

Projekt grijanja i ventilacije školske zgrade

Radenić, Antonio

Undergraduate thesis / Završni rad

2018

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://um.nsk.hr/um:nbn:hr:235:021619>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-02-04**

Repository / Repozitorij:

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



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

ZAVRŠNI RAD

Antonio Radenić

Zagreb, 2018.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

ZAVRŠNI RAD

Mentor:

Doc. dr. sc. Darko Smoljan, dipl. ing.

Student:

Antonio Radenić

Zagreb, 2018.



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE



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

Sveučilište u Zagrebu Fakultet strojarstva i brodogradnje	
Datum	Prilog
Klasa:	
Ur.broj:	

ZAVRŠNI ZADATAK

Student: **Antonio Radenić**

Mat. br.: 0035199549

Naslov rada na hrvatskom jeziku: **Projekt grijanja i ventilacije školske zgrade**

Naslov rada na engleskom jeziku: **Design of heating and ventilation system for a school building**

Opis zadatka:

Potrebno je proračunati i projektirati sustav grijanja i ventilacije za potrebe školske zgrade površine 1400 m² na 3 etaže (Po+Pr+1K), prema zadanoj arhitektonskoj podlozi. Za potrebe grijanja treba predvidjeti srednjetemperaturni sustav s ventilokonvektorskim grijanjem i s kotlom na biomasu. Predvidjeti sustav prisilne ventilacije s varijabilnim protokom zraka ovisno o koncentraciji ugljičnog dioksida i povratom topline iz istrošenog zraka prema ventilacijskom zahtjevu.

Potrebno je riješiti pripremu potrošne tople vode u izvedbi akumulacijskog sustava. Zgrada se nalazi na području grada Petrinje.

Na raspolaganju su energetske izvori:

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

Rad treba sadržavati:

- toplinsku bilancu za zimsko razdoblje
- hidraulički proračun cjevne mreže
- tehničke proračune koji definiraju izbor opreme
- tehnički opis sustava
- funkcionalnu shemu spajanja i shemu automatske regulacije za potpuno automatski rad postrojenja
- crteže kojima se definira raspored i montaža opreme.

U radu navesti korištenu literaturu i eventualno dobivenu pomoć.

Zadatak zadan:

30. studenog 2017.

Rok predaje rada:

- 1. rok: 23. veljače 2018.
- 2. rok (izvanredni): 28. lipnja 2018.
- 3. rok: 21. rujna 2018.


Predviđeni datumi obrane:

- 1. rok: 26.2. - 2.3. 2018.
- 2. rok (izvanredni): 2.7. 2018.
- 3. rok: 24.9. - 28.9. 2018.

Zadatak zadao:


Doc. dr. sc. Darko Smoljan

Predsjednik Povjerenstva:


Prof. dr. sc. Igor Balen

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

Zahvaljujem se prof. dr. sc. Igoru Balenu na korisnim savjetima iz područja regulacije.

Zahvaljujem se svojem mentoru doc.dr.sc. Darku Smoljanu na velikodušnoj pomoći i susretljivosti prilikom izrade ovoga rada.

Antonio Radenić

SADRŽAJ

SADRŽAJ	I
POPIS SLIKA	IV
POPIS TEHNIČKE DOKUMENTACIJE	VI
POPIS OZNAKA	VII
SAŽETAK	X
SUMMARY	XI
1. UVOD	1
2. OPĆENITI OPIS GRAĐEVINE	2
3. TOPLINSKO OPTEREĆENJE ZGRADE	4
3.1. Metoda proračuna toplinskog opterećenja	4
3.2. Proračun pomoću programskog paketa	6
3.3. Provjera programskog rješenja ručnim proračunom	8
3.3.1. Projektni transmisijski gubici topline prostorije	8
3.3.2. Projektni ventilacijski gubici prostorije	9
3.3.3. Dodatni kapacitet zbog prekida grijanja	10
3.3.4. Ukupni toplinski gubici prostorije	10
4. VENTILACIJSKI SUSTAV	11
4.1. Ventilacija u školama	11
4.2. Protok zraka	13
4.3. Elementi distribucije zraka	14
4.4. Regulacija protoka zraka ventilacije	16
4.5. Dimenzioniranje kanala	17
4.6. Proračun kritičnih dionica	20

4.7.	Dimenzioniranje ventilacijskih jedinica	22
4.7.1.	Glavna ventilacijska jedinica	23
4.7.2.	Dvoranska ventilacijska jedinica.....	25
4.8.	Odabir opreme ventilacijskog sustava sanitarnih prostora	27
4.9.	Analiza akustike unutar učionice	28
4.9.1.	Osnove akustike	28
4.9.2.	Akustički proračun učionice	28
5.	SUSTAV GRIJANJA I POTROŠNE TOPLE VODE.....	31
5.1.	Odabir ogrjevnih tijela.....	31
5.2.	Regulacija toplinskog učinka ventilokonvektora	33
5.3.	Regulacija toplinskog učinka grijača i predgrijača ventilacijskih jedinica	34
5.4.	Dimenzioniranje cijevne mreže.....	35
5.5.	Odabir kotla i akumulacijske posude	38
5.6.	Sustav pripreme potrošne tople vode	39
5.7.	Ekspanzijska posuda.....	41
5.8.	Proračun kritičnih dionica i odabir pumpa za sustav	42
5.8.1.	Cirkulacijski krug kotao - akumulacijski spremnik:	43
5.8.2.	Cirkulacijski krug akumulacijski spremnik - ventilokonvektori	44
5.8.3.	Cirkulacijski krug akumulacijski spremnik - ventilacijske jedinice	45
5.8.4.	Cirkulacijski krug akumulacijski spremnik - spremnik potrošne tople vode	47
6.	TEHNIČKI OPIS SUSTAVA.....	48
6.1.	Ventilacijski sustav.....	48
6.2.	Sustav grijanja i pripreme potrošne tople vode.....	49
7.	ZAKLJUČAK.....	51

LITERATURA.....	53
PRILOZI	54

POPIS SLIKA

Slika 2.1 Pogled na sjeveroistočno (ulazno) pročelje građevine.....	2
Slika 2.2 Tlocrt prizemlja škole	2
Slika 4.2 Distributer zraka DHV	14
Slika 4.1 Distributer zraka DEV	14
Slika 4.3 Korisničko sučelje programa AURA	15
Slika 4.4 Rešetka CCV predviđena za bočnu ugradnju na kanal	15
Slika 4.5 Rešetka OAB namijenjena za zidnu ugradnju.....	16
Slika 4.6 Zračni ventil ZOV konstruiran za sanitarne prostore	16
Slika 4.7 Regulator varijabilnog protoka RVP-C.....	17
Slika 4.8 Glavna ventilacijska jedinica.....	23
Slika 4.9 Dvoranska ventilacijska jedinica	25
Slika 4.10 Kanalni ventilator RK 125	27
Slika 4.11 Nepovratna zaklopka ZPC	27
Slika 4.12 Shema kritičnog mjesta za akustički proračun	29
Slika 5.1 Ventilokonvektori Heliotherm Inverter proizvođača Riello	32
Slika 5.2 AB-QM ventil s TWA-Z pogonom	33
Slika 5.3 Regulator karakteristika sustava [2].....	34
Slika 5.4 AB-QM ventil s AME pogonom	34
Slika 5.5 Kotao na pelete EKO-CKS P 230.....	38
Slika 5.6 Akumulacijski spremnik CAS 3001	39
Slika 5.7 Spremnik PTV-a Vitocell 100-V	40
Slika 5.8 Membranska ekspanzijska posuda MAXIVAREM LR CE volumena 400 l.....	42
Slika 5.9 Radna točka kotlovske pume.....	43
Slika 5.10 Shema kritične dionice cirkulacijskog kruga akumulacijski spremnik - ventilokonvektori	44
Slika 5.11 Radna točka pumpe sustava ventilokonvektora.....	45
Slika 5.12 Radna točka pumpe sustava ventilacijskih jedinica.....	46
Slika 5.13 Radna točka pumpe sustava PTV-a	47

POPIS TABLICA

Tablica 1.1 Veza između PMV i PPD [1].....	1
Tablica 2.1 Koeficijenti prolaza topline građevnih elemenata	3
Tablica 3.1 Rezultati toplinskog opterećenja prostorija u prizemlju.....	6
Tablica 3.2 Rezultati toplinskog opterećenja prostorija na 1. katu	7
Tablica 3.3 Transmisijski gubici prema vanjskom okolišu	8
Tablica 4.1 Kategorizacija kvalitete unutarnjeg zraka	11
Tablica 4.2 Kategorizacija kvalitete vanjskoga zraka	11
Tablica 4.3 Volumni protoci po prostorijama	13
Tablica 4.4 Dimenzioniranje kanala.....	18
Tablica 4.5 Kritične dionice glavne ventilacijske jedinice	20
Tablica 4.6 Kritične dionice dvoranske ventilacijske jedinice	21
Tablica 4.7 Pad tlaka u sanitarnom odsisu	21
Tablica 4.8 Proračun razine zvučne snage po frekvencijama	29
Tablica 4.9 Proračun ukupne razine zvučnoga tlaka	30
Tablica 5.1 Popis ogrjevnih tijela po prostorijama	31
Tablica 5.2 Dimenzioniranje cijevi	35
Tablica 5.3 Kritična dionica kotlovske pumpe	43
Tablica 5.4 Kritična dionica pumpe ventilokonvektorskog sustava	44
Tablica 5.5 Kritična dionica pumpe sustava ventilacijskih jedinica	45
Tablica 5.6 Kritična dionica pumpe sustava potrošne tople vode.....	47

POPIS TEHNIČKE DOKUMENTACIJE

1. Tlocrt spajanja i smještaja opreme sustava toplovodnog grijanja - prizemlje i podrum
2. Tlocrt spajanja i smještaja opreme sustava toplovodnog grijanja - prvi kat
3. Tlocrt spajanja i smještaja opreme ventilacijskog sustava - prizemlje
4. Tlocrt spajanja i smještaja opreme ventilacijskog sustava - prvi kat
5. Ventilacijska jedinica dvorane Genoix Comfort 10RDL
6. Glavna ventilacijska jedinica Genoix Comfort 16RDL
7. Shema spajanja i regulacije termotehničkog postrojenja škole

POPIS OZNAKA

Oznaka	Jedinica	Opis
Φ_T	W	transmisijski toplinski gubici
Φ_V	W	ventilacijski toplinski gubici
Φ_{RH}	W	toplinski tok za zagrijavanje zbog prekida grijanja
Φ_{HL}	W	projektno toplinkso opterećenje
ϑ_{int}	°C	unutarnja projektna temperatura
A	m ²	površina
$H_{T,ie}$	W/K	koeficijent transmisijskih gubitaka od grijanog prostora prema vanjskom okolišu
$H_{T,iue}$	W/K	koeficijent transmisijskih gubitaka od grijanog prostora kroz negrijani prostor prema vanjskom okolišu
$H_{T,ig}$	W/K	koeficijent transmisijskih gubitaka od grijanog prostora prema tlu
$H_{T,ij}$	W/K	koeficijent transmisijskih gubitaka od grijanog prostora prema susjednom grijanom prostoru na nižu temperaturu
$\vartheta_{int,i}$	°C	unutarnja projektna temperatura
ϑ_e	°C	vanjska projektna temperatura
U	W/(m ² ·K)	koeficijent prolaza topline
e_k, e_l	-	korekcijski faktori izloženosti koji uzimaju u obzir klimatske utjecaje kao vlažnost, temperatura, brzina vjetra
l	m	dužina linijskog toplinskog mosta
ψ	W/(m·K)	linijski koeficijent prolaza topline linijskog toplinskog mosta
f_{g1}	-	korekcijski faktor za utjecaj godišnje oscilacije vanjske temperature
f_{g2}	-	faktor smanjenja temperaturne razlike koji uzima u obzir razliku između godišnje srednje vanjske i vanjske projektne temperature
U_{equiv}	W/(m ² ·K)	ekvivalentni koeficijent prolaza topline
H_V	W/K	koeficijent ventilacijskih toplinskih gubitaka
V	m ³ /h	protok zraka kroz grijani prostor
ρ_{zr}	kg/m ³	gustoća zraka
c_p	J/(kg·K)	specifični toplinski kapacitet zraka pri konstantnom tlaku
V_{inf}	m ³ /h	protok zraka usljed infiltracije

V_{su}	m^3/h	količina zraka dovedena mehaničkim sustavom ventilacije
ϑ_{su}	$^{\circ}C$	temperatura dobavnog zraka
f_V	-	faktor smanjenja temperaturne razlike
f_{RH}	-	korekcijski faktor za utjecaj prekida grijanja
$q_{v,d}$	m^3/h	volumni protok dobavnog zraka
$q_{v,p}$	m^3/h	volumni protok povratnog zraka
λ	-	koeficijent trenja
ε	-	relativna hrapavost
k	mm	apsolutna hrapavost
η_{zr}	Pa·s	dinamička viskoznost zraka
Re	-	Reynoldsov broj
DN	mm	nazivni promjer
d_u	mm	unutarnji promjer
w	m/s	brzina strujanja
R	Pa/m	linijski pad tlaka
L	m	duljina dionice
ζ	-	koeficijent lokalnog gubitka
Z	-	lokalni pad tlaka
W	W	zvučna snaga
L_W	dB	razina zvučne snage
p	Pa	zvučni tlak
L_p	dB	razina zvučnog tlaka
f_m	Hz	frekvencija
L_{pA}	dB(A)	ukupna razina zvučnoga tlaka
Φ_{ot}	W	snaga ogrijevnih tijela
$\Delta\vartheta$	W	promjena temperature
c_w	J/(kg·K)	specifični toplinski kapacitet vode
ρ_w	kg/m ³	gustoća vode
η_w	Pa·s	dinamička viskoznost vode
C	W/K	vodena vrijednost
q_v	m^3/h	volumni protok potrošne tople vode
ϑ_{ul}	$^{\circ}C$	temperatura vode u vodovodnoj mreži
ϑ_{iz}	$^{\circ}C$	temperatura potrošne tople vode na izljevnom mjestu
ϑ_s	$^{\circ}C$	temperatura potrošne tople vode u spremniku
z_a	h	vrijeme predzagrijavanja potrošne tople vode

z_b	h	vrijeme korištenja potrošne tople vode
b	-	faktor negrijanog volumena
C_a	kW·h	akumulirana toplinska energija u spremniku potrošne tople vode
n	-	koeficijent volumnog širenja vode
V_A	l	ukupni volumen vode u sustavu
p_e	bar	projektni krajnji tlak u sustavu grijanja
h_{sys}	m	statička visina instalacije
h_{dod}	m	dodatna visina
p_o	bar	primarni tlak
V_V	l	dodatni volumen
V_e	l	volumen širenja vode
V_n	l	volumen ekspanzijske posude
q_m	kg/s	maseni protok

SAŽETAK

U ovom radu prikazano je projektno rješenje sustava grijanja, ventilacije te pripreme potrošne tople vode Osnovne škole Jabukovac. Kao toplinski izvor koristi se kotao na pelete sa srednjetermperaturnim režimom rada (70/60 °C). Ogrjevna tijela izvedena su kao ventilokonvektori odabrani prema toplinskom opterećenju pojedinih prostorija. Ventilacijski sustav je izveden pomoću dvije ventilacijske jedinice. Prva ventilacijska jedinica koristi se za ventilaciju glavnog dijela zgrade koji uključuje učionice i urede zaposlenika. Sustav je izveden u VAV (*eng. variable air flow*) varijanti s potrebnom regulacijskom opremom. Regulacija volumnog protoka zraka se vrši prema koncentraciji CO₂ unutar prostorija. Druga, manja ventilacijska jedinica koristi se za ventilaciju dvorane i pripadajućih garderoba. Ona je izvedena kao CAV (*eng. constant air volume*) sustav, te se njen rad poklapa s radom školske dvorane.

Ključne riječi: grijanje, ventilacija, škola

SUMMARY

This paper presents the design of heating system, ventilation and preparation of domestic hot water of the Jabukovac Primary School. As a heat source, the pellet boiler is used with a medium-temperature operating mode (70/60 °C). The heating bodies were installed as fan coils selected for the thermal load of individual rooms. The ventilation system is provided by two ventilation chambers. The first ventilation chamber is used to ventilate a larger part of the building, including the classrooms and offices of the employee. The system is implemented in VAV (variable air flow) variant with the required regulating equipment. Airflow volume regulation is performed according to the CO₂ concentration inside the room. The second, smaller ventilation chamber is used for ventilation of the hall and associated wardrobes. It is installed as a CAV (constant air volume) system, and its operation coincides with the use of the school hall.

Key words: heating, ventilation, school

1. UVOD

Zadatak sustava grijanja, klimatizacije i ventilacije (GViK) je ostvarivanje toplinske ugodnosti unutar kondicioniranog prostora. Toplinska ugodnost se postiže održavanjem parametara upravljanim GViK sustavom unutar vrijednosti koje zadovoljavaju najveći mogući broj korisnika. Mjere toplinske ugodnosti su PMV (*eng.* Predicted Mean Vote) indeks i PPD (*eng.* Predicted Percentage of Dissatisfied) indeks. PMV indeks predviđa ocjenu ugodnosti boravka u prostoru, dok PPD indeks, koji je funkcija isključivo PMV indeksa, daje postotak nezadovoljnih korisnika unutar prostora. Analizom tablice 1.1 može se primijetiti da i pri idealnoj vrijednosti PMV indeksa od 0 ipak 5% ljudi ne osjeća toplinsku ugodnost te time dolazimo do zaključka da se niti teorijski ne može udovoljiti svim korisnicima kondicioniranog prostora.

Tablica 1.1 Veza između PMV i PPD [1]

PMV	+3	+2	+1	+0,5	0	-0,5	-1	-2	-3
PPD	90%	75%	25%	10%	5%	10%	25%	75%	90%

Glavni parametri koji utječu na toplinsku ugodnost su: [2]

- Temperatura zraka u prostoriji
- Temperatura ploha prostorije
- Vlažnost zraka
- Strujanje zraka
- Razina odjevenosti
- Razina fizičke aktivnosti
- Ostali faktori popu kvalitete zraka, buke...

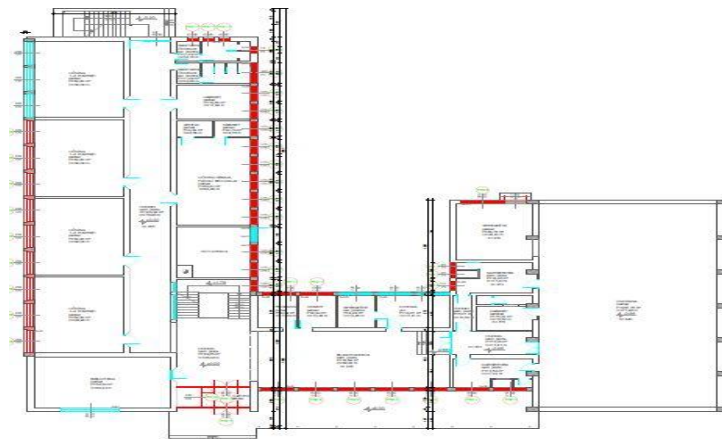
Pri projektiranju GViK sustava važno je projektne parametre prilagoditi namjeni sustava, a izvedbu prilagoditi stanju na terenu i budžetu investitora. Optimalan rad sustava pri djelomičnim opterećenjima osigurava pravilno odabrana automatska regulacija, koja zadnjih godina ostvaruje najveći napredak, te se njenim korištenjem mogu ostvariti najveće uštede u pogledu pogonskih troškova.

2. OPĆENITI OPIS GRAĐEVINE

Projektna zgrada nalazi se u Jabukovcu, u ulici Jabukovac kućnog broja 34. Građevina se sastoji od tri etaže: podruma, prizemlja i kata (Po+P+1). U podrumu je smještena kotlovnica sa sigurnosnim izlazom prema unutrašnjem dvorištu. Na prizemlju su smještene učionice namijenjene učenicima nižih razreda (1.-4.) škole, knjižnica, kuhinja, ured školske psihologinje, dvorana s garderobama te ulazni prostor s blagovaonom. Na katu se nalaze specijalizirane učionice za pojedine predmete s pripadajućim kabinetima. Na katu se također nalazi zbornica i ostali uredi školskih zaposlenika. Komunikacija kroz etaže ostvaruje se preko stubišta koje je dvokrako i smješteno neposredno nakon glavnog ulaza u školu. Ukupna korisna površina iznosi 1468 m².



Slika 2.1 Pogled na sjeveroistočno (ulazno) pročelje građevine



Slika 2.2 Tlocrt prizemlja škole

Tablica 2.1 Koeficijenti prolaza topline građevnih elemenata

Građevni element	U [W/m ² K]
Vanjski zid	0,16
Pod	1,78
Strop	0,16
Unutrašnji pregradni zidovi	1,21
	1,48
	1,75
Vanjski prozori	1,1
	1,4
	2,0
Vanjska vrata	2,0
Unutrašnja vrata	2,2

3. TOPLINSKO OPTEREĆENJE ZGRADE

3.1. Metoda proračuna toplinskog opterećenja

Metoda proračuna toplinskog opterećenja zgrade definirana je normom HRN EN 12 831. Proračun se provodi u nekoliko koraka. Prvo se iz Tehničkog propisa o racionalnoj uporabi energije i toplinskoj zaštiti u zgradama, Priloga E vade podaci o vanjskoj projektnoj i srednjoj godišnjoj temperaturi. Slijedi određivanje unutarnjih projektne temperature za svaku grijanu prostoriju. Nakon toga određuju se toplinske karakteristike građevnih elemenata svih prostorija. Slijedeći korak je proračun transmisivskih toplinskih gubitaka. Proračun je stacionaran, a svi koeficijenti transmisivskih gubitaka se množe s raznim faktorima kako bi se na kraju zbrojili i pomnožili s razlikom vanjske i unutarnje projektne temperature. Izraz za izračun projektne transmisivskih gubitaka je:

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

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

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

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

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

$\vartheta_{int,i}$ - unutarnja projektne temperatura [°C]

ϑ_e - vanjska projektne temperatura [°C]

Nakon toga se proračunavaju ventilacijski toplinski gubici, a proračun se razlikuje ovisno o tome postoji li ventilacijski sustav ili ne. Volumni protok zraka se pretvara u koeficijent toplinskih gubitaka, a izraz za ventilacijske toplinske gubitke je:

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

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

Slijedi proračun ukupnih projektnih toplinskih gubitaka prostorije zbrajanjem transmisivskih i ventilacijskih gubitaka. Nakon toga se izračunava dodatni kapacitet za zagrijavanje prostorije u slučaju kada imamo prekid grijanja. Izraz je:

$$\Phi_{RH,i} = A_i \cdot f_{RH} \text{ [W]}$$

A_i - površina poda s 1/2 debljine zidova [m²]

f_{RH} - korekcijski faktor [W/m²]

Završni korak u proračunu je izračunavanje ukupnog projektnog toplinskog gubitka građevine zbrajanjem toplinskih gubitaka i dodatnog kapaciteta za ponovno zagrijavanje. izraz je:

$$\Phi_{HL,i} = \sum \Phi_{T,i} + \sum \Phi_{V,i} + \sum \Phi_{RH,i} \text{ [W]}$$

$\sum \Phi_{T,i}$ - suma transmisivskih gubitaka svih prostora isključujući toplinu koja se izmjenjuje između dijelova zgrade ili prostorija [W]

$\sum \Phi_{V,i}$ - suma ventilacijskih gubitaka svih prostora isključujući toplinu koja se izmjenjuje između dijelova zgrade ili prostorija [W]

$\sum \Phi_{RH,i}$ - suma toplina za zagrijavanje svih prostorija zbog prekida grijanja [W]

3.2. Proračun pomoću programskog paketa

Kako bi se ubrzao proračun toplinskog opterećenja zgrade moguće je koristiti razne programske pakete. Za potrebe ovog rada korišten je programski paket *IntegraCAD*. On proračunava toplinsko opterećenje analogno normi HRN EN 12831. Nakon unosa ulaznih parametara potrebno je učitati CAD tlocrte građevine te grafički odrediti granice prostorija.

Rezultati proračuna toplinskog opterećenja prostorije izraženi su kao:

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

$\Phi_{T,i}$ - transmisijski toplinski gubici prostorije

$\Phi_{V,i}$ - ventilacijski toplinski gubici prostorije

$\Phi_{RH,i}$ - toplinski tok za zagrijavanje zbog prekida grijanja

Tablica 3.1 Rezultati toplinskog opterećenja prostorija u prizemlju

Rekapitulacija toplinskog opterećenja								
K1	Prizemlje							
Oznaka	Prostorija	A_k	ϑ_{int}	Φ_T	Φ_V	Φ_{RH}	Φ_{HL}	Φ/A
		m ²	°C	W	W	W	W	W/m ²
P1	Biblioteka	54	20	1350	824	1199	3373	62
P2	Učionica 1.-4. razreda	54	20	1486	926	1188	3600	67
P3	Učionica 1.-4. razreda	54	20	984	926	1188	3098	57
P4	Učionica 1.-4. razreda	54	20	991	931	1199	3121	58
P5	Učionica 1.-4. razreda	54	20	985	926	1188	3099	57
P7	Učionica Fizika, Kemija i Biologija	50	20	1647	896	1118	3661	73
P8	Kabinet	19	20	436	229	431	1096	58
P9	WC-M	11	20	495	174	242	911	83
P10	WC-Ž	11	20	210	134	253	597	54
P11	Pedagog	9	20	405	98	219	722	80
P12	Soba za odmor	9	20	379	135	205	719	80
P13	Spremište	9	20	269	178	204	651	72

P14	Kuhinja	18	20	958	315	409	1682	93
P15	Garderoba-Ž	18	20	727	418	404	1549	86
P16	Dvorana	321	18	11183	6121	7073	24377	76
P17	Garderoba-M	17	20	797	409	387	1593	94
P18	Hodnik	15	15	444	0	336	780	52
P19	Hodnik	5	15	68	0	110	178	36
P20	Kabinet	15	20	826	289	337	1452	97
P21	Ulazni hodnik s blagovaonom	219	20	5972	3126	4827	13925	64
	Ukupno: Prizemlje						70184	

Tablica 3.2 Rezultati toplinskog opterećenja prostorija na 1. katu

K2		Kat 1.						
Oznaka	Prostorija	A_k	ϑ_{int}	Φ_T	Φ_V	Φ_{RH}	Φ_{HL}	Φ/A
		m ²	°C	W	W	W	W	W/m ²
P1	Zbornica	34	20	1162	707	752	2621	77
P2	Hodnik	16	15	516	268	355	1139	71
P3	Računovodstvo	13	20	547	138	291	976	75
P4	Soba za odmor	7	20	600	83	162	845	121
P5	Tajništvo	11	20	613	125	244	982	89
P6	Učionica Zemljopis i Povijest	54	20	1751	931	1199	3881	72
P7	Učionica Matematika	54	20	1737	926	1188	3851	71
P8	Učionica Hrvatski i Strani jezik	54	20	1727	926	1188	3841	71
P9	Učionica Glazbena i likovna kultura	54	20	2022	926	1188	4136	77
P10	Hodnik	100	15	2296	1675	2220	6191	62
P11	WC-M	11	20	612	174	242	1028	93
P12	WC-Ž	11	20	365	134	252	751	68
P13	Kabinet	12	20	409	233	267	909	76
P14	Kabinet	16	20	514	325	372	1211	76
P15	Učionica Informatika i Tehnička kultura	67	20	2133	1052	1476	4661	70
P16	Kabinet	12	20	611	239	274	1124	94
	Ukupno: Kat 2.						38147	
	Ukupno: Zgrada						108331	

3.3. Provjera programskog rješenja ručnim proračunom

Dobivena rješenja programskim paketom *IntegraCAD* provjeravaju se ručnim proračunom za jednu prostoriju kako bi se osigurala valjanost ulaznih parametara i rješenja dobivenih njome. Proračun ćemo provesti za školsku knjižnicu (P1).

3.3.1. Projektni transmisijski gubici topline prostorije

Računaju se prema izrazu:

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

Tablica 3.3 Transmisijski gubici prema vanjskom okolišu

Koeficijent transmisijskih gubitaka prema vanjskom okolišu $H_{T,ie}$							
Oznaka	Građevni element	Duljina	Širina/ Visina	A_k	U_k	e_k	$A_k \cdot U_k \cdot e_k$
-	-	m	m	m ²	W/m ² K	-	W/K
PR	Prozor	3,9	1,8	7,02	1,4	1	9,83
VZ	Vanjski zid	16,88	3,56	60,09	0,16	1	9,61
$\sum A_k \cdot U_k \cdot e_k$							19,44
Oznaka	Vrsta toplinskog mosta			ψ_l	l_l	e_l	$\psi_l \cdot l_l \cdot e_l$
-	-			W/mK	m	-	W/K
01A	Kut vanjskog zida			0,01	3,56	1	0,0356
03A	Završetak unutarnjeg zida prema vanjskom izoliranom zidu			0,125	3,56	1	0,4450
10A	Horizontalni spoj pod-zid, zid-strop			0,33	15,11	1	4,9863
34A	Kut pregradnog zida			0,035	7,12	1	0,2492
$\sum \psi_l \cdot l_l \cdot e_l$							5,7161
$H_{T,ie} = \sum \psi_l \cdot l_l \cdot e_l + \sum A_k \cdot U_k \cdot e_k$							25,16

Koeficijent transmisijskih gubitaka prema tlu $H_{T,ig}$:

$$H_{T,ig} = f_{g1} \cdot f_{g2} \cdot A_k \cdot U_{equiv,k} \quad [\text{W/K}]$$

$f_{g1} = 1,45$ - korekcijski faktor za utjecaj godišnje oscilacije vanjske temperature

$f_{g2} = 0,24$ - faktor smanjenja temperaturne razlike koji uzima u obzir razliku između godišnje srednje vanjske i vanjske projektne temperature

$$f_{g2} = \frac{\vartheta_{int,i} - \vartheta_{m,e}}{\vartheta_{int,i} - \vartheta_e} = \frac{20 - 11,7}{20 - (-17)} = 0,24 \quad [-]$$

$A_k = 54 \text{ m}^2$ – površina poda

$U_{equiv,k} = 0,41 \text{ W/m}^2\text{K}$ – ekvivalentni koeficijent prolaza topline

$$H_{T,ig} = 1,45 \cdot 0,24 \cdot 54 \cdot 0,41 = 7,70 \text{ W/K}$$

$$\Phi_{T,i} = (25,16 + 7,70)(20 - (-17)) = 1215,8 \text{ W}$$

3.3.2. Projektni ventilacijski gubici prostorije

Računaju se prema izrazu:

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

Koeficijent ventilacijskih toplinskih gubitaka $H_{V,i}$:

$$H_{V,i} = V_i \cdot \rho_{zr} \cdot c_p = V_i \cdot 0,34 \quad [\text{W/K}]$$

Protok zraka u grijani prostor V_i :

$$V_i = V_{inf,i} + V_{su,i} \cdot f_{V,i} \quad [\text{m}^3/\text{h}]$$

$f_{V,i} = 0,054$ - faktor smanjenja temperaturne razlike

$$f_{vi} = \frac{\vartheta_{int,i} - \vartheta_{su,i}}{\vartheta_{int,i} - \vartheta_e} = \frac{20 - 18}{20 - (-17)} = 0,054 \quad [-]$$

Infiltracija kroz zazure:

$$V_{inf,i} = 2 \cdot V_p \cdot n_{50} \cdot e_i \cdot e_l$$

$V_p = 166,22 \text{ m}^3$ - volumen prostorije

$n_{50} = 2,5$ - broj izmjena zraka u prostoriji (h-1) pri razlici tlaka 50 Pa između prostorije i vanjskog okoliša

$e_i = 0,03$ - koeficijent zaštićenosti

$e_i = 1$ - korekcijski faktor za visinu

$$V_{inf,i} = 2 \cdot 166,22 \cdot 2,5 \cdot 0,03 \cdot 1 = 24,9 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$V_i = 24,9 + 750 \cdot 0,054 = 65,4 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$H_{V,i} = 65,4 \cdot 0,34 = 22,24 \text{ W/K}$$

$$\Phi_{V,i} = 22,24 \cdot (20 - (-17)) = 822,7 \text{ W}$$

3.3.3. Dodatni kapacitet zbog prekida grijanja

Računa se kao:

$$\Phi_{RH,i} = A_i \cdot f_{RH} \quad [\text{W}]$$

$A_i = 63,36 \text{ m}^2$ - površina poda grijanog prostora s $\frac{1}{2}$ debljine zidova

$f_{RH} = 18 \text{ W/m}^2$ - korekcijski faktor ovisan o vremenu zagrijavanja i pretpostavljenom padu temperature za vrijeme prekida

$$\Phi_{RH,i} = 63,36 \cdot 18 = 1140,4 \text{ W}$$

3.3.4. Ukupni toplinski gubici prostorije

Vrijedi izraz:

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

$$\Phi_{HL,i} = 1215,8 + 822,7 + 1140,4 = 3178,9 \text{ W}$$

Usporedimo li rješenje dobiveno ručnim proračunom (3178,9 W) s rješenjem dobivenim programom *IntegraCAD* (3373 W) primjećujemo da je odstupanje unutar dozvoljenih granica i na strani sigurnosti te prihvaćamo podatke dobivene tim programom u daljnji proračun.

4. VENTILACIJSKI SUSTAV

4.1. Ventilacija u školama

Osnovna zadaća ventilacijskog sustava je snižavanje koncentracije zagađivača (u našem slučaju CO₂) na prihvatljivu razinu. Europski standard EN 13779 dijeli kvalitetu unutarnjeg zraka (*eng.* IAQ - *indoor air quality*) na četiri kategorije: visoku, srednju umjerenu i nisku, u ovisnosti o koncentraciji CO₂ iznad koncentracije vanjskoga zraka. Treba napomenuti da koncentracija CO₂ nikako nije jedino mjerilo kvalitete zraka, razni plinovi i pare, bioareosoli, čestice prašine i sl. također značajno utječu na kvalitetu zraka.

Tablica 4.1 Kategorizacija kvalitete unutarnjeg zraka

Kategorija	Kvaliteta zraka	CO ₂ koncentracija iznad vanjskog zraka [ppm]
IDA 1	visoka	<400
IDA 2	srednja	400-600
IDA 3	umjerena	600-1000
IDA 4	niska	>1000

Kvaliteta vanjskoga zraka je također kategorizirana po istoj normi (*eng.* ODA - *outdoor air*), te se dijeli u tri kategorije. Definirane su razine koncentracija raznih zagađivača u zraku poput CO₂, NO₂, SO₂ i PM₁₀ (čestica veličine do 10 μm), a u tablici 4.2 dane su vrijednosti za CO₂ budući da se njime bavi u ovom radu.

Tablica 4.2 Kategorizacija kvalitete vanjskoga zraka

Kategorija	Opis kvalitete zraka	Koncentracija CO ₂ [ppm]
ODA 1	Ruralna područja bez značajnih izvora CO ₂	350
ODA 2	Manji gradovi	400
ODA 3	Gradski centar	450

Škole, a pogotovo školske učionice predstavljaju mjesta na kojima se okuplja velik broj osoba na relativno malom volumenu. Učenici i profesori svojim disanjem pretvaraju kisik iz zraka u ugljični dioksid (CO₂). Bez ili sa nedovoljnom izmjenom zraka koncentracija kisika pada, a koncentracija ugljičnog dioksida u zraku raste. Boravak u prostorima sa koncentracijom CO₂ iznad 1000 ppm može izazvati tkz. „Sindrom bolesne zgrade“ (eng. *Sick Building Syndrome*) čiji su simptomi razdražljivost, umor, glavobolja, problemi s koncentracijom i slično. Mjerenja u školama u SAD-u na području savezne države Kalifornije su pokazala da maksimalne koncentracije CO₂ dosežu 2200 ppm, a u školama u saveznoj državi Teksas u čak 21 % škola izmjereno je preko 3000 ppm. [3] Uz škole, ovaj sindrom je još prisutan i u uredskim prostorima. Rješenje problema je relativno jednostavno, potrebno je povećati izdašnost ventilacije. Osim izdašnosti ventilacije probleme može predstavljati i kvaliteta ventilacijskog zraka. Na kvalitetu najviše utječe odabrana filtracijska oprema te je potrebno predvidjeti odgovarajuće klase filtra. Izmjena filtra se vrši po dostizanju pada tlaka kojeg propisuje proizvođač. Međutim u praksi se često zanemaruje izmjena istog radi smanjenja pogonskih troškova što naravno utječe na kvalitetu zraka.

Ventilacija u osnovnim školama u Republici Hrvatskoj je regulirana Državnim pedagoškim standardom osnovnoškolskog sustava odgoja i obrazovanja, Člankom 24. koji govori kako se u nastavnim prostorima moraju osigurati četiri izmjene zraka na sat uz najveću brzinu strujanja zraka od 0,2 m/s ili 25-30 m³ zraka/h po učeniku. Uvjet od četiri izmjene zraka na sat kao proračunski podatak bi trebalo koristiti ukoliko nam nije poznat broj učenika u prostoriji. Pogodnije je sustav dimenzionirati prema zahtjevu od 25-30 m³ zraka/h po učeniku, iako neke specijalizirane učionice poput kemijskih kabineta, dvorana i sl. mogu zahtijevati i izdašniju ventilaciju ukoliko je to potrebno.

4.2. Protok zraka

Za potrebe ventilacije učionica i uredskih prostora odabran je volumni protok od 30 m³/h po osobi. Ulazni hodnik sa blagovaonom kao i kuhinja imaju konstanti protok zraka. Sanitarni prostori su proračunati po ACH (*eng. air changes per hour*) uvjetu - odabrane su 3 izmjene volumena prostorija na sat. Nadalje, sanitarni prostori izvode se u posebnom sustavu te se ugrađuje samo povratni vod kako bi se spriječilo širenje neugodnih mirisa, a prestrujavanje zraka osigurava se ugradnjom aluminijskih rešetki na vrata. U tablici 4.1 dane su vrijednosti volumnih protoka dobavnog i povratnoga zraka.

Tablica 4.3 Volumni protoci po prostorijama

Volumni protoci							
K1		Prizemlje		K2		Kat 1.	
Oznaka	Prostorija	$q_{v,d}$	$q_{v,p}$	Oznaka	Prostorija	$q_{v,d}$	$q_{v,p}$
		[m ³ /h]	[m ³ /h]			[m ³ /h]	[m ³ /h]
P1	Biblioteka	750	750	P1	Zbornica	750	750
P2	Učionica 1.-4. razreda	600	600	P2	Hodnik	0	0
P3	Učionica 1.-4. razreda	600	600	P3	Računovodstvo	90	90
P4	Učionica 1.-4. razreda	600	600	P4	Soba za odmor	0	0
P5	Učionica 1.-4. razreda	600	600	P5	Tajništvo	90	90
P6	Kotlovnica	0	0	P6	Učionica Zemljopis i Povijest	600	600
P7	Učionica Fizika, Kemija i Biologija	600	600	P7	Učionica Matematika	600	600
P8	Kabinet	60	60	P8	Učionica Hrvatski i Strani jezik	600	600

P9	WC-M	0	100	P9	Učionica Glazbena i likovna kultura	600	600
P10	WC-Ž	0	100	P10	Hodnik	0	0
P11	Pedagog	60	60	P11	WC-M	0	100
P12	Soba za odmor	0	0	P12	WC-Ž	0	100
P13	Spremište	0	0	P13	Kabinet	60	60
P14	Kuhinja	200	200	P14	Kabinet	60	60
P15	Garderoba-Ž	300	300	P15	Učionica Informatika i Tehnička kultura	600	600
P16	Dvorana	1500	1500	P16	Kabinet	0	0
P17	Garderoba-M	300	300				
P18	Hodnik	0	0				
P19	Hodnik	0	0				
P20	Kabinet	60	60				
P21	Ulazni hodnik sa blagovaonom	1500	1500				

4.3. Elementi distribucije zraka

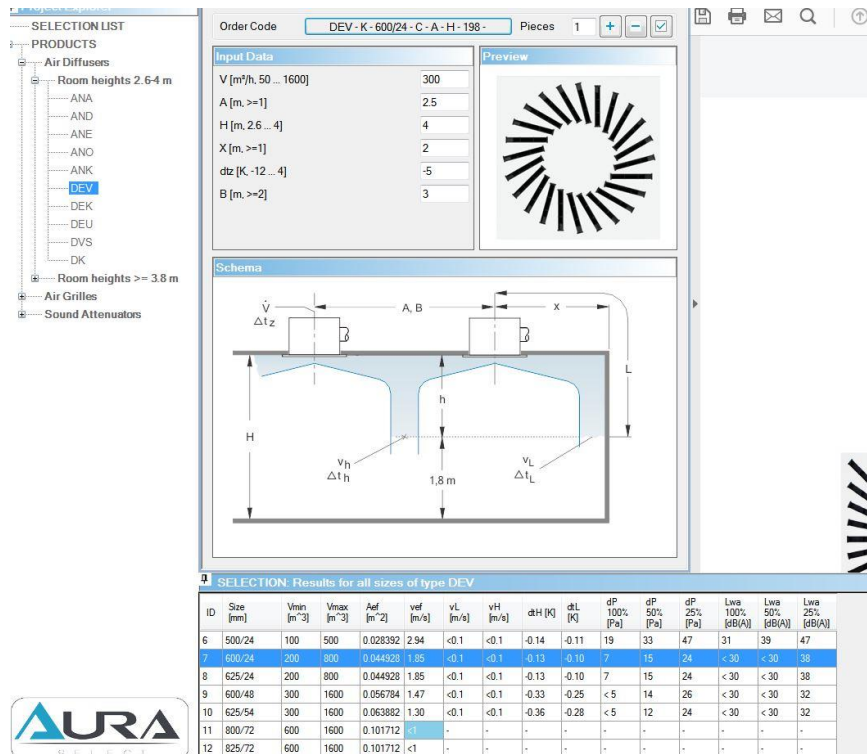
Odabir se vrši pomoću kataloga [3] proizvođača *Klimaopreme*, a računalni program *AURA select* istog proizvođača nam daje radne parametre glede pada tlaka i razine zvučne snage distributora pri projektnim protocima. Odabrani su stropni distributeri DEV dimenzionirani prema potrebama prostorije. Dvorana radi svoje visine ($h = 7$ m) zahtjeva posebne distributere te se za nju odabiru distributeri s vertikalnim istrujavanjem tipa DHV.



Slika 4.1 Distributer zraka DEV



Slika 4.2 Distributer zraka DHV



The screenshot displays the AURA software interface. On the left is a 'SELECTION LIST' with categories like 'Air Diffusers' and 'Room heights'. The main area shows 'Input Data' for a diffuser model 'DEV-K-600/24-C-A-H-198'. The input data includes flow rate (V), dimensions (A, H, X, B), and temperature difference (dtz). A 'Preview' window shows a circular diffuser. Below is a 'Schema' diagram of a room with two diffusers, showing air flow paths and parameters like v_h , Δt_h , v_L , and Δt_L . At the bottom is a table with selection results for various sizes of type DEV.

ID	Size [mm]	Vmin [m ³ /h]	Vmax [m ³ /h]	A _{ef} [m ²]	v _{ef} [m/s]	v _L [m/s]	v _H [m/s]	ΔH [K]	ΔL [K]	dP _{100%} [Pa]	dP _{50%} [Pa]	dP _{25%} [Pa]	L _{wa} 100% [dB(A)]	L _{wa} 50% [dB(A)]	L _{wa} 25% [dB(A)]
6	500/24	100	500	0.028392	2.94	<0.1	<0.1	-0.14	-0.11	19	33	47	31	39	47
7	600/24	200	900	0.044928	1.85	<0.1	<0.1	-0.13	-0.10	7	15	24	<30	<30	38
8	625/24	200	800	0.044928	1.85	<0.1	<0.1	-0.13	-0.10	7	15	24	<30	<30	38
9	600/48	300	1600	0.056784	1.47	<0.1	<0.1	-0.33	-0.25	<5	14	26	<30	<30	32
10	625/54	300	1600	0.063882	1.30	<0.1	<0.1	-0.36	-0.28	<5	12	24	<30	<30	32
11	800/72	600	1600	0.101712	<1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
12	825/72	600	1600	0.101712	<1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Slika 4.3 Korisničko sučelje programa AURA

Za odsis zraka iz prostorija prema ventilacijskim jedinicama odabiru se ventilacijske rešetke tipa OAB koje se zidno ugrađuju u ventilirane prostore, dok se za odsis zraka iz dvorane i blagovaone ugrađuju CCV rešetke koje se ugrađuju bočno na ventilacijske kanale. Tvrtka *Klimaoprema* nudi specijalne zračne ventile tipa ZOV koje koristimo za odsis zraka iz sanitarnih prostora škole.



Slika 4.4 Rešetka CCV predviđena za bočnu ugradnju na kanal



Slika 4.5 Rešetka OAB namijenjena za zidnu ugradnju



Slika 4.6 Zračni ventil ZOV konstruiran za sanitarne prostore

4.4. Regulacija protoka zraka ventilacije

Školu smo podijelili na dvije regulacijske zone s pogleda ventilacije. U prvoj zoni su prostorije koje kroz dan imaju kontinuiranu promjenu glede ventilacijskog zahtjeva poput učionica, zbornice, blagovaone itd. Česta promjena broja ljudi koji borave unutar prostora uzrokuje porast ili pad zagađivača unutar prostora (primarno CO₂). Kako bi povećali efikasnost ventilacijskog sustava pri nižim potrebama za ventilacijom ugrađuju se regulatori varijabilnog protoka. Za pravilan rad potreban je osjetnik CO₂ koncentracije unutar reguliranog prostora koji se povezuje s regulatorom te mu zadani *set-point* služi kao regulacijska veličina. Regulator upravlja kutom nagiba zaklopke unutar VAV elementa mijenjajući tako protok dobavnog odnosno povratnog zraka. Odabrani su regulatori RVP-C proizvođača *Klimaopreme*.



Slika 4.7 Regulator varijabilnog protoka RVP-C

Unutar druge zone nalazi se sportska dvorana s pripadajućim svlačionicama. Zbog specifične namjene ovog prostora odabire se sustav s konstantnim protokom zraka – sustav se pali prilikom korištenja dvorane, a po završetku nastave sustav se gasi. Očekuje se približno konstantan broj korisnika tijekom korištenja. Zajednički parametar obje zone je temperatura dobavnog zraka koja iznosi 18 °C.

4.5. Dimenzioniranje kanala

Odabrani su okrugli kanali za sustav ventilacije. Oni nude bolja hidraulička svojstva u odnosu na standardne pravokutne kanale što se očituje u manjem otporu strujanja zraka, krući su i čvršći te imaju bitno manje propuštanje zraka. Kanali su dimenzionirani metodom konstantne brzine, početna brzina od 7 m/s se postepeno snižava prema distribucijskim elementima. Koeficijent trenja λ računat je prema *Sylvesterovoj* jednadžbi [4]:

$$\lambda = \left(-2 \cdot \lg \left(\frac{\varepsilon}{3,7} - \frac{5,02}{Re} \cdot \lg \left(\frac{\varepsilon}{3,77} - \frac{5,02}{Re} \cdot \lg \left(\frac{\varepsilon}{3,77} + \frac{13}{Re} \right) \right) \right) \right)^{-2}$$

Ulazni podaci:

- $\rho_{zr} = 1,2 \text{ kg/m}^3$ - gustoća zraka
- $k = 0,09 \text{ mm}$ - apsolutna hrapavost kanala

- $\eta_{zr} = 1,71 \cdot 10^{-5}$ - dinamička viskoznost zraka
- $\varepsilon = \frac{k}{d_u}$ - relativna hrapavost kanala
- $Re = \frac{\rho \cdot w \cdot d}{\mu}$ - Reynoldsov broj

U nastavku slijedi tablica s rezultatima:

Tablica 4.4 Dimenzioniranje kanala

	Br.	q _v	DN ili axb	d _u ili d _{ekv}	w	ε	Re	λ	R
	-	m ³ /h	mm	mm	m/s	-	-	-	Pa/m
Prizemlje	1	5570	600x600	656	4,298	1,37E-04	1,98E+05	0,017	0,28
	2	3810	450	448,8	6,690	2,01E-04	2,11E+05	0,017	1,02
	3	750	250	249	4,278	3,61E-04	7,48E+04	0,021	0,91
	4	3060	450	448,8	5,373	2,01E-04	1,69E+05	0,018	0,68
	5	600	250	249	3,423	3,61E-04	5,98E+04	0,021	0,61
	6	2460	400	398,8	5,471	2,26E-04	1,53E+05	0,018	0,81
	7	600	250	249	3,423	3,61E-04	5,98E+04	0,021	0,61
	8	1860	355	353,8	5,255	2,54E-04	1,30E+05	0,018	0,87
	9	600	250	249	3,423	3,61E-04	5,98E+04	0,021	0,61
	10	1260	300	299	4,985	3,01E-04	1,05E+05	0,019	0,96
	11	600	250	249	3,423	3,61E-04	5,98E+04	0,021	0,61
	12	660	250	249	3,765	3,61E-04	6,58E+04	0,021	0,72
	13	600	250	249	3,423	3,61E-04	5,98E+04	0,021	0,61
	14	1760	355	353,8	4,973	2,54E-04	1,23E+05	0,019	0,78
	15	1700	355	353,8	4,803	2,54E-04	1,19E+05	0,019	0,73
	16	1500	355	353,8	4,238	2,54E-04	1,05E+05	0,019	0,58
	17	750	250	249	4,278	3,61E-04	7,48E+04	0,021	0,91
	18	950	300	299	3,758	3,01E-04	7,89E+04	0,020	0,57

Prvi kat	19	4050	450	448,8	7,111	2,01E-04	2,24E+05	0,017	1,14
	20	930	250	249	5,305	3,61E-04	9,27E+04	0,020	1,35
	21	840	250	249	4,792	3,61E-04	8,37E+04	0,020	1,12
	22	750	250	249	4,278	3,61E-04	7,48E+04	0,021	0,91
	23	3120	400	398,8	6,938	2,26E-04	1,94E+05	0,017	1,26
	24	600	250	249	3,423	3,61E-04	5,98E+04	0,021	0,61
	25	2520	400	398,8	5,604	2,26E-04	1,57E+05	0,018	0,84
	26	600	200	199	5,359	4,52E-04	7,48E+04	0,021	1,82
	27	1920	355	353,8	5,425	2,54E-04	1,35E+05	0,018	0,92
	28	600	250	249	3,423	3,61E-04	5,98E+04	0,021	0,61
	29	1320	300	299	5,222	3,01E-04	1,10E+05	0,019	1,05
	30	600	250	249	3,423	3,61E-04	5,98E+04	0,021	0,61
	31	720	250	249	4,107	3,61E-04	7,18E+04	0,021	0,84
	32	660	250	249	3,765	0,00036	65788,42	0,021	0,72
	33	600	250	249	3,423	0,00036	59812,42	0,021	0,61
Dvorana	34	2160	400x400	437	4,775	2,25E-04	1,34E+05	0,018	0,62
	35	2160	355	353,8	6,103	2,54E-04	1,52E+05	0,018	1,14
	36	750	250	249	4,278	3,61E-04	7,48E+04	0,021	0,91
	37	600	250	249	3,423	3,61E-04	5,98E+04	0,021	0,61
	38	750	250	249	4,278	0,00036	74752,42	0,021	0,91
	39	810	250	249	4,621	0,00036	80745,89	0,020	1,05
	40	750	250	249	4,278	0,00036	74752,42	0,021	0,91
Sanitarije	41	200	125	124,1	4,593	7,25E-04	4,00E+04	0,024	2,46
	42	100	125	124,1	2,296	0,00073	2,00E+04	0,027	0,70

4.6. Proračun kritičnih dionica

Kritična dionica ventilacijskog sustava je ona s najvećim padom tlaka u sustavu. Pad tlaka na ovoj dionici je ulazni parametar pri proračunu i odabiru ventilatora za sustav. Pad tlaka se sastoji od linijskog pada tlaka računanog izrazom

$$R = \Delta p_F = \lambda \cdot \frac{L}{d} \cdot \frac{\rho \cdot w^2}{2}$$

te od lokalnih gubitaka koji se računaju kao

$$Z = \Delta p_L = \zeta \cdot \frac{\rho \cdot w^2}{2}$$

Rezultati su dani tablično u nastavku:

Tablica 4.5 Kritične dionice glavne ventilacijske jedinice

	Br.	L	q _v	DN/axb	d _u /d _{ekv}	w	R	∑ζ	Z	R·L+Z
	-	m	m ³ /h	mm	mm	m/s	Pa/m	-	Pa	Pa
Dobavni kanal	1	2	5570	600x600	656	5,472	0,49	0,7	12,58	13,56
	2	6,7	3810	450	448,8	6,69	1,02	0,83	22,29	29,12
	3	4,3	3060	450	448,8	5,373	0,68	0,42	7,28	10,2
	4	9,2	2460	400	398,8	5,471	0,81	0,53	9,52	16,97
	5	6,6	1860	355	353,8	5,255	0,87	0,37	6,13	11,87
	6	2,6	1260	300	299	4,985	0,96	0,42	6,26	8,76
	7	8,3	660	250	249	3,765	0,72	0,65	5,53	11,51
	8	5,4	600	250	249	3,423	0,61	0,68	4,78	8,07
	9	1	300	200	199	2,679	0,51	2,03	8,74	9,25
	Pad tlaka na distribucijskom elementu i RVP-u :									
Σ										272
Povratni kanal	1	9,6	600	200	199	5,359	1,82	0,42	7,24	24,71
	2	2,1	660	250	249	3,765	0,72	0,83	7,06	8,57
	3	1,9	1260	300	299	4,985	0,96	0,8	11,93	13,75
	4	6,6	1860	355	353,8	5,255	0,87	0,38	6,3	12,04
	5	9,3	2460	400	398,8	5,471	0,81	0,52	9,34	16,87
	6	7,7	3060	450	448,8	5,373	0,68	0,45	7,79	13,03
	7	5,3	3810	450	448,8	6,69	1,02	0,6	16,11	21,52
	8	2,0	5570	600x600	656	5,472	0,49	0,7	12,58	13,56
	Pad tlaka na odsisnom elementu i RVP-u :									
Σ										263

Tablica 4.6 Kritične dionice dvoranske ventilacijske jedinice

	Br.	L	q_v	DN/axb	d_u/d_{ekv}	w	R	$\sum \zeta$	Z	R·L+Z
	-	m	m ³ /h	mm	mm	m/s	Pa/m	-	Pa	Pa
Dobavni kanal	1	3	2160	400x400	437	4,775	0,62	1,3	17,78	19,64
	2	2,6	2160	355	353,8	6,103	1,14	0,95	21,23	24,19
	3	0,9	1410	355	353,8	3,984	0,52	0,82	7,81	8,28
	4	1,7	810	250	249	4,621	1,05	1,42	18,19	19,98
	5	15,2	750	250	249	4,278	0,91	1,23	13,51	27,34
	6	2,4	375	180	179	4,139	1,29	0,83	8,53	11,63
	Pad tlaka na distribucijskom elementu:									
Σ										171
Povratni kanal	1	13,6	750	250	249	4,278	0,91	0,83	9,11	21,49
	2	1,4	810	250	249	4,621	1,05	0,85	10,89	12,36
	3	2,5	1410	355	353,8	3,984	0,52	0,65	6,19	7,49
	4	2,6	2160	355	353,8	6,103	1,14	1,72	38,44	41,4
	5	3	2160	400x400	437	4,775	0,62	1,3	17,78	19,64
	Pad tlaka na odsisnom elementu:									
Σ										145

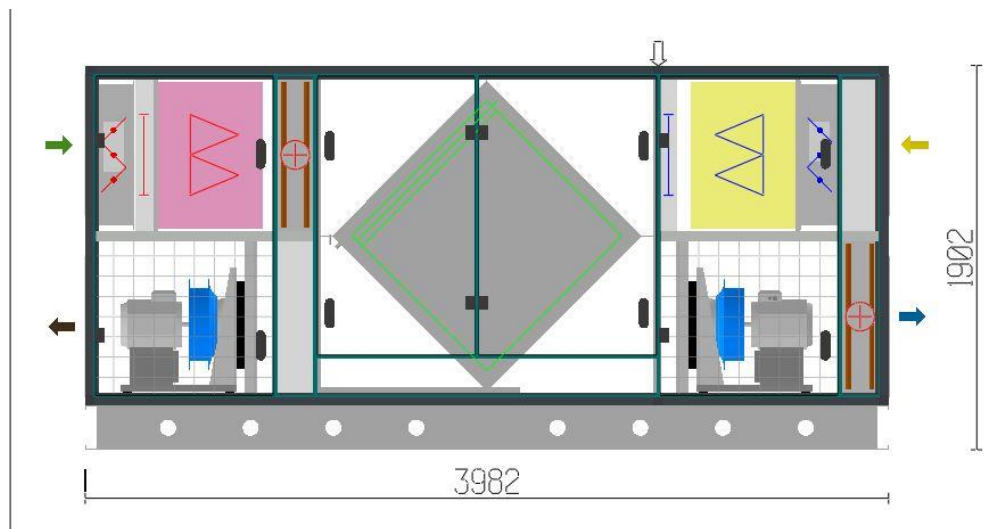
Tablica 4.7 Pad tlaka u sanitarnom odsisu

	Br.	L	q_v	DN/axb	d_u/d_{ekv}	w	R	$\sum \zeta$	Z	R·L+Z
	-	m	m ³ /h	mm	mm	m/s	Pa/m	-	Pa	Pa
Povratni kanal	1	1,2	50	125	124,1	1,148	0,2	1,2	0,95	1,19
	2	1,5	100	125	124,1	2,296	0,7	1,8	5,69	6,74
	3	1,1	200	125	124,1	4,593	2,46	0,42	5,32	8,03
Pad tlaka na odsisnom elementu:										13
Pad tlaka na nepovratnoj zaklopci										6
Σ										35

4.7. Dimenzioniranje ventilacijskih jedinica

Zadnji dio proračuna i dimenzioniranja sustava ventilacije je dimenzioniranje vanjskih ventilacijskih jedinica. Jedinice će biti smještene na armirano betonskom krovu iznad blagovaonice, te je potrebno osigurati izolaciju kao i vanjsku zaštitu jedinica. Obje jedinice će imati iste procese obrade vanjskog zraka. Ugrađen je predgrijač koji ima primarno zaštitnu ulogu. Pri niskim vanjskim temperaturama blizu projektnim postoji mogućnost smrzavanja povratne struje zraka unutar pločastog rekuperatora. Odabire se izlazna temperatura zraka od -8°C kako ne bi došlo do ove pojave. U sustav se još ugrađuje pločasti rekuperator topline koji osigurava povrat topline iz povratne struje zraka, te grijač koji dogrijava struju zraka na stanje ubacivanja od 18°C . Za dimenzioniranje sustava koristi se programski paket *SystemAirCAD* [5].

4.7.1. Glavna ventilacijska jedinica



Slika 4.8 Glavna ventilacijska jedinica

Genoix Comfort 16RDL

Tehničke karakteristike sustava:

Volumni protok dobavne struje: 9620 m³/h

Volumni protok povratne struje: 9620 m³/h

Klasa filtera dobavne struje: F7

Klasa filtera povratne struje: G4

Vanjske dimenzije: 1682x3982x1902 mm

Predgrijač

- Temperatura ulaznoga zraka: -17 °C
- Temperatura izlaznoga zraka: -8 °C
- Temperaturni režim: 70/60 °C
- Toplinski kapacitet: 29,2 kW
- Nastrojna brzina: 2,6 m/s
- Pad tlaka na strani zraka: 14,5 Pa
- Pad tlaka na strani vode: 25,5 kPa

Pločasti rekuperator

- Ulazna temperatura dobavne struje: -8 °C
- Izlazna temperatura dobavne struje: 13,6 °C
- Ulazna temperatura povratne struje: 20 °C
- Izlazna temperatura povratne struje: 2,2 °C
- Stupanj povrata topline: 73,5 %
- Toplinski učinak: 70 kW
- Pad tlaka na strani dobavne struje: 387,5 Pa
- Pad tlaka na strani povratne struje: 379,9 Pa

Grijač

- Temperatura ulaznoga zraka: 13,6 °C
- Temperatura izlaznoga zraka: 18 °C
- Temperaturni režim: 70/60 °C
- Toplinski kapacitet: 14,3 kW
- Nastrujna brzina: 2,6 m/s
- Pad tlaka na strani zraka: 14,5 Pa
- Pad tlaka na strani vode: 6,9 kPa

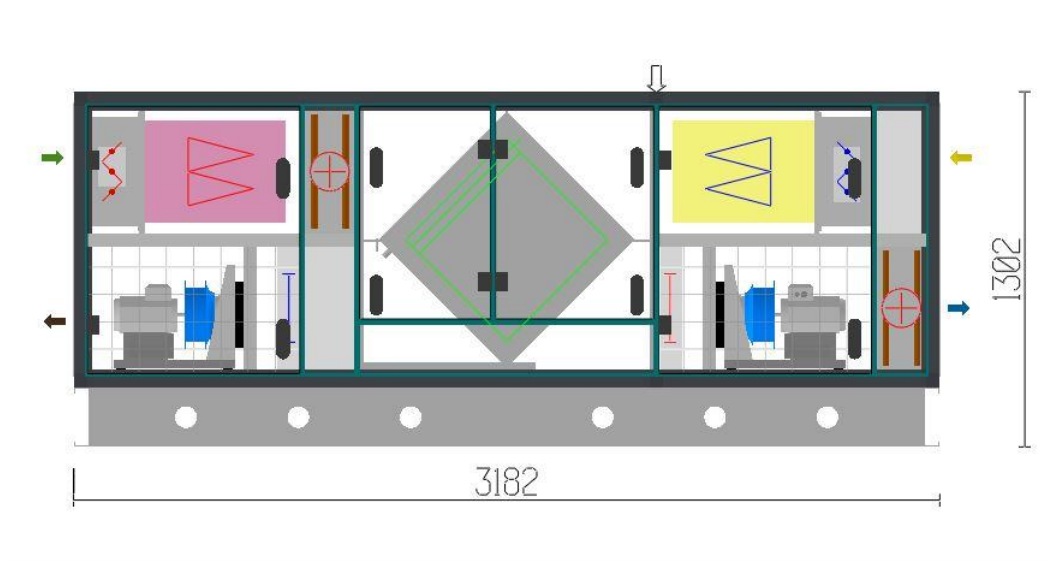
Odsisni ventilator

- Ukupni pad tlaka: 952 Pa
- Učinkovitost: 78,5 %
- Snaga: 3,26 kW

Dobavni ventilator:

- Ukupni pad tlaka: 1094 Pa
- Učinkovitost: 79,8 %
- Snaga: 3,69 kW

4.7.2. Dvoranska ventilacijska jedinica



Slika 4.9 Dvoranska ventilacijska jedinica

Genoix Comfort 10RDL

Tehničke karakteristike sustava:

Volumni protok dobavne struje: 2160 m³/h

Volumni protok povratne struje: 2160 m³/h

Klasa filtera dobavne struje: F7

Klasa filtera povratne struje: G4

Vanjske dimenzije: 1082x3182x1302 mm

Predgrijač

- Temperatura ulaznoga zraka: -17 °C
- Temperatura izlaznoga zraka: -8 °C
- Temperaturni režim: 70/60 °C
- Toplinski kapacitet: 6,5 kW
- Nastrojna brzina: 1,7 m/s
- Pad tlaka na strani zraka: 7,3 Pa
- Pad tlaka na strani vode: 6,8 kPa

Pločasti rekuperator

- Ulazna temperatura dobavne struje: -8 °C
- Izlazna temperatura dobavne struje: 12,6 °C
- Ulazna temperatura povratne struje: 18 °C
- Izlazna temperatura povratne struje: 0,6 °C
- Stupanj povrata topline: 75,3 %
- Toplinski učinak: 14,9 kW
- Pad tlaka na strani dobavne struje: 185,8 Pa
- Pad tlaka na strani povratne struje: 182,2 Pa

Grijač

- Temperatura ulaznoga zraka: 12,6 °C
- Temperatura izlaznoga zraka: 18 °C
- Temperaturni režim: 70/60 °C
- Toplinski kapacitet: 3,9 kW
- Nastrojna brzina: 1,7 m/s
- Pad tlaka na strani zraka: 7,3 Pa
- Pad tlaka na strani vode: 2,7 kPa

Odsisni ventilator

- Ukupni pad tlaka: 572 Pa
- Učinkovitost: 74,5 %
- Snaga: 0,46 kW

Dobavni ventilator:

- Ukupni pad tlaka: 707 Pa
- Učinkovitost: 76,3 %
- Snaga: 0,56 kW

4.8. Odabir opreme ventilacijskog sustava sanitarnih prostora

Ventilacijski sustav sanitarnih prostora škole izvodi se odsisom zraka iz prostora u vanjski okoliš. Sustav se spaja na elektroprekidač rasvjete sanitarija te se uključuje po korištenju ili po potrebi. Odsis se vrši na svakoj etaži, te se u sustav ugrađuje nepovratna zaklopka ZPC proizvođača *Klimaopreme*. Ventilator sustava je odabran kao RK 125 plastični cijevni ventilator, maksimalne snage 70 W dostatne za potrebe sanitarija. Na vrata se ugrađuje aluminijska rešetka kako bi se osiguralo strujanje zraka iz okolnih prostora za vrijeme rada ventilatora.



Slika 4.10 Kanalni ventilator RK 125



Slika 4.11 Nepovratna zaklopka ZPC

4.9. Analiza akustike unutar učionice

4.9.1. Osnove akustike

Akustika je znanost koja proučava nastajanje i širenje zvuka i zvučnih valova. Do nastajanja zvuka dolazi pri vibraciji nekog tijela, a ljudsko uho raspoznaje te vibracije pri frekvencijama od 16 Hz do 20 000 Hz. Pri akustičkim proračunima u području termotehnike obično se uzima raspon frekvencija od 63 Hz do 8000 Hz.

Zvučna snaga se definira kao energija koju izvor zvuka emitira u u prostor oko sebe u svim smjerovima, a mjeri se u Wattima (W). Razina čujnosti za ljudsko uho iznosi $1 \cdot 10^{-12}$ W te se po njoj definira referentna razina zvučne snage W_0 . Razina zvučne snage se definira kao:

$$L_W = 10 \cdot \log\left(\frac{W}{W_0}\right) \quad [\text{dB}]$$

gdje je W snaga zvučnog izvora u Wattima. To je podatak kojeg proizvođač definira po frekvencijama ili za cjelokupni spektar za svoj dio opreme te je on ulazni parametar u akustičkom proračunu.

Zvučni tlak je mjera poremećaja atmosferskog tlaka uzrokovanog zvučnim valom. Mjeri se u Paskalima (Pa), a normirana je i referentna vrijednost p_0 od $2 \cdot 10^{-5}$ Pa koja definira donju granicu čujnosti ljudskoga uha. Razina zvučnog tlaka definirana je s:

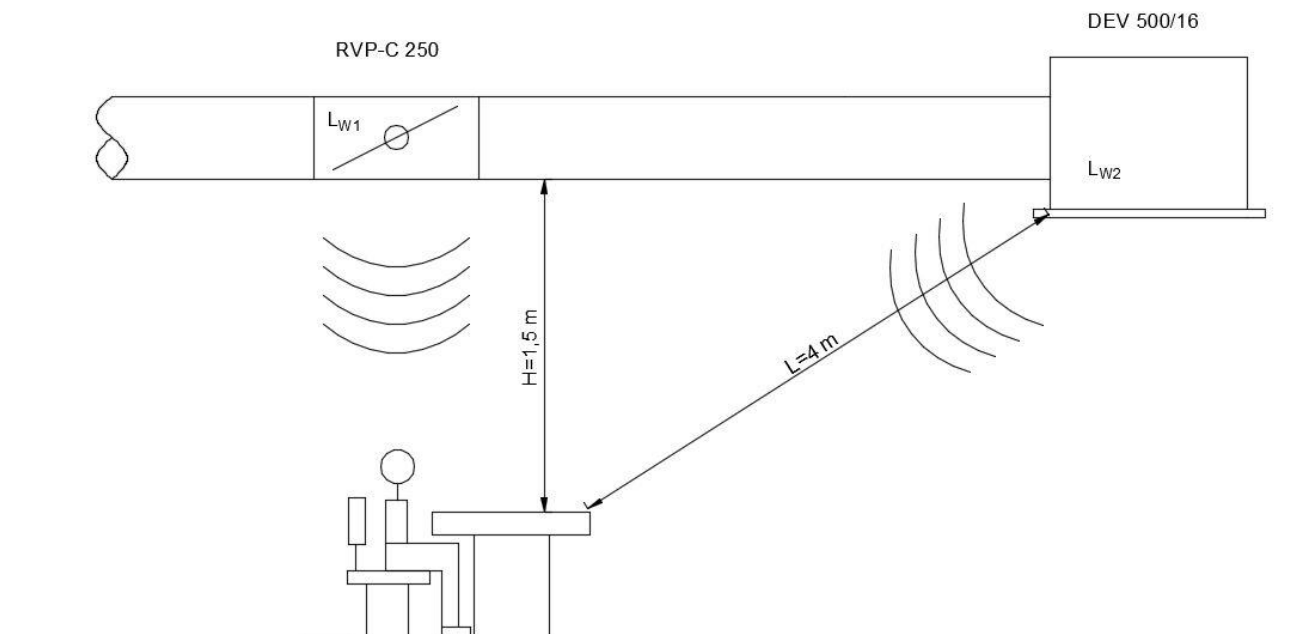
$$L_p = 20 \cdot \log\left(\frac{p}{p_0}\right) \quad [\text{dB}]$$

gdje je p poremećaj tlaka u paskalima (Pa). Kako se odmičemo od izvora buke razine zvučne snage L_W tako opadaju vrijednosti zvučnoga tlaka i razine zvučnoga tlaka, što dovodi do zaključka da je zvučni tlak funkcija prostorne koordinate te se premještanjem izvora buke L_W utječe na razinu zvučnoga tlaka u pojedinoj točki prostora.

4.9.2. Akustički proračun učionice

Unutar učionice postoje dva izvora buke sustava ventilacije: regulator varijabilnog protoka i zračni distribucijski element (difuzor). Iz kataloga proizvođača očitane su razine zvučne snage

regulatora varijabilnog protoka L_{W1} dane za svaku frekvenciju dok je razina zvučne snage difuzora L_{W2} dana za cijeli spektar frekvencija te iznosi 45 dB.



Slika 4.12 Shema kritičnog mjesta za akustički proračun

Najprije je potrebno izračunati razinu zvučne snage difuzora za svaku frekvenciju preko izraza:

$$L_{W,f} = L_{W2} + \Delta L_W$$

Tablica 4.8 Proračun razine zvučne snage po frekvencijama

f_m Hz	L_{W2} dB	ΔL_W dB	$L_{W,f}$ dB
63	45	-8	37
125	45	-7	38
250	45	-7	38
500	45	-8	37
1000	45	-10	35
2000	45	-17	28
4000	45	-26	19
8000	45	-35	10

Proračun se vrši kontrolom vrijednosti razine zvučnog tlaka za učeničkim stolom definiranim slikom 4.12. Najprije je potrebno odrediti vrijednosti razine zvučnoga tlaka za svaki izvor posebno. Vrijednost razine zvučnoga tlaka se računa prema izrazu:

$$L_p = L_W - 20 \cdot \log(r) - 11 \quad [\text{dB(A)}]$$

gdje je r udaljenost mjesta računanja razine zvučnog tlaka od izvora buke.

Za svaku frekvenciju se logaritamski zbrajaju razine zvučnoga tlaka regulatora varijabilnog protoka i difuzora prema izrazu:

$$L_{p1+2} = 10 \cdot \log \sum_{i=1}^2 10^{0,1 \cdot L_{pi}}$$

Zatim je izvršena korekcija razina zvučnoga tlaka po frekvencijama prema korekcijskoj krivulji A definiranoj normom IEC/179(1973) [7] kako bi se one prilagodile subjektivnom percipiranju ljudskoga uha. Ljudi različite razine zvučnoga tlaka pri različitim frekvencijama ne percipiraju jednako te su više razine buke pri određenim frekvencijama akustički neugodnije ljudima. Zadnji korak u proračunu je logaritamsko zbrajanje razina zvučnog tlaka po svim frekvencijama što nam daje ukupnu razinu zvučnoga tlaka L_{pA} koja predstavlja ultimativni kriterij akustičke ugodnosti.

Tablica 4.9 Proračun ukupne razine zvučnoga tlaka

f_m	L_{W1}	L_{W2}	L_{p1}	L_{p2}	L_{p1+2}	A	L_{pA}
Hz	dB	dB	dB	dB	dB	dB	dB(A)
63	53	37	38,48	13,96	38,50	-26,2	12,30
125	49	38	34,48	14,96	34,53	-16,1	18,43
250	47	38	32,48	14,96	32,56	-8,6	23,96
500	45	37	30,48	13,96	30,58	-3,2	27,38
1000	44	35	29,48	11,96	29,56	0	29,56
2000	41	28	26,48	4,96	26,51	1,2	27,71
4000	39	19	24,48	-4,04	24,49	1	25,49
8000	38	10	23,48	-13,04	23,48	-1,1	22,38
L_{pA}							35

Ukupna razina zvučnog tlaka od 35 dB(A) ispod je preporučene vrijednosti za učionice koja iznosi 40 dB(A) te nije potrebno ugrađivati dodatnu zvučnu izolaciju u sustav.

5. SUSTAV GRIJANJA I POTROŠNE TOPLE VODE

5.1. Odabir ogrjevnih tijela

Za ogrjevna tijela sustava odabrani su ventilokonvektori Helioterm Inverter proizvođača *Riello* [6] ukupne toplinske snage 126,05 kW. Temperaturni režim ventilokonvektora je 70/60 °C. Regulacija ventilokonvektora se vrši lokalno po prostorijama o čemu će biti govora kasnije. U nastavku slijedi tablica s popisom ogrjevnih tijela po prostorijama.

Tablica 5.1 Popis ogrjevnih tijela po prostorijama

Ogrjevna tijela po prostorijama							
K1	Prizemlje			K2	Kat 1.		
Oznaka	Prostorija	Broj i vrsta tijela	Φ_{ot} [kW]	Oznaka	Prostorija	Broj i vrsta tijela	Φ_{ot} [kW]
P1	Biblioteka	Inverter 21	3,99	P1	Zbornica	Inverter S-11	2,73
P2	Učionica 1.-4. razreda	Inverter 21	3,99	P2	Hodnik	Inverter S-6	1,6
P3	Učionica 1.-4. razreda	Inverter 21	3,99	P3	Računovodstvo	Inverter S-6	1,39
P4	Učionica 1.-4. razreda	Inverter 21	3,99	P4	Soba za odmor	Inverter S-6	1,39
P5	Učionica 1.-4. razreda	Inverter 21	3,99	P5	Tajništvo	Inverter S-6	1,39
P6	Kotlovnica	-	-	P6	Učionica Zemljopis i Povijest	Inverter 21	3,99
P7	Učionica Fizika, Kemija i Biologija	Inverter 21	3,99	P7	Učionica Matematika	Inverter 21	3,99
P8	Kabinet	Inverter S-6	1,39	P8	Učionica Hrvatski i Strani jezik	Inverter 21	3,99
P9	WC-M	Inverter S-6	1,39	P9	Učionica Glazbena i likovna kultura	Inverter 21 plus	4,15
P10	WC-Ž	Inverter S-6	1,39	P10	Hodnik	3xInverter 11	6,51

P11	Pedagog	Inverter S-6	1,39	P11	WC-M	Inverter S-6	1,39
P12	Soba za odmor	Inverter S-6	1,39	P12	WC-Ž	Inverter S-6	1,39
P13	Spremište	Inverter S-6	1,39	P13	Kabinet	Inverter S-6	1,39
P14	Kuhinja	Inverter 11	1,89	P14	Kabinet	Inverter S-6	1,39
P15	Garderoba-Ž	Inverter 11	1,89	P15	Učionica Informatika i Tehnička kultura	Inverter 33	5,47
P16	Dvorana	3xInverter plus 40 + Inverter plus 11	25,95	P16	Kabinet	Inverter S-6	1,39
P17	Garderoba-M	Inverter 11	1,89				
P18	Hodnik	Inverter S-6	1,6				
P19	Hodnik	-	0				
P20	Kabinet	Inverter 11	1,89				
P21	Ulazni hodnik s blagovaonom	3xInverter S-6 + 2xInverter 33	15,11				



Slika 5.1 Ventilokonvektori Heliotherm Inverter proizvođača Riello

5.2. Regulacija toplinskog učinka ventilokonvektora

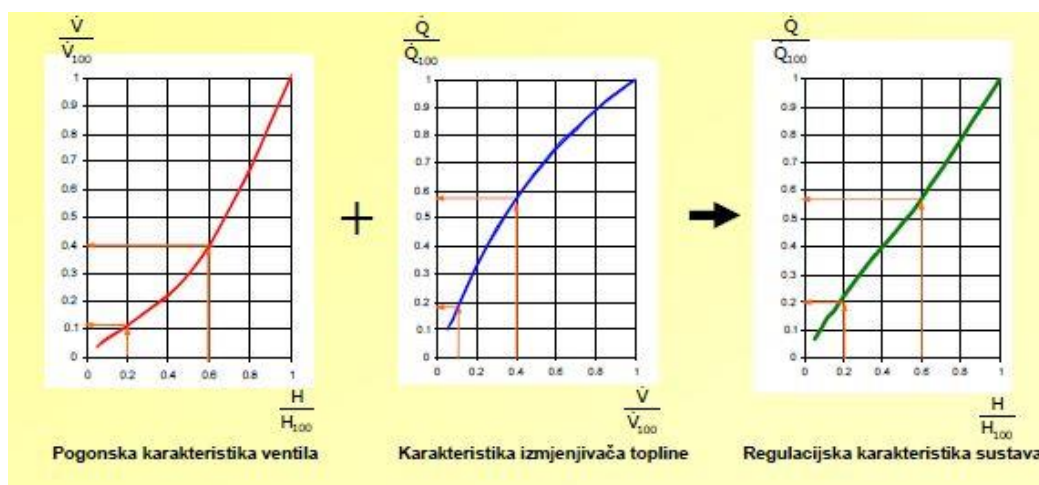
Za pravilan rad i minimalnu potrošnju energije sustava potrebno je odabrati i izvesti kvalitetnu regulaciju. Odabran je lokalni sustav regulacije unutar prostorije, što omogućuje individualan odabir temperature za svaku prostoriju po želji korisnika. Ključni element sustava su AB-QM kombinirani regulacijski i balans ventili proizvođača *Danfoss* [7]. Ventil u svome tijelu sadrži regulator diferencijalnoga tlaka *DPC* koji promjenu tlaka na membrani kompenzira silom opruge na stožac u tijelu ventila čime uspostavlja novu ravnotežu sila i održava konstantan diferencijalan tlak. *DPC* služi za balansiranje sustava, dok ulogu regulacije toplinskog učinka preuzima regulacijski ventil *Cv* također smješten u tijelu ventila. Za njega se odabire elektrotermički ON/OFF pogon TWA-Z. Pogon se spaja s regulatorom unutar prostorije na kojem se postavlja željena temperatura u prostoriji. Regulator je također spojen s temperaturnim osjetnikom te s pogonom ventilatora samog ventilokonvektora što omogućava odabir željene brzine vrtnje ventilatora konvektora. Konvektori dolaze predpodešeni na tri brzine vrtnje, s time da najviša brzina vrtnje daje najveći toplinski učinak (koeficijent prijelaza topline raste s rastom brzine strujanja zraka).



Slika 5.2 AB-QM ventil s TWA-Z pogonom

5.3. Regulacija toplinskog učinka grijača i predgrijača ventilacijskih jedinica

Kao i u prethodno poglavlju, za učinkovit i pravilan rad sustava grijača i predgrijača ventilacijskih jedinica odabiru se AB-QM ventili. Karakteristika ventila se odabire kao jednakopostotna kako bi se karakteristika regulacijskog sustava linearizirala. Naime, karakteristika izmjenjivača topline ima brži rast učinka pri manjem protoku nego pri većem pa se od ventila zahtjeva kompenzacija i linearizacija regulacijske krivulje sustava.



Slika 5.3 Regulacijska karakteristika sustava [2]

Za njega se odabire elektromotorni modulirajući pogon AME. Pogon se spaja s regulatorom ventilacijske jedinice. Regulator je također spojen s temperaturnim osjetnicima unutar jedinice te ovisno o temperaturi zraka propušta potrebnu količinu ogrjevnog medija (tople vode).



Slika 5.4 AB-QM ventil s AME pogonom

5.4. Dimenzioniranje cijevne mreže

Odabrane veličine cijevi utječu na investicijske troškove ali i na pogonske karakteristike sustava. Veće cijevi znače veću investiciju, ali također smanjuju potrebnu snagu za transport vode. Pri dimenzioniranju cijevne mreže toplovodnog sustava pad tlaka se drži u granicama od 30 do 100 Pa/m. Granica od 100 Pa/m je iskustveni podatak iznad kojeg se obično čuje šum u instalacijama što se ne smije dozvoliti. Glavni vodovi su izvedeni kao čelični, dok se za materijal razvodnih ogranaka koristi bakar radi lakše montaže.

Ulazni podaci:

- $\rho_w = 980,6 \text{ kg/m}^3$ - gustoća vode
- $k = 0,04 \text{ mm}$ - apsolutna hrapavost cijevi
- $\eta_w = 436 \cdot 10^{-6}$ - dinamička viskoznost vode
- $\Delta\vartheta = 10 \text{ }^\circ\text{C}$ - promjena temperature vode
- $c_w = 4184 \text{ kJ/(kgK)}$ - specifični toplinski kapacitet vode
- $\varepsilon = \frac{k}{d_u}$ - relativna hrapavost kanala
- $Re = \frac{\rho \cdot w \cdot d}{\mu}$ - Reynoldsov broj
- $C = \frac{\Phi_{gr}}{\Delta\vartheta}$ - vodena vrijednost (toplinski kapacitet) vode

Tablica 5.2 Dimenzioniranje cijevi

	Br.	Φ_{gr}	C	q_m	DN	d_u	w	ε	Re	λ	R
	-	W	W/K	kg/s	mm	mm	m/s	-	-	-	Pa/m
Prizemlje	1	126050	12605	3,013	DN65	70,3	0,792	5,7E-04	1,3E+05	0,020	87,80
	2	70670	7067	1,689	DN65	70,3	0,444	5,7E-04	7,0E+04	0,022	29,71
	3	38870	3887	0,929	CuØ54x2	50	0,483	8,0E-04	5,4E+04	0,023	53,03
	4	10850	1085	0,259	CuØ35x1,5	32	0,329	1,3E-03	2,4E+04	0,028	45,74
	5	6860	686	0,164	CuØ28x1,5	25	0,341	1,6E-03	1,9E+04	0,029	66,77
	6	3990	399	0,095	CuØ22x1	20	0,310	2,0E-03	1,4E+04	0,032	74,63
	7	28020	2802	0,670	CuØ54x2	50	0,348	8,0E-04	3,9E+04	0,024	28,94
	8	16120	1612	0,385	CuØ35x1,5	32	0,489	1,3E-03	3,5E+04	0,026	94,86
	9	7980	798	0,191	CuØ28x1,5	25	0,396	1,6E-03	2,2E+04	0,029	87,84
	10	8140	814	0,195	CuØ28x1,5	25	0,404	1,6E-03	2,3E+04	0,028	91,10
	11	3990	399	0,095	CuØ22x1	20	0,310	2,0E-03	1,4E+04	0,032	74,63

	12	3990	399	0,095	CuØ22x1	20	0,310	2,0E-03	1,4E+04	0,032	74,63
	13	11900	1190	0,284	CuØ35x1,5	32	0,361	1,3E-03	2,6E+04	0,027	54,21
	14	5560	556	0,133	CuØ28x1,5	25	0,276	1,6E-03	1,6E+04	0,030	45,45
	15	2780	278	0,066	CuØ22x1	20	0,216	2,0E-03	9,7E+03	0,034	38,89
	16	2780	278	0,066	CuØ22x1	20	0,216	2,0E-03	9,7E+03	0,034	38,89
	17	1390	139	0,033	CuØ15x1	13	0,255	3,1E-03	7,5E+03	0,037	91,48
	18	1390	139	0,033	CuØ15x1	13	0,255	3,1E-03	7,5E+03	0,037	91,48
	19	6340	634	0,152	CuØ28x1,5	25	0,315	1,6E-03	1,8E+04	0,030	57,80
	20	3560	356	0,085	CuØ22x1	20	0,276	2,0E-03	1,2E+04	0,032	60,47
	21	2170	217	0,052	CuØ18x1	16	0,263	2,5E-03	9,5E+03	0,035	73,87
	22	1390	139	0,033	CuØ15x1	13	0,255	3,1E-03	7,5E+03	0,037	91,48
	23	2780	278	0,066	CuØ22x1	20	0,216	2,0E-03	9,7E+03	0,034	38,89
	24	1390	139	0,033	CuØ15x1	13	0,255	3,1E-03	7,5E+03	0,037	91,48
	25	1390	139	0,033	CuØ15x1	13	0,255	3,1E-03	7,5E+03	0,037	91,48
	26	31800	3180	0,760	CuØ54x2	50	0,395	8,0E-04	4,4E+04	0,024	36,54
	27	15960	1596	0,381	CuØ35x1,5	32	0,484	1,3E-03	3,5E+04	0,026	93,07
	28	7980	798	0,191	CuØ28x1,5	25	0,396	1,6E-03	2,2E+04	0,029	87,84
	29	7980	798	0,191	CuØ28x1,5	25	0,396	1,6E-03	2,2E+04	0,029	87,84
	30	3990	399	0,095	CuØ22x1	20	0,310	2,0E-03	1,4E+04	0,032	74,63
	31	3990	399	0,095	CuØ22x1	20	0,310	2,0E-03	1,4E+04	0,032	74,63
	32	15840	1584	0,379	CuØ35x1,5	32	0,480	1,3E-03	3,5E+04	0,026	91,64
	33	1390	139	0,033	CuØ15x1	13	0,255	3,1E-03	7,5E+03	0,037	91,48
	34	14450	1445	0,345	CuØ35x1,5	32	0,438	1,3E-03	3,2E+04	0,026	77,37
	35	3560	356	0,085	CuØ22x1	20	0,276	2,0E-03	1,2E+04	0,032	60,47
	36	2170	217	0,052	CuØ18x1	16	0,263	2,5E-03	9,5E+03	0,035	73,87
	37	1390	139	0,033	CuØ15x1	13	0,255	3,1E-03	7,5E+03	0,037	91,48
	38	10890	1089	0,260	CuØ35x1,5	32	0,330	1,3E-03	2,4E+04	0,028	46,00
	39	6900	690	0,165	CuØ28x1,5	25	0,343	1,6E-03	1,9E+04	0,029	67,49
	40	3990	399	0,095	CuØ22x1	20	0,310	2,0E-03	1,4E+04	0,032	74,63
	41	55380	5538	1,324	CuØ54x2	50	0,687	8,0E-04	7,7E+04	0,022	102,37
	42	1390	139	0,033	CuØ15x1	13	0,255	3,1E-03	7,5E+03	0,037	91,48
	43	53990	5399	1,290	CuØ54x2	50	0,670	8,0E-04	7,5E+04	0,022	97,68
	44	1390	139	0,033	CuØ15x1	13	0,255	3,1E-03	7,5E+03	0,037	91,48
	45	52600	5260	1,257	CuØ54x2	50	0,653	8,0E-04	7,3E+04	0,022	93,08
	46	3770	377	0,090	CuØ22x1	20	0,293	2,0E-03	1,3E+04	0,032	67,37
	47	48830	4883	1,167	CuØ54x2	50	0,606	8,0E-04	6,8E+04	0,022	80,92
	48	1390	139	0,033	CuØ15x1	13	0,255	3,1E-03	7,5E+03	0,037	91,48
	49	43360	4336	1,036	CuØ54x2	50	0,538	8,0E-04	6,1E+04	0,023	64,80
	50	5470	547	0,131	CuØ28x1,5	25	0,272	1,6E-03	1,5E+04	0,031	44,27
	51	40580	4058	0,970	CuØ54x2	50	0,504	8,0E-04	5,7E+04	0,023	57,39
	52	2780	278	0,066	CuØ22x1	20	0,216	2,0E-03	9,7E+03	0,034	38,89
	53	1390	139	0,033	CuØ15x1	13	0,255	3,1E-03	7,5E+03	0,037	91,48
	54	1390	139	0,033	CuØ15x1	13	0,255	3,1E-03	7,5E+03	0,037	91,48
	55	38690	3869	0,925	CuØ54x2	50	0,480	8,0E-04	5,4E+04	0,023	52,42
	56	1890	189	0,045	CuØ18x1	16	0,229	2,5E-03	8,2E+03	0,036	57,59

	57	33220	3322	0,794	CuØ54x2	50	0,412	8,0E-04	4,6E+04	0,024	39,50
	58	5470	547	0,131	CuØ28x1,5	25	0,272	1,6E-03	1,5E+04	0,031	44,27
	59	29730	2973	0,711	CuØ54x2	50	0,369	8,0E-04	4,1E+04	0,024	32,23
	60	3490	349	0,083	CuØ22x1	20	0,271	2,0E-03	1,2E+04	0,032	58,50
	61	1890	189	0,045	CuØ18x1	16	0,229	2,5E-03	8,2E+03	0,036	57,59
	62	1600	160	0,038	CuØ18x1	16	0,194	2,5E-03	7,0E+03	0,037	42,82
	63	25950	2595	0,620	CuØ42x1,5	39	0,529	1,0E-03	4,6E+04	0,024	85,63
	64	3780	378	0,090	CuØ22x1	20	0,293	2,0E-03	1,3E+04	0,032	67,37
	65	1890	189	0,045	CuØ18x1	16	0,229	2,5E-03	8,2E+03	0,036	57,59
	66	1890	189	0,045	CuØ18x1	16	0,229	2,5E-03	8,2E+03	0,036	57,59
	67	23820	2382	0,569	CuØ42x1,5	39	0,486	1,0E-03	4,3E+04	0,025	73,17
	68	2130	213	0,051	CuØ18x1	16	0,258	2,5E-03	9,3E+03	0,035	71,35
	69	15880	1588	0,380	CuØ35x1,5	32	0,481	1,3E-03	3,5E+04	0,026	91,99
	70	7940	794	0,190	CuØ28x1,5	25	0,394	1,6E-03	2,2E+04	0,029	87,01
	71	7940	794	0,190	CuØ28x1,5	25	0,394	1,6E-03	2,2E+04	0,029	87,01
	72	7940	794	0,190	CuØ28x1,5	25	0,394	1,6E-03	2,2E+04	0,029	87,01
	73	2170	217	0,052	CuØ18x1	16	0,263	2,5E-03	9,5E+03	0,035	73,87
	74	1390	139	0,033	CuØ15x1	13	0,255	3,1E-03	7,5E+03	0,037	91,48
	75	1390	139	0,033	CuØ15x1	13	0,255	3,1E-03	7,5E+03	0,037	91,48
	76	1390	139	0,033	CuØ15x1	13	0,255	3,1E-03	7,5E+03	0,037	91,48
	77	3990	399	0,095	CuØ22x1	20	0,310	2,0E-03	1,4E+04	0,032	74,63
	78	4150	415	0,099	CuØ22x1	20	0,322	2,0E-03	1,4E+04	0,031	79,97
	79	3990	399	0,095	CuØ22x1	20	0,310	2,0E-03	1,4E+04	0,032	74,63
Prvi kat	80	3990	399	0,095	CuØ22x1	20	0,310	2,0E-03	1,4E+04	0,032	74,63
	81	1390	139	0,033	CuØ15x1	13	0,255	3,1E-03	7,5E+03	0,037	91,48
	82	5470	547	0,131	CuØ28x1,5	25	0,272	1,6E-03	1,5E+04	0,031	44,27
	83	1600	160	0,038	CuØ18x1	16	0,194	2,5E-03	7,0E+03	0,037	42,82
	84	2730	273	0,065	CuØ22x1	20	0,212	2,0E-03	9,5E+03	0,034	37,60
	85	4170	417	0,100	CuØ22x1	20	0,324	2,0E-03	1,5E+04	0,031	80,88
	86	2780	278	0,066	CuØ22x1	20	0,216	2,0E-03	9,7E+03	0,034	38,89
	87	1390	139	0,033	CuØ15x1	13	0,255	3,1E-03	7,5E+03	0,037	91,48
	88	54800	5480	1,310	DN50	54,5	0,573	7,3E-04	7,0E+04	0,022	65,48
	89	15200	1520	0,363	CuØ35x1,5	32	0,461	1,3E-03	3,3E+04	0,026	85,05
	90	39600	3960	0,946	CuØ54x2	50	0,492	8,0E-04	5,5E+04	0,023	54,88
Prema ventilacijskim jedinicama	91	29200	2920	0,698	CuØ54x2	50	0,362	8,0E-04	4,1E+04	0,024	31,11
	92	10400	1040	0,249	CuØ35x1,5	32	0,315	1,3E-03	2,3E+04	0,028	42,25
	93	6500	650	0,155	CuØ28x1,5	25	0,323	1,6E-03	1,8E+04	0,030	60,48
	94	3900	390	0,093	CuØ22x1	20	0,303	2,0E-03	1,4E+04	0,032	71,59
Kotlovnica	95	186680	18668	4,462	DN80	82,5	0,851	4,8E-04	1,6E+05	0,019	82,59
	96	5830	1166	0,279	DN25	28,5	0,445	1,4E-03	2,9E+04	0,027	92,22

5.5. Odabir kotla i akumulacijske posude

Uzimajući u obzir sve potrošače odabran je kotao na pelete EKO-CKS P UNIT 230 tvrtke Centrometal [8]. Kotao radi u temperaturnom režimu 70/60 °C. Oprema se pelet plamenikom CPPL inv, opremom za automatsko čišćenje plamenika te digitalnom kotlovskom regulacijom CPREG-1. Nazivna snaga kotla je 230 kW, dok mu je područje regulacije od 69 kW do 230 kW.

Zbog minimalne temperature povrata vode u kotao od 60 °C izvodi se sigurnosni vod dimenzija DN40, koji kratko spaja polaz i povrat kotla. Osjetnik temperature se smješta u povratni vod te se u povratnu struju miješajućim troputnim ventilom dodaje topla struja polaza kotla ukoliko je to potrebno. Kada temperatura povrata vode pada ispod 60 °C postoji mogućnost kondenzacije vodene pare sadržane u dimnim plinovima unutar kotla što uzrokuje neželjenu koroziju i oštećenja kotla.



Slika 5.5 Kotao na pelete EKO-CKS P 230

Za stabilan rad kotla pri promjenjivim toplinskim opterećenjima ugrađuje se akumulacijski spremnik CAS 3001 tvrtke Centrometal. Kotao na pelete zahtjeva relativno stabilnu radnu točku što

mu omogućujemo adekvatnim akumulacijskim spremnikom. Spremnik je volumena 2960 l što zadovoljava preporučenu vrijednost proizvođača (10 l/kW).



Slika 5.6 Akumulacijski spremnik CAS 3001

5.6. Sustav pripreme potrošne tople vode

Za potrebe škole projektira se sustav pripreme potrošne tople vode. Potrošači su dva tuša smještena u muškoj i ženskoj garderobu, te školska kuhinja. Proračun je slijedeći:

Satna potrošnja:

$$q_{V,h} = q_{V,tuš,h} + q_{V,kuh,h} = 2 \cdot 100 + 50 = 250 \text{ l/h}$$

Ulazni podaci:

- $\rho_w = 1000 \text{ kg/m}^3$ - gustoća vode
- $c_w = 4200 \text{ J/(kgK)}$ - toplinski kapacitet vode
- $\vartheta_{ul} = 10 \text{ }^\circ\text{C}$ - temperatura ulazne vode iz cjevovodne mreže
- $\vartheta_{iz} = 40 \text{ }^\circ\text{C}$ - temperatura vode na mjestu potrošnje
- $\vartheta_s = 60 \text{ }^\circ\text{C}$ - temperatura vode u spremniku
- $z_a = 2 \text{ h}$ - vrijeme predzagrijavanja vode
- $z_b = 4 \text{ h}$ - vrijeme potrošnje vode
- $b = 1,1$ - faktor negrijanog volumena

Toplinska snaga potrebna za grijanje vode:

$$\Phi_{PTV} = q_V \cdot \rho \cdot c_w \cdot (\vartheta_{iz} - \vartheta_{ul})$$

$$\Phi_{PTV} = \frac{250}{1000 \cdot 3600} \cdot 1000 \cdot \frac{4200}{1000} \cdot (40 - 10) = 8,75 \text{ kW}$$

Potrebna toplinska snaga grijača:

$$\Phi_{gr} = \frac{\Phi_{PTV} \cdot z_b}{z_a + z_b} = \frac{8,75 \cdot 2}{2 + 4} = 5,83 \text{ kW}$$

Potrebna akumulirana energija u spremniku:

$$C_a = \Phi_{gr} \cdot z_a = 5,83 \cdot 2 = 11,66 \text{ kW}$$

Proračunski volumen spremnika:

$$V_s = \frac{C_a \cdot b}{\rho \cdot c_w \cdot (\vartheta_s - \vartheta_{ul})} = \frac{11,66 \cdot 1,1}{1000 \cdot 4,2 \cdot (60 - 10)} = 0,22 \text{ m}^3 = 220 \text{ l}$$

Nakon izvršenog proračuna odabire se stojeći spremnik potrošne tople vode VITOCCELL 100-V proizvođača *Viessmann* [9]. Spremnik je volumena 300 l te se nadograđuje s električnim grijačem kapaciteta 6 kW koji služi za zagrijavanje vode po prestanku sezone grijanja. Kotao naime ima prevelik kapacitet te bi ga bilo neekonomično uključivati samo radi potreba pripreme PTV-a.



Slika 5.7 Spremnik PTV-a Vitocell 100-V

5.7. Ekspanzijska posuda

Ekspanzijska posuda se ugrađuje u sustav grijanja iz više razloga. Njena regulacija tlaka u sustavu uključuje predpodešenje minimalnog tlaka u sustavu i ograničavanje najvećeg dopuštenog radnog pretlaka putem sigurnosnog ventila. Posuda također kompenzira promjene volumena vode u sustavu. Naime gustoća vode se snižava rastom temperature što dovodi do njene volumenske ekspanzije, a taj efekt se kompenzira ekspanzijskom posudom. U njen proračunski volumen još se uračunava i zaliha vode koja sprječava pojavu manjka ogrjevnog medija (vode) u sustavu.

Proračun je sljedeći:

Ulazni podaci:

- n ($70\text{ }^{\circ}\text{C}$) = 2,24 % - postotak volumnog širenja vode od $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ do temperature polaza vode
- $V_A = 4296\text{ l}$ - ukupni volumen vode u sustavu
- $p_e = 2,5\text{ bar}$ - projektni krajnji tlak, uzet kao 0,5 bar manji od tlaka sigurnosnog ventila (3bar)
- $h_{sys} = 10\text{ m}$ - 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):

$$V_V = 0,005 \cdot V_A = 0,0005 \cdot 4296 = 21,48\text{ l}$$

Volumen širenja vode:

$$V_e = \frac{n \cdot V_A}{100} = \frac{2,24 \cdot 4296}{100} = 96,24\text{ l}$$

Minimalni volumen ekspanzijske posude:

$$V_{n,min} = (V_e + V_V) \cdot \frac{p_e + 1}{p_e - p_0} = (96,24 + 21,48) \cdot \frac{2,5 + 1}{2,5 - 1,3} = 343\text{ l}$$

Odabrana je membranska ekspanzijska posuda MAXIVAREM LR CE proizvođača Varem [10] volumena 400 l.



Slika 5.8 Membranska ekspanzijska posuda MAXIVAREM LR CE volumena 400 l

5.8. Proračun kritičnih dionica i odabir pumpe za sustav

Analogno kao kod zračnog sustava kritična dionica je dionica je definirana kao ona s najvećim padom tlaka u sustavu. Specifičnost proračuna sustava cijevi jest ta da se usporedno računaju polazni i povratni vod sustava budući da su izvedeni paralelno jedan do drugoga s gotovo identičnim duljinama. Da bi se izbjegli nesporazumi lokalni otpori se računaju samo na elementima gdje voda ustrujava u dionicu. Pad tlaka na kritičnoj dionici i volumni protok vode su ulazni parametri pri dimenzioniranju pumpe. Sustav se izvodi s četiri pumpe a njihovo proračun je dat u nastavku. Pad tlaka se sastoji od linijskog pada tlaka definiranog izrazom:

$$R = \Delta p_F = \lambda \cdot \frac{L}{d} \cdot \frac{\rho \cdot w^2}{2}$$

te od lokalnih padova tlaka definiranih kao:

$$Z = \Delta p_L = \zeta \cdot \frac{\rho \cdot w^2}{2}$$

5.8.1. Cirkulacijski krug kotao - akumulacijski spremnik:

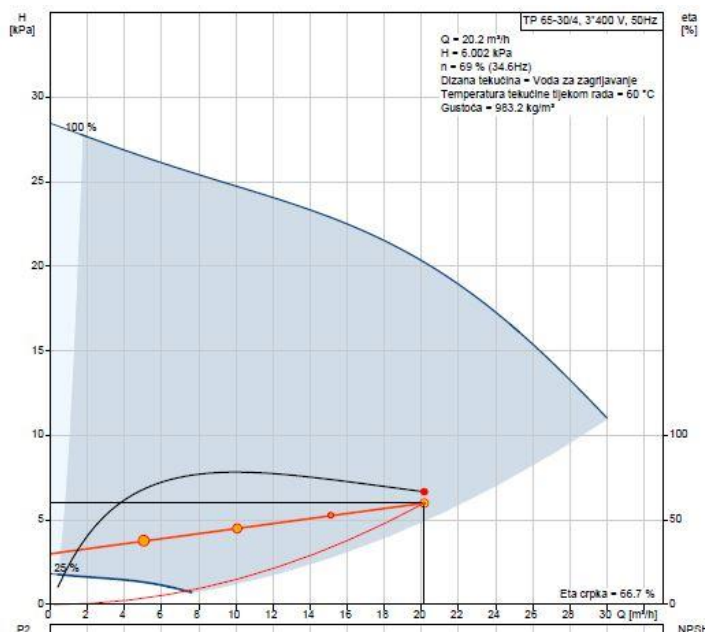
Tablica 5.3 Kritična dionica kotlovske pumpe

Br.	L	Q_{gr}	q_m	DN	d_u	w	R	$\sum \zeta$	Z	R·L+Z
-	m	kW	kg/s	mm	mm	m/s	Pa/m	-	Pa	Pa
0	13,4	230000	5,497	DN80	82,5	1,049	122,88	6,5	3506,92	5153,51
Pad tlaka u kotlu										800
Σ										5954

Odabrana je pumpa Puma Grundfos TP 65/30-4 [11]. Puma je opremljena frekventnim pretvaračem za regulaciju brzine vrtnje.

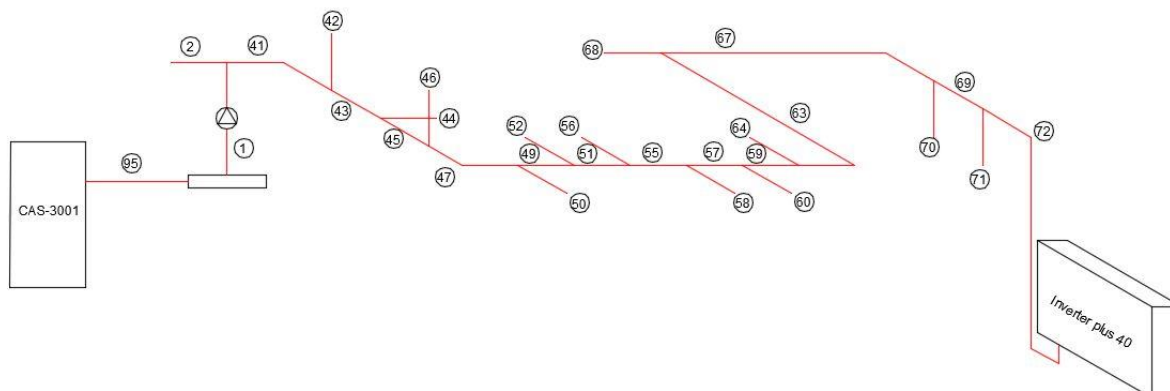
Tehničke karakteristike:

- Protok: 20,2 m³/h
- Snaga: 50 W
- Visina dizanja: 6,0 kPA
- Učinkovitost: 66,7 %



Slika 5.9 Radna točka kotlovske pume

5.8.2. Cirkulacijski krug akumulacijski spremnik - ventilokonvektori



Slika 5.10 Shema kritične dionice cirkulacijskog kruga akumulacijski spremnik - ventilokonvektori

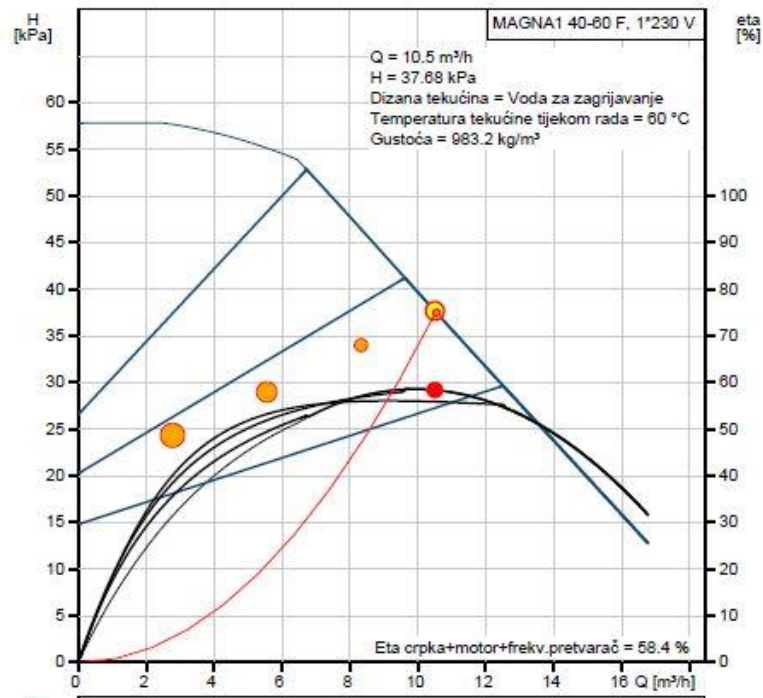
Tablica 5.4 Kritična dionica pumpe ventilokonvektorskog sustava

Br.	L	Q_{gr}	q_m	DN	d_u	w	R	$\sum \zeta$	Z	R·L+Z
-	m	kW	kg/s	mm	mm	m/s	Pa/m	-	Pa	Pa
95	13,4	126050	3,013	DN80	82,5	0,575	39,48	3,5	567,37	1096,40
1	6	126050	3,013	DN65	70,3	0,792	87,80	4,5	1383,96	2086,36
41	10,6	55380	1,324	CuØ54x2	50	0,687	102,37	3,5	809,92	1895,04
43	8,4	53990	1,290	CuØ54x2	50	0,670	97,68	2,5	550,24	1370,75
45	7	52600	1,257	CuØ54x2	50	0,653	93,08	2,5	522,67	1174,23
47	3,2	48830	1,167	CuØ54x2	50	0,606	80,92	4,5	810,25	1069,20
49	5	43360	1,036	CuØ54x2	50	0,538	64,80	2	283,83	607,83
51	6	40580	0,970	CuØ54x2	50	0,504	57,39	2	249,09	593,43
55	4,4	38690	0,925	CuØ54x2	50	0,480	52,42	2	225,93	456,58
57	5,6	33220	0,794	CuØ54x2	50	0,412	39,50	2	166,45	387,65
59	2	29730	0,711	CuØ54x2	50	0,369	32,23	2	133,52	197,98
63	39	25950	0,620	CuØ42x1,5	39	0,529	85,63	5	686,03	4025,60
67	28	23820	0,569	CuØ42x1,5	39	0,486	73,17	5	579,03	2627,79
69	16	15880	0,380	CuØ35x1,5	32	0,481	91,99	2	226,87	1698,71
72	16,8	7940	0,190	CuØ28x1,5	25	0,394	87,01	2,5	190,28	1652,05
Pad tlaka na ventilokonvektoru										17700
Σ										38640

Odabrana je pumpa Pumpa Grundfos Magna1 40-60. Pumpa je opremljena frekventnim pretvaračem za regulaciju brzine vrtnje.

Tehničke karakteristike:

- Protok: 11,06 m³/h
- Snaga: 188 W
- Visina dizanja: 38,6 kPa
- Učinkovitost: 58,4 %



Slika 5.11 Radna točka pumpe sustava ventilokonvektora

5.8.3. Cirkulacijski krug akumulacijski spremnik - ventilacijske jedinice

Tablica 5.5 Kritična dionica pumpe sustava ventilacijskih jedinica

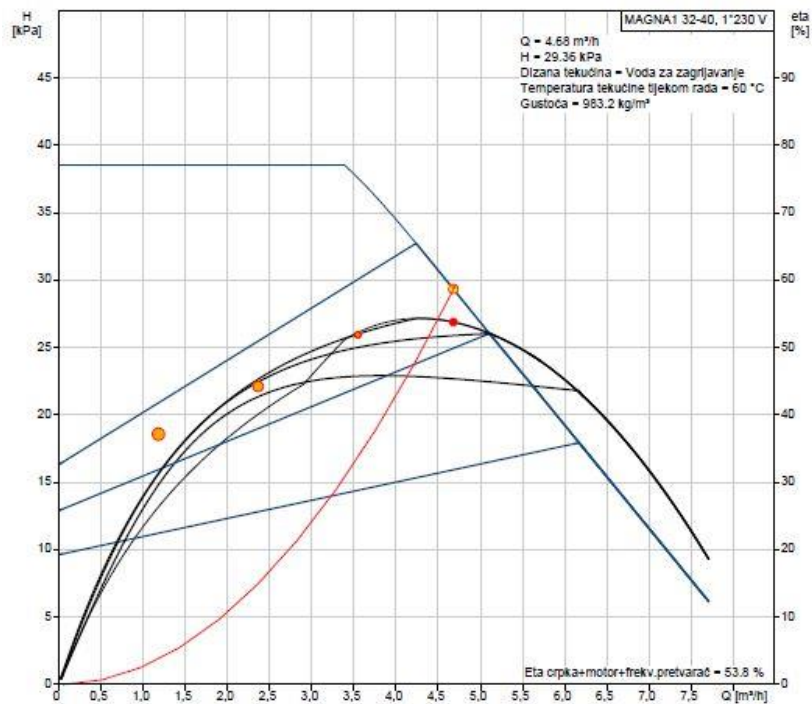
Br.	L	Q_{gr}	q_m	DN	d_u	w	R	$\sum \zeta$	Z	$R \cdot L + Z$
-	m	kW	kg/s	mm	mm	m/s	Pa/m	-	Pa	Pa

95	13,4	54800	1,288	DN80	82,5	0,246	8,23	3,5	103,85	214,13
88	44,2	54800	1,288	DN50	54,5	0,563	63,36	3,5	543,93	3344,45
90	6	39600	0,946	CuØ54x2	50	0,492	54,88	3,5	415,39	744,67
91	3	29200	0,698	CuØ54x2	50	0,362	31,11	3	192,75	286,08
Pad tlaka u grijaču										25500
Σ										29464

Odabrana je pumpa Pumpa Grundfos Magna1 32-40. Pumpa je opremljena frekventnim pretvaračem za regulaciju brzine vrtnje.

Tehničke karakteristike:

- Protok: 4,73 m³/h
- Snaga: 71 W
- Visina dizanja: 29,46 kPa
- Učinkovitost: 53,8 %



Slika 5.12 Radna točka pumpe sustava ventilacijskih jedinica

5.8.4. Cirkulacijski krug akumulacijski spremnik - spremnik potrošne tople vode

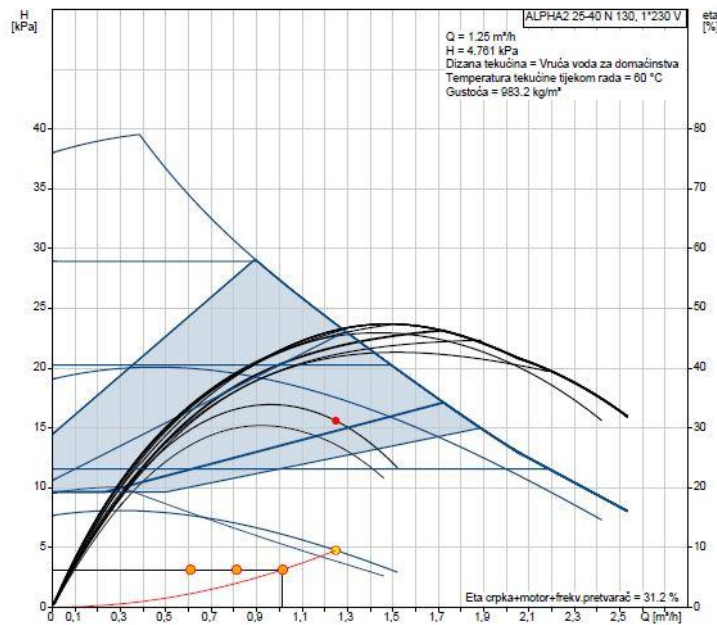
Tablica 5.6 Kritična dionica pumpe sustava potrošne tople vode

Br.	L	Q_{gr}	q_m	DN	d_u	w	R	$\sum \zeta$	Z	R·L+Z
-	m	kW	kg/s	mm	mm	m/s	Pa/m	-	Pa	Pa
95	6,4	5830	0,279	DN80	82,5	0,053	0,53	3,5	4,82	8,21
96	2,4	5830	0,279	DN25	28,5	0,445	92,22	4	388,37	609,69
Pad tlaka u spremniku PTV										2500
Σ										3118

Odabrana je pumpa Pumpa Grundfos Alpha2 25-40. Pumpa je opremljena frekventnim pretvaračem za regulaciju brzine vrtnje.

Tehničke karakteristike:

- Protok: 1,02 m³/h
- Snaga: 5,3 W
- Visina dizanja: 3,12 kPA
- Učinkovitost: 31,2 %



Slika 5.13 Radna točka pumpe sustava PTV-a

6. TEHNIČKI OPIS SUSTAVA

6.1. Ventilacijski sustav

Ventilacijski sustav je izveden s dvije ventilacijske jedinice ugrađene na armirano betonski krov iznad centralnog dijela škole. Prva jedinica opslužuje učionice, uredske prostorije zaposlenih te centralni dio škole, ukupnog volumnog protoka u iznosu od 9260 m³/h. Druga jedinica projektirana je za ventilaciju školske dvorane s pripadajućim garderobama, a njen volumni protok iznosi 2160 m³/h.

Projektna temperatura ubacivanja jednaka je za obje jedinice te iznosi 18 °C. Obje jedinice imaju jednak raspored komponenti. Ugrađeni su predgrijač vanjske struje zraka, pločasti rekuperator topline, grijač, odsisni i dobavni ventilator te pripadajući filtri klasa F7 i G4. Temperaturni režimi grijača i predgrijača iznose 70/60 °C. Kanalni razvod obje jedinice izveden je s okruglim kanalima.

Regulacija ogrjevnog učinka grijača i predgrijača vrši se putem regulacijskih ventila AB-QM s modulirajućim pogonom. Ulazni parametri su temperature zraka nakon predgrijača i temperatura zraka nakon grijača. Ovisno o promjeni temperature regulator kontinuirano vrši promjenu otvorenosti ventila te time utječe na ogrjevni učinak grijača i predgrijača. Regulacijska karakteristika sustava je izvedena kao linearna. Regulator je također spojen s cirkulacijskom pumpom koja dobavlja toplu vodu u jedinice te po potrebi mijenja brzinu vrtnje pumpe frekventnim pretvaračem ili ju isključuje.

Dvoranska ventilacijska jedinica izvedena je kao sustav konstantnog volumnog protoka zraka. Ventilacijska jedinica se uključuje pri korištenju školske dvorane npr. pri nastavi Tjelesne i zdravstvene kulture, prilikom raznih sportskih natjecanja ili drugih događaja.

Glavna ventilacijska jedinica izvedena je kao sustav varijabilnog protoka zraka. Regulacija protoka se vrši lokalno, po prostorijama. CO₂ osjetnici mjere koncentraciju CO₂ u prostoriji te šalju signal lokalnom regulatoru. Regulator upravlja motornim pogonom na VAV elementima te time povećava ili smanjuje volumni protok zraka mijenjajući kut nagiba zaklopke unutar elementa. Velik broj instaliranih kutija uzrokuje dinamične promjene tlaka u kanalnom razvodu te se unutar njih smještaju osjetnici statičkog tlaka kako bi se učinkovito pratile promjene

volumnih protoka zraka i izvršila precizna i pravovremena regulacija brzine vrtnje ventilatora jedinice.

Sustav ventilacije sanitarija izveden je kao odsisni s okruglim kanalima. Izvedena su dva sustava, po jedan za svaku etažu. Ugrađene su nepovratne zaklopke i kanalni aksijalni ventilatori koji su spojeni s elektroprekidačem rasvjete sanitarija. Na vrata su ugrađene aluminijske rešetke kako bi se osiguralo prestrujavanje zraka iz okolnih prostora za vrijeme rada sustava.

6.2. Sustav grijanja i pripreme potrošne tople vode

Za pokrivanje toplinskih gubitaka po prostorijama odabrani su ventilokonvektori. 44 ugrađena ventilokonvektora daju ogrjevni učinak od 126,05 kW pri temperaturnom režimu 70/60 °C. Ventilokonvektori su smješteni u prostorije na mjesta najvećih toplinskih gubitaka, ispod vanjskog prozora. Njihova regulacija vrši se lokalno preko regulatora u prostoriji. Pri postizanju željene temperature regulator preko regulacijskih ventila AB-QM s ON/OFF pogonom prekida dobavu tople vode u tijelo. Regulator je također spojen s ventilatorom konvektora dajući korisniku jedan dodatan komfor.

U prostor kotlovnice ugrađen je kotao na pelete ukupnog kapaciteta 230 kW. Uz kotao dolazi i spremnik peleta volumena 2,7 m³. Ventilator i elektrogrijač smješteni u plameniku vođeni regulacijom automatski pale pelete te održavaju plamen za potpuno automatski rad sustava. Izveden je sigurnosni vod kotla čija je zadaća držati temperaturu povratnog voda u kotao iznad 60 °C. Za stabilan rad kotla ugrađuje se akumulacijski spremnik volumena 3000 l. Regulaciju tlaka u sustavu vrši membranska ekspanzijska posuda volumena 400 l, a njena zadaća je također i kompenziranje efekta volumnog širenja vode uzrokovanog promjenom temperature.

Priprema potrošne tople vode vrši se u prostoru kotlovnice. Voda se zagrijava kotlovskom vodom za vrijeme sezone grijanja, a za pripremu izvan sezone grijanja ugrađen je električni grijač. Predviđena je temperatura potrošne tople vode od 60 °C.

Regulacija omogućava potpuno automatski rad sustava. Regulator upravlja pumpom predviđenom za opskrbu spremnika PTV-a preko temperaturnog osjetnika unutar spremnika. Troputni miješajući ventil kratko spaja polaz i povrat kotla kada temperaturni osjetnik u povratnom vodu izmjeri temperaturu nižu od 60 °C. Kotlovskom pumpom se upravlja preko temperature vode

unutar akumulacijskog spremnika. Brzina vrtnje pumpe koja dobavlja toplu vodu sustavu ventilokonvektora regulira se preko osjetnika diferencijalnog tlaka ugrađenog u samu pumpu.

7. ZAKLJUČAK

Ovim završnim radom predstavljeno je rješenje sustava grijanja, ventilacije i pripreme potrošne tople vode Osnovne škole Jabukovac, smještenoj na području grada Petrinje. Projektno toplinsko opterećenje izračunato je prema normi EN 12831 uz pomoć programskog paketa *IntegraCAD*, a provedena je i ručna provjera rezultata.

Odlučeno je sustav ventilacije podijeliti na dvije zone. Prva zona se regulira koncentracijom CO₂ plina u zraku. Ta zona uključuje sve učionice, urede školskih zaposlenika te centralni dio škole. Takva vrsta regulacije je primijenjena zato što se očekuje relativno kontinuirana promjena broja ljudi u tim prostorijama. Sustav je projektiran za najveći očekivani broj ljudi unutar pojedine prostorije. Ljudi kao glavni izvor CO₂ u zgradi povećavaju koncentraciju svojim boravkom u prostoriji, a sustav ventilacije ju snižava ubacujući vanjski zrak niže koncentracije te odvođeci unutrašnji zrak veće koncentracije. Druga zona služi ventilaciji dvorane u kojoj se očekuje relativno konstantan broj korisnika te se i protok zraka iz tog razloga drži konstantnim.

Zbog geografske lokacije škole kotao kao pogonsko gorivo koristi biomasu, odnosno pelete. Škola je smještena na brdovitom području, okružena je šumom te je cijena biomase u tom području izrazito pristupačna.

Ventilokonvektori kao ogrjevna tijela pružaju višu razinu komfora u odnosu na klasične člankaste ili pločaste radijatore što opravdava njihovu nešto višu investicijsku cijenu. Sa stajališta komfora podno grijanje se čini kao najzanimljivije rješenje, međutim veliki investicijski troškovi isključuju njegovu primjenu.

Potrošna topla voda se priprema za potrebe tuševa u garderobama te za potrebe pranja posuđa u školskoj kuhinji. Ogrjevni učinak za grijanje PTV-a osigurava kotao u sezoni grijanja ili električni grijač ugrađen u spremnik izvan sezone.

U toplovodni sustav ugrađena je sva potrebna sigurnosna i regulacijska oprema. Akumulacijski spremnik i membranska ekspanzijska posuda smješteni su u kotlovnici u podrumu gdje se nalazi i kotao. Kotlovnica je ventilirana prema propisima struke te se osigurao sigurnosni izlaz na školsko dvorište.

U sustav je implementirana regulacija koja omogućava potpuno automatski rad sustava. Lokalno je omogućena regulacija temperature u prostorijama te se lokalno još vrši regulacija

volumnog protoka dobavnog i povratnog zraka u učionicama i uredskim prostorima. Ostali dijelovi regulacijske i mjerne opreme spojeni su na glavne regulator toplovodnog sustava i na glavni regulator ventilacijskog sustava.

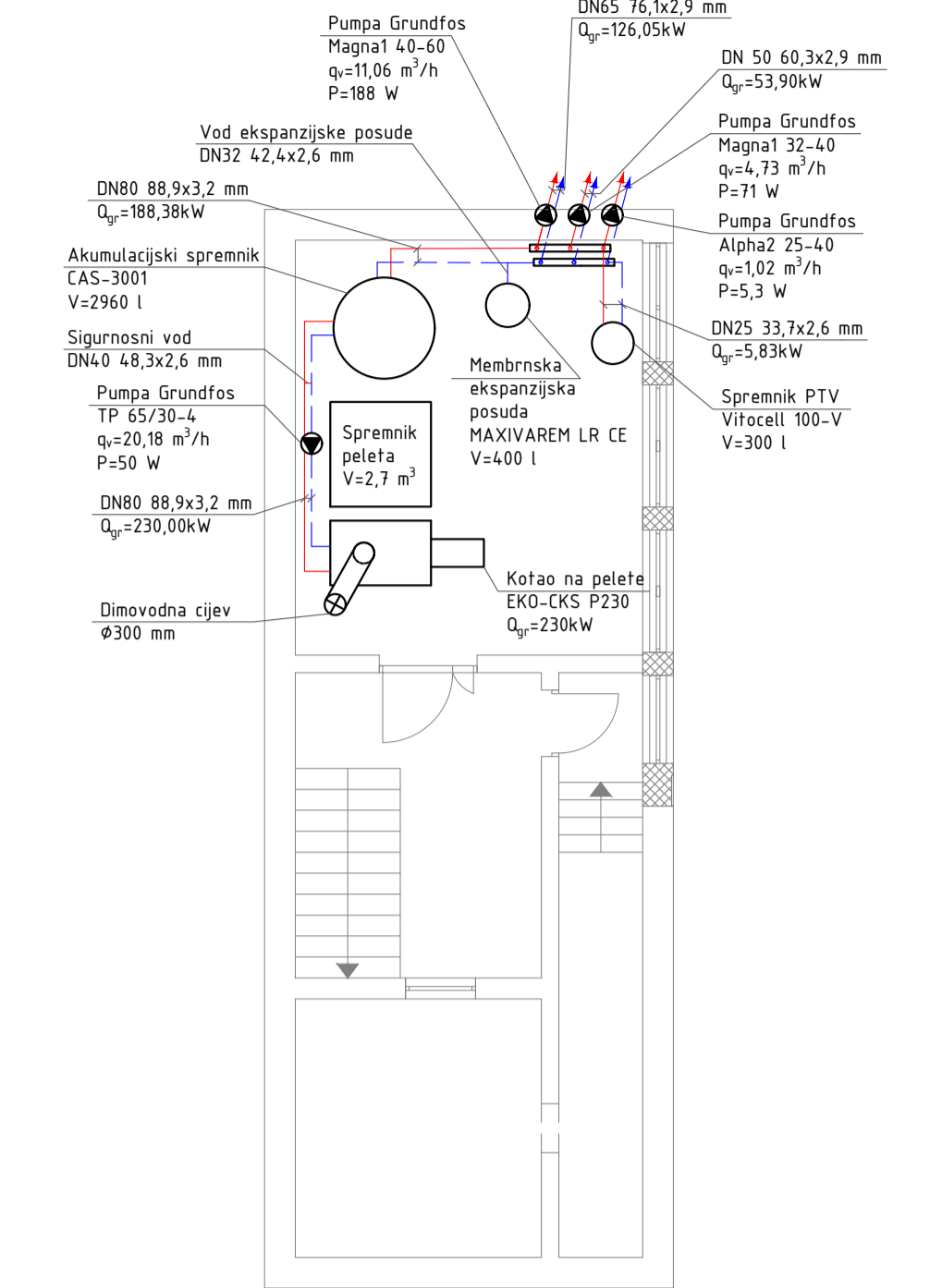
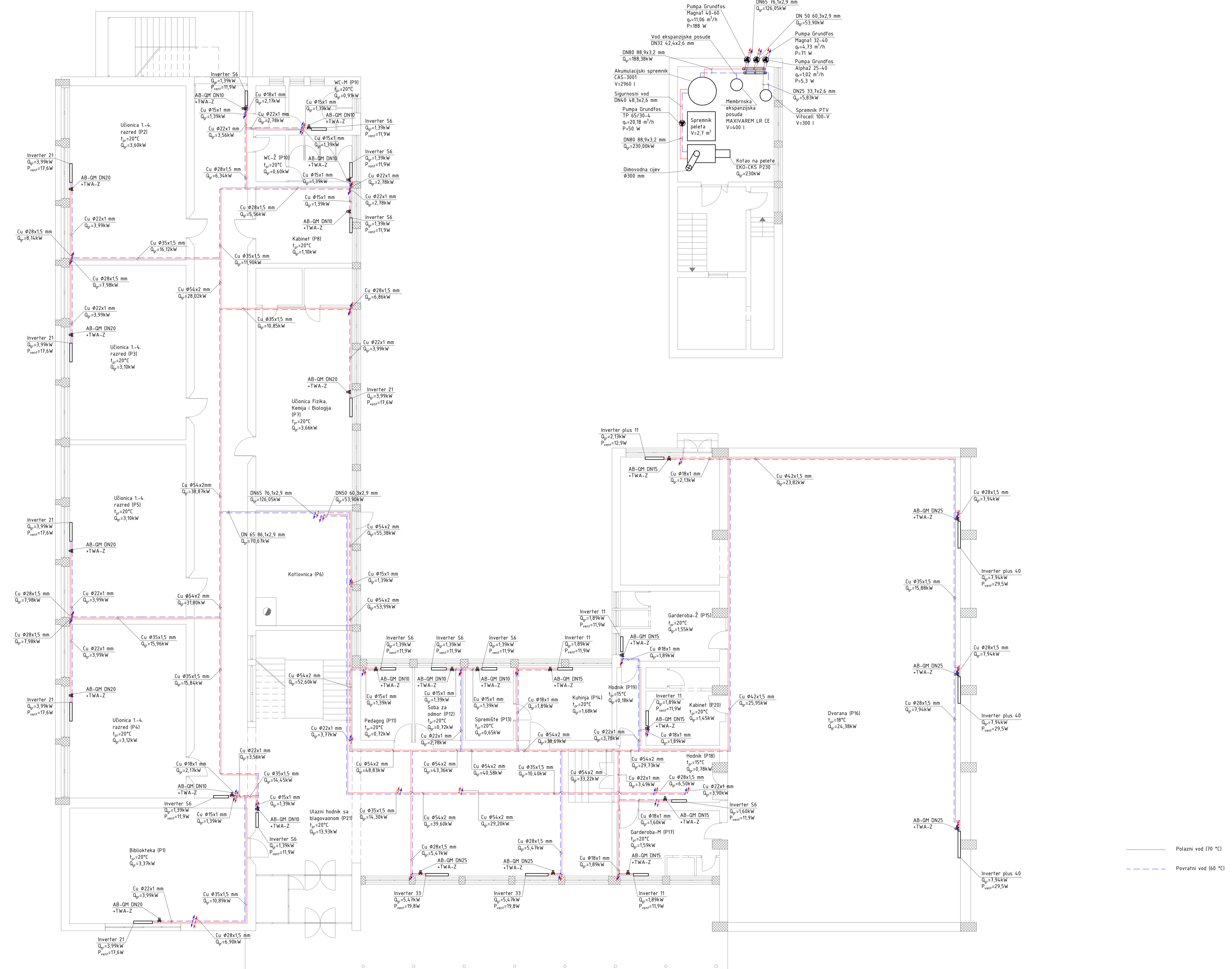
LITERATURA

- [1] Recknagel, Šprengel, Šramek i Čeperković, Grejanje i klimatizacija, Vrnjačka Banja: Interklima, 2004..
- [2] I. Balen, Podloge za predavanja iz kolegija "Grijanje", Zagreb: Fakultet strojarstva i brodogradnje, 2017..
- [3] <http://energyalliancegroup.org/sick-classrooms-require-energy-efficient-solutions-2/>.
- [4] <http://www.klimaoprema.hr/hr/home/>.
- [5] M. Ruševljan, Cjevovodi, Zagreb: FSB, 2011..
- [6] <https://www.systemair.com/>.
- [7] B. Kraut, Strojarski priručnik, Zagreb: Sajema, 2009..
- [8] <http://www.riello.com>.
- [9] <http://www.danfoss.hr/>.
- [10] <https://www.centrometal.hr/>.
- [11] <https://www.viessmann.hr/>.
- [12] <http://www.varem.com>.
- [13] <http://www.grundfos.com/>.

PRILOZI

- I. CD-R disk
- II. Tehnička dokumentacija

Kotlovnica smještena u podrumu

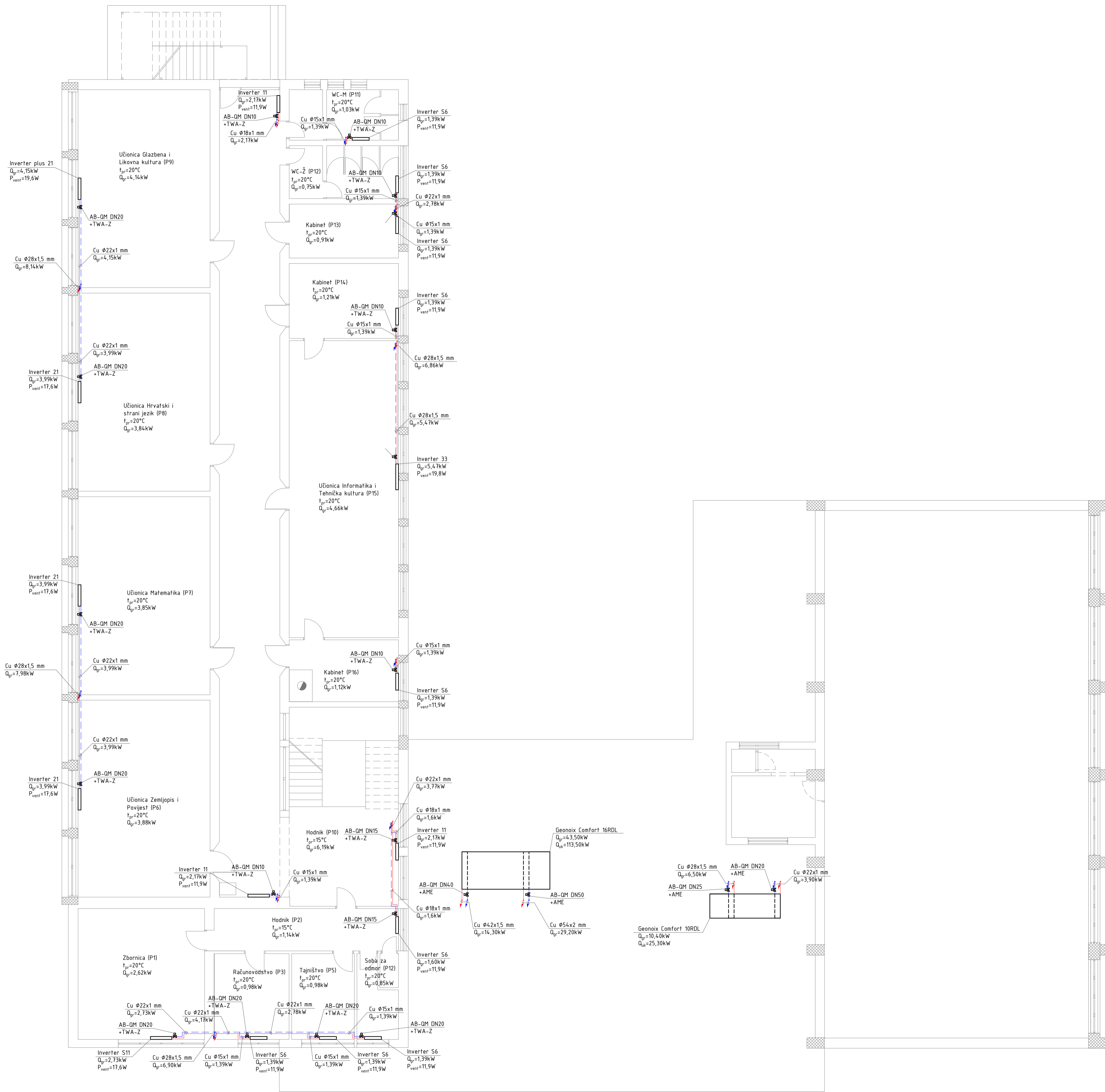


— Polazni vod (70 °C)
 - - - - - Povratni vod (60 °C)

Datum	Ime i prezime	Polpis
23.02.2018.	Antonio Radenić	
23.02.2018.	Antonio Radenić	
23.02.2018.	Antonio Radenić	
	Darko Smoljan	

Projektor	Datum	Ime i prezime	Polpis
Projektor	23.02.2018.	Antonio Radenić	
Razradio	23.02.2018.	Antonio Radenić	
Čitao	23.02.2018.	Antonio Radenić	
Pregledao		Darko Smoljan	
Završni rad			

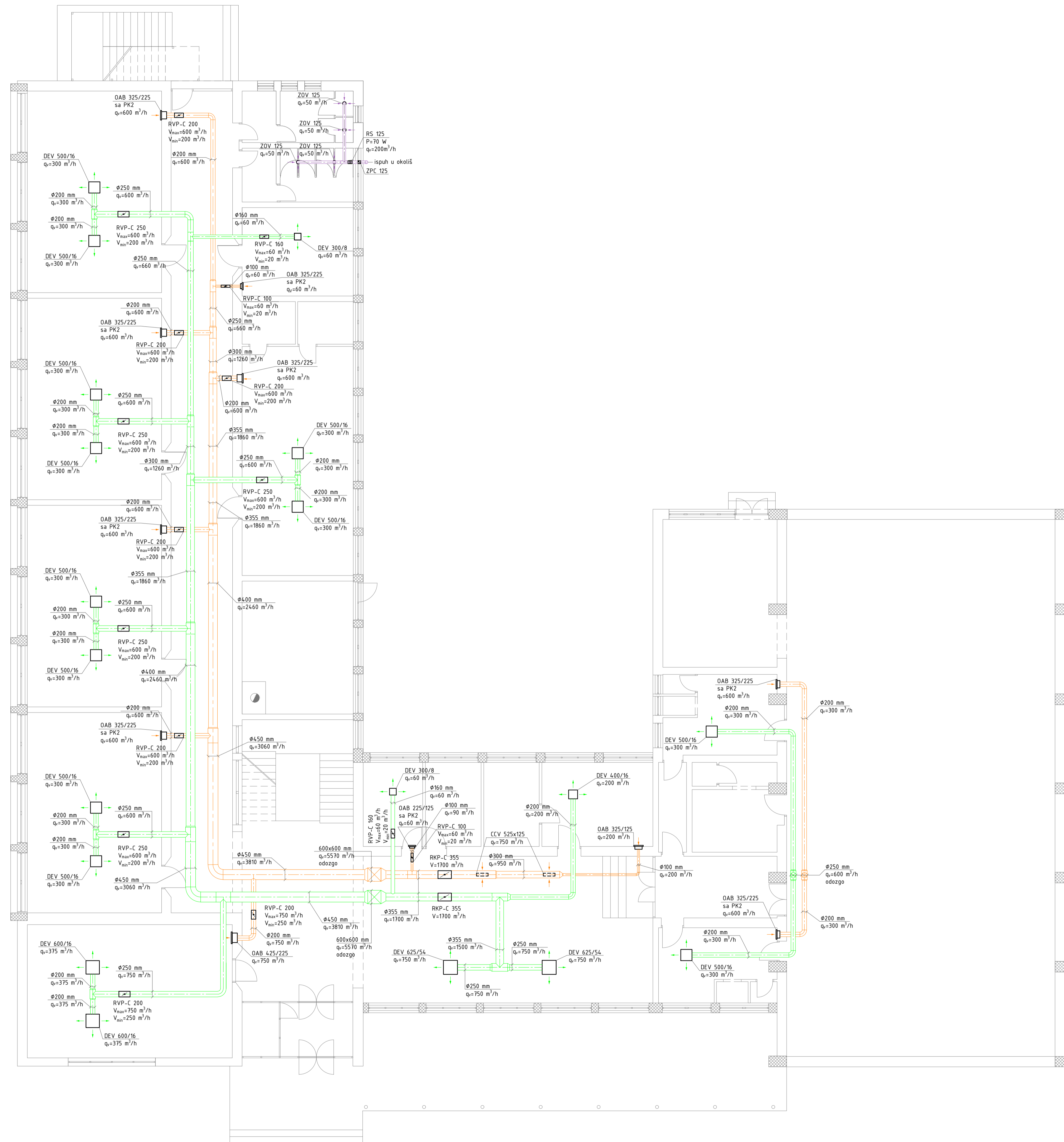
Objekt	Objekt broj
Tlocrti spajanja i smještaje opreme sustava toplodovodnog grijanja - prizemlje i podrum	R. N. broj



— Polazni vod (70 °C)
 - - - Povratni vod (60 °C)

Datum	Ime i prezime	Polpis
23.02.2018.	Antonio Radenić	
23.02.2018.	Antonio Radenić	
23.02.2018.	Antonio Radenić	
	Darko Smoljan	
Završni rad		

Objekt:	Tlocrti spajanja i smještaje opreme sustava toplodvodnog grijanja - prvi kat	Objekt broj:	
		R. N. broj:	



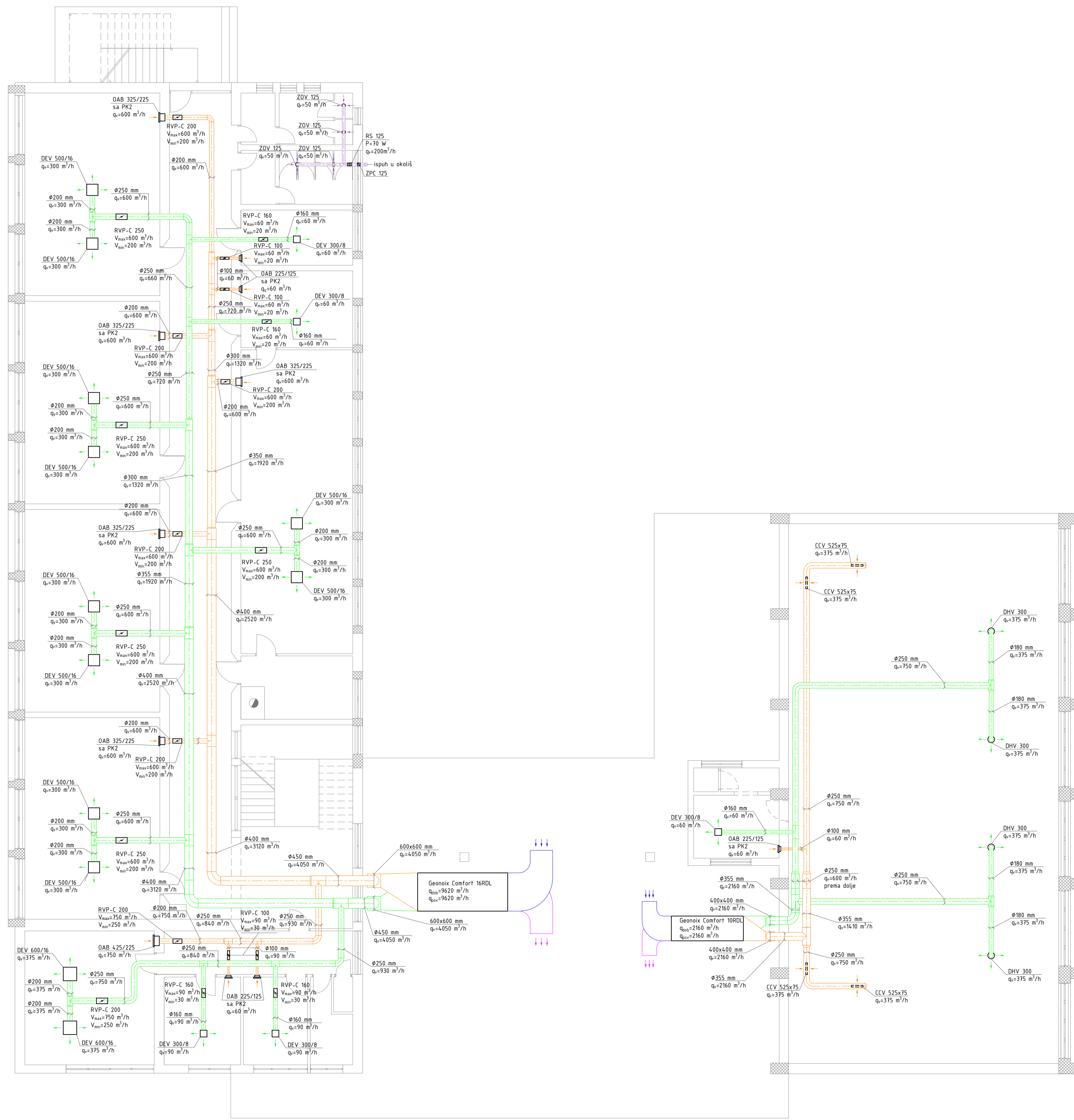
— Dobavni zrak
— Povratni zrak
— Odsis sanitarija

Napomena: Svi kanali odsisa sanitarija su Ø125 mm

Projekcija	Datum	Ime i prezime	Polpis
Projektirao	23.02.2018.	Antonio Radenić	
Revidirao	23.02.2018.	Antonio Radenić	
Crtao	23.02.2018.	Antonio Radenić	
Pregledao		Darko Smoljan	
Završni rad			

Objekt: Teorij spajanja i smještaja ograde ventilacijskog sustava - prizemlje	Objekt broj:
	R. N. broj:



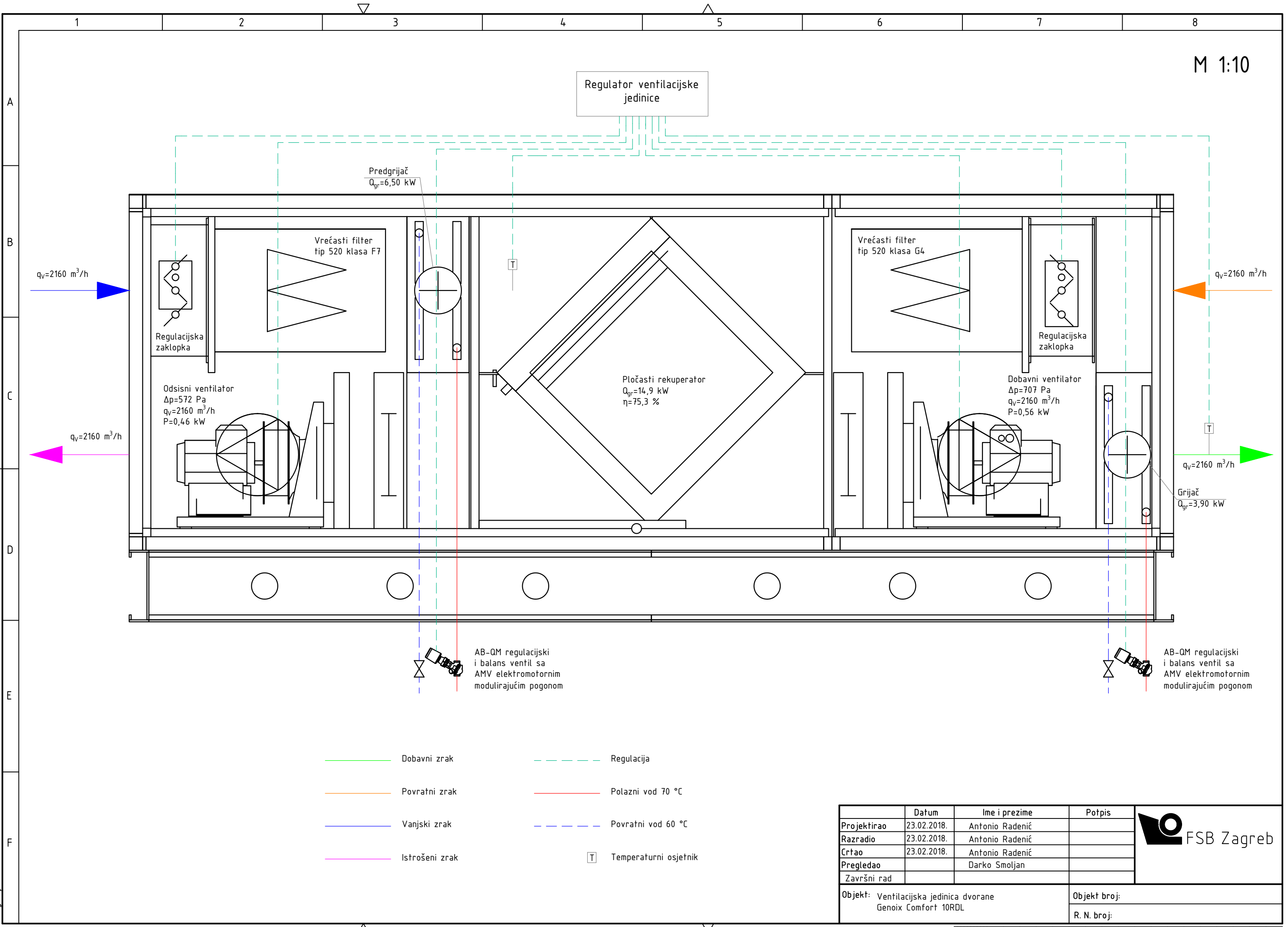


- Dobavni zrak
 - Povratni zrak
 - Vanjski zrak
 - Istošeni zrak
 - Odisis sanitarija
- Napomena: Svi kanali odisisa sanitarija su $\phi 125$ mm

	Datum	Ime i prezime	Polpis
Projektirao	23.02.2018.	Antonio Radenić	
Razradio	23.02.2018.	Antonio Radenić	
Čitao	23.02.2018.	Antonio Radenić	
Pregledao		Darko Smoljan	
Završni rad			
Objekt: Tlocrt spajanja i smještaja opreme ventilacijskog sustava - prvi kat	Objekt broj:		
	R. N. broj:		



M 1:10



AB-QM regulacijski i balans ventil sa AMV elektromotornim modulirajućim pogonom

AB-QM regulacijski i balans ventil sa AMV elektromotornim modulirajućim pogonom

- Dobavni zrak
- Povratni zrak
- Vanjski zrak
- Istrošeni zrak
- - - Regulacija
- Polazni vod 70 °C
- - - Povratni vod 60 °C
- T Temperaturni osjetnik

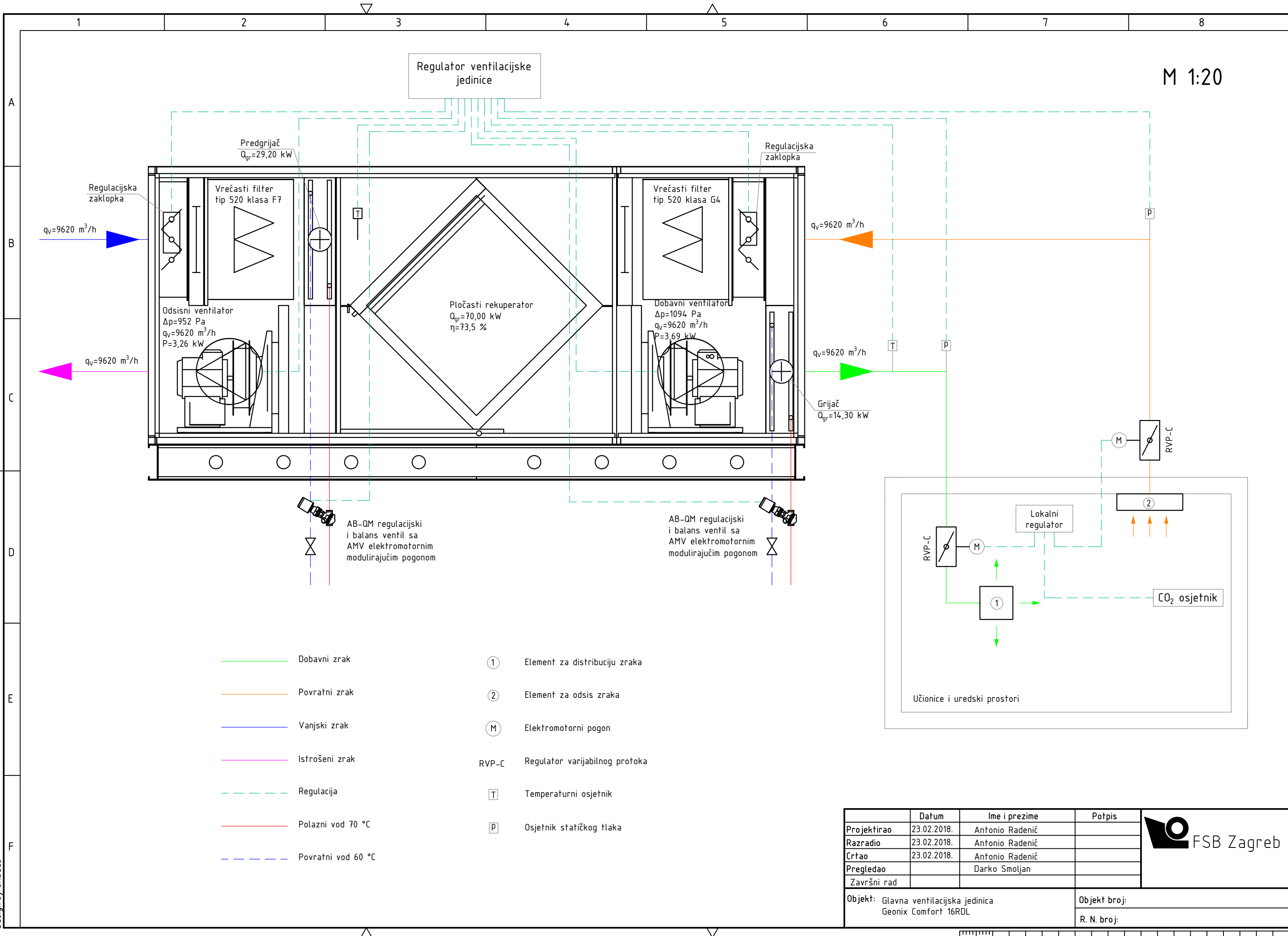
	Datum	Ime i prezime	Potpis
Projektirao	23.02.2018.	Antonio Radenić	
Razradio	23.02.2018.	Antonio Radenić	
Crtao	23.02.2018.	Antonio Radenić	
Pregledao		Darko Smoljan	
Završni rad			

Objekt: Ventilacijska jedinica dvorane
Genoix Comfort 10RDL

Objekt broj: _____

R. N. broj: _____





M 1:20

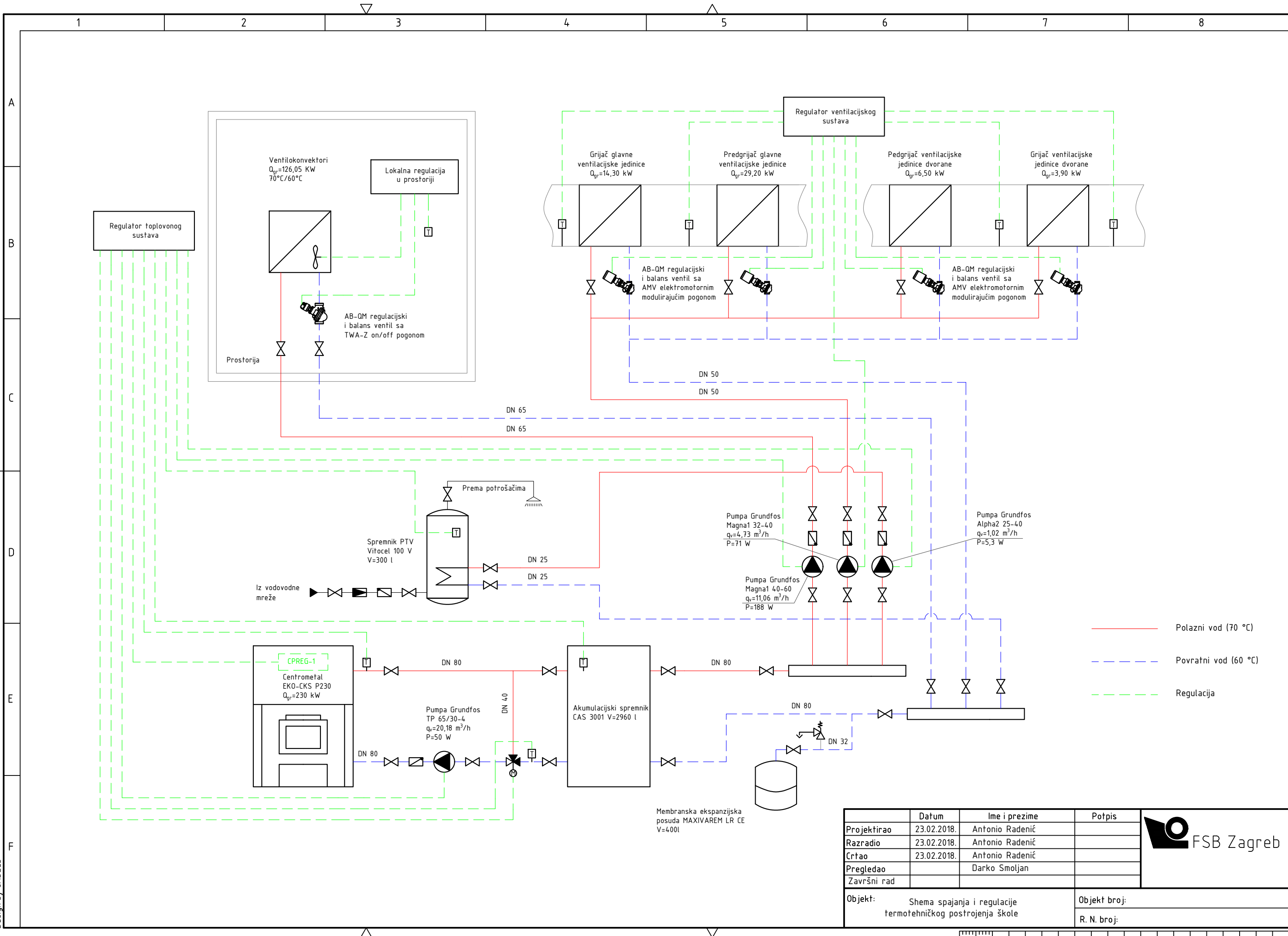
- Dobavni zrak
- Povratni zrak
- Vanjski zrak
- Istrošeni zrak
- Regulacija
- Polazni vod 70 °C
- Povratni vod 60 °C
- ① Element za distribuciju zraka
- ② Element za odsis zraka
- M Elektromotorni pogon
- RVP-C Regulator varijabilnog protoka
- T Temperaturni osjetnik
- P Osjetnik statičkog tlaka

	Datum	Ime i prezime	Potpis
Projektirao	23.02.2018.	Antonio Radenić	
Razradio	23.02.2018.	Antonio Radenić	
Crtao	23.02.2018.	Antonio Radenić	
Pregledao		Darko Smoljan	
Završni rad			

Objekt: Glavna ventilacijska jedinica
Geonix Comfort 16RDL

Objekt broj:
R. N. broj:





	Datum	Ime i prezime	Potpis
Projektirao	23.02.2018.	Antonio Radenić	
Razradio	23.02.2018.	Antonio Radenić	
Crtao	23.02.2018.	Antonio Radenić	
Pregledao		Darko Smoljan	
Završni rad			

FSB Zagreb

Objekt: **Schema spajanja i regulacije termotehničkog postrojenja škole**

Objekt broj: _____

R. N. broj: _____

Design by CADLab