kat 1 \ P30 Ured 2	301	335	282	185
K2 Kat 1 \ P31 Kabinet 13	303	337	284	187
K2 Kat 1 \ P32 Ured 3	302	336	283	186
K2 Kat 1 \ P33 Ured 4	319	353	300	203
K2 Kat 1 \ P34 Kabinet 14	89	99	83	54
K2 Kat 1 \ P35 Sanitarije 18	70	77	64	42
K2 Kat 1 \ P36 Sanitarije 19	57	63	53	36
K2 Kat 1 \ P37 Stepenište 2	359	372	364	306
Sat	13	13	13	13
<b>Ukupno (W)</b>	<b>162603</b>	<b>173778</b>	<b>184142</b>	<b>182561</b>

**PRILOG III – Proračun potrošnje energije – kondenzacijski kotlovi**

BIN (razred)		Broj sati	Kumulativno sati	Opterećenje [kW]	Učin kotla [kW]	Faktor korekcije [-]	Potrošnja [kWh]	Potrošnja [€]
1	od -15 do -14	0	0					
2	od -14 do -13	0	0					
3	od -13 do -12	0	0					
4	od -12 do -11	0	0					
5	od -11 do -10	0	0					
6	od -10 do -9	24	24	317,8	317,8	0,377	2877,5	334,1
7	od -9 do -8	38	62	309	309	0,377	4429,9	514,4
8	od -8 do -7	39	101	299,3	299,3	0,377	4403,8	511,3
9	od -7 do -6	56	157	290,1	290,1	0,377	6129,0	711,6
10	od -6 do -5	49	206	281,2	281,2	0,377	5198,4	603,6
11	od -5 do -4	90	296	271,8	271,8	0,377	9228,9	1071,6
12	od -4 do -3	113	409	262,6	262,6	0,377	11195,1	1299,9
13	od -3 do -2	145	554	250,5	250,5	0,377	13703,5	1591,1
14	od -2 do -1	175	729	244,44	244,44	0,377	16138,6	1873,9
15	od -1 do 0	213	942	235,01	235,01	0,377	18885,2	2192,8
16	od 0 do 1	217	1159	226	226	0,377	18502,3	2148,3
17	od 1 do 2	257	1416	213,5	213,5	0,377	20700,8	2403,6
18	od 2 do 3	288	1704	207,55	207,55	0,377	22551,3	2618,5
19	od 3 do 4	279	1983	198,5	198,5	0,377	20894,0	2426,0
20	od 4 do 5	293	2276	189,2	189,2	0,377	20914,4	2428,4
21	od 5 do 6	303	2579	180,02	180,02	0,377	20578,8	2389,4
22	od 6 do 7	264	2843	165,3	165,3	0,377	16463,9	1911,6
23	od 7 do 8	294	3137	160,3	160,3	0,377	17780,2	2064,5
24	od 8 do 9	289	3426	149,2	149,2	0,377	16267,6	1888,8
25	od 9 do 10	286	3712	128,9	128,9	0,377	13908,3	1614,9
26	od 10 do 11	270	3982	121,3	121,3	0,377	12356,1	1434,7
27	od 11 do 12	265	4247	116	116	0,377	11597,4	1346,6

**PRILOG IV – Proračun potrošnje energije jedne dizalice topline u****kombinaciji s kondenzacijskim kotlovima**

BIN (razred)		Broj sati	Kumulativno sati	Opterećenje zgrade [kW]	Učin DT[kW]	El. snaga trošila [kW]	Potrošnja [kWh]	Potrošnja [€]
1	od -15 do -14	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
2	od -14 do -13	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
3	od -13 do -12	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
4	od -12 do -11	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
5	od -11 do -10	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
6	od -10 do -9	24,0	24,0	317,8	135,0	78,0	706,6	91,7
7	od -9 do -8	38,0	62,0	309,0	149,0	86,1	1234,8	160,3
8	od -8 do -7	39,0	101,0	299,3	154,0	89,0	1309,8	170,0
9	od -7 do -6	56,0	157,0	290,1	158,0	83,6	1766,2	229,3
10	od -6 do -5	49,0	206,0	281,2	161,0	85,2	1574,8	204,4
11	od -5 do -4	90,0	296,0	271,8	166,0	87,8	2982,3	387,1
12	od -4 do -3	113,0	409,0	262,6	169,0	87,1	3713,8	482,1
13	od -3 do -2	145,0	554,0	250,5	172,0	88,7	4850,1	629,5
14	od -2 do -1	175,0	729,0	244,4	176,0	90,7	5989,7	777,5
15	od -1 do 0	213,0	942,0	235,0	179,0	92,3	7414,6	962,4
16	od 0 do 1	217,0	1159,0	226,0	180,0	90,0	7368,2	956,4
17	od 1 do 2	257,0	1416,0	213,5	183,0	83,2	8065,3	1046,9
18	od 2 do 3	288,0	1704,0	207,6	186,0	84,5	9186,3	1192,4
19	od 3 do 4	279,0	1983,0	198,5	190,0	86,4	9090,6	1180,0
20	od 4 do 5	293,0	2276,0	189,2	197,0	89,5	9898,5	1284,8
21	od 5 do 6	303,0	2579,0	180,0	180,0	81,8	9354,0	1214,1
22	od 6 do 7	264,0	2843,0	165,3	165,3	66,1	6585,6	854,8
23	od 7 do 8	294,0	3137,0	160,3	160,3	64,1	7112,1	923,1
24	od 8 do 9	289,0	3426,0	149,2	149,2	57,4	6256,8	812,1
25	od 9 do 10	286,0	3712,0	128,9	128,9	47,7	5151,2	668,6
26	od 10 do 11	270,0	3982,0	121,3	121,3	44,9	4576,3	594,0
27	od 11 do 12	265	4247,0	116,0	116,0	43,0	4295,3	557,5

BIN (razred)		Broj sati	Kumulativno sati	Učín kotla [kW]	Potrošnja [kWh]	Potrošnja [€]
1	od -15 do -14	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
2	od -14 do -13	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
3	od -13 do -12	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
4	od -12 do -11	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
5	od -11 do -10	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
6	od -10 do -9	24,0	24,0	182,8	1655,2	192,2
7	od -9 do -8	38,0	62,0	160,0	2293,8	266,3
8	od -8 do -7	39,0	101,0	145,3	2137,9	248,2
9	od -7 do -6	56,0	157,0	132,1	2790,9	324,1
10	od -6 do -5	49,0	206,0	120,2	2222,1	258,0
11	od -5 do -4	90,0	296,0	105,8	3592,4	417,1
12	od -4 do -3	113,0	409,0	93,6	3990,3	463,3
13	od -3 do -2	145,0	554,0	78,5	4294,3	498,6
14	od -2 do -1	175,0	729,0	68,4	4518,6	524,7
15	od -1 do 0	213,0	942,0	56,0	4500,9	522,6
16	od 0 do 1	217,0	1159,0	46,0	3765,9	437,3
17	od 1 do 2	257,0	1416,0	30,5	2957,3	343,4
18	od 2 do 3	288,0	1704,0	21,6	2341,5	271,9
19	od 3 do 4	279,0	1983,0	8,5	894,7	103,9
20	od 4 do 5	293,0	2276,0	0,0	0,0	0,0
21	od 5 do 6	303,0	2579,0	0,0	0,0	0,0
22	od 6 do 7	264,0	2843,0	0,0	0,0	0,0
23	od 7 do 8	294,0	3137,0	0,0	0,0	0,0
24	od 8 do 9	289,0	3426,0	0,0	0,0	0,0
25	od 9 do 10	286,0	3712,0	0,0	0,0	0,0
26	od 10 do 11	270,0	3982,0	0,0	0,0	0,0
27	od 11 do 12	265	4247,0	0,0	0,0	0,0



**PRILOG V – Proračun potrošnje energije dvije dizalice topline i****kondenzacijskog kotla**

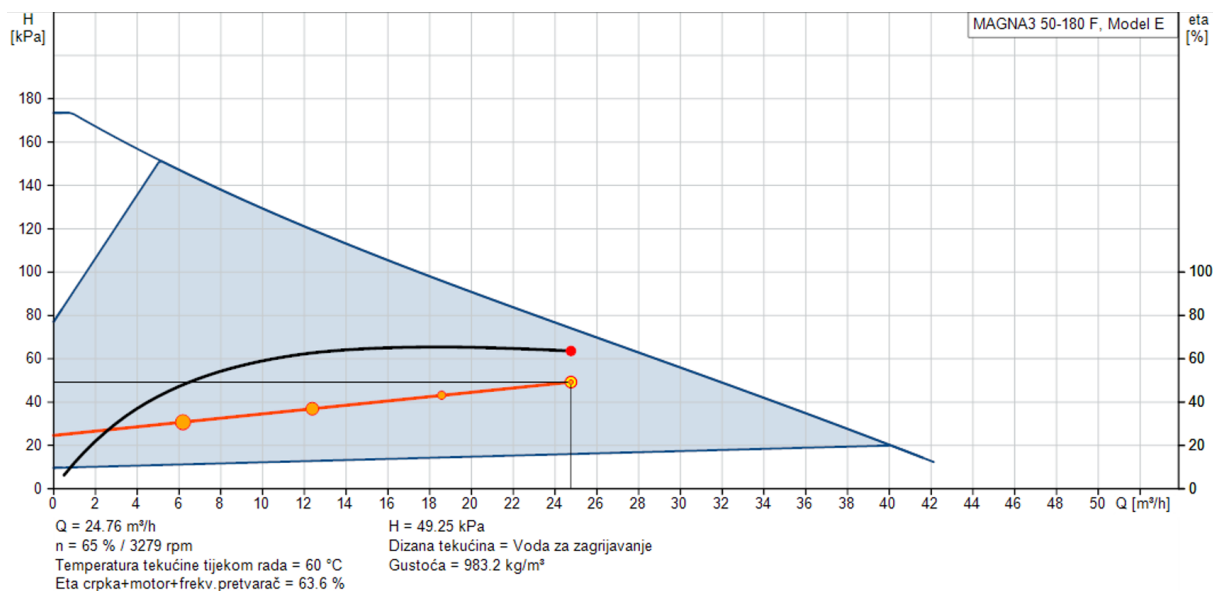
BIN (razred)		Broj sati	Kumulativno sati	Opterećenje zgrade [kW]	Učin DT[kW]	El. snaga trošila [kW]	Potrošnja [kWh]	Potrošnja [€]
1	od -15 do -14	0	0				0,0	0,0
2	od -14 do -13	0	0				0,0	0,0
3	od -13 do -12	0	0				0,0	0,0
4	od -12 do -11	0	0				0,0	0,0
5	od -11 do -10	0	0				0,0	0,0
6	od -10 do -9	24	24	317,8	135,0	78,0	706,6	91,7
7	od -9 do -8	38	62	309	149,0	86,1	1234,8	160,3
8	od -8 do -7	39	101	299,3	149,7	86,5	1272,8	165,2
9	od -7 do -6	56	157	290,1	145,1	76,7	1621,4	210,5
10	od -6 do -5	49	206	281,2	140,6	74,4	1375,2	178,5
11	od -5 do -4	90	296	271,8	135,9	71,9	2441,5	316,9
12	od -4 do -3	113	409	262,6	131,3	67,7	2885,3	374,5
13	od -3 do -2	145	554	250,5	125,3	64,6	3531,8	458,4
14	od -2 do -1	175	729	244,44	122,2	63,0	4159,4	539,9
15	od -1 do 0	213	942	235,01	117,5	60,6	4867,3	631,8
16	od 0 do 1	217	1159	226	113,0	56,5	4625,6	600,4
17	od 1 do 2	257	1416	213,5	106,8	48,5	4704,7	610,7
18	od 2 do 3	288	1704	207,55	103,8	47,2	5125,3	665,3
19	od 3 do 4	279	1983	198,5	99,3	45,1	4748,6	616,4
20	od 4 do 5	293	2276	189,2	94,6	43,0	4753,3	617,0
21	od 5 do 6	303	2579	180,02	180,0	81,8	9354,0	1214,1
22	od 6 do 7	264	2843	165,3	165,3	66,1	6585,6	854,8
23	od 7 do 8	294	3137	160,3	160,3	64,1	7112,1	923,1
24	od 8 do 9	289	3426	149,2	149,2	57,4	6256,8	812,1
25	od 9 do 10	286	3712	128,9	128,9	47,7	5151,2	668,6
26	od 10 do 11	270	3982	121,3	121,3	44,9	4576,3	594,0
27	od 11 do 12	265	4247	116	116,0	43,0	4295,3	557,5

BIN (razred)		Broj sati	Kumulativno sati	Učin DT2 [kW]	El. snaga trošila [kW]	Potrošnja [kWh]	Potrošnja [€]	Učin kotla [kW]	Potrošnja [kWh]	Potrošnja [€]
1	od -15 do -14	0				0,0	0,0			
2	od -14 do -13	0	0			0,0	0,0			
3	od -13 do -12	0	0			0,0	0,0			
4	od -12 do -11	0	0			0,0	0,0			
5	od -11 do -10	0	0			0,0	0,0			
6	od -10 do -9	24	24	135,0	78,0	706,6	91,7	47,8	432,8	50,3
7	od -9 do -8	38	62	149,0	86,1	1234,8	160,3	11,0	157,7	18,3
8	od -8 do -7	39	101	149,7	86,5	1272,8	165,2			
9	od -7 do -6	56	157	145,1	76,7	1621,4	210,5			
10	od -6 do -5	49	206	140,6	74,4	1375,2	178,5			
11	od -5 do -4	90	296	135,9	71,9	2441,5	316,9			
12	od -4 do -3	113	409	131,3	67,7	2885,3	374,5			
13	od -3 do -2	145	554	125,3	64,6	3531,8	458,4			
14	od -2 do -1	175	729	122,2	63,0	4159,4	539,9			
15	od -1 do 0	213	942	117,5	60,6	4867,3	631,8			
16	od 0 do 1	217	1159	113,0	56,5	4625,6	600,4			
17	od 1 do 2	257	1416	106,8	48,5	4704,7	610,7			
18	od 2 do 3	288	1704	103,8	47,2	5125,3	665,3			
19	od 3 do 4	279	1983	99,3	45,1	4748,6	616,4			
20	od 4 do 5	293	2276	94,6	43,0	4753,3	617,0			
21	od 5 do 6	303	2579		0,0	0,0	0,0			
22	od 6 do 7	264	2843		0,0	0,0	0,0			
23	od 7 do 8	294	3137		0,0	0,0	0,0			
24	od 8 do 9	289	3426		0,0	0,0	0,0			
25	od 9 do 10	286	3712		0,0	0,0	0,0			
26	od 10 do 11	270	3982		0,0	0,0	0,0			
27	od 11 do 12	265	4247		0,0	0,0	0,0			

## PRILOG VI – Odabir pumpi primarnog i sekundarnog kruga

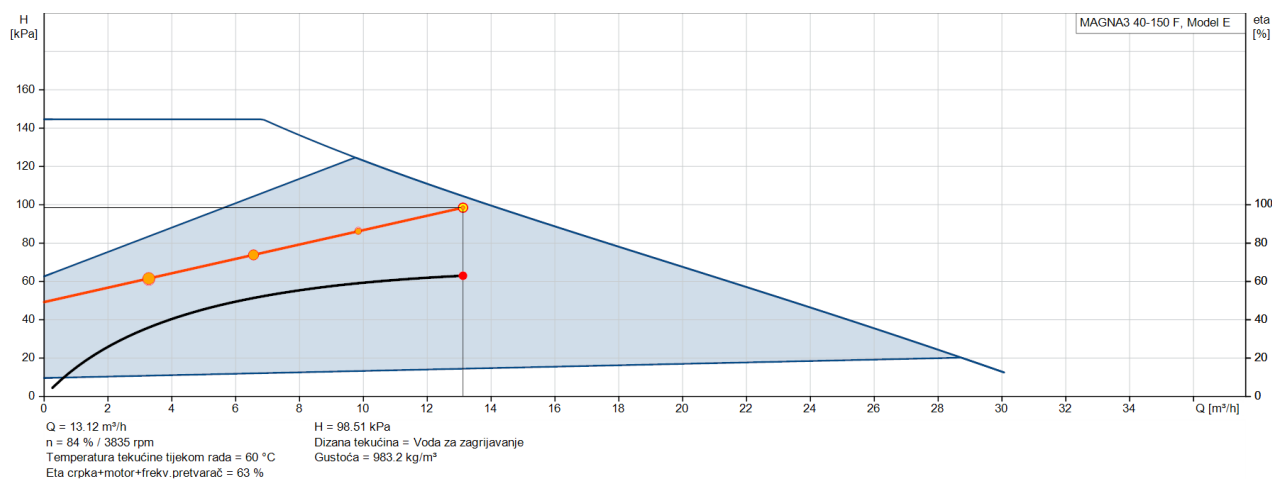
P1/P2 (radna/rezervna) - Pumpa primarnog kruga – od kotla do razdjelnika/sabirnika

Odabrana pumpa : Magna 3 50-180 F ;  $q_v = 24,76 \text{ m}^3/\text{h}$ ,  $\Delta p = 50 \text{ kPa}$



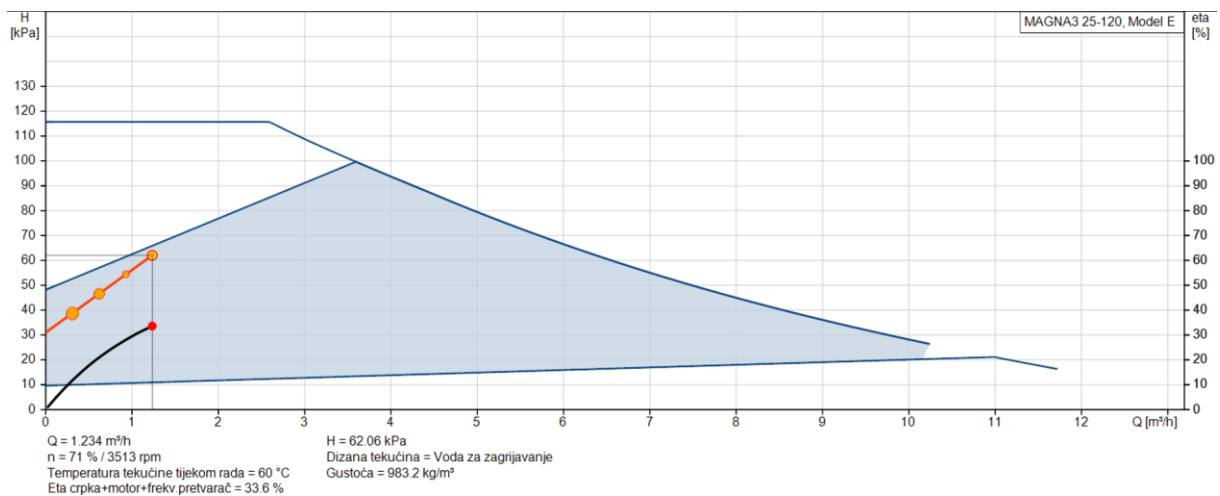
P3 – Pumpa sekundarnog kruga – od razdjelnika do bazena/dvorane

Odabrana pumpa : Magna 3 40-150 F ;  $q_v = 13,12 \text{ m}^3/\text{h}$ ,  $\Delta p = 100 \text{ kPa}$



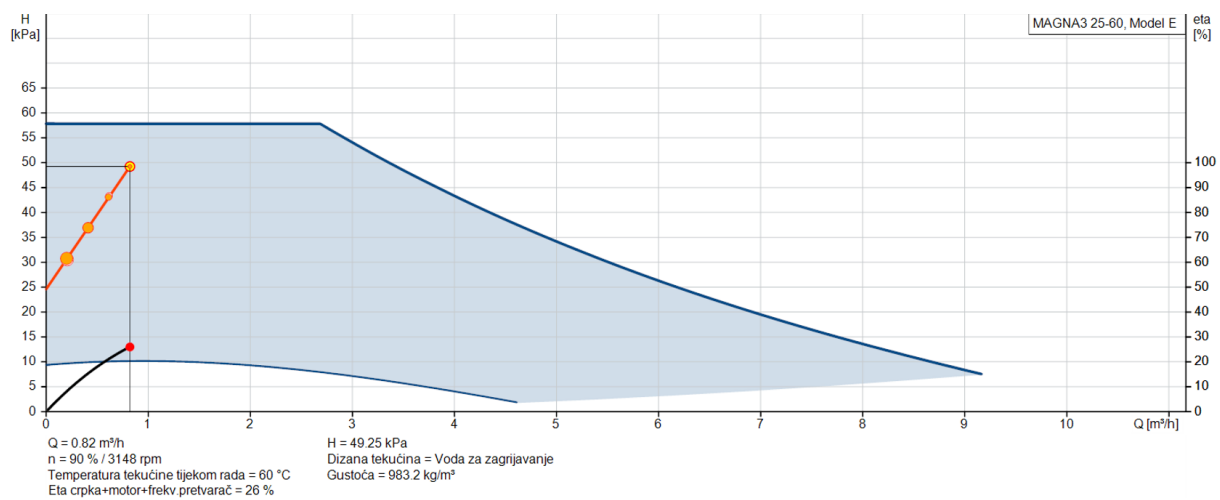
P4 – Pumpa sekundarnog kruga – od razdjelnika do kabineta/ureda/zbornica

Odabrana pumpa : Magna 3 25-120 ;  $q_v = 1,23 \text{ m}^3/\text{h}$ ,  $\Delta p = 63 \text{ kPa}$



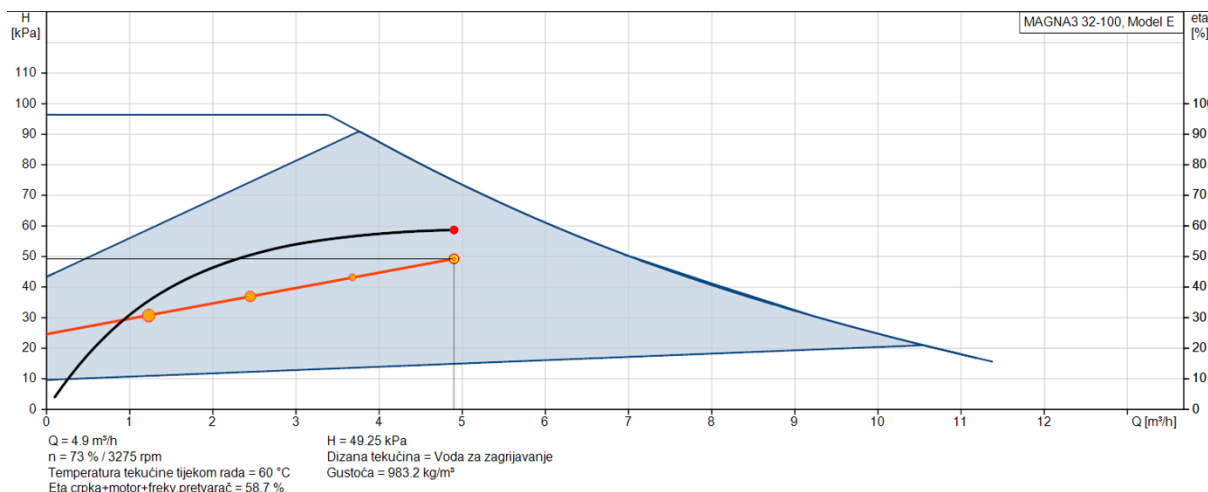
P5 – Pumpa sekundarnog kruga – od razdjelnika do blagovaonice/kuhinje

Odabrana pumpa : Magna 3 25-60 ;  $q_v = 0,82 \text{ m}^3/\text{h}$ ,  $\Delta p = 50 \text{ kPa}$



P6 – Pumpa sekundarnog kruga – od razdjelnika do hodnika/sanitarija

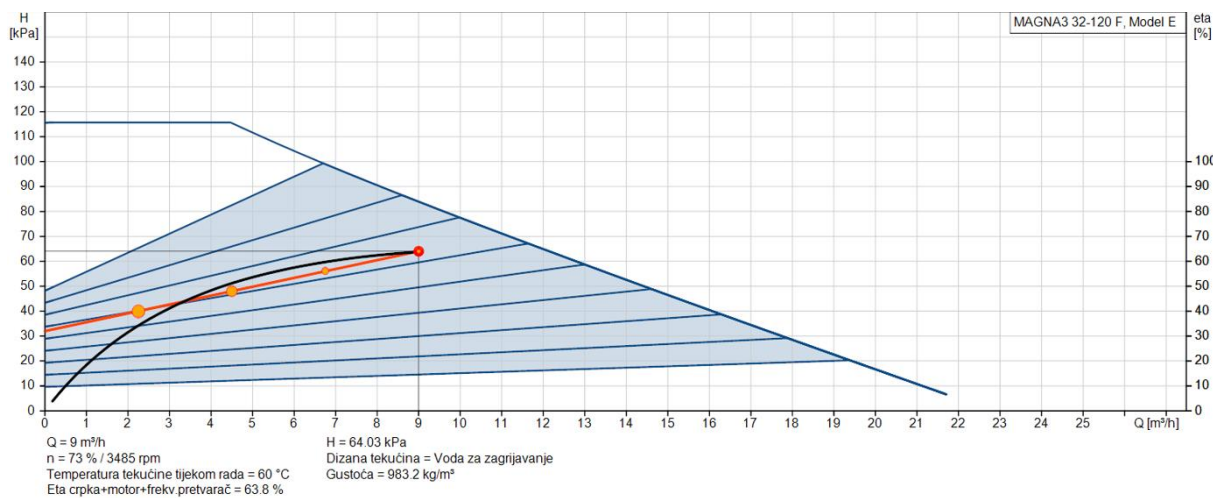
Odabrana pumpa : Magna 3 32-100 ;  $q_v = 4,91 \text{ m}^3/\text{h}$ ,  $\Delta p = 56 \text{ kPa}$



P7 – Pumpa sekundarnog kruga – od razdjelnika do učionica – odabir u poglavlju 9.1.10

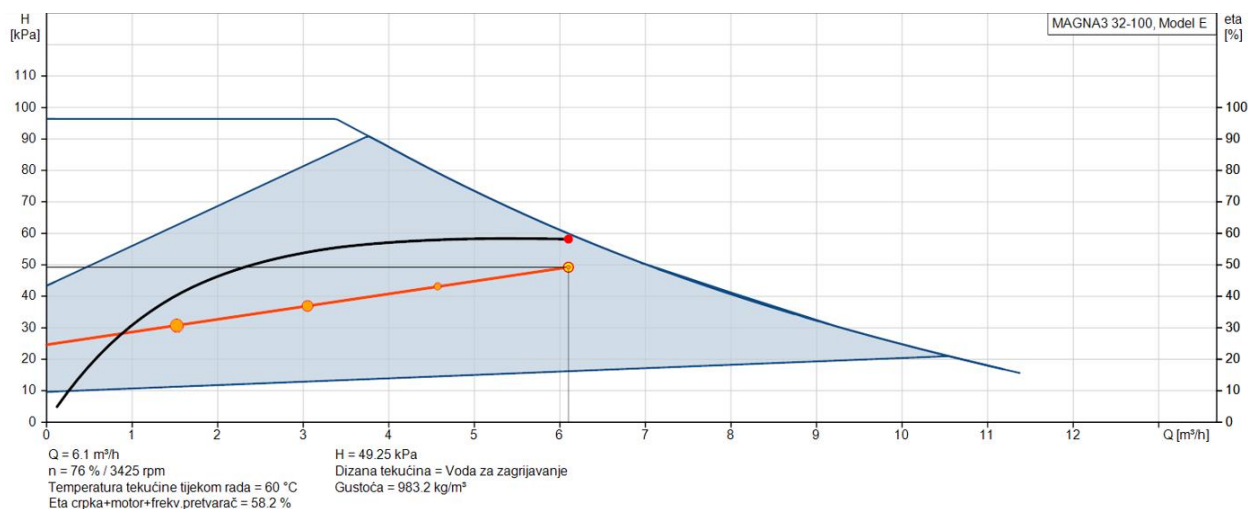
P8 – Pumpa sekundarnog kruga – od razdjelnika do spremnika PTV

Odabrana pumpa : Magna 3 32-120 F ;  $q_v = 9 \text{ m}^3/\text{h}$ ,  $\Delta p = 65 \text{ kPa}$



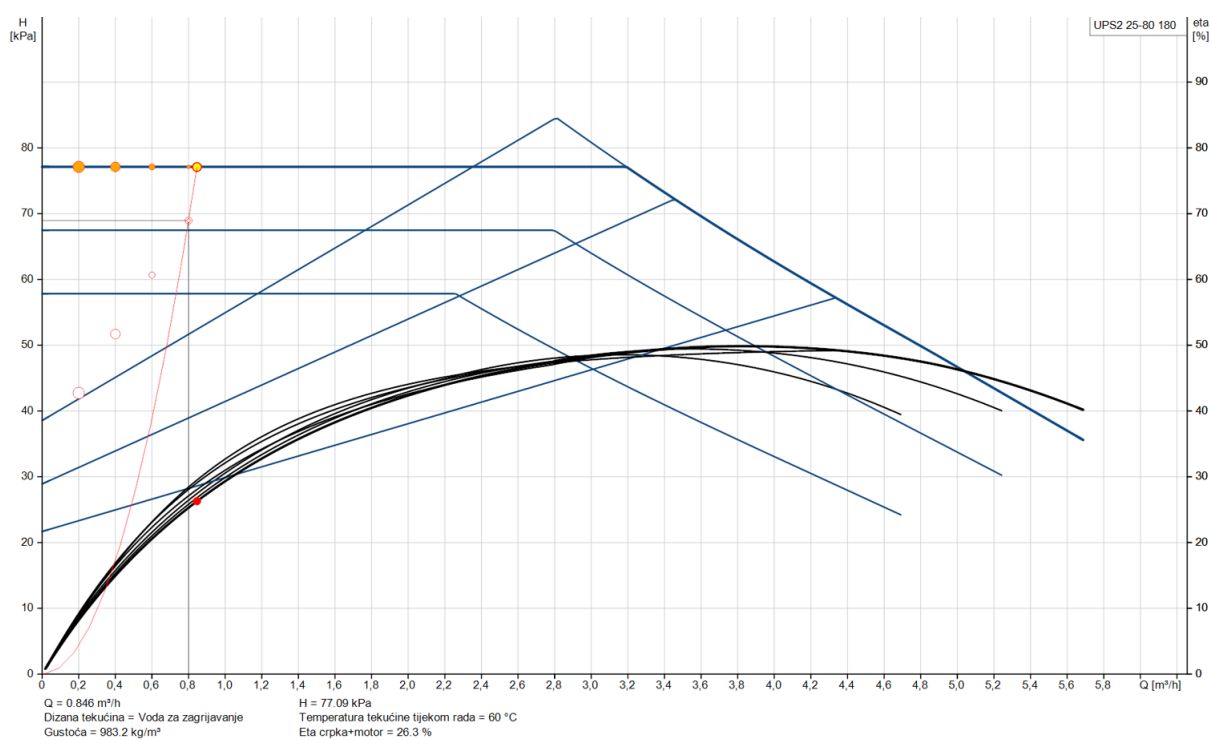
P9 – Pumpa sekundarnog kruga – od razdjelnika do grijača klima jedinice za pripremu zraka

Odabrana pumpa : Magna 3 32-100 ;  $q_v = 6,1 \text{ m}^3/\text{h}$ ,  $\Delta p = 50 \text{ kPa}$



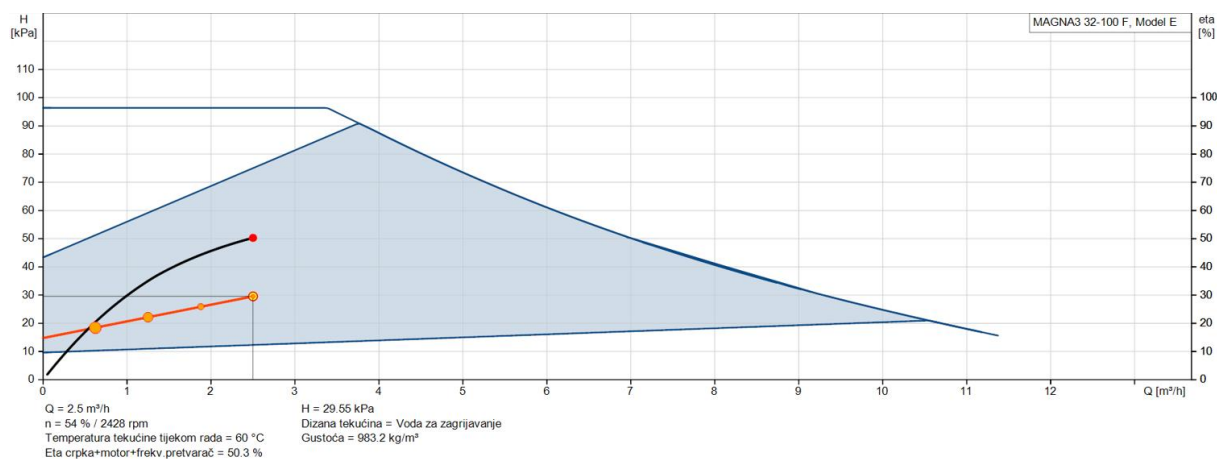
P10/P11 – Pumpa recirkulacijskog kruga PTV

Odabrana pumpa : UPS 25 – 180 ;  $q_v = 0,8 \text{ m}^3/\text{h}$ ,  $\Delta p = 70 \text{ kPa}$



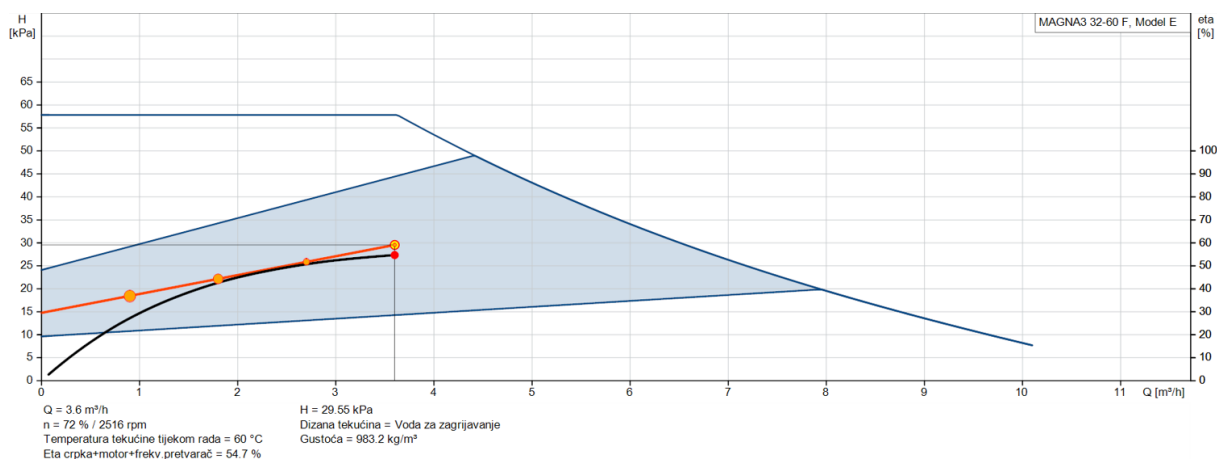
P12 – Cirkulacijska pumpa tople vode grijača klima sustava

Odabrana pumpa : Magna 3 32-100 F ;  $q_v = 2.5 \text{ m}^3/\text{h}$ ,  $\Delta p = 50 \text{ kPa}$



P13 – Cirkulacijska pumpa tople vode grijača klima sustava

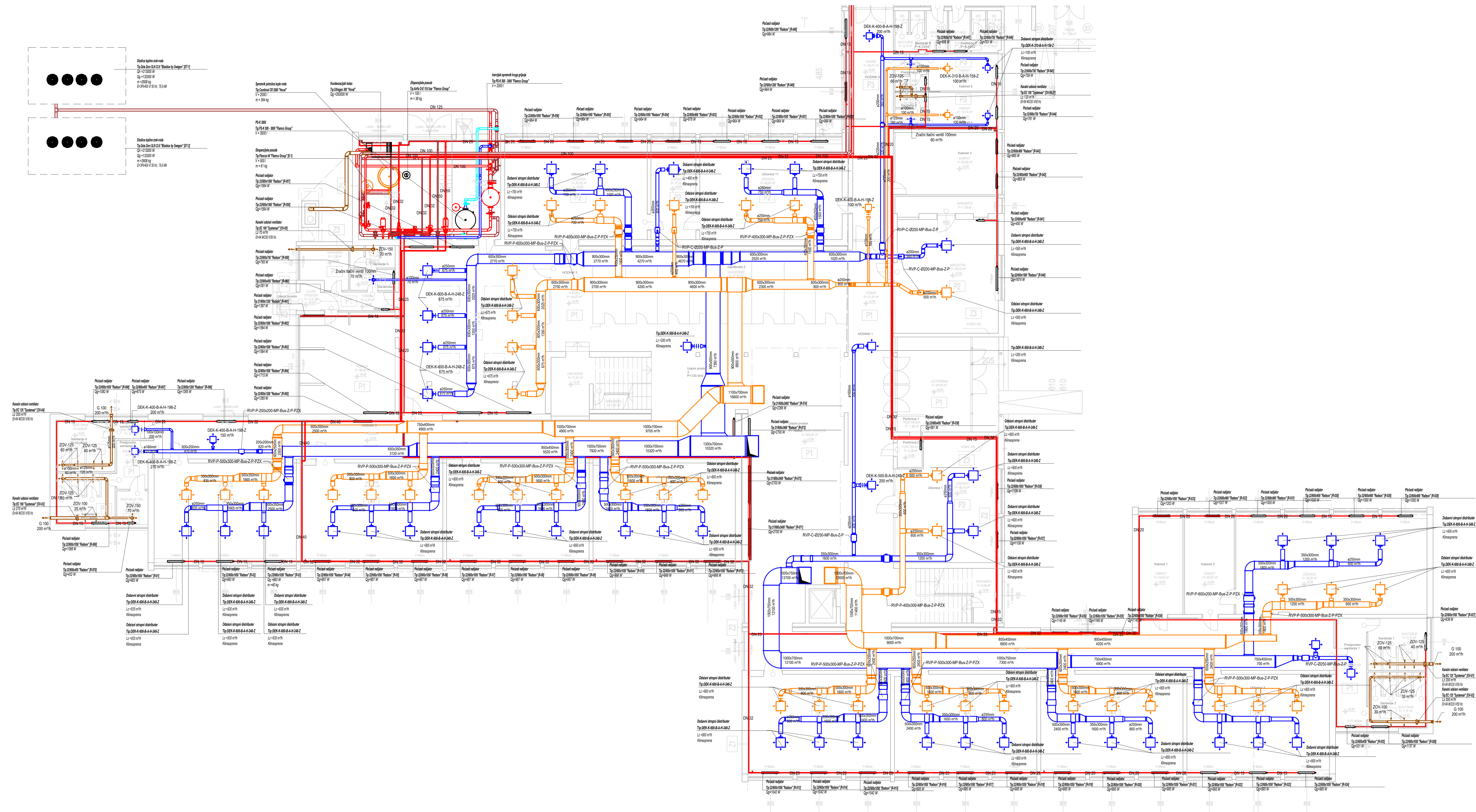
Odabrana pumpa : Magna 3 32-60 F ;  $q_v = 3.6 \text{ m}^3/\text{h}$ ,  $\Delta p = 50 \text{ kPa}$



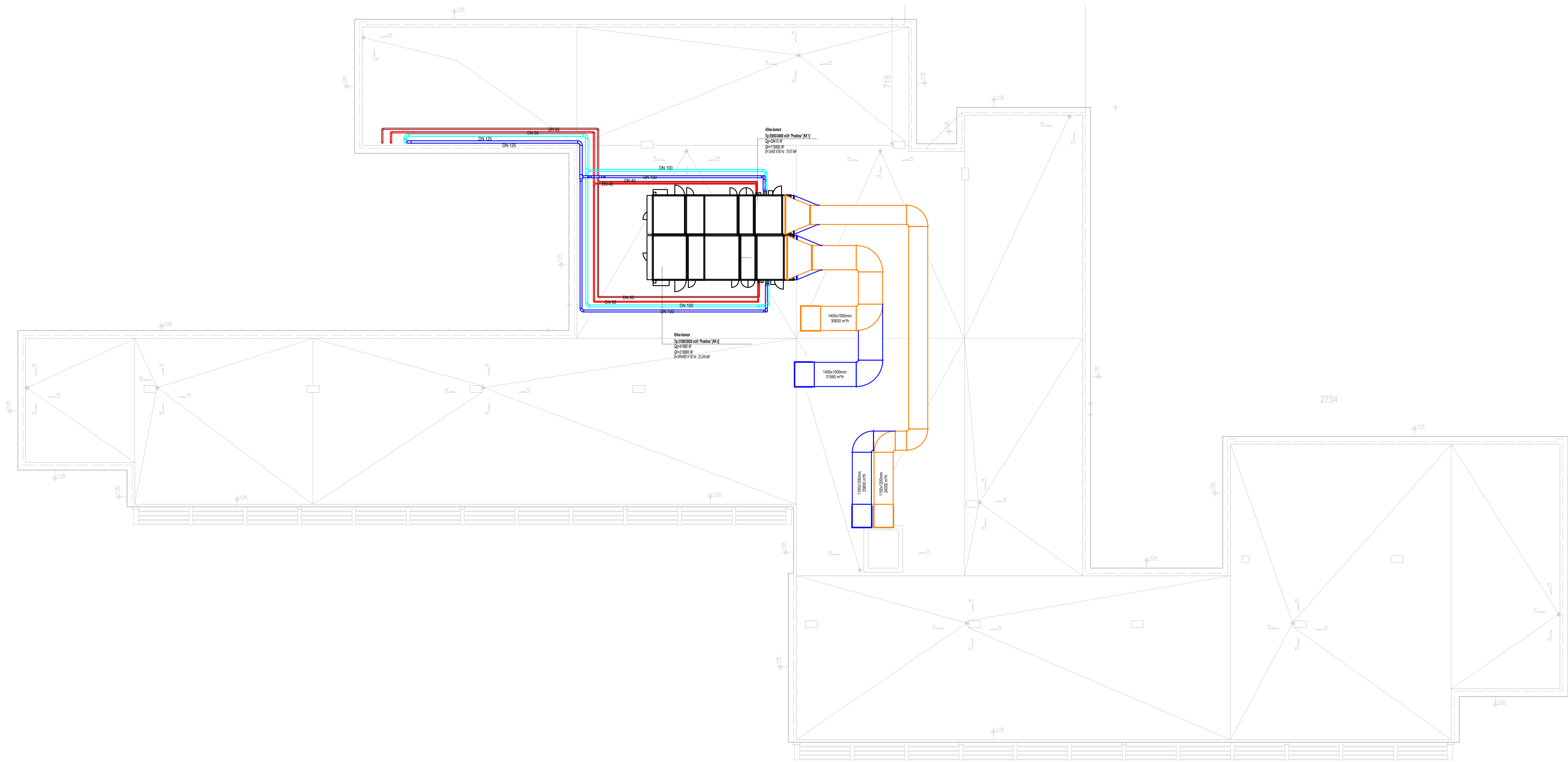
---

**PRILOG VII – Tehnička dokumentacija**



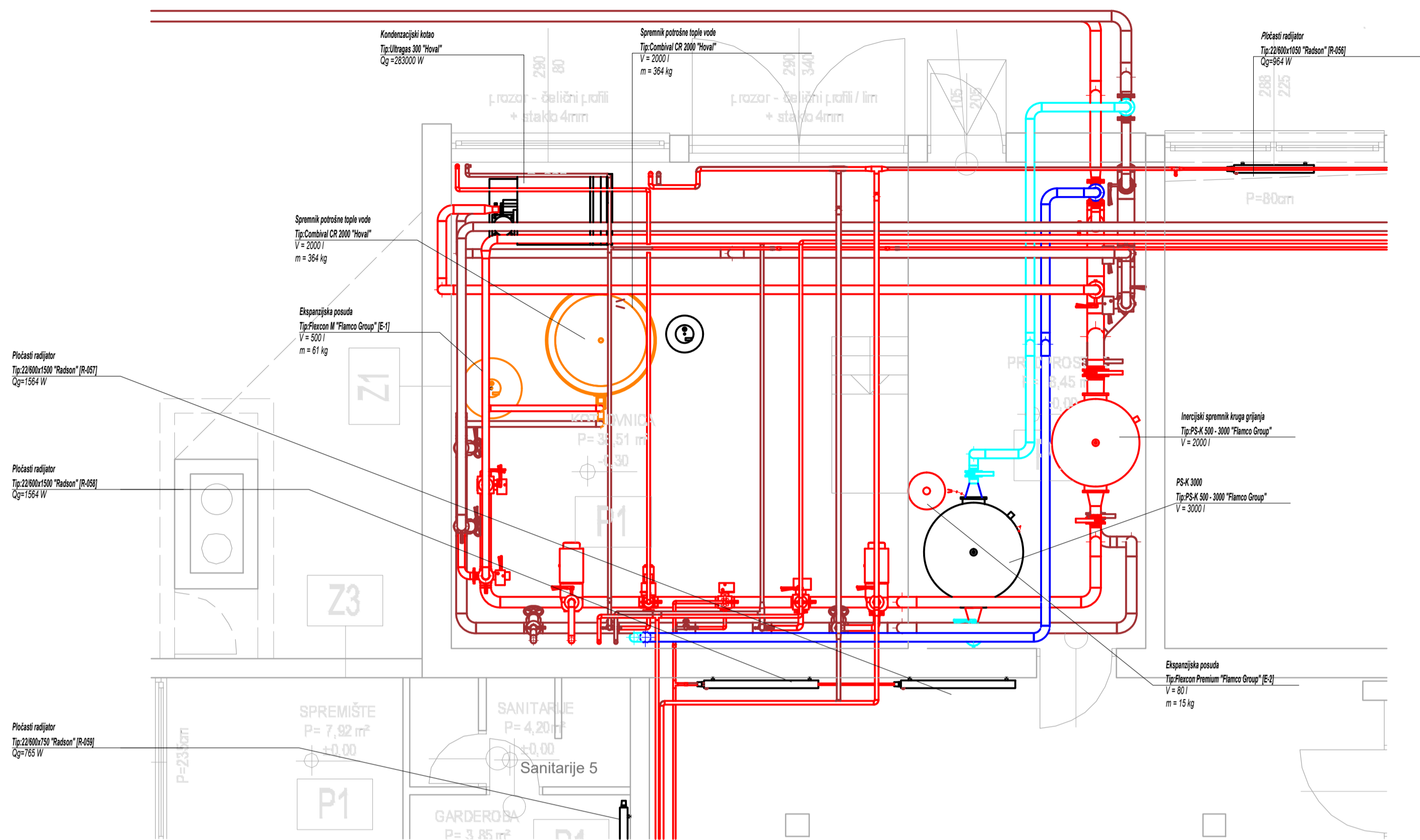




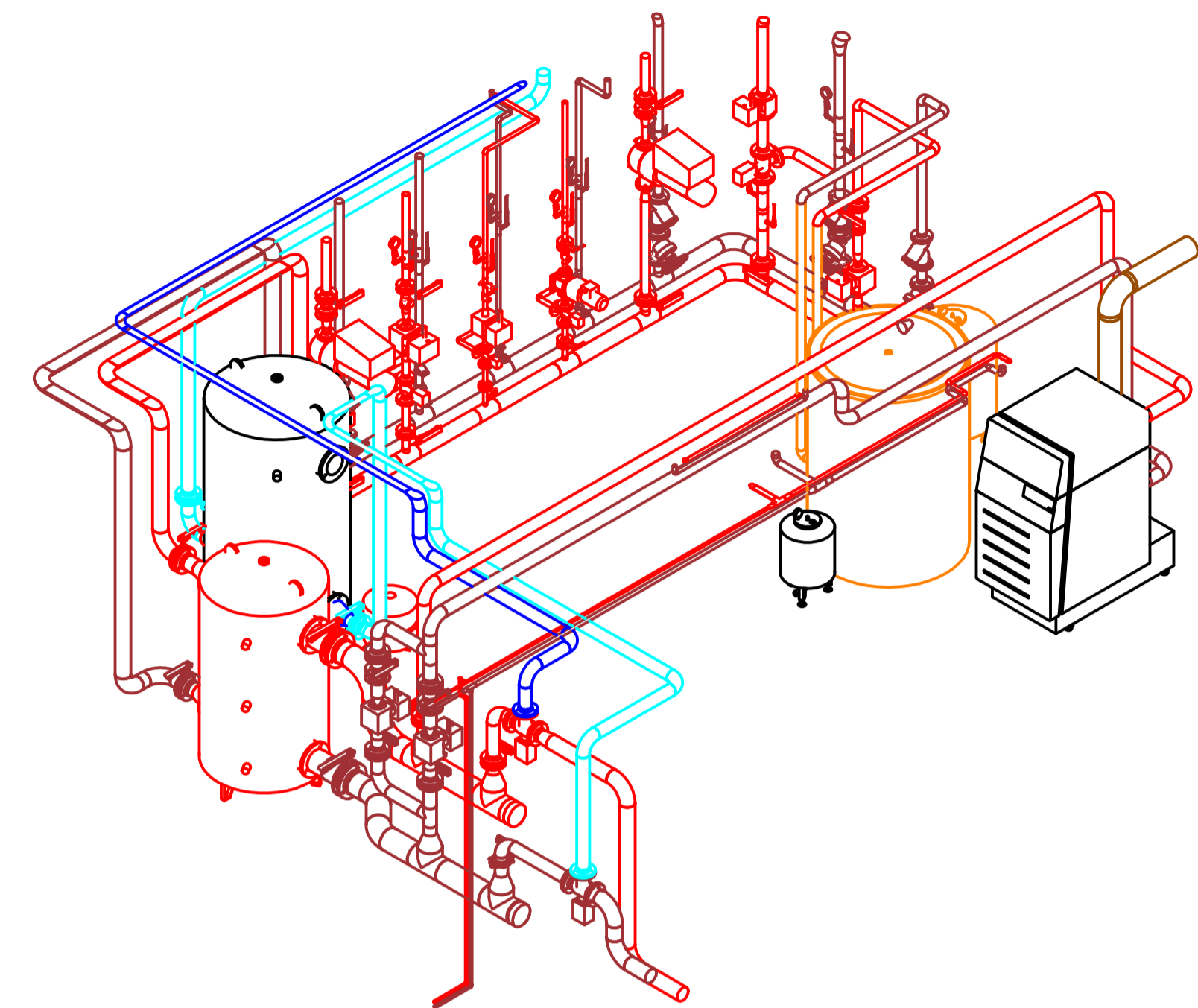


	Datum	Ime i prezime	Potpis
Projektirao	22.11.2024.	Laura Kovarović, inženjerica	
Razradio	22.11.2024.	Laura Kovarović, inženjerica	
Crtao	22.11.2024.	Laura Kovarović, inženjerica	
Pregledao	22.11.2024.	prof.dr.sc. Igor Batan, dipl.inž.	
Objekt:	Tlocrt krova - grijanje, hladjenje i ventilacija		Objekt broji: 3
			Mjerilo: 1:100

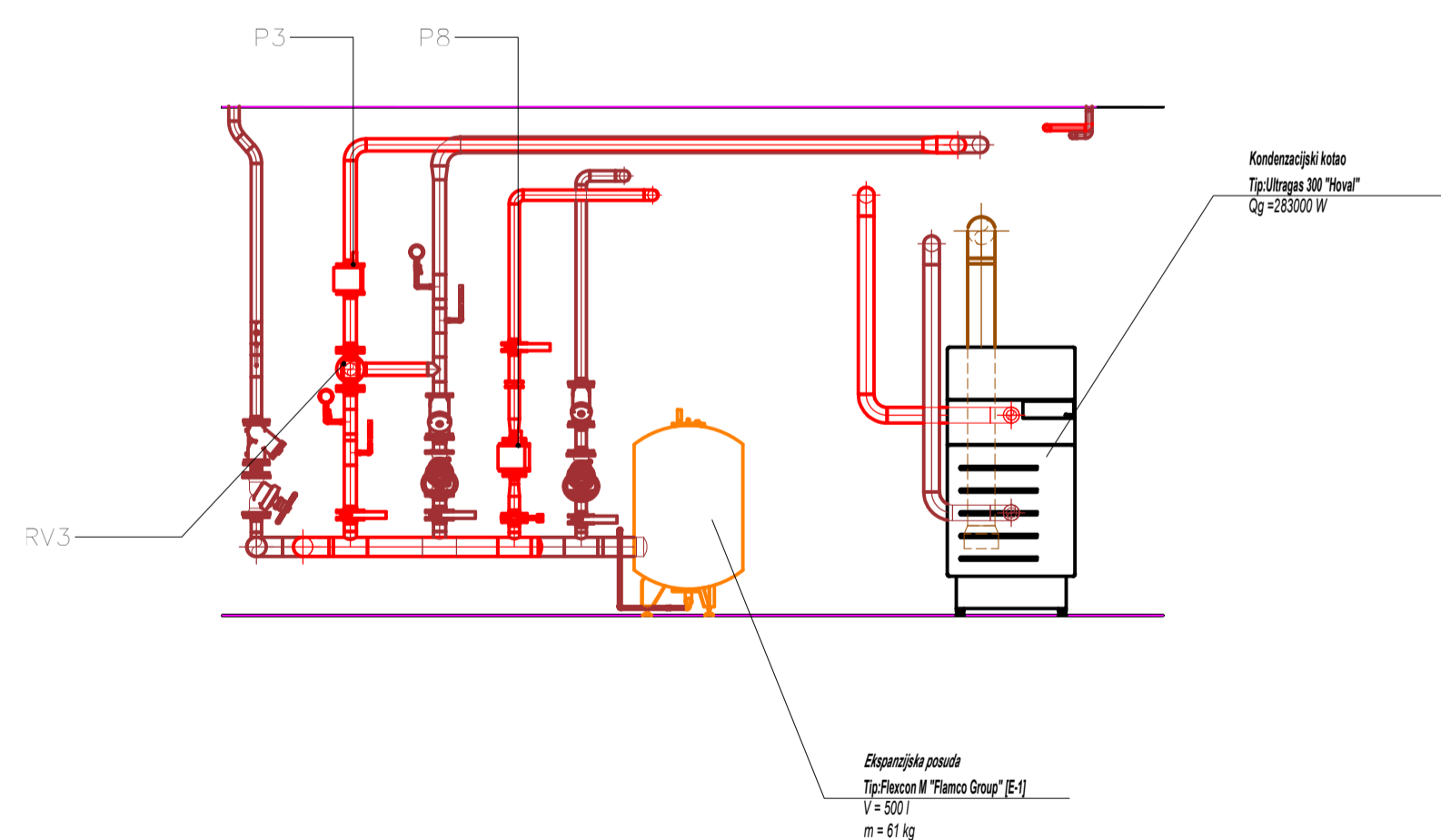




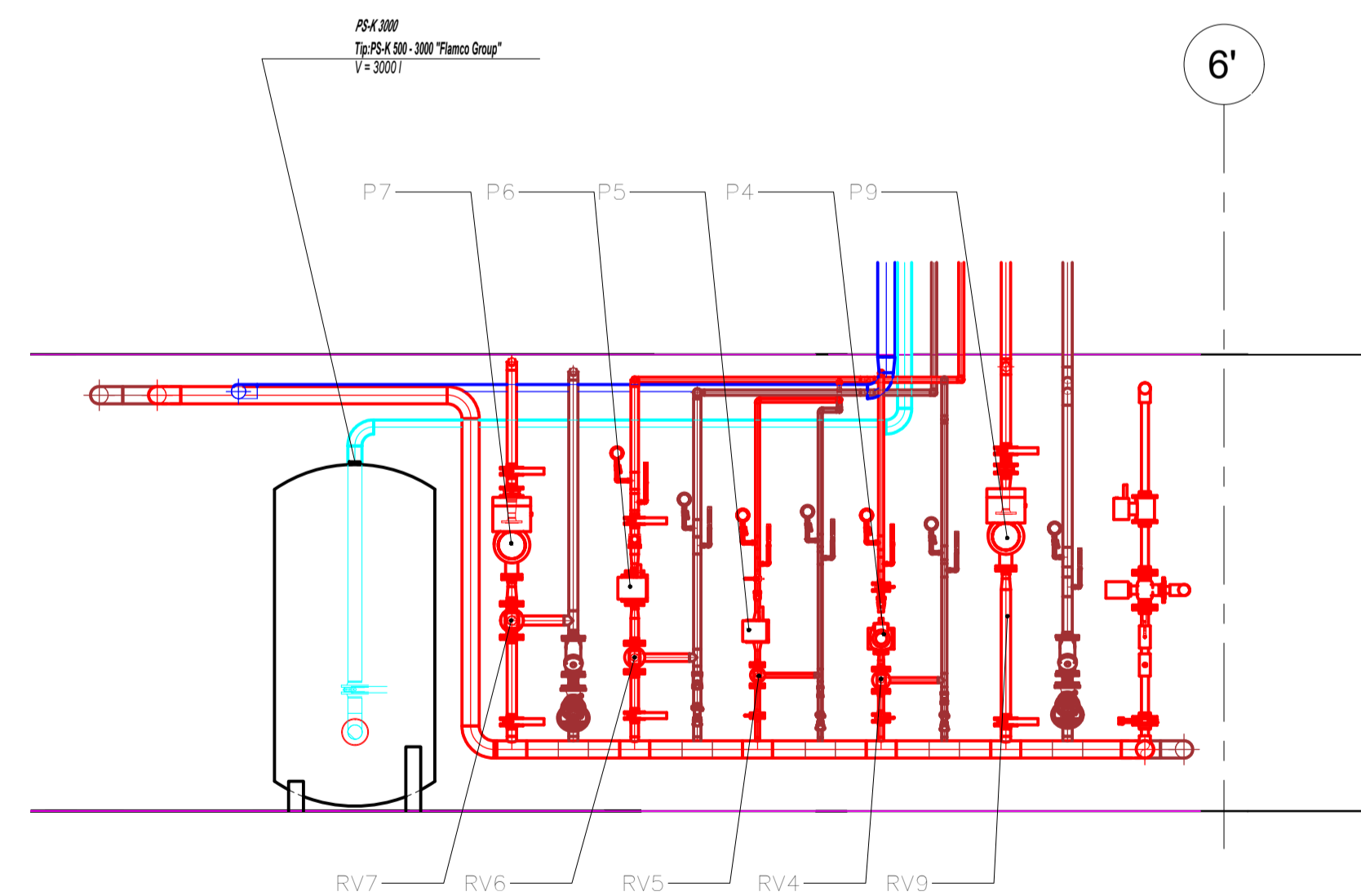
**4 PRIZEMLJE STROJARNICA**  
1 : 50



**1 Izometrija**



**3 Section 7**  
1 : 50

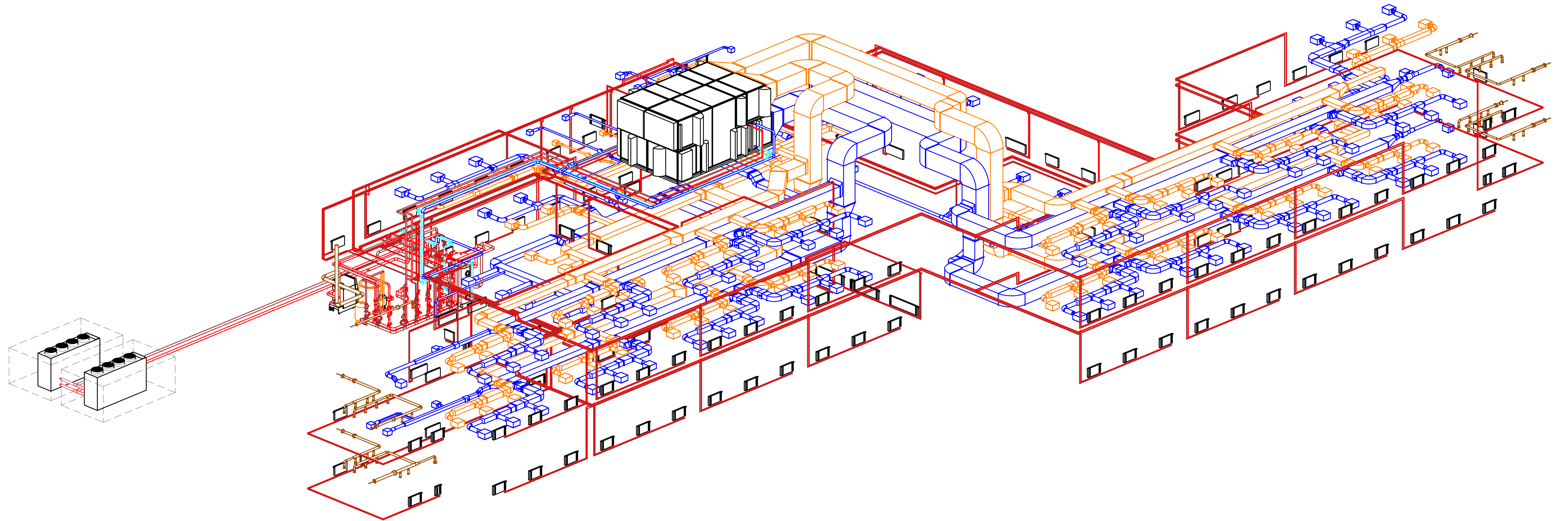



**2 Section 2**  
1 : 50

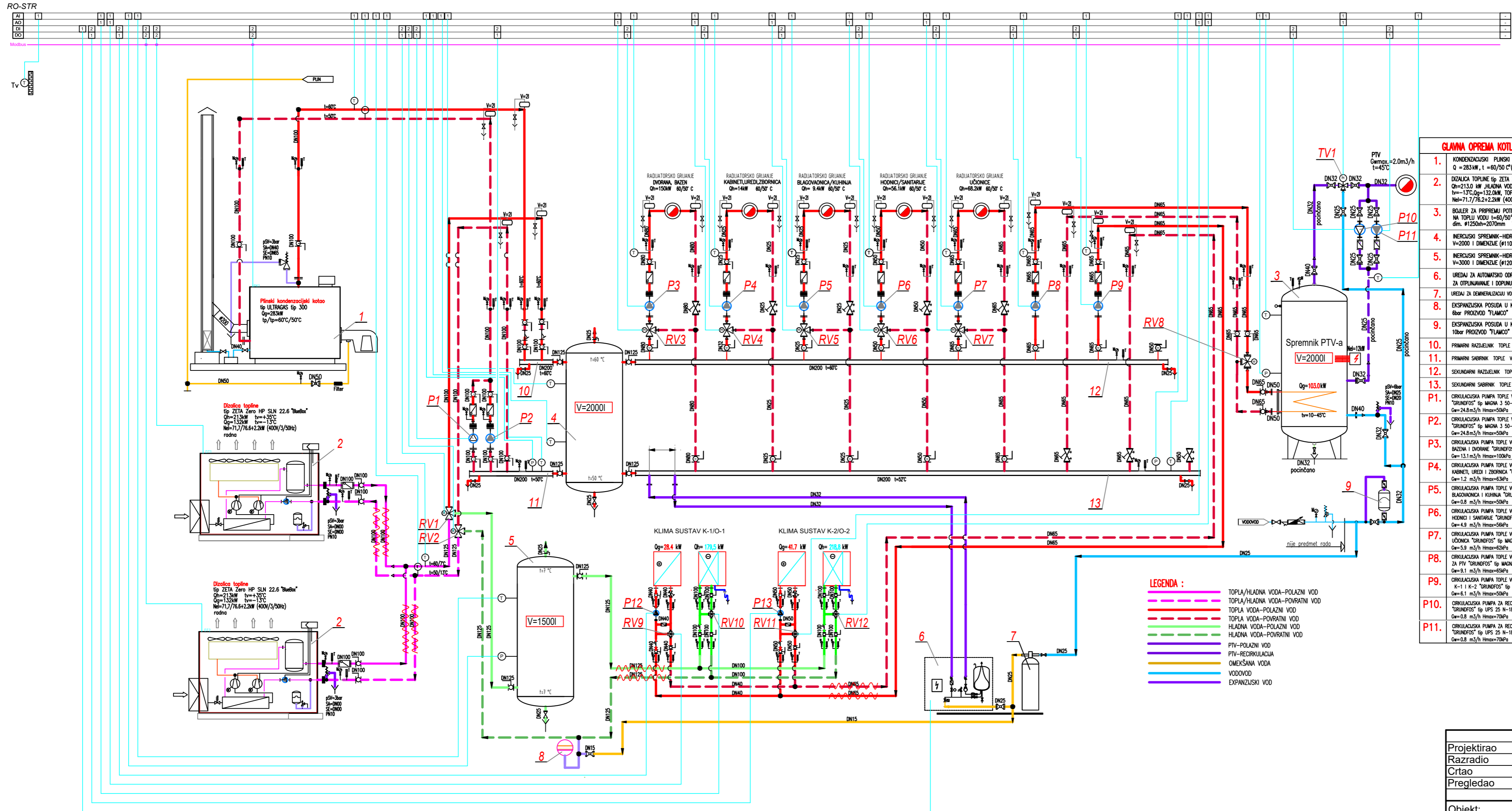
Projektor	Datum	Ime i prezime	Potpis
Razradio	20.11.2024.	Lovro Kavčević, baccingmech	
Crtao	20.11.2024.	Lovro Kavčević, baccingmech	
Pregledao	20.11.2024.	prof.dr.sc. Igor Bašić, dšing	

Objekt: Tlocrt strojarne - tlocrt, presjeci, izometrija  
Objekt broj: 4  
Mjerilo: 1:50





	Datum	Ime i prezime	Potpis	 FSB Zagreb
Projektirao	22.11.2024.	Laura Kovačević, inženjerica		
Razradio	22.11.2024.	Laura Kovačević, inženjerica		
Crtao	22.11.2024.	Laura Kovačević, inženjerica		
Pregledao	22.11.2024.	prof.dr.sc. Igor Batin, dipl.inž.		
Objekt: Prostorni raspored opreme			Objekt broji: 5	Mjerilo: -



**GLAVNA OPREMA KOTLOVNICE I TOPLINSKE I RASHLADNE STANICE:**

1.	KONDENZACIJSKI PLINSKI TOPLOVODNI KOTAO "HOVAL" ULTRAGAS 300 Q = 283 kW, l = 60/50 cm (komplet sa plamenikom, pirakom rampom i automatikom)	kom. 2
2.	DIZALICA TOPLINE tip ZETA Zero HP SLN 22.6 "BlueBox" Qh=213.0 kW, HLAĐNA VODA tv=7/13°C, tv=+35°C Qc=132.0 kW, TOPLA VODA tv=60/50°C, Neh=71.7/76.6+2.2kW (400V/3/50Hz)	kom. 2
3.	BOILER ZA PRIPREMU POTROŠNE TOPELE VODE STUJEĆE S GRUJALICOM NA TOPLU VODU tv=60/50°C, Q=103.0 kW, EL. GRUJALICA NEL=12kW dim. Ø1250xh=2070mm V=2000 l "HOVAL"	kom. 1
4.	INERCIJSKI SPREMNIK-HIDRAULIČKA SKRETANICA U KRUGU TOPELE VODE ZAPREMINA V=2000 l DIMENZIE (Ø1100xh=2440mm)	kom. 1
5.	INERCIJSKI SPREMNIK-HIDRAULIČKA SKRETANICA U KRUGU HLAĐNE VODE ZAPREMINA V=3000 l DIMENZIE (Ø1200xh=2830mm)	kom. 1
6.	UREĐAJ ZA AUTOMATSKO ODRŽAVANJE TLAKA SA PUMPOM TIP FLEXCOM M2/Ø4 1.2-3.5bar ZA OTPUŠTAVANJE I DOPUNU SA POSUDOM TIP FLEXCOM 500 R proizvođač "FLAMCO"	kom. 1
7.	UREĐAJ ZA DEMINERALIZACIJU VODE tip FIX BIG LED max. 1200/h PROIZVOĐ "DMS Healy Complete"	kom. 1
8.	EKSPANZIJSKA POSUDA U KRUGU DIZALICE TOPLINE TIP FLEXCOM 100 litara 10bar PROIZVOĐ "FLAMCO"	kom. 1
9.	EKSPANZIJSKA POSUDA U KRUGU PTV-a TIP AIR TFX D-E 000.10 10bar PROIZVOĐ "FLAMCO"	kom. 1
10.	PRIMARNI RAZDIELNIK TOPELE VODE tv=60°C DN200, L=2800mm	kom. 1
11.	PRIMARNI SABIRNIK TOPELE VODE tv=50°C DN200, L=2800mm	kom. 1
12.	SEKUNDARNI RAZDIELNIK TOPELE VODE tv=60°C DN125, L=14500mm	kom. 1
13.	SEKUNDARNI SABIRNIK TOPELE VODE tv=50°C DN125, L=14500mm	kom. 1
P1.	CIRKULACIJSKA PUMPA TOPELE VODE (tv=60°C) KRUGA HLAĐILICA SKRETANICA "GRUNDFOS" tip MAGNA 3 50-180F DN80 PN6, FREXY. REG. Q=24.8 m <sup>3</sup> /h Hmax=50kPa Nel,max =0.533kW(230V/1/50Hz)	kom. 1
P2.	CIRKULACIJSKA PUMPA TOPELE VODE (tv=60°C) KRUGA KOTAO-HIDRAULIČKA SKRETANICA "GRUNDFOS" tip MAGNA 3 50-180F DN80 PN6, FREXY. REG. Q=24.8 m <sup>3</sup> /h Hmax=50kPa Nel,max =0.533kW(230V/1/50Hz)	kom. 1
P3.	CIRKULACIJSKA PUMPA TOPELE VODE (tv=60°C) KRUGA HLAĐILICA SKRETANICA-RADIATORSKOGRUJANJE BAZENA I DVORANE "GRUNDFOS" tip MAGNA 3 40-150F DN65 PN6, FREXY. REG. Q=13.1 m <sup>3</sup> /h Hmax=10kPa Nel,max =0.574kW(230V/1/50Hz)	kom. 1
P4.	CIRKULACIJSKA PUMPA TOPELE VODE (tv=60°C) KRUGA HLAĐILICA SKRETANICA-RADIATORSKOGRUJANJE KABINETA, UREDA I ZBORNICA "GRUNDFOS" tip MAGNA 3 25-120 DN25 PN16, FREXY. REG. Q=1.2 m <sup>3</sup> /h Hmax=6kPa Nel,max =0.063kW(230V/1/50Hz)	kom. 1
P5.	CIRKULACIJSKA PUMPA TOPELE VODE (tv=60°C) KRUGA HLAĐILICA SKRETANICA-RADIATORSKOGRUJANJE BLAGOVONICA I KUHINJA "GRUNDFOS" tip MAGNA 3 25-60 DN25 PN16, FREXY. REG. Q=0.8 m <sup>3</sup> /h Hmax=5kPa Nel,max =0.043kW(230V/1/50Hz)	kom. 1
P6.	CIRKULACIJSKA PUMPA TOPELE VODE (tv=60°C) KRUGA HLAĐILICA SKRETANICA-RADIATORSKOGRUJANJE HODNIKA I SANITARNE "GRUNDFOS" tip MAGNA 3 32-100 DN50 PN6, FREXY. REG. Q=4.9 m <sup>3</sup> /h Hmax=8kPa Nel,max =0.114kW(230V/1/50Hz)	kom. 1
P7.	CIRKULACIJSKA PUMPA TOPELE VODE (tv=60°C) KRUGA HLAĐILICA SKRETANICA-RADIATORSKOGRUJANJE UČIONICA "GRUNDFOS" tip MAGNA 3 25-120 DN50 PN6, FREXY. REG. Q=5.9 m <sup>3</sup> /h Hmax=6kPa Nel,max =0.601kW(230V/1/50Hz)	kom. 1
P8.	CIRKULACIJSKA PUMPA TOPELE VODE (tv=60°C) KRUGA HLAĐILICA SKRETANICA-GRUJANJE ZA PTV "GRUNDFOS" tip MAGNA 3 50-120F DN50 PN6, FREXY. REG. Q=9.1 m <sup>3</sup> /h Hmax=8kPa Nel,max =0.251kW(230V/1/50Hz)	kom. 1
P9.	CIRKULACIJSKA PUMPA TOPELE VODE (tv=60°C) KRUGA HLAĐILICA SKRETANICA-GRUJANJE KLIMA SUSTAVA K-1 I K-2 "GRUNDFOS" tip MAGNA 3 32-100 DN50 PN6, FREXY. REG. Q=6.1 m <sup>3</sup> /h Hmax=5kPa Nel,max =0.143kW(230V/1/50Hz)	kom. 1
P10.	CIRKULACIJSKA PUMPA ZA RECIRKULACIJU PTV "GRUNDFOS" tip UPS 25 N-180 180 G 6/4" PN10, FREXY. REG. Q=0.8 m <sup>3</sup> /h Hmax=7kPa Nel,max =0.068kW(230V/1/50Hz)	kom. 1
P11.	CIRKULACIJSKA PUMPA ZA RECIRKULACIJU PTV-a "GRUNDFOS" tip UPS 25 N-180 180 G 6/4" PN10, FREXY. REG. Q=0.8 m <sup>3</sup> /h Hmax=7kPa Nel,max =0.068kW(230V/1/50Hz)	kom. 1

**GLAVNA OPREMA KOTLOVNICE I TOPLINSKE I RASHLADNE STANICE:**

P12.	CIRKULACIJSKA PUMPA TOPELE VODE (tv=60°C) SEKUNDARNOG KRUGA GRUJANJE KLIMA SUSTAVA K-1 "GRUNDFOS" tip MAGNA 3 32-80F DN32 PN6, FREXY. REG. Q=2.5 m <sup>3</sup> /h Hmax=3kPa Nel,max =0.041kW(230V/1/50Hz)	kom. 1
P13.	CIRKULACIJSKA PUMPA TOPELE VODE (tv=60°C) SEKUNDARNOG KRUGA GRUJANJE KLIMA SUSTAVA K-2 "GRUNDFOS" tip MAGNA 3 40-80F DN40 PN6, FREXY. REG. Q=3.6 m <sup>3</sup> /h Hmax=3kPa Nel,max =0.041kW(230V/1/50Hz)	kom. 1
RV1.	TROPUTNI ELEKTROMOTORSKI "ON-OFF" VENTIL KRUGA DIZALICE TOPLINE ZA PREGRIJANJE GRUJANJE ILI HLAĐENJE Q=58.3 m <sup>3</sup> /h DN125 PN16	kom. 1
RV2.	TROPUTNI ELEKTROMOTORSKI "ON-OFF" VENTIL KRUGA DIZALICE TOPLINE ZA PREGRIJANJE GRUJANJE ILI HLAĐENJE Q=58.3 m <sup>3</sup> /h DN125 PN16	kom. 1
RV3.	TROPUTNI ELEKTROMOTORSKI REGULACIJSKI VENTIL KRUGA RADIATORSKOG GRUJANJE BAZENA I DVORANE Q=13.1 m <sup>3</sup> /h DN65 PN16	kom. 1
RV4.	TROPUTNI ELEKTROMOTORSKI REGULACIJSKI VENTIL KRUGA RADIATORSKOG GRUJANJE KABINETA, UREDA I ZBORNICE Q=1.2 m <sup>3</sup> /h DN25 PN16	kom. 1
RV5.	TROPUTNI ELEKTROMOTORSKI REGULACIJSKI VENTIL KRUGA RADIATORSKOG GRUJANJE KUHINJE I BLAGOVONICE Q=0.8 m <sup>3</sup> /h DN25 PN16	kom. 1
RV6.	TROPUTNI ELEKTROMOTORSKI REGULACIJSKI VENTIL KRUGA RADIATORSKOG GRUJANJE HODNIKA I SANITARNE Q=4.9 m <sup>3</sup> /h DN50 PN16	kom. 1
RV7.	TROPUTNI ELEKTROMOTORSKI REGULACIJSKI VENTIL KRUGA RADIATORSKOG GRUJANJE HODNIKA I SANITARNE Q=5.9 m <sup>3</sup> /h DN50 PN16	kom. 1
RV8.	TROPUTNI ELEKTROMOTORSKI REGULACIJSKI VENTIL KRUGA GRUJANJE PTV-a Q=6.1 m <sup>3</sup> /h kv=30.0m <sup>3</sup> /h DN50 PN16	kom. 1
RV9.	TROPUTNI ELEKTROMOTORSKI REGULACIJSKI VENTIL KRUGA GRUJANJE KLIMA SUSTAVA K-1 Q=2.5 m <sup>3</sup> /h kv=12.0m <sup>3</sup> /h DN32 PN16	kom. 1
RV10.	TROPUTNI ELEKTROMOTORSKI REGULACIJSKI VENTIL KRUGA HLAĐANJA KLIMA SUSTAVA K-1 Q=16.1 m <sup>3</sup> /h kv=50.0m <sup>3</sup> /h DN65 PN16	kom. 1
RV11.	TROPUTNI ELEKTROMOTORSKI REGULACIJSKI VENTIL KRUGA GRUJANJE KLIMA SUSTAVA K-2 Q=4.5 m <sup>3</sup> /h kv=16.0m <sup>3</sup> /h DN40 PN16	kom. 1
RV12.	TROPUTNI ELEKTROMOTORSKI REGULACIJSKI VENTIL KRUGA HLAĐANJA KLIMA SUSTAVA K-2 Q=19.7 m <sup>3</sup> /h kv=50.0m <sup>3</sup> /h DN65 PN16	kom. 1
TV1.	TROKRAKI TERMOČI VENTIL ZA POTROŠNI TOPLU VODU Q=35l/min, DN32 (R5/4") PN16	kom. 1

**LEGENDA :**

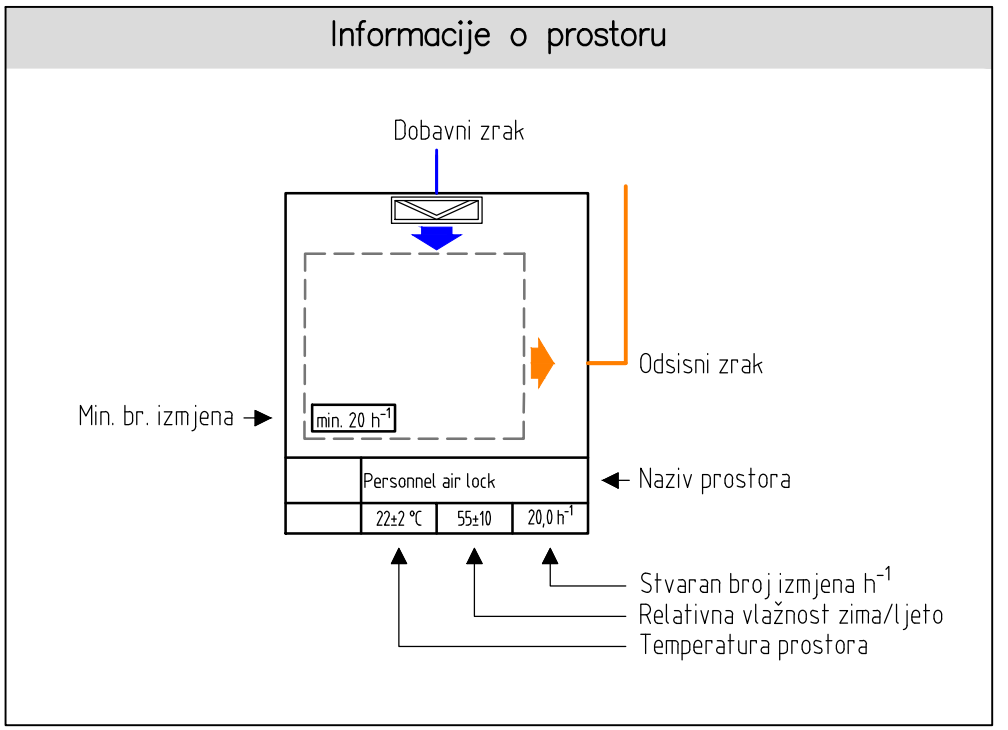
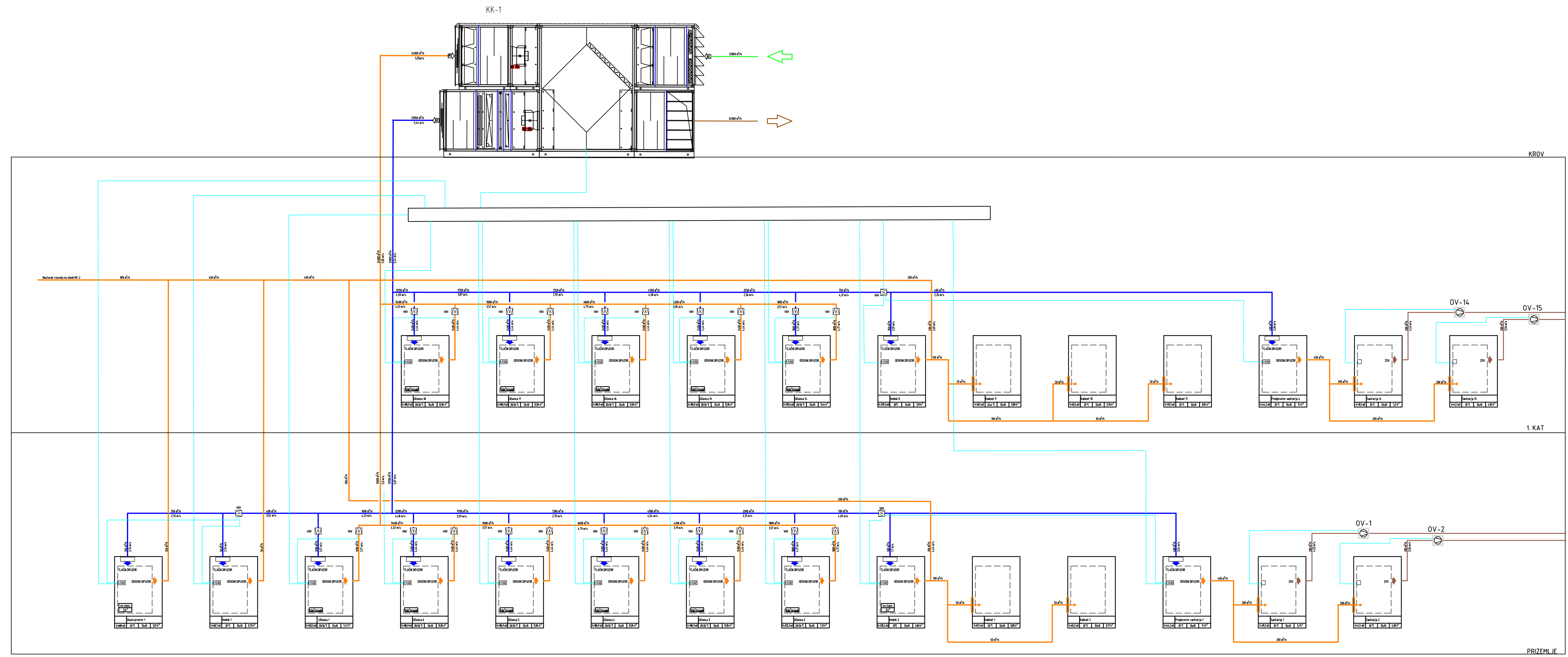
(Red solid line)	TOPLA/HLAĐNA VODA-POLAZNI VOD
(Red dashed line)	TOPLA/HLAĐNA VODA-POVRATNI VOD
(Green solid line)	TOPLA VODA-POLAZNI VOD
(Green dashed line)	HLADNA VODA-POLAZNI VOD
(Green solid line)	HLADNA VODA-POVRATNI VOD
(Purple solid line)	PTV-POLAZNI VOD
(Purple dashed line)	PTV-RECIRKULACIJA
(Yellow solid line)	OMEKŠANA VODA
(Cyan solid line)	VODOVOD
(Cyan dashed line)	EXPANZIJSKI VOD

**LEGENDA SIMBOLA:**

(Red circle with cross)	LEPTIRASTA ZAKLOPKA	(Blue circle with arrow)	CIRKULACIJSKA PUMPA
(Red circle with dot)	LEPTIRASTA EL. MOT. ZAKLOPKA	(Red square)	EL. GRUJALICA
(Red circle with cross and dot)	ZAPORNI VENTIL	(Red circle with arrow)	NEPOVRATNI VENTIL
(Red circle with cross and dot)	HVAČAČ NEČIŠTOĆE	(Red circle with arrow)	TROPUTNI VENTIL
(Red circle with cross and dot)	REGULACIJSKI ZAPORNI VENTIL	(Red circle with arrow)	PROLAZNI VENTIL
(Red circle with cross and dot)	SIKURNOSNI VENTIL	(Red circle with arrow)	TERMOMETAR
(Red circle with cross and dot)	FLEKSIIBILNI SPOJ NA UREĐAJE	(Red circle with arrow)	MANOMETAR
(Red circle with cross and dot)	EKSPANZIJSKA POSUDA		

Projektirao	Datum	Ime i prezime	Potpis
Razradio	22.11.2024.	Lovro Kovačević, bacc.ing.mech	
Crtao	22.11.2024.	Lovro Kovačević, bacc.ing.mech	
Pregledao	22.11.2024.	prof.dr.sc. Igor Balen, dipl.ing	
Objekt:	Schema strojarnice		Objekt broj: 6
			Mjerilo: -





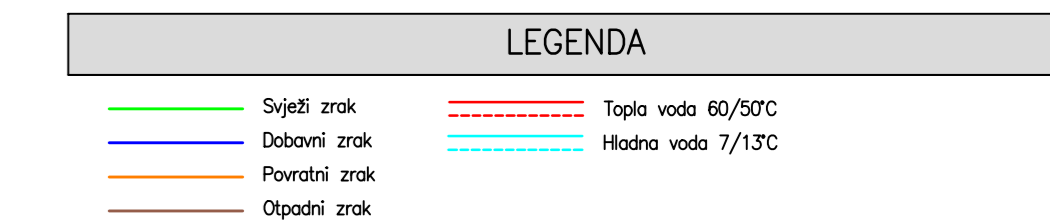
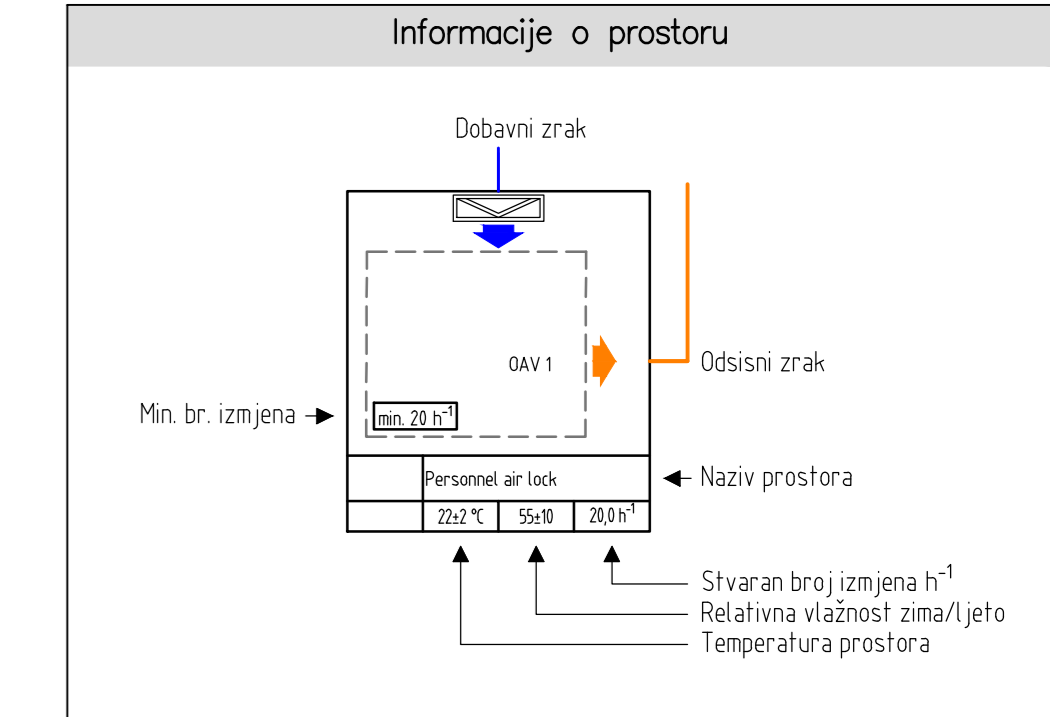
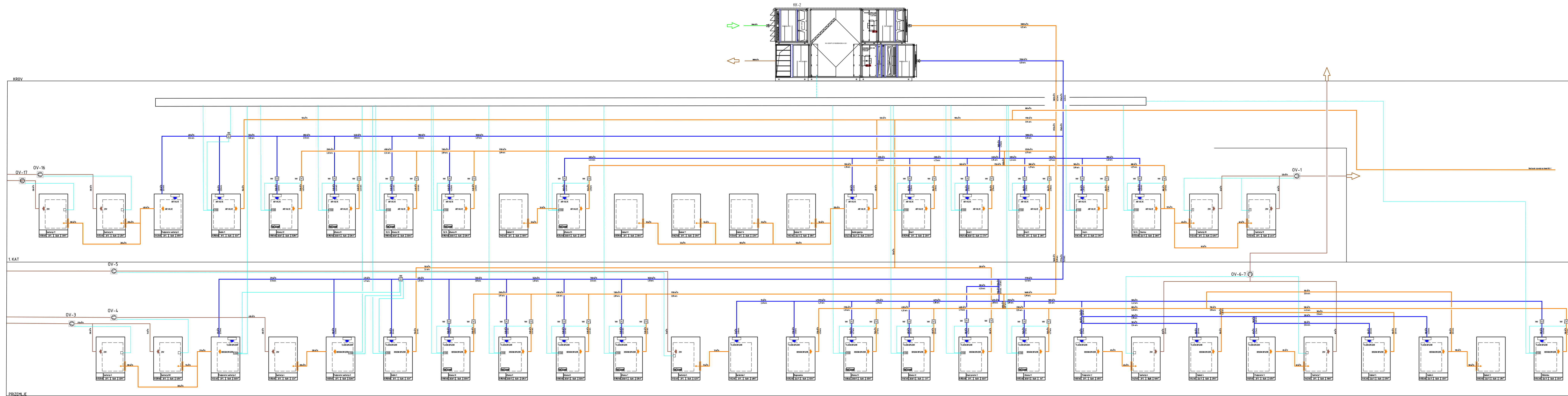
**LEGENDA**

- Svježi zrak
- Dobavni zrak
- Povratni zrak
- Otpadni zrak
- Topla voda 60/50°C
- Hladna voda 7/13°C

	Datum	Ime i prezime	Potpis
Projektirao	22.11.2024.	Lovro Kovačević, bacc.ing.mech	
Razradio	22.11.2024.	Lovro Kovačević, bacc.ing.mech	
Crtao	22.11.2024.	Lovro Kovačević, bacc.ing.mech	
Pregledao	22.11.2024.	prof.dr.sc. Igor Bačen,dipl.ing	



Objekt: Shema ventilacije KK-1  
 Objekt broj: 7  
 R. N. broj:



	Datum	Ime i prezime	Potpis
Projektirao	22.11.2024.	Lovro Kovačević, bacc.ing.mech	
Razradio	22.11.2024.	Lovro Kovačević, bacc.ing.mech	
Crtao	22.11.2024.	Lovro Kovačević, bacc.ing.mech	
Pregledao	22.11.2024.	prof.dr.sc. Igor Balen, dipl.ing.	

Objekt: Shema ventilacije KK-2

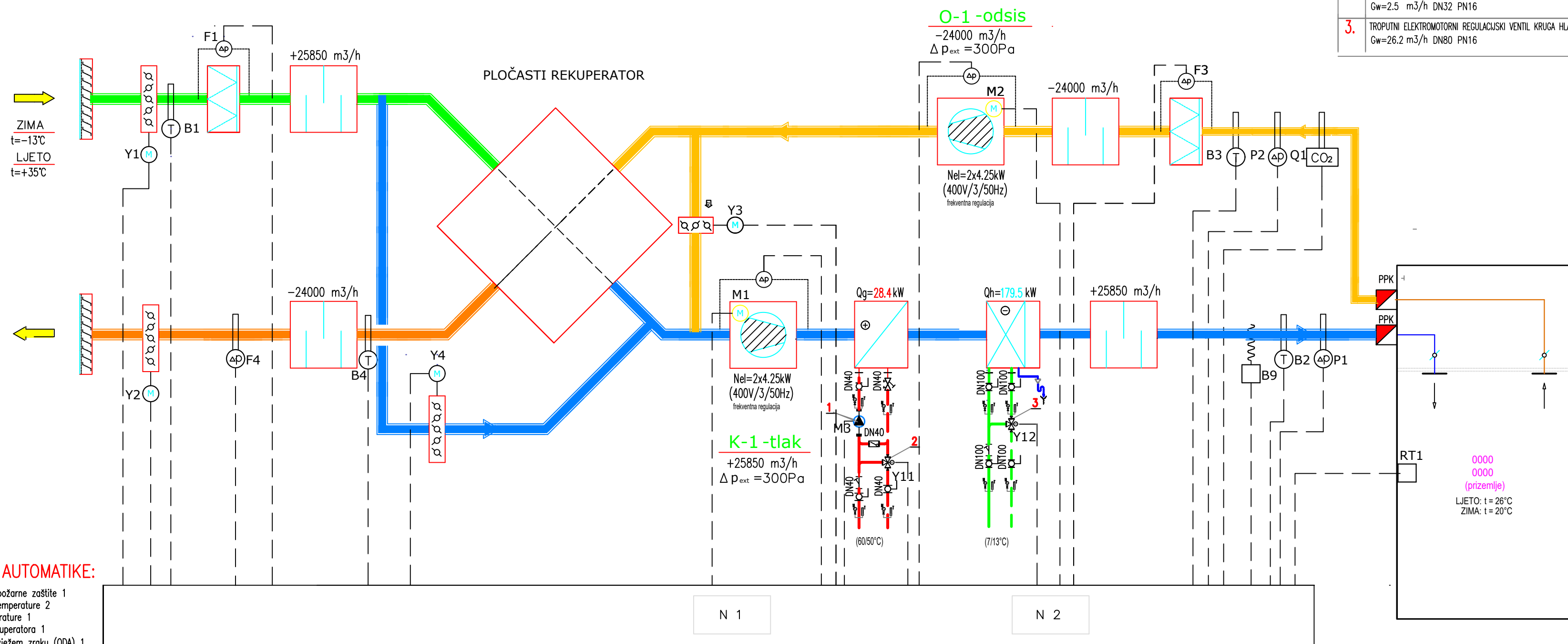
Objekt broj: 8  
R. N. broj:





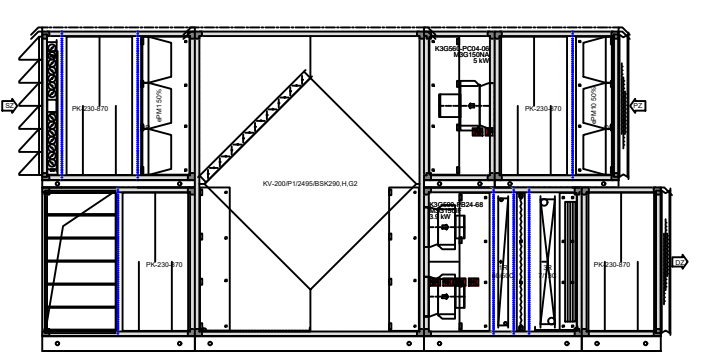
**POPIS OSNOVNE OPREME :**

1.	CIRKULACIJSKA PUMPA TOPLE VODE (t=60°C) SEKUNDARNOG KRUGA GRIVAČA KLIMA SUSTAVA K-1 "GRUNDFOS" tip MAGNA 3 32-80F DN32 PN6, FREKV. REG. Gw=2.5 m3/h Hmax=30kPa Nel.max =0.041kW(230V/1/50Hz)	kom. 1
2.	TROPUTNI ELEKTROMOTORNI REGULACIJSKI VENTIL KRUGA GRIVAČA KLIMA SUSTAVA K-1 Gw=2.5 m3/h DN32 PN16	kom. 1
3.	TROPUTNI ELEKTROMOTORNI REGULACIJSKI VENTIL KRUGA HLADNJAKA KLIMA SUSTAVA K-1 Gw=26.2 m3/h DN80 PN16	kom. 1



**LEGENDA AUTOMATIKE:**

- CFA Kontakt protupožarne zaštite 1
- B1,-B2 Osjetnik temperature 2
- B3 Osjetnik temperature 1
- B4 Odleđivanje rekuperatora 1
- Y1 Zaklopka na svježem zraku (ODA) 1
- Y2 Zaklopka na otpadnom zraku (EHA) 1
- Y3 Zaklopka recirkulirajućeg zraka
- Osjetnik rotacija
- Y4 Pogon zaklopke bypassa na rekuperatoru 1
- SD1 Osjetnik dima
- F2,-F4 Osjetnik protoka zraka na ventilatoru 2
- F1,-F3 Osjetnik tlaka zraka na filteru 2
- M1,-M2 Ventilator 2
- RT1 Sobna jedinica s LCD zaslonom 1
- Q1 CO2 / VOC osjetnik
- P1,-P2 Regulator konstantnog tlaka
- E1 Električni grijač
- F8 Granični termostat
- R1 DX unit - kontrolni signal
- Y11,-Y12 Pogon ventila 2
- M3 Cirkulacijska crpka 1
- B9 Protusmrzavajući termostat 1
- B11 Najježući osjetnik temperature
- B12 Osjetnik temperature 1



dvoetažna komora za vanjsku ugradnju

**LEGENDA:**

- TOPLA VODA—POLAZ
- - - TOPLA VODA—POVRAT
- HLADNA VODA—POLAZ
- - - HLADNA VODA—POVRAT
- KONDENZAT

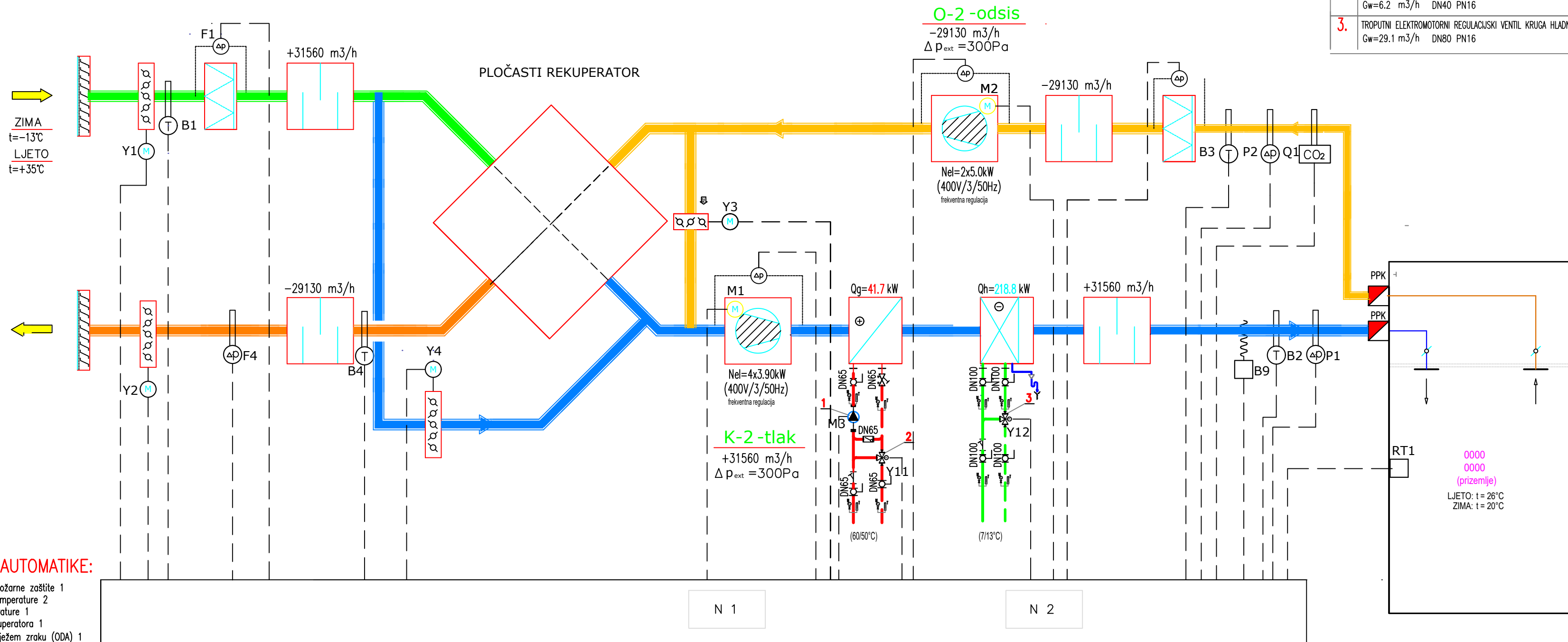
	Datum	Ime i prezime	Potpis
Projektirao	22.11.2024.	Lovro Kovačević, bacc.ing.mech	
Razradio	22.11.2024.	Lovro Kovačević, bacc.ing.mech	
Crtao	22.11.2024.	Lovro Kovačević, bacc.ing.mech	
Pregledao	22.11.2024.	prof.dr.sc. Igor Balen, dipl.ing	



Objekt: Shema klima jedinice za pripremu zraka KK-1	Objekt broj: 9
	R. N. broj:

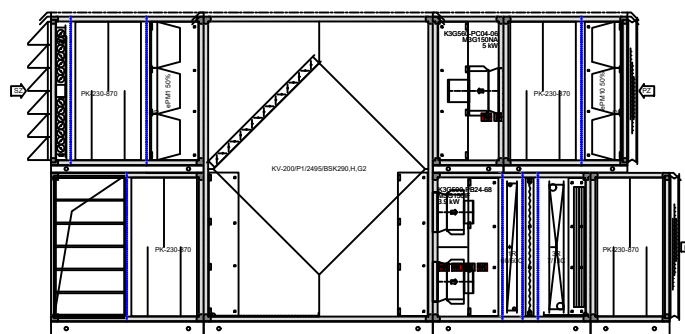
**POPIS OSNOVNE OPREME :**

1.	CIRKULACIJSKA PUMPA TOPLE VODE (t=60°C) SEKUNDARNOG KRUGA GRUJAČA KLIMA SUSTAVA K-2 "GRUNDFOS" tip MAGNA 3 40-80F DN40 PN6, FREKV. REG. Gw=3.6 m <sup>3</sup> /h Hmax=30kPa Nel.max =0.041kW(230V/1/50Hz)	kom. 1
2.	TROPUTNI ELEKTROMOTORNI REGULACIJSKI VENTIL KRUGA GRUJAČA KLIMA SUSTAVA K-2 Gw=6.2 m <sup>3</sup> /h DN40 PN16	kom. 1
3.	TROPUTNI ELEKTROMOTORNI REGULACIJSKI VENTIL KRUGA HLADNJAKA KLIMA SUSTAVA K-2 Gw=29.1 m <sup>3</sup> /h DN80 PN16	kom. 1



**LEGENDA AUTOMATIKE:**

- CFA Kontakt protupožarne zaštite 1
- B1,-B2 Osjetnik temperature 2
- B3 Osjetnik temperature 1
- B4 Odleđivanje rekuperatora 1
- Y1 Zaklopka na svježem zraku (ODA) 1
- Y2 Zaklopka na otpadnom zraku (EHA) 1
- Y3 Zaklopka recirkulirajućeg zraka Osjetnik rotacija
- Y4 Pogon zaklopke bypassa na rekuperatoru 1
- SD1 Osjetnik dima
- F2,-F4 Osjetnik protoka zraka na ventilatoru 2
- F1,-F3 Osjetnik tlaka zraka na filteru 2
- M1,-M2 Ventilator 2
- RT1 Sobna jedinica s LCD zaslonom 1
- Q1 CO2 / VOC osjetnik
- P1,-P2 Regulator konstantnog tlaka
- E1 Električni grijač
- F8 Granični termostat
- R1 DX unit - kontrolni signal
- Y11,-Y12 Pogon ventila 2
- M3 Cirkulacijska crpka 1
- B9 Protusmrzavajući termostat 1
- B11 Nalježući osjetnik temperature
- B12 Osjetnik temperature 1



dvoetažna komora za vanjsku ugradnju

**LEGENDA:**

- TOPLA VODA—POLAZ
- - - TOPLA VODA—POVRAT
- HLADNA VODA—POLAZ
- - - HLADNA VODA—POVRAT
- KONDENZAT

	Datum	Ime i prezime	Potpis
Projektirao	22.11.2024.	Lovro Kovačević, bacc.ing.mech	
Razradio	22.11.2024.	Lovro Kovačević, bacc.ing.mech	
Crtao	22.11.2024.	Lovro Kovačević, bacc.ing.mech	
Pregledao	22.11.2024.	prof.dr.sc. Igor Balen, dipl.ing	



Objekt: Shema klima jedinice za pripremu zraka KK-2

Objekt broj: 10  
R. N. broj: