

Projekt grijanja i ventilacije zgrade kulturnog centra

Slivar, Teo

Undergraduate thesis / Završni rad

2022

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture / Sveučilište u Zagrebu, Fakultet strojarstva i brodogradnje**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:235:008543>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-07-11**

Repository / Repozitorij:

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



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

ZAVRŠNI RAD

Teo Slivar

Zagreb, 2022.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

ZAVRŠNI RAD

Mentor:

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

Student:

Teo Slivar

Zagreb, 2022.

Izjavljujem da sam ovaj rad izradio samostalno koristeći znanje stečeno tijekom studija i navedenu literaturu. Zahvaljujem se mentoru doc. dr. sc. Darku Smoljanu, dipl. ing. na ukazanoj pomoći, susretljivosti i strpljenju prilikom izrade ovoga rada.



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE



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

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

ZAVRŠNI ZADATAK

Student: **Teo Silvar** JMBAG: **0035213005**

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

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

Opis zadatka:

Opis zadatka:

Potrebno je proračunati i projektirati sustav podnog grijanja i mehaničke ventilacije za potrebe zgrade kulturnog centra površine 475 m², prema zadanoj arhitektonskoj podlozi. Ventilacijski sustav projektirati kao sustav s varijabilnim protočnim volumenom zraka (VAV) ovisno o koncentraciji CO₂ i sustavom povrata topline s rekuperatorom. Za potrebe grijanja multimedijskih dvorana, sale za sastanke i izložbenog prostora treba predvidjeti niskotemperaturni sustav s podnim grijanjem temperaturnog režima 38/32°C, a za grijanje ostalih prostorija srednetemperaturni sustav s radijatorima temperaturnog režima 65/50°C. Kao izvor topline predvidjeti kotao na biomasu (drvena sječka ili peleti).

Restoran se nalazi na području grada Daruvara.

Rad treba sadržavati:

- proračun projektnog toplinskog opterećenja,
- hidraulički proračun cijevne mreže i dimenzioniranje kanalnog razvoda,
- 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 je potrebno navesti korištenu literaturu i eventualno dobivenu pomoć.

Zadatak zadan:

30. 11. 2021.

Zadatak zadao:

Doc. dr. sc.  Darko Smoljan

Datum predaje rada:

- 1. rok: 24. 2. 2022.
- 2. rok (izvanredni): 6. 7. 2022.
- 3. rok: 22. 9. 2022.

Predvideni datumi obrane:

- 1. rok: 28. 2. – 4. 3. 2022.
- 2. rok (izvanredni): 8. 7. 2022.
- 3. rok: 26. 9. – 30. 9. 2022.

Predsjednik Povjerenstva:


 Prof. dr. sc. Vladimir Soldo

Sadržaj

POPIS SLIKA	I
POPIS TABLICA.....	II
POPIS TEHNIČKE DOKUMENTACIJE	III
POPIS OZNAKA	IV
SAŽETAK.....	VI
SUMMARY	VII
1. UVOD	1
1.1. Toplinska ugodnost [1].....	1
1.2. Sustavi grijanja [2].....	2
1.3. Opis zgrade	3
2. PRORAČUN PROJEKTOG TOPLINSKOG OPTEREĆENJA.....	5
2.1. Projektni transmisijski gubici topline	7
2.1.1. Transmisijski gubici prema vanjskom okolišu.....	7
2.1.2. Transmisijski gubici kroz negrijane prostore	8
2.1.3. Transmisijski gubici od grijanog prostora prema tlu.....	8
2.1.4. Transmisijski gubici topline prema susjednim prostorijama grijanih na različitu temperaturu.....	9
2.2. Projektni ventilacijski gubici topline	9
2.3. Projektni gubici topline zbog prekida grijanja	10
2.4. Projektni gubici topline prostorije P3 (Ured)	11
3. DIMENZIONIRANJE SUSTAVA GRIJANJA	15
3.1. Ogrjevna tijela [4].....	15
3.2. Člankasta ogrjevna tijela i odabir radijatora za zgradu kulturnog centra	16
3.3. Podno grijanje [4]	19
3.4. Općenito o kotlovima na biomasu [9]	22
3.5. Odabir kotla na biomasu.....	23
3.6. Odabir akumulacijskog spremnika	24
3.7. Dimenzioniranje cijevne mreže	26
3.8. Odabir pumpi u krugu radijatorskog grijanja	30
3.9. Odabir pumpe u krugu podnog grijanja.....	31
3.10. Odabir ekspanzijske posude [15]	32

4.	AUTOMATSKA REGULACIJA SUSTAVA GRIJANJA	35
5.	SUSTAV MEHANIČKE VENTILACIJE	36
5.1.	Ventilacijski zahtjev prema dopuštenoj koncentraciji CO ₂ u zraku [18]	36
5.2.	Ventilacijski zahtjev prema broju izmjena zraka u prostoriji [18]	38
5.3.	Odabir ventilacijskih otvora i regulatora varijabilnog protoka	39
5.3.1.	Odabir rešetki dobavnog i povratnog zraka	39
5.3.2.	Odabir distributera zraka dobavnog i povratnog zraka	41
5.3.3.	Regulatori varijabilnog protoka (VAV regulatori)[20]	41
5.3.4.	Odabir regulatora varijabilnog protoka	42
5.4.	Pad tlaka u kanalima dobavnog i povratnog zraka	43
5.5.	Odabir ventilacijsko – rekuperacijskih jedinica	48
5.6.	Regulacija sustava mehaničke ventilacije	49
5.7.	Sustav ventilacije sanitarnih prostorija.....	50
6.	TEHNIČKI OPIS SUSTAVA	51
7.	ZAKLJUČAK	53
8.	LITERATURA	54
	PRILOZI.....	56

POPIS SLIKA

<i>Slika 1.1. Odnos PMV-a i PPD-a.....</i>	1
<i>Slika 1.2. Tlocrt prizemlja</i>	4
<i>Slika 1.3. Tlocrt potkrovlja.....</i>	4
<i>Slika 3.1. Razdioba temperature po visini prostorije za različitu vrstu i položaj ogrjevnih tijela [4].....</i>	16
<i>Slika 3.2 Tablica iz kataloga proizvođača s prikazanim toplinskim učincima članaka za različite režime rada.....</i>	18
<i>Slika 3.3. Tehničke karakteristike Orion 600/95mm radijatora.....</i>	18
<i>Slika 3.4. Pužna petlja.....</i>	20
<i>Slika 3.5. Serpentina petlja</i>	20
<i>Slika 3.6. Pužna petlja s polietilenskim cijevima REHAU RAUTHERM 17x2mm</i>	21
<i>Slika 3.7. Četiri faze procesa izgaranja biomase.....</i>	23
<i>Slika 3.8. Kotao na biomasu Centrometal Pel-Tec Lambda 24 kW</i>	23
<i>Slika 3.9. Presjek kotla s glavnim elementima</i>	24
<i>Slika 3.10. Karakteristike kotla PelTec za učine 12,18 i 24 kW</i>	24
<i>Slika 3.11. Centrometal CAS 301 s pripadajućim elementima unutar spremnika.....</i>	25
<i>Slika 3.12. Tehničke karakteristike akumulacijskog spremnika Centrometal CAS 301 – 325 l</i>	26
<i>Slika 3.13. Pumpa Grundfos ALPHA3 25-40 180[14].....</i>	30
<i>Slika 3.14. Radne karakteristike pumpe Grundfos ALPHA3 25-40 180[14]</i>	31
<i>Slika 3.15. Grundfos ALPHA2 L 25-40 180[14].....</i>	32
<i>Slika 3.16. Radne karakteristike pumpe Grundfos ALPHA2 L 25-40-180[14]</i>	32
<i>Slika 3.17. Membranska ekspanzijska posuda IMERA RV80 – 80 L [16].....</i>	34
<i>Slika 4.1. Termostatski radijatorski ventil Danfoss RA-DV Dynamic Valve [17]</i>	35
<i>Slika 4.2. Troputni miješajući ventil s motornim pogonom.....</i>	35
<i>Slika 5.1. Parametri za odabir rešetke dobavnog zraka</i>	39
<i>Slika 5.2. Odabir rešetke prema navedenim parametrima</i>	40
<i>Slika 5.3. OAH rešetka</i>	40
<i>Slika 5.4. DEV – K distributer zraka.....</i>	41
<i>Slika 5.5. Parametri za odabir distributera dobavnog zraka.....</i>	41
<i>Slika 5.6. Odabir VAV regulatora prema promjeru kanala</i>	42
<i>Slika 5.7. RVP – C regulator.....</i>	43
<i>Slika 5.8. Daikin ALB ventilacijsko – rekuperacijska jedinica</i>	49
<i>Slika 5.9. Opis Daikin ALB jedinice.....</i>	49
<i>Slika 5.10. KOER Codis C35 – VAV</i>	50

POPIS TABLICA

<i>Tablica 2.1. Unutarnje projektne temperature prostorija.....</i>	5
<i>Tablica 2.2. Koeficijent prolaza topline građevnih elemenata</i>	6
<i>Tablica 2.3. Minimalni broj izmjena zraka u prostorijama koje nisu mehanički ventilirane ..</i>	10
<i>Tablica 2.4. Projektni transmisijski gubici prema vanjskom okolišu.....</i>	11
<i>Tablica 2.5. Stacionarni transmisijski gubici od grijanog prostora prema tlu.....</i>	11
<i>Tablica 2.6. Projektni transmisijski gubici topline prema susjednim prostorijama grijanih na različitu temperaturu</i>	12
<i>Tablica 2.7. Rezultati proračuna projektnog toplinskog opterećenja prostorija u prizemlju i potkrovlju</i>	14
<i>Tablica 3.1. Popis radijatora po prostorijama s izračunatim toplinskim učinkom</i>	19
<i>Tablica 3.2. Tehničke karakteristike ormarića</i>	21
<i>Tablica 3.3. Dimenzioniranje cijevne mreže u krugu radijatorskog grijanja</i>	28
<i>Tablica 3.4. Dimenzioniranje cijevne mreže u krugu podnog grijanja.....</i>	29
<i>Tablica 3.5. Ukupni pad tlaka u krugu radijatorskog grijanja</i>	30
<i>Tablica 3.6. Ukupni pad tlaka u krugu podnog grijanja.....</i>	31
<i>Tablica 3.7. Ukupni volumen vode u sustavu</i>	33
<i>Tablica 5.1. Kvaliteta zraka prema EN 13779.</i>	37
<i>Tablica 5.2. Razina zagađivača u zraku prema EN 13779</i>	37
<i>Tablica 5.3. Proračun ventilacijskog zahtjeva po prostorijama</i>	37
<i>Tablica 5.4. Vrijednosti koeficijenta ACH prema namjeni prostorije za zgradu kulturnog centra.....</i>	38
<i>Tablica 5.5. Proračun prema broju izmjena zraka</i>	38
<i>Tablica 5.6. Pad tlaka u kanalima dobavnog zraka za sustav mehaničke ventilacije prostorija čajne kuhinje, ureda i sale za sastanke</i>	44
<i>Tablica 5.7. Pad tlaka u kanalima povratnog zraka za sustav mehaničke ventilacije prostorija čajne kuhinje, ureda i sale za sastanke</i>	45
<i>Tablica 5.8. Pad tlaka u kanalima dobavnog zraka za sustav mehaničke ventilacije multimedijske dvorane.....</i>	45
<i>Tablica 5.9. Pad tlaka u kanalima povratnog zraka za sustav mehaničke ventilacije multimedijske dvorane.....</i>	46
<i>Tablica 5.10. Pad tlaka u kanalima dobavnog zraka za sustav mehaničke ventilacije izložbenog prostora</i>	46
<i>Tablica 5.11. Pad tlaka u kanalima povratnog zraka za sustav mehaničke ventilacije izložbenog prostora</i>	47
<i>Tablica 5.12. Pad tlaka u kanalima dobavnog zraka za sustav mehaničke ventilacije prostorije višenamjenske dvorane za mlade.....</i>	47
<i>Tablica 5.13. Pad tlaka u kanalima povratnog zraka za sustav mehaničke ventilacije prostorije višenamjenske dvorane za mlade</i>	48
<i>Tablica 5.14. Proračun protoka prema broju izmjena zraka za sanitarne prostorije</i>	50

POPIS TEHNIČKE DOKUMENTACIJE

- 1) Raspored opreme u strojarnici
- 2) Raspored ogrjevnih tijela i cjevovodnog sustava grijanja u prizemlju
- 3) Raspored ogrjevnih tijela i cjevovodnog sustava grijanja u potkrovlju
- 4) Funkcionalna shema spajanja i regulacije sustava grijanja
- 5) Raspored ventilacijsko – rekuperacijskih jedinica i kanala u spremištu
- 6) Raspored kanala i otvora za zrak u prizemlju
- 7) Raspored kanala i otvora za zrak u potkrovlju
- 8) Funkcionalna shema spajanja i regulacije sustava mehaničke ventilacije za prostorije u prizemlju
- 9) Funkcionalna shema spajanja i regulacije sustava mehaničke ventilacije za prostorije u prizemlju

POPIS OZNAKA

Oznaka	Jedinica	Opis
ϑ_e	°C	Vanjska projektna temperatura zraka
$\vartheta_{m,e}$	°C	Srednja projektna temperatura zraka
$\vartheta_{int,i}$	°C	Unutarnja projektna temperatura zraka
$\vartheta_{u,i}$	°C	Temperatura negrijanog prostora
$\vartheta_{su,i}$	°C	Temperatura dobavnog zraka
$\Phi_{T,i}$	W	Projektni transmisijski gubici topline
$\Phi_{V,i}$	W	Projektni ventilacijski gubici topline
$\Phi_{RH,i}$	W	Projektni gubici topline zbog prekida grijanja
$\Phi_{HL,i}$	W	Ukupni projektni gubici topline
$H_{T,ie}$	W/K	Koeficijent transmisijskog gubitka topline od grijanog prostora prema vanjskom okolišu
$H_{T,iue}$	W/K	Koeficijent transmisijskog gubitka topline od grijanog prostora kroz negrijani prostor prema vanjskom okolišu
$H_{T,ig}$	W/K	Koeficijent transmisijskog gubitka od grijanog prostora prema tlu
$H_{T,ij}$	W/K	Koeficijent transmisijskog gubitka od grijanog prostora prema susjednom grijanom prostoru različite temperature
A	m ²	Površina
U	W/m ² K	Koeficijent prolaza topline
e_k, e_l	-	Korekcijski faktori izloženosti
ψ	W/m K	Linijski koeficijent prolaza topline linijskog toplinskog mosta
l_l	m	Dužina linijskog toplinskog mosta
b_u	-	Faktor smanjenja temperaturene razlike, uzima u obzir temperaturu negrijanog prostora i vanjsku projektnu
f_{g1}	-	Korekcijski faktor za utjecaj godišnje oscilacije vanjske temperature
f_{g2}	-	Faktor smanjenja temperaturene razlike, između godišnje srednje vanjske i vanjske projektne temperature
U_{eq}	W/m ² K	Ekvivalentni koeficijent prolaza topline
G_w	-	Korekcijski faktor za utjecaj podzemne vode
f_{ij}	-	Faktor smanjenja temperaturene razlike, između temperature susjednog prostora i vanjske projektne temperature
$H_{V,i}$	W/K	Koeficijent ventilacijskih toplinskih gubitaka
\dot{V}_i	m ³ /h	Volumni protok zraka u grijani prostor
ρ_{zr}	kg/m ³	Gustoća zraka
$c_{p,zr}$	J/kg K	Specifični toplinski kapacitet zraka pri konstantom tlaku
$V_{inf,i}$	m ³ /h	Maksimalni protok zraka u prostoriju uslijed infiltracije kroz zazore
$V_{min,i}$	m ³ /h	Minimalni higijenski protok zraka
n_{min}	h ⁻¹	Minimalni broj izmjena zraka
n_{50}	h ⁻¹	Broj izmjena zraka u prostoriji po satu pri razlici tlaka 50 Pa između prostorije i vanjskog okoliša
e_i	-	Koeficijent zaštićenosti
ε_i	-	Korekcijski faktor za visinu
$V_{su,i}$	m ³ /h	Količina zraka dovedena mehaničkim sustavom ventilacije
$f_{V,i}$	-	Faktor smanjenja temperaturene razlike, između temperature zraka koji

		se dobavlja i unutarnje projektne temperature
$V_{mech,inf,i}$	m^3/h	Višak odvedenog zraka iz prostorije
V_{ex}	m^3/h	Protok zraka iz prostorije uslijed ekspanzije kroz zazor
f_{RH}	W/m^2	Korekcijski faktor ovisan o vremenu zagrijavanja i pretpostavljenom padu temperature za vrijeme prekida
\dot{m}	kg/s	Maseni protok
w	m/s	Brzina strujanja
ρ	kg/m^3	Gustoća
p_1, p_2	Pa	Statički tlak
z_1, z_2	m	Geodetska visina
g	m/s^2	Akceleracija sile težine
p_{din}	Pa	Dinamički tlak
Δp_λ	Pa	Linijski gubitak
λ	-	Koeficijent trenja
L	m	Duljina cijevi ili kanala
Δp_ξ	Pa	Lokalni gubitak
ξ	-	Koeficijent lokalnog gubitka
R	Pa/m	Jedinični pad tlaka
η	Pa s	Dinamička viskoznost
d	m	Unutarnji promjer cijevi
ε	-	Relativna hrapavost
k	mm	Apsolutna hrapavost
Re	-	Reynoldsov broj
$V_{n,min}$	l	Minimalni volumen zatvorene ekspanzijske posude
V_e	l	Volumen širenja vode
V_v	l	Dodatni volumen
p_e	bar	Krajnji projektni tlak
p_0	bar	Primarni tlak ekspanzijske posude
V_A	l	Ukupno volumen vode u sustavu
n	-	Postotak širenja
\dot{V}	m^3/h	Ukupna emisija izvora zagađenja
$CO_{2, doz}$	ppm	Dozvoljena unutarnja koncentracija
$CO_{2, vanj}$	ppm	Koncentracija u vanjskom zraku
ACH	h^{-1}	Broj izmjena zraka po satu
Δp_F	Pa	Linijski pad tlaka u kanalu
Δp_L	Pa	Lokalni pad tlaka u kanalu

SAŽETAK

U ovom radu prikazano je projektno rješenje sustava grijanja i mehaničke ventilacije zgrade kulturnog centra. Zgrada se nalazi na području Bjelovarsko – bilogorske županije u gradu Daruvaru te se proteže na dvije etaže (Pr+Po) sa suterenom u kojem se nalazi određeni dio strojarškog postrojenja. Korisna površina objekta iznosi 475 m². U prostorijama većih dimenzija (sala za sastanke, multimedijaska dvorana, izložbeni prostor i višenamjenska dvorana za mlade) u kojima će boraviti veći broj ljudi kao izvor topline predviđeno je podno grijanje s niskotemperaturnim režimom rada 38/32 °C. U svim ostalim prostorijama prizemlja i potkrovlja predviđen je srednjotemperaturni režim grijanja 65/50 °C s radiatorima. Kao centralni izvor topline cijelog sustava koristi se kotao na biomasu (drvena sječka ili peleti) proizvođača *Centrometal*. Ukupno projektno toplinsko opterećenje zgrade proračunato je prema normi HRN EN 12831-1:2017, a proračun je proveden u programu *IntegraCAD*. Za navedenu zgradu ono iznosi 18969 W. Kotao, akumulacijski spremnik, ekspanzijska posuda i ostatak opreme za grijanje zgrade nalazi se u strojarnici koja se nalazi u suterenskom dijelu zgrade. Sustav mehaničke ventilacije projektiran je kao sustav s varijabilnim protočnim volumenom zraka u ovisnosti o koncentraciji CO₂. Sustav je zamišljen je kao sustav s povratom topline preko rekuperatora. Za potrebe mehaničke ventilacije najvećih prostorija (multimedijaska dvorana, izložbeni prostor i višenamjenska dvorana za mlade) odabrane su zasebne ventilacijsko - rekuperacijske jedinice proizvođača *Daikin*, dok se ventilacijski sustav ostalih prostorija vrši preko zajedničke jedinice istog proizvođača. Sve ventilacijsko – rekuperacijske jedinice nalaze se u spremištu u suterenskom dijelu zgrade. Sve jedinice su izvedene kao stropne s horizontalnim priključcima. U prilogu se nalaze tablice s rezultatima proračuna i crteži koji prikazuju raspored opreme te funkcionalne sheme spajanja i automatsku regulaciju.

Ključne riječi: grijanje, ventilacija, zgrada kulturnog centra, kotao, ventilacijsko – rekuperacijske jedinice

SUMMARY

This paper presents design solution for heating and mechanical ventilation system for the cultural center. The building is located in Bjelovar – Bilogora County area Daruvar and extends to two floors (G+A) with a basement where a certain part of the equipment is located. The useful area of the building is 475 m². In the larger rooms (meeting hall, multimedia hall, exhibition space and multipurpose hall) where most of people resides, underfloor heating is provided as a source of heat with a low – temperature mode 38/32 °C. In all other rooms on the ground floor and attic, heating is used with medium – temperature mode 65/50 °C with radiators. A biomass boiler manufactured by *Centrometal* is used as a heat source for the entire system. The total project losses of the building were calculated according to the HRN EN 12831-1:2017 standard, and the calculation was carried out in the *IntegraCAD* software. For specified building it amounts 18969 W. The boiler, storage tank, expansion vessel and the rest of equipment are located in the machine room located in the basement. The mechanical ventilation system is designed as variable air volume system depending on carbon dioxide concentration. The system is designed as a system with heat recovery over a recuperator. The separate ventilation energy recovery units manufactured by *Daikin* were chosen for the mechanical ventilation purposes of the biggest rooms (meeting hall, multimedia hall, exhibition space and multipurpose hall), while the ventilation system of the other rooms is carried out through a common unit of the same manufacturer. All the ventilation energy recovery units are located in the basement storage room. All units are ceiling - mounted with horizontal connections. Attachments contain tables with calculation results, drawings showing the layout of the equipment, and the functional scheme of the connection and automatic regulation.

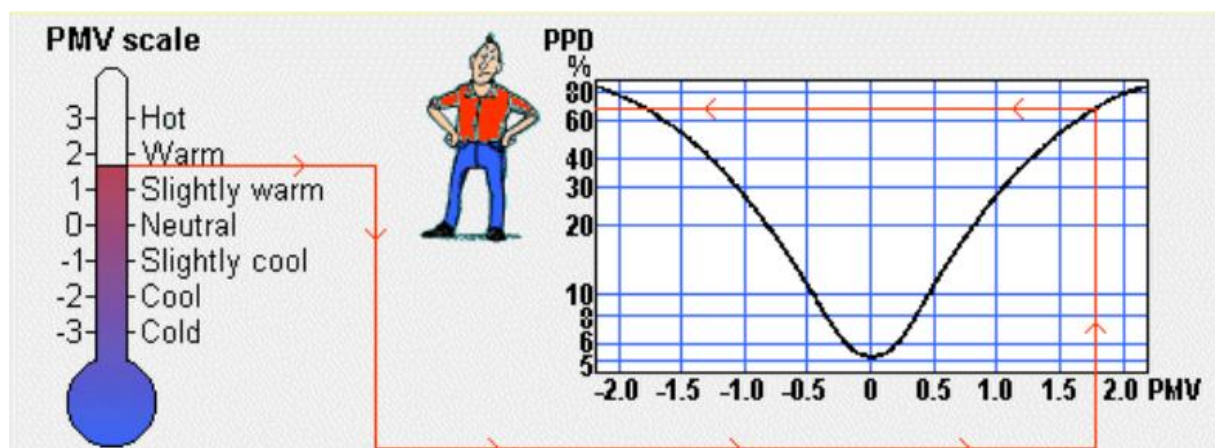
Key words: heating, ventilation, cultural center building, boiler, ventilation energy recovery units.

1. UVOD

Sustavi grijanja, ventilacije i klimatizacije (GViK) su sustavi čija je glavna zadaća uspostavljanje i održavanje optimalnih uvjeta toplinske ugodnosti i kvalitete zraka u prostorima u kojima borave ljudi uz minimalnu disipaciju energije. U GViK sustave se prema normi DIN 1961 svrstavaju sljedeći procesi: grijanje, hlađenje, ovlaživanje, odvlaživanje i ventilacija. Klimatizacijski sustavi se još ovisno o tome koliki se broj navedenih procesa vrši u sustavu dijele na sustave ventilacije, sustave djelomične klimatizacije i sustave klimatizacije.

1.1. Toplinska ugodnost [1]

Toplinska je ugodnost stanje svijesti izraženo zadovoljstvom toplinskim stanjem okoliša. S obzirom da je čovjek sam po sebi stalno izložen izmjeni topline s okolišem, svatko za sebe ima određeni individualni osjećaj toplinske ugodnosti. Kako je zadaća GViK sustava uspostavljanje toplinske ugodnosti na veći postotak populacije ideja je vrednovati toplinsku ugodnost. Iz tog razloga, postoje dvije metode vrednovanja toplinske ugodnosti, a to su PMV (Predicted Mean Vote) i PPD (Predicted Percentage of Dissatisfied) indeksi. PMV predviđa subjektivno ocjenjivanje ugodnosti boravka u okolišu od strane grupe ljudi, dok PPD predviđa postotak nezadovoljnih osoba i funkcija je PMV-a.



Slika 1.1. Odnos PMV-a i PPD-a

Toplinska ugodnost rezultat je zajedničkog djelovanja sljedećih veličina:

1. Temperature zraka u prostoriji,
2. Temperature ploha prostorije,

3. Vlažnosti zraka,
4. Strujanju zraka,
5. Razini odjevenosti,
6. Razini fizičke aktivnosti,
7. Ostalim faktorima (razina buke, kvaliteta zraka, dob, namjena prostora).

1.2. Sustavi grijanja [2]

Osnovna namjena sustava grijanja je postizanje toplinske ugodnosti u zgradi u sezoni grijanja. Prije nego što su razvijeni moderni sustavi grijanja, glavni izvori topline za sustave grijanja su obično bili individualni, kao što su kamini, peći i slični uređaji. Međutim, napretkom civilizacije, došlo je do potrebe za poboljšanjem tih sustava koji bi bili energetske učinkovitiji. Tako su danas u većoj mjeri spominju sustavi niskotemperaturnog grijanja s kondenzacijskim kotlovima ili dizalicama topline zbog brojnih prednosti koje imaju. Ipak, izbor sustava grijanja ovisi o raznim faktorima, od kojih su najbitniji: vremenski uvjeti, položaj i tip zgrade, vrijeme korištenja zgrade, raspoloživost izvora topline, investicijski i pogonski troškovi, razne norme i naravno utjecaj na okoliš. Glavna podjela sustava grijanja provodi se prema njihovoj izvedbi, pa tako razlikujemo:

1. Pojedinačne grijače kojima je izvor topline postavljen u pojedinoj prostoriji (peći, kamini, grijalice),
2. Centralno grijanje - sustavi koji imaju jedan izvor topline za više prostora unutar zgrade,
3. Daljinsko grijanje – sustavi koji imaju jedan izvor topline za više zgrada, stambeni blok ili dio grada (toplane),
4. Sustave posebne izvedbe s obnovljivim izvorima topline od kojih je bitno spomenuti Sunčevu energiju, biomasu te sustave s dizalicama topline koje kao izvor topline koriste vodu, zrak i tlo.

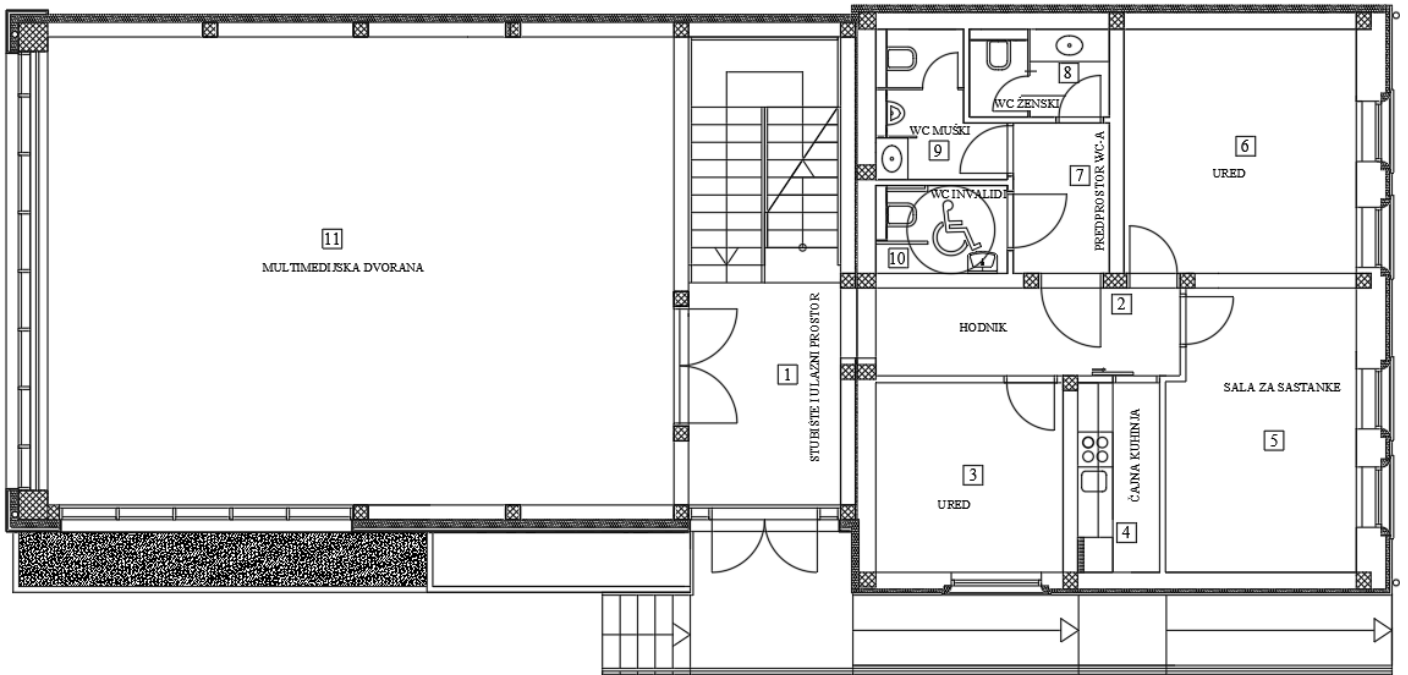
Osim prema izvedbi, sustave grijanja dijelimo i prema odabiru ogrjevnog medija na:

1. Toplozračne sustave,
2. Zračno – vodene sustave,
3. Toplovodne sustave (temperatura vode ≤ 105 °C),
4. Vrelvodne sustave (temperatura vode > 105 °C),
5. Parne sustave.

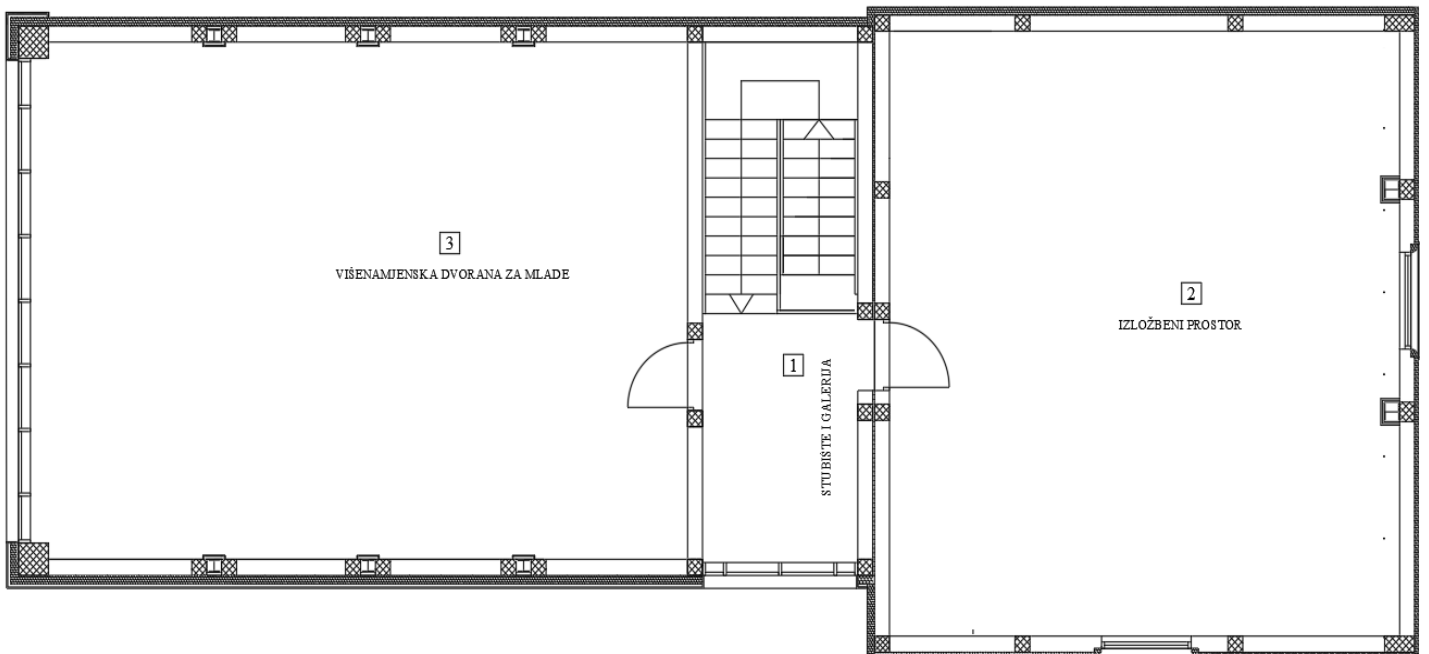
U ovom radu bit će objašnjen sustav centralnog grijanja u kojem je voda nositelj topline, tako da u ovom slučaju govorimo o toplovodnim sustavima grijanja. Koristit će se kotao na biomasu kao jedini izvor topline za cijelu zgradu. Distribucija tople vode po prostorijama vrši se pomoću cijevnog razvoda, a prijenos topline u prostorijama se vrši pomoću izmjenjivača topline. To će za slučaj u ovom radu biti podni grijači i radijatori, ovisno o prostorijama unutar zgrade. Prednosti ovakvih sustava grijanja su jednolika razdioba temperature u prostoru, jednostavno upravljanje, smanjeno zagađenje okoliša, korištenje gorivom izvan grijanog prostora, visoka pouzdanost i trajnost te mali broj kotlova i dimnjaka. Iako ovakvi sustavi imaju dosta prednosti, neki od nedostataka su visoki investicijski i pogonski troškovi, spor odziv, opasnost od smrzavanja, toplinski gubici u cijevima i kanalima, a mjerenje potrošnje toplinske energije postaje vrlo složeno za veći broj korisnika u zgradi.

1.3. Opis zgrade

Zgrada je smještena na području Bjelovarsko – bilogorske županije u gradu Daruvaru. Sastoji se od dvije etaže (prizemlja i potkrovlja) ukupne korisne površine 475 m², a dio zgrade čini i suteran u kojem se nalaze prostorije strojarnice i spremišta koje su u ovom radu iskorištene kao toplinske podstanice. Tako se u strojarnici nalaze kotao na biomasu, akumulacijski spremnik, pumpe radijatorskog i podnog grijanja, ekspanzijska posuda i ventili. U spremištu su postavljene četiri stropne ventilacijsko – rekuperacijske jedinice za sustave mehaničke ventilacije određenih prostorija. U prizemlju zgrade smješteni su hodnik, čajna kuhinja, dva ureda, sala za sastanke, sanitarne prostorije i multimedijaska dvorana. U potkrovlju su smještene višenamjenska dvorana za mlade te izložbeni prostor. Prizemlje i potkrovlje zajedno su povezani grijanim stubištem. Dvije prostorije prizemlja (sala za sastanke i multimedijaska dvorana) i dvije prostorije potkrovlja (izložbeni prostor i višenamjenska dvorana za mlade) koriste kao izvor topline podne grijače, dok se sve ostale prostorije griju radijatorima. Važno je napomenuti da projektno toplinsko opterećenje prostorija koje koriste podno grijanje ne smije prelaziti vrijednost od 50 W/m². Ventilacijski gubici tih prostorija, ali i prostorija čajne kuhinje te ureda pokrivaju se sustavom mehaničke ventilacije koja je također predmet ovog rada.



Slika 1.2. Tlocrt prizemlja



Slika 1.3. Tlocrt potkrovlja

2. PRORAČUN PROJEKTOG TOPLINSKOG OPTEREĆENJA

Proračun projektnog toplinskog opterećenja za zimsko razdoblje računa se prema normi HRN EN 12831-1:2017 [3]. Projektno toplinsko opterećenje svake prostorije kulturnog centra provedeno je u računalnom programu *IntegraCAD*. Radi usporedbe i točnosti podataka u ovome će radu biti proveden i „ručni“ proračun za jednu prostoriju zgrade. Vanjska projektna temperatura je bitan parametar u proračunu, a ona za grad Daruvar prema podacima državnog hidrometeorološkog zavoda iznosi $\vartheta_e = -18$ °C. Srednja godišnja vanjska temperatura zraka iznosi $\vartheta_{m,e} = 10$ °C. Projektno toplinsko opterećenje je zbroj transmisivnih i ventilacijskih gubitaka te gubitaka zagrijavanja zbog prekida grijanja, a matematički je zapisano sljedećom jednadžbom: $\Phi_{HL,i} = \Phi_{T,i} + \Phi_{V,i} + \Phi_{RH,i}$ [W], (2.1)

gdje su:

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

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

$\Phi_{RH,i}$ – toplina za zagrijavanje zbog prekida grijanja [W]

Zatim je potrebno odrediti unutarnje projektne temperature za svaku prostoriju. Unutarnje projektne temperature i koeficijenti prolaza topline prikazani su u tablicama 2.1. i 2.2.

Tablica 2.1. Unutarnje projektne temperature prostorija

Prostorija	Unutarnja projektna temperatura prostorije, ϑ_e [°C]
Stubište i ulaz	20
Hodnik	20
Ured	22
Čajna kuhinja	22
Sala za sastanke	22
Ured	22
Predprostor WC-a	22
WC invalidi	22
WC muški	22
WC ženski	22
Multimedijska dvorana	20
Stubište i galerija	20
Izložbeni prostor	20
Višenamjenska dvorana za mlade	20

Tablica 2.2. Koeficijent prolaza topline građevnih elemenata

Građevni element	$U \left[\frac{W}{m^2 K} \right]$	Materijali	$\lambda \left[\frac{W}{m K} \right]$
Vanjski zid F1	0,307	Vapneno – cementna žbuka (d=0,02 m)	1
		Armirani beton (d=0,25m)	2,6
		Ekstrudirana polistirenska pjena (d=0,1 m)	0,034
		Polimerno – cementno ljepilo (d=0,005 m)	0,9
		Žbuka na bazi akrilata (d= 0,02 m)	0,9
Vanjski zid F2	0,275	Vapneno – cementna žbuka (d=0,03 m)	1
		Puna opeka od gline (d=0,25 m)	0,68
		Vapneno – cementna žbuka (d=0,04 m)	1
		Fenolna pjena (d=0,06m)	0,02
		Polimerno – cementno ljepilo (d=0,005 m)	0,9
Vanjski zid F3	0,288	Silikatna žbuka (d=0,02 m)	0,9
		Vapneno – cementna žbuka (d=0,03 m)	1
		Puna opeka od gline (d= 0,25 m)	0,68
		Vapneno – cementna žbuka (d=0,04 m)	1
		Ekspandirani polistiren (d=0,12 m)	0,042
Vanjski zid F4	0,28	Polimerno – cementno ljepilo (d=0,005 m)	0,9
		Silikatna žbuka (d= 0,02 m)	0,9
		Vapneno – cementna žbuka (d=0,02 m)	1
		Šuplji blokovi od gline (d=0,25 m)	0,48
		Ekspandirani polistiren (d=0,12 m)	0,042
Vanjski zid F5	0,197	Polimerno – cementno ljepilo (d=0,005 m)	0,9
		Silikatna žbuka (d=0,02 m)	0,9
		Vapneno – cementna žbuka (d= 0,02 m)	1
		Šuplji blokovi od gline (d= 0,25 m)	0,48
Vanjski zid F6	0,269	Mineralna vuna (d=0,15 m)	0,035
		Drvo – meko – crnogorica (d=0,01 m)	0,13
		Vapneno – cementna žbuka (d=0,02 m)	1
		Šuplji blokovi od gline (d=0,25 m)	0,48
		Fenolna pjena (d= 0,06 m)	0,02
Vanjski zid F7	0,213	Polimerno – cementno ljepilo (d=0,005 m)	0,9
		Silikatna žbuka (d=0,02 m)	0,9
		Vapneno – cementna žbuka (d=0,03 m)	1
		Puna opeka od gline (d=0,3 m)	0,68
		Vapneno – cementna žbuka (d=0,04 m)	1
Unutarnji zid Z1	0,295	Fenolna pjena (d=0,08 m)	0,02
		Ekstrudirana polistirenska pjena (d=0,1 m)	0,034
		Vapneno – cementna žbuka (d=0,05 m)	1
Unutarnji zid Z2	0,305	Armirani beton (d=0,35 m)	2,6
		Ekstrudirana polistirenska pjena (d=0,1 m)	0,034
		Vapneno – cementna žbuka (d=0,02 m)	1
Unutarnji zid Z3	0,309	Armirani beton (d=0,15 m)	2,6
		Ekstrudirana polistirenska pjena (d=0,1)	0,034
		Vapneno – cementna žbuka (d=0,02 m)	1
Pod	0,296	Armirani beton (d=0,05 m)	2,6
		Ekstrudirana polistirenska pjena (d=0,1)	0,034
		Drvo – meko – crnogorica (d=0,02 m)	0,13
		Cementni estrih (d=0,05 m)	1,6
		Geotekstil (d=0,002 m)	0,2
Strop SK1	0,228	Armirani beton (d=0,1 m)	2,6
		Pijesak, šljunak, tucenik (d=0,2 m)	0,81
		Laminat (d=0,01 m)	0,21
		Cementni estrih (d=0,05 m)	1,6
		Ekspandirani polistiren (d=0,15 m)	0,042
			0,35

		AB ploča – neprešana (d=0,16 m) Žbuka na bazi akrilata (d=0,02 m)	0,9
Strop SK2	0,236	Laminat (d=0,01 m) OSB ploče (d=0,018 m) Filc (d=0,005 m) Daske za pod (d=0,024 m) Grede od lameliranog drveta 16*44cm, GL28K (d=0,09 m) Mineralna vuna (d=0,1 m) Gipskartonske ploče (d=0,025 m)	0,21 0,13 0,034 0,14 0,18 0,035 0,25
Strop SK3	0,218	Gipskartonske ploče (d=0,0125 m) Mineralna vuna (d=0,15 m)	0,25 0,035
Strop SK4	0,316	Kamen (d=0,02 m) Cementni estrih (d=0,05 m) Ekspandirani polistiren (d=0,1 m) AB ploča – neprešana (d=0,16 m) Žbuka na bazi akrilata (d=0,02 m)	1,4 1,6 0,042 0,35 0,9
Vanjska vrata	1,3		
Unutarnja vrata	1,3		
Prozor	0,6		

2.1. Projektni transmisijski gubici topline

Projektni transmisijski gubici topline određuju se iz sljedećeg izraza:

$$\Phi_{T,i} = (H_{T,ie} + H_{T,iue} + H_{T,ig} + H_{T,ij}) \cdot (\vartheta_{int,i} - \vartheta_e) \text{ [W]}, \quad (2.2)$$

gdje su;

$H_{T,ie}$ – 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 grijanom prostoru različite temperature [W/K]

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

ϑ_e – vanjska projektna temperatura [°C]

2.1.1. Transmisijski gubici prema vanjskom okolišu

Formula za izračun koeficijenta transmisijskog gubitka prema vanjskom okolišu dana je izrazom:

$$H_{T,ie} = \sum_k A_k U_k e_k + \sum_l \psi_l l_l e_l \text{ [W/K]}, \quad (2.3)$$

gdje je:

- A_k - površina plohe "k" (zid, prozor, vrata, strop, pod) kroz koju prolazi toplina; [m²]
- e_k, e_l - korekcijski faktori izloženosti koji uzimaju u obzir klimatske utjecaje kao vlažnost, temperatura, brzina vjetra. Određuju se na nacionalnoj razini. Ako vrijednosti nisu određene na nacionalnoj razini uzeti =1;
- U_k - koeficijent prolaza topline građevnog elementa "k"; [W/m²K]
- l_l - dužina linijskog toplinskog mosta između vanjskog okoliša i prostorije; [m]
- Ψ_l - linijski koeficijent prolaza topline linijskog toplinskog mosta "l"; [W/mK]

2.1.2. Transmisijski gubici kroz negrijane prostore

Koeficijent transmisijskog gubitka kroz negrijane prostore prema vanjskom okolišu računa se sljedećom jednadžbom:

$$H_{T,iue} = \sum_k A_k U_k b_u + \sum_l \psi_l l_l b_u [\text{W/K}], \quad (2.4)$$

gdje je:

- b_u - faktor smanjenja temperaturne razlike koji uzima u obzir temperaturu negrijanog prostora i vanjsku projekttnu temperaturu [-].

Faktor smanjenja temperaturne razlike može se odrediti na više načina, a najjednostavniji način je preko poznate temperature negrijanog prostora, čime dolazimo do sljedećeg izraza:

$$b_u = \frac{\vartheta_{int,i} - \vartheta_u}{\vartheta_{int,i} - \vartheta_e} [-].$$

2.1.3. Transmisijski gubici od grijanog prostora prema tlu

Koeficijent transmisijskih gubitaka od grijanog prostora prema tlu računa se prema sljedećem izrazu:

$$H_{T,ig} = f_{g1} \cdot f_{g2} \cdot \left(\sum_k A_k U_{eq,k} \right) \cdot G_w [\text{W/K}], \quad (2.5)$$

gdje su:

- f_{g1} - korekcijski faktor za utjecaj godišnje oscilacije vanjske temperature, predloženo 1,45 [-];
- f_{g2} - faktor smanjenja temperaturne razlike koji uzima u obzir razliku između godišnje srednje vanjske i vanjske projektne temperature prema izrazu:

$$f_{g2} = \frac{\vartheta_{int,i} - \vartheta_{m,e}}{\vartheta_{int,i} - \vartheta_e} [-]; \quad (2.6)$$

- $U_{eq,k}$ - ekvivalentni koeficijent prolaza topline iz tablica i dijagrama prema tipologiji poda, u ovom slučaju iznosi 0,15 [W/m²K],
- G_w - korekcijski faktor za utjecaj podzemne vode, s obzirom da je udaljenost poda od

vode veća od 1 m uzima se vrijednost 1 [-].

2.1.4. Transmisijski gubici topline prema susjednim prostorijama grijanih na različitu temperaturu

Koeficijent transmisijskog gubitka topline prema susjednim prostorijama grijanih na različitu temperaturu računa se prema izrazu:

$$H_{T,ij} = \sum_k A_k f_{ij} U_k \text{ [W/K]}, \quad (2.7)$$

gdje je:

f_{ij} - faktor smanjenja temperaturne razlike koji uzima u obzir razliku između temperature susjednog prostora i vanjske projektne temperature, koji se računa prema sljedećem izrazu:

$$f_{ij} = \frac{\vartheta_{int,i} - \vartheta_{ads}}{\vartheta_{int,i} - \vartheta_e} \text{ [-]} \quad (2.8).$$

2.2. Projektni ventilacijski gubici topline

Projektni ventilacijski gubici mogu se odrediti iz sljedećeg izraza:

$$\Phi_{V,i} = H_{V,i} \cdot (\vartheta_{int,i} - \vartheta_e) \text{ [W]}, \quad (2.9)$$

gdje su:

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

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

ϑ_e - vanjska projektna temperatura [°C].

Koeficijent ventilacijskih toplinskih gubitaka može se izračunati na sljedeći način:

$$H_{V,i} = V_i \cdot \rho_{zr} \cdot c_{p,zr} = V_i \cdot 0,34 \text{ [W/K]}, \quad (2.10)$$

gdje je:

V_i - protok zraka u grijani prostor [m³/h].

Protok zraka bez ventilacijskog sustava glasi:

$$V_i = \max(V_{inf,i}, V_{min,i}), \quad (2.11)$$

gdje je:

$V_{inf,i}$ - maksimalni protok zraka u prostoriju uslijed infiltracije kroz zazor koji se računa prema izrazu:

$$V_{inf,i} = 2 \cdot V_z \cdot n_{50} \cdot e_i \cdot \varepsilon_i \text{ [m}^3\text{/h]}, \quad (2.12)$$

gdje su:

n_{50} - broj izmjena zraka u prostoriji po satu pri razlici tlaka od 50 Pa između prostorije i vanjskog okoliša [h⁻¹],

e_i - koeficijent zaštićenosti, uzima u obzir utjecaj vjetrova odnosno zaštićenost zgrade i

broj otvora prema okolišu [-],

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

$V_{min,i}$ - minimalni higijenski protok zraka koji se računa prema:

$$V_{min,i} = n_{min} \cdot V_z \text{ [m}^3\text{/h]}, \text{ (2.13.)}$$

gdje su:

V_z - volumen prostorije izračunat prema unutarnjim dimenzijama, [m³]

n_{min} - minimalni broj izmjena zraka [h⁻¹].

Tablica 2.3. Minimalni broj izmjena zraka u prostorijama koje nisu mehanički ventilirane

Tip prostorije	n_{min} [h ⁻¹]
Stubišta i hodnik	1
Sanitarije	1,5

Protok zraka s ventilacijskim sustavom računa se prema:

$$V_i = V_{inf,i} + V_{su,i} \cdot f_{V,i} + V_{mech,inf,i} \text{ [m}^3\text{/h]}, \text{ (2.14)}$$

gdje su:

$V_{inf,i}$ - protok zraka u prostoriju uslijed infiltracije kroz zazoru [m³/h];

$V_{su,i}$ - količina zraka dovođena mehaničkim sustavom ventilacije [m³/h]

$V_{mech,inf,i}$ - višak odvedenog zraka iz prostorije [m³/h];

$f_{V,i}$ - faktor smanjenja temperaturne razlike koji se računa prema:

$$f_{V,i} = \frac{\vartheta_{int,t} - \vartheta_{su,i}}{\vartheta_{int,t} - \vartheta_e} \text{ [-]}, \text{ (2.15)}$$

gdje je:

$\vartheta_{su,i}$ - temperatura dobavnog zraka [°C].

2.3. Projektni gubici topline zbog prekida grijanja

Prostori s prekidima grijanja zahtijevaju dodatnu toplinu za zagrijavanje do unutarnje projektne temperature prostorije nakon što se ona snizi u periodu prekida grijanja. Toplina za zagrijavanje ovisi o:

- toplinskom kapacitetu građevnih elemenata
- vremenu zagrijavanja
- temperaturnom padu tijekom prekida
- svojstvima sustava regulacije

Izraz po kojem se računaju projektni gubici topline zbog prekida grijanja glasi:

$$\Phi_{RH,i} = A_i \cdot f_{RH,i} \text{ [W]}, (2.16)$$

gdje su:

A_i - površina poda grijanog prostora sa $\frac{1}{2}$ debljine zidova [m^2];

$f_{RH,i}$ - korekcijski faktor ovisan o vremenu zagrijavanja i pretpostavljenom padu temperature za vrijeme prekida grijanja [W/m^2].

U nastavku slijedu usporedba između dobivenih rezultata u računalnom programu *IntegraCAD* s „ručno“ obavljenim proračunom.

2.4. Projektni gubici topline prostorije P3 (Ured)

Tablica 2.4. Projektni transmisijski gubici prema vanjskom okolišu

Koeficijent transmisijskog gubitka od grijanog prostora prema vanjskom okolišu [W/K]					
Oznaka	Građevni element	A [m^2]	U [$W/m^2 K$]	e [-]	A · U · e [W/K]
PR	Prozor	2,66	0,6	1	1,596
VZ F2	Vanjski zid	9,59	0,28	1	2,6852
VZ F3	Vanjski zid	3,74	0,29	1	1,0846
$\sum A U e$			5,3658		

$$H_{T,ie} = 5,3658 \text{ [W/K]}$$

Tablica 2.5. Stacionarni transmisijski gubici od grijanog prostora prema tlu

Koeficijent transmisijskog gubitka kroz negrijane prostorije prema okolišu [W/K]							
Oznaka	Građevni element	f_{g1} [-]	f_{g2} [-]	A [m^2]	U_{eq} [$W/m^2 K$]	G_w [-]	$f_{g1} \cdot f_{g2} \cdot A \cdot U_{eq} \cdot G_w$ [W/K]
P	Pod	1,45	0,3	10,37	0,17	1	0,76686
$\sum f_{g1} f_{g2} A U_{eq} G_w$					0,76686		

$$H_{T,ig} = 0,76686 \text{ [W/K]}$$

Tablica 2.6. Projektni transmisijski gubici topline prema susjednim prostorijama grijanih na različitu temperaturu

Koeficijent transmisijskog gubitka topline prema susjednim prostorijama grijanih na različitu temperaturu					
Oznaka	Građevni element	A [m ²]	f _{ij} [-]	U [W/m ² K]	A · f _{ij} · U
UZ2	Unutarnji zid	9,72	0,08	0,3	0,23328
UZ1	Unutarnji zid	7,08	0,05	0,3	0,1062
UVR	Unutarnja vrata	1,61	0,05	1,3	0,10465
UZ3	Unutarnji zid	9,08	0,05	0,31	0,14074
S2*	Strop	10,37	0,05	0,26	0,13481
$\sum A f_{ij} U$			0,71968		

$$H_{T,ij} = 0,71968 \text{ [W/K]}$$

Ukupni transmisijski gubici za prostoriju P3 su:

$$\Phi_{T,i} = (5,3658 + 0,76686 + 0,71968) \cdot (22 - (-18)) = 274,1 \text{ [W]}$$

U nastavku slijedi proračun projektnih ventilacijskih gubitaka prostorije P3 koja će imati sustav mehaničke ventilacije, pa prema tome, računamo sljedeće:

Protok zraka u prostoriju uslijed infiltracije kroz zazor:

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

$$V_{inf,i} = 2 \cdot 34,63 \cdot 2 \cdot 0,02 = 2,77 \text{ [m}^3\text{/h]}$$

Količina zraka dovedena mehaničkim sustavom ventilacije:

$$V_{su, P3} = 200 \text{ [m}^3\text{/h]}; \vartheta_{su} = 22 \text{ [}^\circ\text{C]}$$

$$f_{V,P3} = \frac{\vartheta_{int,i} - \vartheta_{su,i}}{\vartheta_{int,i} - \vartheta_e} = \frac{22 - 22}{22 - (-18)} = 0$$

Iz čega slijede ventilacijski gubici u prostoriji s pojavom mehaničke ventilacije:

$$V_{P3} = V_{inf,P3} + V_{su,P3} \cdot f_{V,P3} = 2,77 \text{ m}^3\text{/h.}$$

Međutim, kako bismo bili na strani sigurnosti, ventilacijske ćemo gubitke proračunati i preko prirodne ventilacije. U nastavku slijedi proračun za minimalni higijenski protok zraka, koji glasi: $V_{min} = n_{min} \cdot V_z$; gdje su za prostoriju P3:

$$n_{min} = 0,5 \text{ h}^{-1} \text{ i } V_z = 34,63 \text{ m}^3,$$

pa konačna vrijednost minimalnog higijenskog protoka zraka u prostoriji P3 iznosi:

$$V_{min} = 0,5 \cdot 34,63 = 17,315 \text{ m}^3/\text{h}.$$

Zaključno, projektni ventilacijski gubici kao što je već spomenuto određuju se sljedećim izrazom: $\Phi_{V,i} = H_{V,i} \cdot (\vartheta_{int,i} - \vartheta_e)$ [W], gdje je:

$$H_{V,i} = V_i \cdot 0,34$$

$$H_{V,P3} = 17,315 \cdot 0,34 = 5,8871 \text{ W/K}.$$

$$\Phi_{V,P3} = 5,8871 \cdot (22 - (-18)) = 235,5 \text{ W}.$$

Konačno, projektni gubici topline zbog prekida grijanja dobivaju se iz već spomenutog izraza:

$$\Phi_{RH,i} = A_i \cdot f_{RH,i}, \text{ gdje su:}$$

$$A_{P3} = 10,47 \text{ m}^2 - \text{površina grijanog poda sa } \frac{1}{2} \text{ debljine zidova;}$$

$$f_{RH} = 16 \text{ W/m}^2 - \text{korekcijski faktor ovisan o vremenu zagrijavanja i pretpostavljenom padu temperature za vrijeme prekida, pa za prostoriju P3 iznose } \Phi_{RH,P3} = 10,47 \cdot 16 = 167,32 \text{ W}.$$

Ukupni projektni gubici topline prostorije P3 iznose:

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

$$\Phi_{HL,P3} = 274,1 + 235,5 + 167,32 = 676,92 \text{ W}.$$

Rezultat „ručnog“ proračuna projektnog toplinskog opterećenja za zimski period prostorije P3 (Ured) iznosi 676,92 W. Usporedbe radi, rezultat proračuna sprovedenog u računalnom programu *IntegraCAD* iznosi 673 W, pa zaključujemo da se radi o zanemarivoj razlici. U nastavku su prikazani rezultati proračuna projektnog toplinskog opterećenja za sve prostorije u programu *IntegraCAD*.

Tablica 2.7. Rezultati proračuna projektnog toplinskog opterećenja prostorija u prizemlju i potkrovlju

K1		Prizemlje						
Oznaka prostorije	Prostorija	A [m ²]	ϑ_{int} [°C]	Φ_T [W]	Φ_V [W]	Φ_{RH} [W]	Φ_{uk} [W]	Φ_{uk}/A [W/m ²]
P1	Stubište i ulaz	20	20	422	898	332	1652	82,6
P2	Hodnik	8	20	2	375	139	516	64,5
P3	Ured	10	22	273	235	165	673	67,3
P4	Čajna kuhinja	4	22	111	93	72	276	69
P5	Sala za sastanke	16	22	359	148	260	767	47,94
P6	Ured	16	22	417	301	264	982	61,38
P7	Predprostor WC-a	4	22	50	86	67	203	50,75
P8	WC invalidi	3	22	9	207	54	270	90
P9	WC muški	4	22	81	280	73	434	108,5
P10	WC ženski	3	22	87	209	57	353	117,67
P11	Multimedijska dvorana	88	20	1573	775	1408	3756	42,68
	Ukupno prizemlje						9882	56,15
K2		Potkrovlje						
Oznaka prostorije	Prostorija	A [m ²]	ϑ_{int} [°C]	Φ_T [W]	Φ_V [W]	Φ_{RH} [W]	Φ_{uk} [W]	Φ_{uk}/A [W/m ²]
P1	Stubište i galerija	20	20	387	785	332	1504	75,2
P2	Izložbeni prostor	79	20	1393	603	1278	3274	41,44
P3	Višenamjenska dvorana za mlade	88	20	1811	664	1408	3883	44,1
	Ukupno potkrovlje						8661	46,31
	Ukupno (Pr + Po)						18543	51,23

Iz proračuna u računalnom programu *IntegraCAD* proizlazi da je projektno toplinsko opterećenje u zimskom periodu za dvije etaže jednako 18543 W.

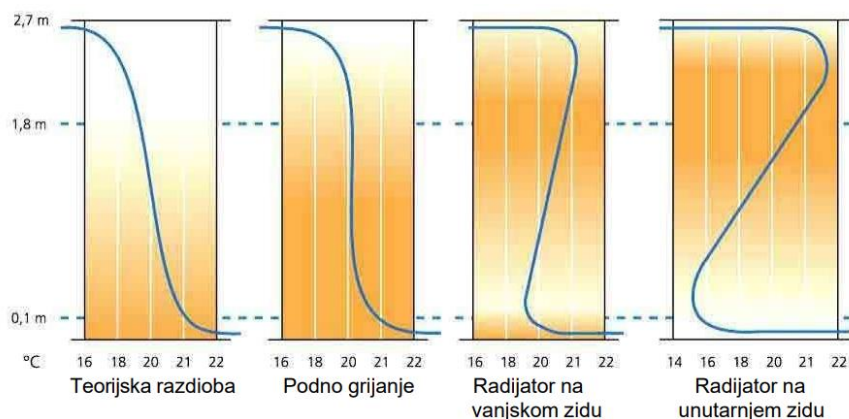
3. DIMENZIONIRANJE SUSTAVA GRIJANJA

3.1. Ogrjevna tijela [4]

Ogrjevna tijela su izmjenjivači topline kojima se prenosi toplina s ogrjevnog medija (kao što su na primjer voda ili para) na zrak u prostoriji, odnosno to su elementi sustava grijanja za zagrijavanje prostorija. Osnovni zahtjevi ogrjevnih tijela su da pružaju jednoliku raspodjelu temperature po prostoriji te da imaju visoku učinkovitost. Od ogrjevnih se tijela svakako još traži jednostavna ugradnja, niska cijena, jednostavno održavanje i čišćenje, kao i postojanost na različite fizikalne uvjete, kao što su visoki tlak i temperatura. Postoje različite vrste ogrjevnih tijela, od kojih se danas najviše koriste:

1. Člankasta ogrjevna tijela (člankasti radijatori),
2. Pločasta ogrjevna tijela (pločasti radijatori i pločaste ploče),
3. Konvektori,
4. Cijevni grijači (kupaonski i kuhinjski grijači),
5. Paneli (podni, zidni i stropni paneli).

Izmjena topline kod ogrjevnih tijela u većem se postotku prenosi konvekcijom (kod gotovo svih vrsta ogrjevnih tijela, osim kod panelnih grijača koji izmjenu topline u većem postotku vrše zračenjem). U praksi se izmjenjivači topline koji izmjenu topline u većem postotku vrše konvekcijom (u ovom radu zgrada se grije na radijatore u nekim prostorijama) preporučuju postavljati uz vanjski zid, ispod prozora, kako bi se smanjio propuh i gubici topline nastali konvekcijom i zračenjem prema hladnom prozoru. Razdioba temperature po visini prostorije najbolja je kod panelnih grijača koji će također biti detaljnije pojašnjeni u drugim pasusima. Na slici 3.1. prikazana je razdioba temperature po visini prostorije za različite vrste ogrjevnih tijela iz koje se može zaključiti da panelni grijači imaju krivulju razdiobe najbližnju teorijski idealnoj razdiobi temperature po visini prostorije.



Slika 3.1. Razdioba temperature po visini prostorije za različitu vrstu i položaj ogrjevnih tijela [4]

3.2. Člankasta ogrjevna tijela i odabir radijatora za zgradu kulturnog centra

Člankasti radijatori su vrsta ogrjevnih tijela koji se pomoću koničnih nazuvica spajaju u takozvanu „bateriju“. Obično se u praksi preporuča spajanje do maksimalno 30 članka u jedan radijator. Članci radijatora najčešće su izrađeni od lijevanog željeza ili aluminijske legure ili su pak s druge strane zavareni od čelika. Kao što je već naglašeno, izmjena topline prenosi se konvekcijom (70-85%) a preostali dio zračenjem. Za kulturni centar koji je predmet ovog rada, odabrana je ugradnja člankastih radijatora proizvođača *Lipovica* [5] vrste *Orion*. Radi se o aluminijskom lijevanom radijatoru koji zbog svojih termičkih i tehničkih svojstava pruža svjež i moderan dizajn s vrlo visokom štedljivošću, a svojstva aluminijske legure osiguravaju otpornost, dugotrajnost i pouzdanost. Odabir toplinskog učinka radijatora vrši se prema novoj EN 442-1:2015 [6] normi gdje se kao parametri u odabiru učinka uzimaju temperature polaza i povrata vode, kao i unutarnje projektne temperature prostorije. Prema izračunatim toplinskim opterećenjima prostorija dimenzionirani su radijatori te je u skladu s preporukama određen njihov položaj unutar prostorija. Zadani temperaturni režim u ovom radu iznosi 65/50 °C koji je prema normi EN 442-1:2015 nestandardan, pa je iz tog razloga trebalo učiniti korekciju toplinskog učina jer proizvođač *Lipovica* daje podatke za standardni temperaturni režim 75/65 °C. Dakle, kada grijač radi u nestandardnim uvjetima, toplinski se učinak pojednog članka računa prema sljedećem izrazu:

$$\Phi_H = \Phi_{H,N} \cdot \left(\frac{\Delta t_m}{\Delta t_{m,N}} \right)^n, \quad (3.1)$$

gdje su:

$\Phi_{H,N}$ - standardni toplinski učin članka radijatora prema normi EN 442-1:2015 za temperaturni režim 75/65 °C i temperaturu zraka 20 °C [W/čl.],

Δt_m - srednja logaritamska temperatura ogrjevnog tijela prema zadanim uvjetima [°C],

$\Delta t_{m,N}$ - srednja logaritamska temperatura ogrjevnog tijela prema normi EN 442 [°C],

n - eksponent grijača, uzima se iz kataloga proizvođača.

U nastavku će biti objašnjen odabir radijatora za prostoriju P6 (Ured). Član $\Phi_{H,N}$ u gornjoj jednadžbi očitava iz tablice (slika 3.2.) u katalogu proizvođača za standardni temperaturni režim 75/65 °C i temperaturu zraka 20 °C te za ovaj slučaj iznosi 145 W/čl. Zatim je potrebno izračunati srednju logaritamsku temperaturu ogrjevnog tijela prema zadanom režimu 65/50 °C i pri unutarnjoj projektnoj temperaturi 22 °C sljedećim izrazom:

$$\Delta t_m = \frac{t_V - t_R}{\ln\left(\frac{t_V - t_i}{t_R - t_i}\right)} = \frac{60 - 50}{\ln\left(\frac{60 - 22}{50 - 22}\right)} = 32,75 \text{ °C. (3.2)}$$

Istim se načinom dobiva i vrijednost srednje logaritamske temperature ogrjevnog tijela za standardan režim 75/65 °C i pri temperaturi zraka 22 °C, pa slijedi:

$$\Delta t_{m,N} = \frac{t_V - t_R}{\ln\left(\frac{t_V - t_i}{t_R - t_i}\right)} = \frac{75 - 65}{\ln\left(\frac{75 - 20}{65 - 20}\right)} = 47,82 \text{ °C. (3.3)}$$

Kao ogrjevno tijelo odabrani su Orion radijatori visine 600mm. U katalogu proizvođača eksponent grijača za tu visinu iznosi $n=1,3316$, pa je konačno toplinski učinak jednog članka radijatora za prostoriju P6:

$$\Phi_H = \Phi_{H,N} \cdot \left(\frac{\Delta t_m}{\Delta t_{m,N}}\right)^n = 145 \cdot \left(\frac{32,75}{47,82}\right)^{1,3316} = 88 \text{ W/čl.}$$

Učinak članka za zadane uvjete može se lako odabrati i u katalogu proizvođača očitavanjem iz tablice koja je prikazana na slici 3.2. Očitana vrijednost iz kataloga proizvođača iznosi 92 W/čl., što je vrlo slično vrijednosti dobivenoj „ručnim“ proračunom. Na slici 3.3. i tablici 3.1. prikazana su tehnička svojstva Orion 600/95mm radijatora odabranog za grijanje određenog broja prostora te popis odgovarajućih radijatora za sve prostorije u kojim su postavljeni s ukupnim učinkom grijanja.

tu (°C)	tp	ti - izlazna temperatura vode iz radiatora, (°C) i toplinski učinak u W												
		25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85
90	24	85	94	102	111	120	130	139	149	159	168	179	189	199
	22	92	101	109	118	128	137	147	157	166	176	187	197	208
	20	99	108	117	126	135	145	155	164	174	185	195	205	216
	18	106	115	124	133	143	153	162	172	183	193	203	214	225
	15	117	126	135	145	155	164	174	185	195	205	216	227	238
	12	128	137	147	157	166	176	187	197	208	218	229	240	251
85	24	77	85	94	102	111	120	130	139	149	159	168	179	
	22	83	92	101	109	118	128	137	147	157	166	176	187	
	20	90	99	108	117	126	135	145	155	164	174	185	195	
	18	97	106	115	124	133	143	153	162	172	183	193	203	
	15	108	117	126	135	145	155	164	174	185	195	205	216	
	12	118	128	137	147	157	166	176	187	197	208	218	229	
80	24	69	77	85	94	102	111	120	130	139	149	159	166	
	22	75	83	92	101	109	118	128	137	147	157	166	174	
	20	82	90	99	108	117	126	135	145	155	164	174	183	
	18	88	97	106	115	124	133	143	153	162	172	183	195	
	15	99	108	117	126	135	145	155	164	174	185	195	208	
	12	109	118	128	137	147	157	166	176	187	197	208	216	
75	24	61	69	77	85	94	102	111	120	130	139	149	159	
	22	67	75	83	92	101	109	118	128	137	147	157	166	
	20	73	82	90	99	108	117	126	135	145	155	164	174	
	18	80	88	97	106	115	124	133	143	153	162	172	183	
	15	90	99	108	117	126	135	145	155	164	174	185	195	
	12	101	109	118	128	137	147	157	166	176	187	197	208	
70	24	53	61	69	77	85	94	102	111	120	130	139	149	
	22	59	67	75	83	92	101	109	118	128	137	147	157	
	20	65	73	82	90	99	108	117	126	135	145	155	164	
	18	72	80	88	97	106	115	124	133	143	153	162	172	
	15	82	90	99	108	117	126	135	145	155	164	174	185	
	12	92	101	109	118	128	137	147	157	166	176	187	197	
65	24	46	53	61	69	77	85	94	102	111	120	130	139	
	22	52	59	67	75	83	92	101	109	118	128	137	147	
	20	58	65	73	82	90	99	108	117	126	135	145	155	
	18	64	72	80	88	97	106	115	124	133	143	153	162	

Slika 3.2 Tablica iz kataloga proizvođača s prikazanim toplinskim učincima članaka za različite režime rada

TEHNIČKE KARAKTERISTIKE						
VISINA ČLANKA	PRIKLJUČNA MJERA	ŠIRINA ČLANKA	UGRADBENA DUBINA	MASA ČLANKA	SADRŽAJ VODE U ČLANKU	OGRJEVNA POVRŠINA
mm	mm	mm	mm	kg	l	m ² /čl
680	600	80	95	1.54	0.38	0.61

Slika 3.3. Tehničke karakteristike Orion 600/95mm radiatora

Tablica 3.1. Popis radijatora po prostorijama s izračunatim toplinskim učinkom

Prizemlje						
Oznaka prostorije	Prostorija	ϑ_{int} [°C]	Φ_{uk} [W]	Φ_{inst} [W]	Naziv radijatora	Broj članaka
P1	Stubište i ulaz	20	1652	1683	ORION1	17
P2	Hodnik	20	516	594	ORION2	6
P3	Ured	22	673	736	ORION3	8
P4	Čajna kuhinja	22	276	276	ORION4	3
P6	Ured	22	982	1012	ORION5	11
P7	Predprostor WC-a	22	203	276	ORION6	3
P8	WC invalidi	22	270	276	ORION7	3
P9	WC muški	22	434	460	ORION8	5
P10	WC ženski	22	353	368	ORION9	4
Potkrovlje						
P1	Stubište i galerija	20	1504	1584	ORION10	16

Treba napomenuti da oznaka Φ_{uk} predstavlja ukupno projektno toplinsko opterećenje prostorije, dok oznaka Φ_{inst} označava ukupni instalirani učinak radijatora koji mora podmiriti gubitke prostorije, pa je iz tog razloga ta vrijednost uvijek veća ili jednaka vrijednostima projektnih opterećenja.

3.3. Podno grijanje [4]

Podni panelni grijači jedni su od toplinski najugodniji izmjenjivača topline. Osim podnih, u panelne grijače spadaju još i stropni te zidni grijači, ali oni nisu predmet ovog rade, pa će u nastavku biti govora samo o podnim grijačima. Kao što je već rečeno, podni grijači uglavnom izmjenu topline vrše zračenjem (60 – 75%). Primjenjivi su niskotemperaturnim sustavima grijanja gdje temperatura polaza može biti maksimalno do 55 °C, što ih čini vrlo energetski i higijenski učinkovitima. Osim toga, prednosti podnog grijanja su i što nema vidljivih ogrjevnih tijela u prostoriji, pa tako time uljepšavaju estetiku prostora. Glavni nedostaci podnog grijanja su svakako veliki sadržaj vode unutar cijevi što dovodi do tromosti sustava i slabog odziva, odnosno spore regulacije, a i činjenica da su to sustavi s vrlo visokom cijenom te da su popravci poprilično skupi. Materijali cijevi koji se najčešće koriste kod sustava s podnim grijanjem su bakar i polietilen. Polietilen se češće koristi kod unutarnjih sustava, kao

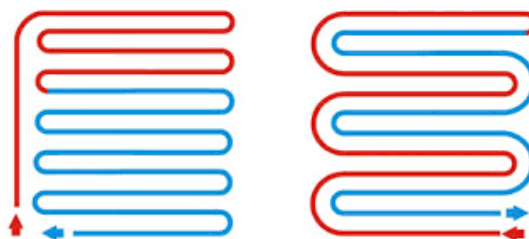
što je to slučaj i u ovom radu, dok se bakar koristi kod vanjskih prostora, na primjer, na terasama, trgovima i slično. Važno je također istaknuti da temperature poda ne smiju prelaziti vrijednosti koje su propisane normom EN 1264, a koje glase:

1. 27 °C kod prostora za duži boravak
2. 29 °C kod prostora za kraći boravak
3. 33 °C u kupaonicama
4. 35°C u rubnim zonama.

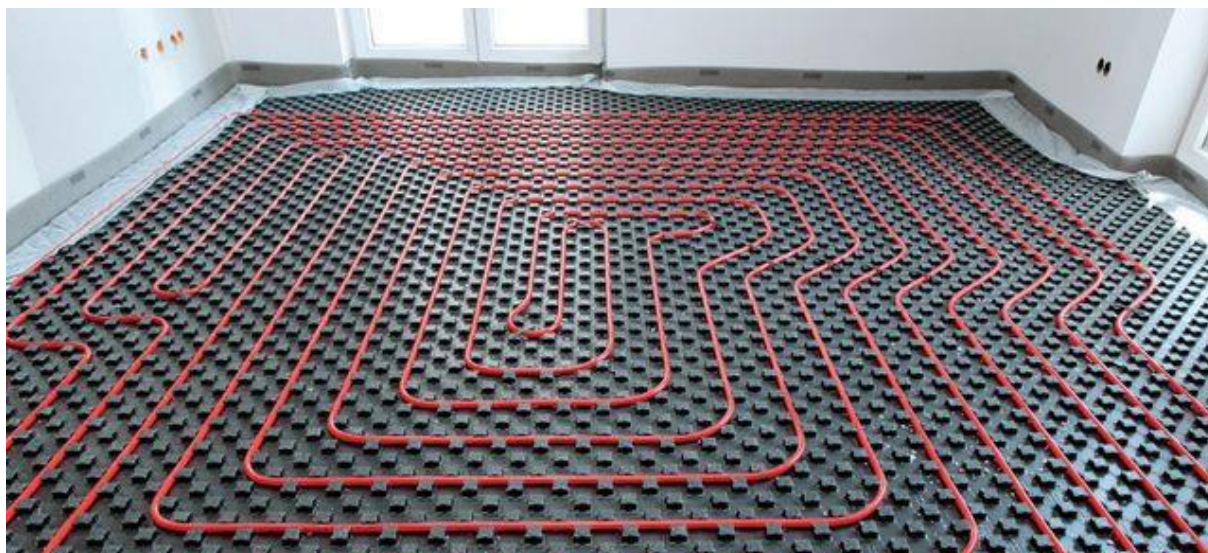
Osim toga, glavni zahtjev za montažu podnog grijanja u prostoriju je taj da iznos projektnog toplinskog opterećenja po kvadratu prostorije ne smije prelaziti vrijednost od 50 W/m². Zbog toga, u sustavima koji koriste podno grijanje kao izvor topline za grijanje, izolacija same zgrade ili objekta mora biti na visokoj razini. Što se same montaže tiče, postoje dvije izvedbe postavljanja podnog grijanja u prostoriju. Na slikama 3.4. i 3.5. prikazane su izvedbe pužne i serpentske petlje. Za grijanje prostorija kulturnog centra koje kao izvor topline koriste podno grijanje, odabrana je pužna izvedba s polietilenskim cijevima REHAU RAUTHERM S 17x2 (slika 3.6.) [7], gdje prvi broj označava vanjski promjer u milimetrima, a drugi broj debljinu stijenke, također u milimetrima.



Slika 3.4. Pužna petlja



Slika 3.5. Serpentska petlja



Slika 3.6. Pužna petlja s polietilenskim cijevima REHAU RAUTHERM 17x2mm

Kako je vidljivo na slici 3.6., polietilenske se cijevi ravnomjerno raspoređuju u rešetkastu podlogu. Krugovi grijanja su odvojeni dilatacijskim trakama (podjela na zone) zbog toplinskih naprezanja cementnog estriha. Kroz jednu dilatacijsku traku prolaze samo dvije cijevi. Za ovaj primjer podno se grijanje koristi u većim prostorijama (multimedijska dvorana, sala za sastanke, izložbeni prostor, višenamjenska dvorana za mlade) te se iz tog razloga ugrađuje veći broj petlji. Praksa kaže da je preporučena maksimalna duljina petlje 120 metara. Za primjer zadanog kulturnog centra odabrane su pužne petlje. Kompletan proračun podnog grijanja izvršen je u računalnom programu *IntegraCAD* te se prema izračunatim projektnim toplinskim opterećenjima osim broja petlji proračunava i razmak između cijevi, duljina i promjer cijevi, protok vode kroz cijevi te temperatura poda. Iz toga se proračuna onda odabere razdjelnik s potrebnim brojem priključaka, te na koncu ormarić s odgovarajućim dimenzijama ovisno o broju krugova petlji podnog grijanja (Tablica 3.2.). Za razdjelnik se odabire razdjelnik s mjeracem protoka proizvođača *Rehau*, dok je ormarić izabran od proizvođača *Termometal* [8].

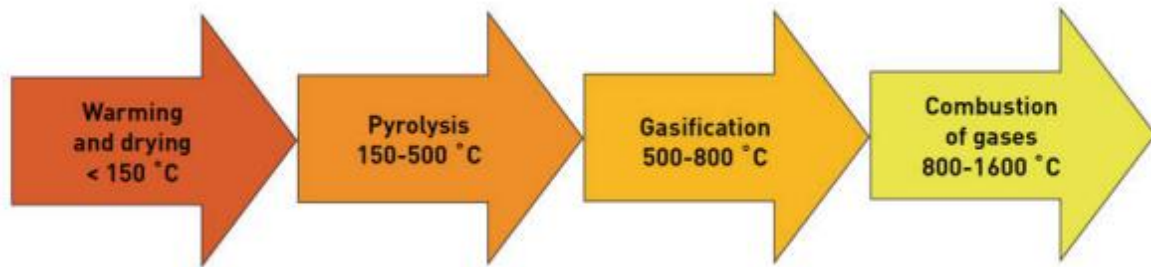
Tablica 3.2. Tehničke karakteristike ormarića

Vrsta ormarića	1	2	3	4
Broj krugova	≤ 3 kruga	≤ 5 krugova	≤ 10 krugova	≤ 12 krugova
Visina [mm]	708	708	708	708
Dubina [mm]	513	598	898	1198
Širina [mm]	110	110	110	110
Masa [kg]	11,81	12,97	18,3	22,92

3.4. Općenito o kotlovima na biomasu [9]

Mnogi su razlozi za grijanje na biomasu. Prije svega, ekološki je jako prihvatljivo, cjenovno vrlo konkurentno, a biomasa kao gorivo dostupno je svakom pojedincu. Unazad nekoliko godina kotlovi na biomasu ostvarili su značajan napredak kako bi postali jednostavni za korištenje, uredni i čisti. Danas spadaju među najpoželjnije tehnologije za grijanje. Pritom, razvoju kotlova na biomasu uvelike su pomogle i razne EU regulative koje su iz ekoloških razloga doprinijele razvitku kotlova na biomasu u odnosu na slične uređaje na fosilna goriva. Najmoderniji kotlovi na biomasu koriste visokokvalitetnu drvenu biomasu kao što su peleti, drvena sječka ili poljoprivredni i industrijski ostatci biomase. Ono što ovu vrstu goriva čini podjednako korisnim i ugodnim u odnosu na korištenje sustava s lož uljem ili prirodnim su automatsko punjenje i sustav kontrole. Rezultat nižih štetnih emisija polazi od upotrebe modernih sustava regulacije i tehnologije pročišćavanja dimnih plinova u odnosu na moderne sustave koji koriste prirodni plin. Tržište za sustave grijanja na biomasu također je u porastu. Kotlovi na biomasu se razlikuju veličinom od nekoliko kilovata (kW) za kuće i male komercijalne ili javne zgrade do veličine megavata (MW) za sustave daljinskog grijanja. Moderni kotlovi na biomasu postižu vrlo visoke stupnjeve djelovanja, gotovo jednakim onima koji postižu moderni kondenzacijski kotlovi. U današnjim vremenima kotlovi na biomasu raspoloživi su u širokom rasponu snaga, stupnjeva automatizacije, vrsta goriva te u različitim razredima kvalitete i cijene. Kotlovi na biomasu dijele se prema vrsti goriva koje koriste, pa tako poznajemo kotlove na drvenu sječku, pelete ili cjepanice. Ono što je nedostatak ovakve vrste kotlova je činjenica da su optimizirani na jednu vrstu goriva koju koriste, pa će korištenje nekog drugog goriva sustav činiti neučinkovitijim. Većina modernih kotlova na biomasu je automatizirana i doziranje goriva obavlja se automatski iz spremnika goriva upotrebom pužnog vijka ili hidrauličkog transporta. Gorivo se zapaljuje u ložištu, dok regulirani dotok kisika osigurava učinkovito i potpuno izgaranje. Proces izgaranja biomase može se podijeliti u četiri faze (slika 3.7.):

1. Zagrijavanje i sušenje na temperaturu manjoj od 150 °C,
2. Proliza 150 – 500 °C,
3. Uplinjavanje 500 – 800 °C,
4. Izgaranje goriva 800 – 1600 °C.



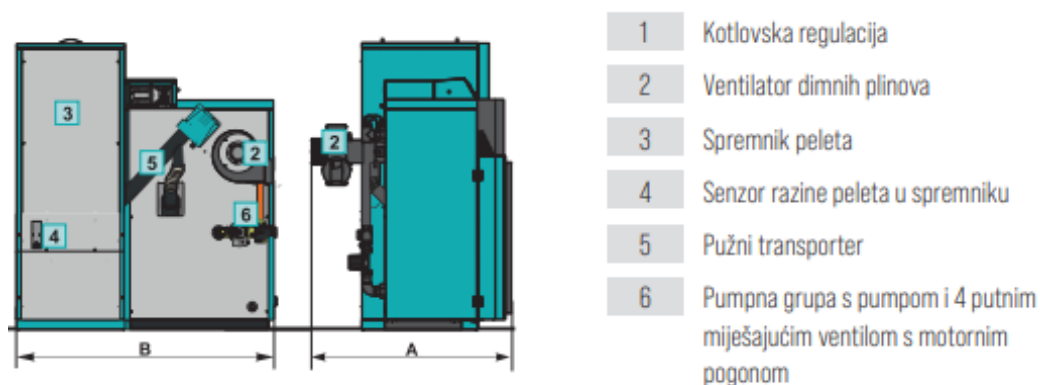
Slika 3.7. Četiri faze procesa izgaranja biomase

3.5. Odabir kotla na biomasu

Ukupni toplinski gubici proračunati u računalnom programu *IntegraCAD* iznose 18969 W. S obzirom da sustav mora biti u području sigurnosti, odabire se kotao s većim učinkom od navedenom. Izbor je pao na kotao na biomasu proizvođača *Centrometal* [10], a puni naziv kotla glasi PelTec - Lambda učinka 24 kW. Radi se o čeličnom toplovodnom kotlu namijenjenom za loženje drvnim peletima. Kotao se sastoji od plamenika za izgaranje drvenih peleta s funkcijom automatske potpale i samočišćenja rešetke i dimovodnih prolaza što omogućuje pouzdan rad i s peletima lošije kvalitete. Funkcija automatskog čišćenja dimovodnih cijevi osigurava ujednačenu izmjenu topline te visok i ujednačen stupanj iskoristivosti kotla. Regulacija kotla u osnovnoj izvedbi je multifunkcijska digitalna s ekranom osjetljiv na dodir te nudi mogućnost modulirajućeg rada kotla te kontrolu razine peleta u spremniku. Na slikama 3.8., 3.9. i 3.10. prikazan je izgleda kotla PelTec - Lambda 24 kW, presjek kotla s glavnim elementa unutar samog kotla te glavne karakteristike uređaja iz kataloga proizvođača.



Slika 3.8. Kotao na biomasu Centrometal Pel-Tec Lambda 24 kW



Slika 3.9. Presjek kotla s glavnim elementima

PelTec		12	18	24
Toplinski učin	(kW)	12	18	24
Raspon toplinskog učina	(kW)	3,6-12	5,4-18	7,2-24
Dimovodna cijev - vanjski promjer*	Ø (mm)	130	130	130
Polazni vod / povratni vod	(R)	1"	1"	5/4"
Punjenje / pražnjenje	(R)	1/2"	1/2"	1/2"
Max. radna temperatura	(°C)	90	90	90
Količina vode u kotlu	(lit.)	78	76	100
Max. radni pretlak	(bar)	2,5	2,5	2,5
Volumen spremnika peleta	(lit.)	340	340	340
Ukupna dubina (A)	(mm.)	1105	1105	1080
Ukupna širina (B)	(mm.)	1200	1420	1420
Ukupna visina (C)	(mm.)	1560	1560	1560
Dubina za unos u kotlovnici	(mm.)	760	760	760
Širina za unos u kotlovnici	(mm.)	650	880	855
Visina za unos u kotlovnici	(mm.)	1560	1275	1340
Masa kotla	(kg)	328	349	402
Razred energetske učinkovitosti		A+	A+	A+

* Unutarnji promjer dimnjaka određuje se sukladno snazi kotla i visini dimnjaka i gotovo uvijek mora biti veći od promjera dimnjače

Slika 3.10. Karakteristike kotla PelTec za učine 12,18 i 24 kW

3.6. Odabir akumulacijskog spremnika

Akumulacijski spremnici namijenjeni su ugradnji u sustave centralnog grijanja radi akumuliranja toplinske energije. Služe nam kao spremnici toplinske energije u sustavu grijanja te kao spremnici rashladne energije u sustavu hlađenja. Bitna stavka akumulacijskih

spremnika je što povećavaju efikasnost i ekonomičnost kotlova na biomasu. Pohranom toplinske energije u akumulacijski spremnik postiže se stabilnost rada sustava na način da se glavna optočna pumpa kotla povremeno pali kada je to potrebno, odnosno u onim momentima kada razina vode u akumulacijskom spremniku padne ispod zadane vrijednosti. Akumulacijski spremnik nam je također potreban jer se zagrijana voda koja se pohranjuje iz kotla dalje pumpama (u ovom slučaju su dva kruga grijanja) prenosi do potrošača. Iz kataloga proizvođača *Centrometal* odabran je akumulacijski spremnik CAS 301 [11]. Prijedlog proizvođača je da se za kotao na drvene pelete odabere spremnik koji će opskrbljivati minimalno 10 litara vode po jednom kilowatu toplinskog učina kotla. S obzirom da je učinak kotla za ovaj slučaj 18,969 kW odabran je akumulacijski spremnik s volumenom od 325 l. Dakle, puni naziv spremnika je Centrometal CAS 301 volumena 325 l. Na slikama 3.11. i 3.12. slijedi izgled odabranog akumulacijskog spremnika s glavnim elementima te karakteristike samog spremnika.



Slika 3.11. Centrometal CAS 301 s pripadajućim elementima unutar spremnika

TIP		301
Volumen	(lit.)	325
Promjer tijela spremnika D	Ø (mm)	500
Vanjski promjer E	Ø (mm)	700
Ukupna visina C	(mm)	1810
Priključci	(R)	6/4"
Max.radni tlak	(bar)	3
Max.radna temp.	(°C)	100
Min. visina prostorije	(mm)	2010
Masa tijela spremnika	(kg)	60
Ukupna masa spremnika	(kg)	66
Volumen spremnika PTV	(lit.)	-
Max. radni tlak spremnika PTV	(bar)	-
Priključci PTV	(R)	-
Cijevni izmjenjivač	(m ²)	-
Volumen vode u cijevnom izm.	(lit.)	-
Toplinska izolacija	(mm)	100
Visina A	(mm)	200
Visina B	(mm)	1590
Razred energetske učinkovitosti		C

Slika 3.12. Tehničke karakteristike akumulacijskog spremnika Centrometal CAS 301 – 325 l

3.7. Dimenzioniranje cijevne mreže

Kako bi se odabrale pumpe u sustavu grijanja koje će transportirati vodu kroz cijevi od akumulacijskog spremnika do potrošača, potrebno je provesti proračun dimenzioniranja cijevne mreže. Proračun je sproveden u računalnom programu *Excel* koristeći sljedeće formule i izraze:

Jednadžba kontinuiteta pri stacionarnom stanju [12]:

$$\dot{m} = \rho_1 w_1 A_1 = \rho w A, \quad (3.4)$$

gdje su:

\dot{m} – maseni protok vode [kg/s],

ρ - gustoća vode [kg/m³],

w – brzina strujanja [m/s],

A – površina poprečnog presjeka cijevi [m²].

Za nestačivo strujanje fluida ($\rho = \text{konst.}$), volumni protok se računa prema:

$$\dot{V} = w \cdot A \text{ [m}^3\text{/s]} \quad (3.5).$$

Proširena Bernoullijeva jednadžba glasi [12]:

$$p_1 + p_{1din} + \Delta p_{pum} + \rho \cdot g \cdot z_1 = p_2 + p_{2din} + \Delta p_\lambda + \Delta p_\xi + \rho \cdot g \cdot z_2 \text{ [Pa]}, \quad (3.6)$$

gdje su:

p_1, p_2 – statički tlakovi [Pa],

z_1, z_2 – geodetska visina [m],

g – akceleracija sile teže [m²/s],

p_{1din}, p_{2din} – dinamički tlakovi [Pa],

Δp_λ – linijski gubici u sustavu [Pa],

Δp_ξ – lokalni gubici u sustavu [Pa].

Dinamički tlak računa se prema sljedećem izrazu:

$$p_{din} = \frac{\rho w^2}{2} \text{ [Pa]} \quad (3.7).$$

Linijski gubici u sustavu dani su izrazom:

$$\Delta p_\lambda = \lambda \frac{L}{d} \frac{\rho w^2}{2} \text{ [Pa]} \quad (3.8),$$

gdje su:

λ – koeficijent trenja [-],

ρ – gustoća vode [kg/m³],

L – duljina cijevi [m],

w – srednja brzina protoka [m/s],

d – unutarnji promjer cijevi [m].

Izraz za lokalne gubitke glasi:

$$\Delta p_\xi = \Sigma \zeta \cdot \frac{\rho w^2}{2} \text{ [Pa]} \quad (3.9),$$

gdje je:

ζ – koeficijent lokalnog gubitka [-].

Proširena Bernoullijeva jednadžba za zatvoreni cirkulacijski krug centralnog grijanja potom glasi:

$$\Delta p_{pum} = \Delta p_\lambda + \Delta p_\xi \text{ [Pa]} \quad (3.10),$$

$$\Delta p_{pum} = \left(\lambda \frac{L}{d} + \Sigma \zeta \right) \cdot \frac{\rho w^2}{2} = \Sigma R L + \Sigma Z \text{ [Pa]} \quad (3.11).$$

Iz zadnjeg je izraza vidljivo da se sređivanjem proširene Bernoullijeve jednadžbe pad tlaka za zatvoreni cirkulacijski krug svodi na pokrivanje lokalnih i linijskih gubitaka. Također, za

potrebe proračuna uvodi se pojam jediničnog odnosno linijskog ili dužinskog pada tlaka, čiji je izraz dan sljedećom jednadžbom:

$$R = \frac{\Delta p \lambda}{L} = \frac{\lambda}{d} \frac{\rho w^2}{2} \text{ [Pa/m]}, \quad (3.12)$$

pri čemu treba napomenuti sljedeće preporučene vrijednosti:

- 40 – 100 Pa/m za spojeve grijača i ogranke
- 100 – 200 Pa/m za glavne grane cjevovoda. [13]

Koeficijent trenja λ ovisan je o Reynoldsovom broju Re i relativnoj hrapavosti ε , pri čemu su ta dva parametra definirana izrazima [12]:

$$Re = \frac{\rho d w}{\eta} \text{ [-]}, \quad (3.13)$$

gdje su:

d – unutarnji promjer cijevi [m]

η – dinamička viskoznost [Pa s]

$$\varepsilon = \frac{k}{d} \text{ [-]}, \quad (3.14)$$

gdje je:

k – apsolutna hrapavost [mm].

Međutim, koeficijent trenja λ lakše se može odrediti iz Moodyjeva dijagrama, odnosno računski preko izraza:

$$\lambda = \frac{1,325}{\left[\ln\left(\frac{\varepsilon}{3,7} + \frac{5,74}{Re^{0,9}} \right) \right]^2} \text{ [-]} \quad (3.15).$$

U nastavku slijedi proračun dimenzioniranja cijevne mreže za kulturni centar sproveden u računalnom programu *Excel*.

Tablica 3.3. Dimenzioniranje cijevne mreže u krugu radijatorskog grijanja

Dionica	Duljina dionice	Toplinski učin	Vodena vrijednost	Maseni protok	Brzina	Nazivni promjer, DN	Jedinični pad tlaka, R
-	m	W	W/°C	kg/s	m/s	mm	Pa/m
D1	13,8	7265	484,33	0,1157	0,33	20	80
D2	2,72	6253	416,86	0,0996	0,28	20	60
D3	1,43	2986	199,06	0,0475	0,25	15	70
D4	2,04	594	39,6	0,0095	0,08	10	14

D5	0,8	2392	159,46	0,0381	0,2	15	45
D6	2,04	276	18,4	0,0044	0,04	10	4,5
D7	3,16	2116	141,06	0,0337	0,18	15	40
D8	2,04	460	30,67	0,0073	0,06	10	9
D9	12,73	1656	110,4	0,0264	0,14	15	24
D10	2,86	644	42,93	0,0103	0,09	10	16
D11	2,04	368	24,53	0,0059	0,05	10	6
D12	2,4	276	18,4	0,0044	0,04	10	4,5
D13	12,85	1012	67,46	0,0161	0,14	10	36
D14	0,73	3267	217,8	0,0520	0,27	15	80
D15	3,06	1683	112,2	0,0268	0,24	10	90
D16	6,46	1584	105,6	0,0252	0,22	10	80
D17	8,2	1012	67,46	0,0161	0,14	10	36
D18	7,88	736	49,07	0,0117	0,1	10	20
D19	8,68	276	18,4	0,0044	0,04	10	4

Tablica 3.4. Dimenzioniranje cijevne mreže u krugu podnog grijanja

Dionica	Duljina dionice	Toplinski učin	Vodena vrijednost	Maseni protok	Brzina	Nazivni promjer, DN	Jedinični pad tlaka, R
-	m	W	W/°C	kg/s	m/s	mm	Pa/m
D1	13,8	11704	1950,67	0,4659	0,48	32	80
D2	0,1	4544	757,33	0,1809	0,32	25	55
D3	7,1	3776	629,33	0,1503	0,27	25	40
D4	25,26	768	128	0,0306	0,16	15	33
D5	3,4	7160	1193,33	0,2850	0,29	32	33
D6	7,1	3880	646,66	0,1544	0,29	25	45
D7	9,36	3280	546,67	0,1305	0,37	20	100

3.8. Odabir pumpi u krugu radijatorskog grijanja

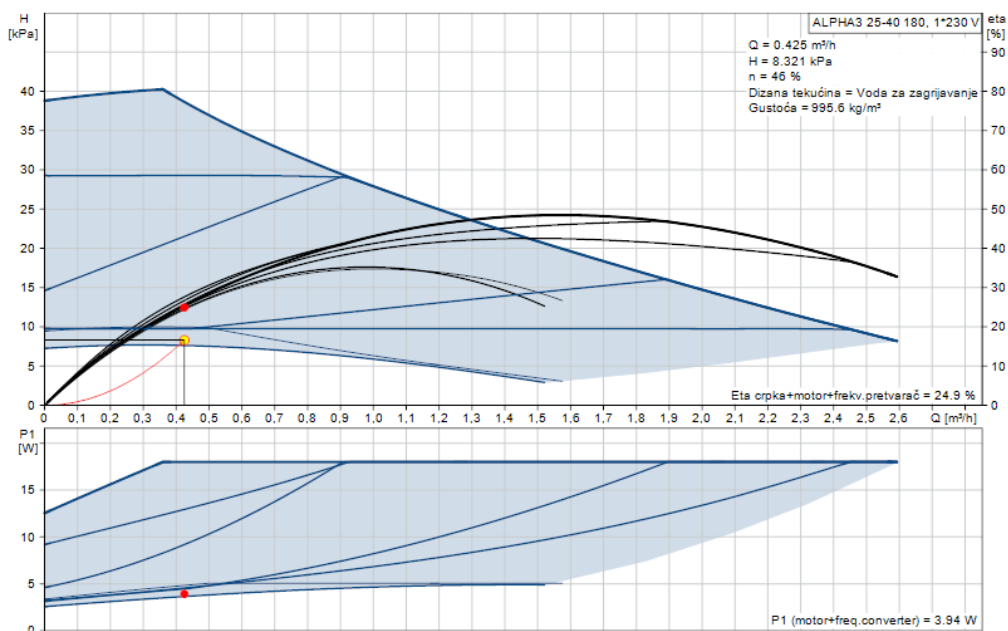
Tablica 3.5. Ukupni pad tlaka u krugu radijatorskog grijanja

Dionica	Duljina dionice	Toplinski učin	Vodena vrijednost	Brzina	Nazivni promjer, DN	R	$\Sigma\xi$	RL	Z	RL + Z
-	m	W	W/°C	m/s	mm	Pa/m	-	Pa	Pa	Pa
D1	13,8	7265	484,33	0,33	20	80	12	1104	640,7	1744,7
D2	2,72	6253	416,86	0,28	20	60	4	163,2	153,8	317
D3	1,43	2986	199,06	0,25	15	70	3	100,1	91,9	192
D5	0,8	2392	159,46	0,2	15	45	2	36	39,2	75,2
D7	3,16	2116	141,06	0,18	15	40	1	126,4	15,8	142,2
D9	12,73	1656	110,4	0,14	15	24	1,5	305,5	14,4	319,9
D13	12,85	1012	67,46	0,14	10	36	7	462,6	67,3	529,9
Σ										3320,9
Pad tlaka u kotlu										5000
Ukupni pad tlaka										8320,9

Ukupni pad tlaka u krugu radijatorskog grijanja iznosi 8320,9 Pa, dok je maksimalni maseni protok za taj sustav 0,1157 kg/s. Odabir pumpe napravljen je na stranici proizvođača *Grundfos* upisivanjem navedenih parametara. Odabrana pumpa za sustav radijatorskog grijanja je ALPHA3 25-40 180. Na slikama 3.13. i 3.14. prikazan je izgled navedene pumpe te grafički prikaz karakteristika pumpe u Q-H i Q-P dijagramu.



Slika 3.13. Pumpa Grundfos ALPHA3 25-40 180[14]



Slika 3.14. Radne karakteristike pumpe Grundfos ALPHA3 25-40 180[14]

3.9. Odabir pumpe u krugu podnog grijanja

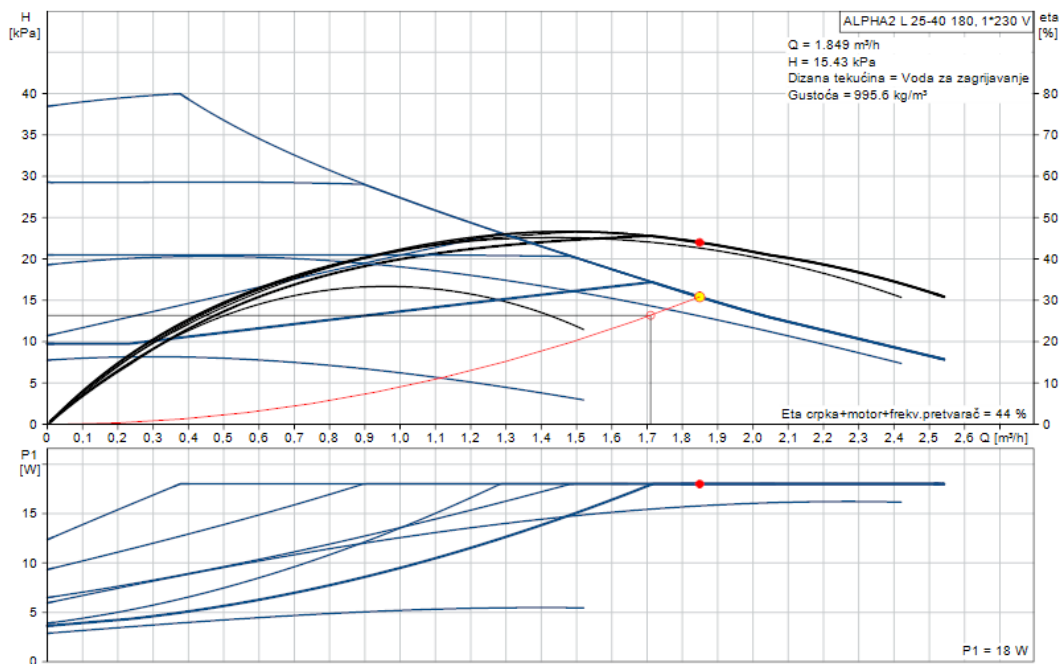
Tablica 3.6. Ukupni pad tlaka u krugu podnog grijanja

Dionica	Duljina dionice	Toplinski učin	Vodena vrijednost	Brzina	Nazivni promjer DN	R	$\Sigma\xi$	RL	Z	RL + Z
-	m	W	W/°C	m/s	mm	Pa/m	-	Pa	Pa	Pa
D1	13,8	11704	1950,67	0,48	32	80	5,5	1104	621,3	1725,3
D5	3,4	7160	1193,33	0,29	32	33	4,5	112,2	185,5	297,7
D7	9,36	3280	546,67	0,37	20	100	6	936	402,7	1338,73
Σ										3361,73
Pad tlaka u petlji podnog grijanja										4800
Pad tlaka u kotlu										5000
Ukupni pad tlaka										13161,73

Ukupni pad tlaka u krugu podnog grijanja iznosi 13161,73 Pa, dok je maksimalni maseni protok za taj sustav 0,4659 kg/s. Odabir pumpe također je odabran od strane proizvođača *Grundfos*, a odabrana pumpa za krug podnog grijanja je ALPHA2 L 25-40 180. Na slikama 3.15. i 3.16. prikazan je izgleda navedene pumpe, kao i radne karakteristike u Q-H i Q-P dijagramu.



Slika 3.15. Grundfos ALPHA2 L 25-40 180[14]



Slika 3.16. Radne karakteristike pumpe Grundfos ALPHA2 L 25-40-180[14]

3.10. Odabir ekspanzijske posude [15]

Ekspanzijska posuda neophodna je u sustavima grijanja. Osnove funkcije koje vrši ekspanzijska posuda su:

- kompenzacija promjene volumena ogrjevnog medija kao posljedice promjene temperature,
- održavanje tlaka u sustavu unutar zadanih granica, što uključuje održavanje minimalnog tlaka i sprječavanje prekoračenja najvećeg dozvoljenog radnog pretlaka,
- sprječavanje manjka ogrjevnog medija tijekom pogona sustava preko dodatnog volumena vode.

Postoje dvije izvedbe ekspanzijskih posuda, a to su: za otvorene i zatvorene sustave. U ovom radu radi se o zatvorenom sustavu, pa će u nastavku biti objašnjena i proračuni vezani samo uz zatvorene sustave. Dakle, u zatvorenim sustavim koristi se zatvoreni spremnik, odnosno posuda pod tlakom i smješta se najčešće u kotlovnici zgrade. Obično se spaja na povratni vod u blizini kotla, a osigurava se sigurnosnim ventilom. Prednosti zatvorenog sustava su svakako smanjena opasnost od smrzavanja i korozije. Nedostaci su prije svega atestiranje posude i sigurnosnog ventila, održavanje i nadzor te cijena. U nastavku slijedi proračun prema kojem se odabire ekspanzijska posuda za sustav grijanja kulturnog centra.

Podaci potrebni za proračun su sljedeći:

$p_e = 2,5$ bar – krajnji projektni tlak koji ovisi o točki otvaranja sigurnosnog ventila (obično se uzima za 0,5 bar manji od tlaka sigurnosnog ventila koji za ovaj slučaj iznosi 3 bar)

$h_{sys} = 7$ m – statička visina instalacije od sredine ekspanzijske posude do najviše točke instalacije

$h_{dod} = 3$ m – dodatna visina

n (pri 65 °C) = 1,95% - postotak širenja vode

$V_A = 1155,88$ L – ukupni volumen vode u sustavu (prikazan u tablici 3.7.)

Tablica 3.7. Ukupni volumen vode u sustavu

Cjevovodi (podno grijanje)	159,77 l
Cjevovodi (radijatorsko grijanje)	206,87 l
Radijatori	27,74 l
Podni grijači	336,5 l
Akumulacijski spremnik	325 l
Kotao	100 l
Ukupni volumen vode u sustavu	1155,88 l

Primarni tlak ekspanzijske posude:

$$p_0 = \frac{h_{sys} + h_{dod}}{10} = \frac{7+3}{10} = 1 \text{ bar} \quad (3.16)$$

Volumen širenja vode izazvan povišenjem vode od 10 °C do maksimalne temperature polaznog voda:

$$V_e = \frac{n \cdot V_A}{100} = \frac{1,95 \cdot 1155,88}{100} = 22,53 \text{ l} \quad (3.17).$$

Dodatni volumen koji se vraća u sustav u slučaju curenja:

$$V_V = 0,005 \cdot V_A = 0,005 \cdot 1155,88 = 5,78 \text{ l (3.18).}$$

Minimalni potrebni volumen ekspanzijske posude:

$$V_{n,min} = (V_e + V_V) \cdot \frac{p_e + 1}{p_e - p_o} = (22,53 + 5,78) \cdot \frac{2,5 + 1}{2,5 - 1} = 66,06 \text{ l (3.19).}$$

Prema provedenom proračunu o minimalnom volumenu odabrana je zatvorena ekspanzijska posuda proizvođača *Imera RV 80* (slika 3.16.) volumena 80 litara.



Slika 3.17. Membranska ekspanzijska posuda IMERA RV80 – 80 L [16]

4. AUTOMATSKA REGULACIJA SUSTAVA GRIJANJA

Regulacija temperature vrlo je važna u postizanju željene i optimalne temperature zraka u prostorijama. Regulacija temperature u prostorijama može se vršiti na dva načina, promjenom protoka vode ili promjenom polazne temperature vode. Za ovaj slučaj izabrana je regulacija promjenom protoka. Digitalni regulator s ekranom na dodir koji je u konstrukciji zajedno s kotlom glavna je centralna jedinica regulacijskog sustava. Na regulator su također spojeni: osjetnik vanjske temperature, osjetnici temperature akumulacijskog spremnika, glavna optočna pumpa u krugu kotla, četveroputni miješajući ventil, troputni miješajući ventil u krugu podnog grijanja, osjetnik temperature polaznog voda u krugu podnog grijanja i osjetnici temperature povratnog i polaznog voda na strani kotla. S obzirom da se u ovom slučaju radi o dva kruga grijanja gdje je jedan režim niskotemperaturni, a drugi srednjetemperaturni regulacija se vrši preko troputnog miješajućeg ventila u krugu podnog grijanja te preko automatskog radijatorskog termostatskog ventila u krugu radijatorskog grijanja. Za potrebe regulacije u krugu radijatorskog grijanja odabran je termostatski ventil proizvođača *Danfoss* punog naziva *RA-DV Dynamic Valve* (slika 4.1.). Radi se o tlačno rasterećenom radijatorskom termostatskom ventilu s mogućnošću predregulacije željenog protoka. Automatski uklanja višak diferencijalnog tlaka, održava podešeni protok konstantnim i sprječava mogućnost pojave buke. Ima funkciju hidrauličnog uravnoteženja, a nadogradnjom s radijatorskim termostatom osigurava precizno vođenje sobne temperature. Za potrebe regulacije u krugu podnog grijanja služi nam troputni miješajući ventil (slika 4.2.). Njegova je funkcija miješanje hladne povratne vode s toplom polaznom vodom te se na taj način uspješno regulira temperatura polaznog voda podnog grijanja.



Slika 4.1. Termostatski radijatorski ventil Danfoss RA-DV Dynamic Valve [17]



Slika 4.2. Troputni miješajući ventil s motornim pogonom

5. SUSTAV MEHANIČKE VENTILACIJE

Ventilacija predstavlja namjerno ubacivanje zraka iz vanjskog okoliša u zgradu kroz projektiranje otvora. Ventilacijski zrak se koristi za ostvarivanje prihvatljive kvalitete unutarnjeg zraka i toplinske ugodnosti. Osnovne funkcije ventilacijskog sustava su dobava vanjskog zraka za disanje ljudi i životinja, kontrola koncentracije zagađivača u zraku prostorije, pokrivanje toplinskih opterećenja zgrade te održavanje jednolikog stanja zraka u zoni boravka. Ventilacijskim zahtjevom nazivamo onaj protok vanjskog zraka potreban da bi se u prostoriji ostvarila zahtijevana kvaliteta zraka. S obzirom na potrebe prostorije i potrebe ljudi koji u njima borave ventilacijski se zahtjevi mogu izračunati na više različitih načina. Dakle, potreban protok vanjskog zraka potreban za zahtijevanu kvalitetu zraka može se proračunati prema broju osoba u prostoriji, prema dopuštenoj koncentraciji zagađivača u zraku, prema broju izmjena zraka, prema izračunatim toplinskim opterećenjima za grijanje odnosno hlađenje te prema zahtjevu za odvlaživanjem. [18] Za potrebe ventilacije zgrade kulturnog centra ventilacijski se zahtjev proračunava prema dopuštenoj koncentraciji ugljikovog dioksida, ali će kao usporedba poslužiti i proračun prema broju izmjena zraka u prostoriji.

5.1. Ventilacijski zahtjev prema dopuštenoj koncentraciji CO₂ u zraku [18]

Iako ugljikov dioksid sam po sebi nije štetan plin, uvelike utječe na raspoloženje ljudi koji borave u prostorijama jer je indikator nedostatka kisika, odnosno manje kvalitete zraka. Zahtijevana kvaliteta zraka potrebna je zbog higijenskih razloga, pa se s povećanjem koncentracije ugljikovog dioksida u zraku povećava i potreba dovođenja vanjskog zraka iz okoliša. Izraz kojim računamo ventilacijski zahtjev prema dopuštenoj koncentraciji ugljikovog dioksida u zraku dan je sljedećom jednačinom:

$$\dot{V} = \frac{\dot{V}_i}{CO_{2,doz} - CO_{2,vanj}}, \quad (5.1)$$

gdje su:

\dot{V} - ukupna emisija izvora zagađenja [m³/h],

$CO_{2,doz}$ – dozvoljena unutarnja koncentracija [ppm = cm³/m³],

$CO_{2,vanj}$ – koncentracija u vanjskom zraku [ppm = cm³/m³].

Kvaliteta zraka prema koncentraciji ugljikovog dioksida dana je normom EN 13779. Na tablicama 5.1. i 5.2. prikazana je kvaliteta zraka prema spomenutoj normi te razina zagađivača u zraku.

Tablica 5.1. Kvaliteta zraka prema EN 13779.

Kategorija	Opis
IDA1	Visoka kvaliteta unutarnjeg zraka
IDA2	Srednja kvaliteta unutarnjeg zraka
IDA3	Umjereno niska kvaliteta unutarnjeg zraka
IDA4	Niska kvaliteta unutarnjeg zraka

Tablica 5.2. Razina zagađivača u zraku prema EN 13779

Kategorija	CO ₂ – razina iznad vanjskog zraka [ppm]	
	Karakteristična veličina	Zadana veličina
IDA1	≤400	380
IDA2	400 - 600	500
IDA3	600 - 1000	800
IDA4	>1000	1200

Pri proračunu za uvjete zgrade kulturnog centra uzeta je razina IDA1, odnosno visoka kvaliteta unutarnjeg zraka za nazivnu veličinu od 380 ppm. Pretpostavljeno je da svaka osoba proizvodi 18 l/h CO₂. Broj osoba po prostoriji se razlikuje zbog njezine veličine i namjene, pa je ventilacijski zahtjev za svaku od prostorija prikazan u tablici 5.3. Bitan parametar u proračunu je i broj osoba.

Tablica 5.3. Proračun ventilacijskog zahtjeva po prostorijama

Prostorija	Površina [m ²]	Volumen [m ³]	Broj osoba	Volumni protok [m ³ /h]	ACH [h ⁻¹]
Ured P3	10,37	34,63	4	189,5 (200)	5,77
Čajna kuhinja	4,54	13,61	2	94,74 (100)	7,35
Sala za sastanke	16,26	54,31	8	378,94 (380)	7

Ured P6	16,55	55,29	4	189,5 (200)	3,61
Multimedijska dvorana	88	300,08	60	2842,1 (2850)	9,5
Izložbeni prostor	79,93	233,41	50	2368,42 (2370)	10,15
Višenamjenska dvorana za mlade	88	256,96	60	2842,1 (2850)	11,09

5.2. Ventilacijski zahtjev prema broju izmjena zraka u prostoriji [18]

Kriterij broja izmjena zraka označen je kraticom ACH (eng. Air Changes per Hour) čija se vrijednost dobiva iskustveno prema namjeni prostorije. U slučaju zgrade kulturnog centra, prostorije koje se mehanički ventiliraju su čajna kuhinja, zatim uredi i sala za sastanke koje će se svrstati u istu kategoriju te višenamjenska dvorana za mlade, izložbeni prostor i multimedijska dvorana koje će također zbog svoje velike površine i velikog broja ljudi za koje su namijenjene biti svrstane u istu kategoriju. U tablici 5.4. prikazane su iskustvene vrijednosti koeficijenta ACH za navedene prostorije.

Tablica 5.4. Vrijednosti koeficijenta ACH prema namjeni prostorije za zgradu kulturnog centra

Prostorija	ACH [h ⁻¹]
Uredi i sala za sastanke	3...6
Čajna kuhinja	6...8
Dvorane i izložbeni prostor	4...6

S tako pretpostavljenim koeficijentima, proračun prema broju izmjena za svaku prostoriju dan je u tablici 5.5.

Tablica 5.5. Proračun prema broju izmjena zraka

Prostorija	Volumen prostorije [m ³]	ACH [h ⁻¹]	Volumni protok [m ³ /h]
Ured P3	34,63	4	138,52
Čajna kuhinja	13,61	6	81,66
Sala za sastanke	54,31	4	217,24
Ured P6	55,29	4	221,16
Multimedijska dvorana	300,08	6	1800,48
Izložbeni prostor	233,41	6	1400,46
Višenamjenska dvorana za mlade	256,96	6	1541,76

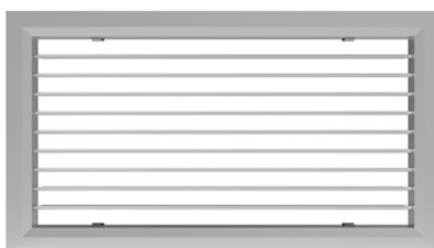
Za prostorije čajne kuhinje, ureda i sale za sastanke odabiru se rešetke prema volumnom protoku za svaku prostoriju te prema promjeru priključka. S obzirom da se za ovaj sustav mehaničke ventilacije koriste kanali kružnog poprečnog presjeka potrebno je za rešetke odabrati i odgovarajući plenum, odnosno priključnu kutiju. Odabrana je priključna kutija naziva PK2. Također, krajnji izbor rešetke se svodi i na odabir prema buci. Prema Pravilniku o najvišim dopuštenim razinama buke u sredini u kojoj ljudi rade i borave izdanom od strane Ministarstva zdravstva i socijalne skrbi dopuštena razina buke u zatvorenim prostorima mješovite namjene sa stalnom bukom iznosi 25 dB(A). Na slici 5.2. prikazano je sučelje kataloga proizvođača *Klimaoprema* za sve navedene parametre.

Odabrano: **OAH - 1 - 425x125 PK2 - 425x125**

	Širina [mm]	Visina [mm]	A_{gr} [m ²]	V_{gr} [m/s]	V_L [m/s]	Δp [Pa]	L_{p0} [dB(A)]
+	225	75	0.0070	7.90	0.45	66	>60
+	225	125	0.0150	3.70	0.31	14	31
+	325	75	0.0110	5.10	0.37	27	42
+	325	125	0.0220	2.50	0.26	7	21
+	325	225	0.0410	1.40	0.20	<4	12
+	425	75	0.0150	3.70	0.31	14	31
+	425	125	0.0290	1.90	0.22	4	16
+	425	225	0.0590	<1	0.15	<4	<10
+	425	325	0.0880	<1	0.12	<4	<10
+	525	75	0.0180	3.10	0.29	10	26
+	525	125	0.0360	1.50	0.20	<4	13
+	525	225	0.0730	<1	0.15	<4	<10

Slika 5.2. Odabir rešetki prema navedenim parametrima

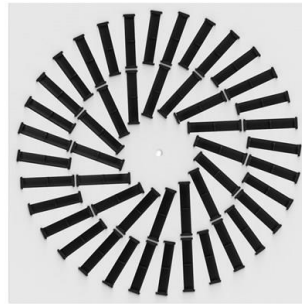
Na prethodnim slikama kao primjer je uzet odabir za prostorije ureda P3 i P6. Na isti se način odabire i OAH rešetka (slika 5.3.) za prostorije čajne kuhinje i sale za sastanke. Rešetke za povratni (odsisi) zrak odabiru se na isti način kao i za dobavni klikom na polje „odsisi“ u sučelju kataloga.



Slika 5.3. OAH rešetka

5.3.2. Odabir distributera zraka dobavnog i povratnog zraka

Za sustav mehaničke ventilacije ostalih prostorija (multimedijska dvorana, izložbeni prostor i višenamjenska dvorana za mlade) odabrani su stropni distributeri zraka za visine ugradnje od 2,3 do 4 metra. Navedeni distributeri zraka su također izabrani iz kataloga proizvođača *Klimaoprema*, a puni naziv odabranih distributera je DEV – K (slika 5.4.).



Slika 5.4. DEV – K distributer zraka

Slično kao i za rešetke, distributeri se odabiru prema sljedećim parametrima (slika 5.5.)

Ulazni podaci		Tehnički podaci	
Volumenski protok (V), m ³ /h	712,5	Krilica	Bijela krilica
Razmak između anemostala (A), m	2	Strana priključka dobave	Strana priključka dobave
Udaljenost od zida (x), m	1,35	Dovod zraka	Dovod zraka
Visina prostorije (H), m	3,34	Priključna kutija	Vertikalni priključak
Razlika temperatura (Δt_c), °C	0	Promjer priključka	248
		Završna obrada	Plastificirano RAL

Slika 5.5. Parametri za odabir distributera dobavnog zraka

Također, kao i za rešetke, tako se i za distributere zraka odabrao onaj koji zadovoljava uvjete prema buci. Tako je primjerice za prostoriju multimedijske dvorane izabran distributer DEV – K 800/72 – B – A – V – 248 – RAL. Istim se postupkom odabiru i distributeri povratnog zraka.

5.3.3. Regulatori varijabilnog protoka (VAV regulatori)[20]

VAV (eng. *Variable Air Volume*) je GViK uređaj koji opskrbljuje prostorije zrakom pri različitim protocima zraka i pri konstantnoj temperaturi, za razliku od uređaja s konstantnim volumenom zraka (CAV, eng. *Constant Air Volume*), koji osiguravaju konstantan protok

zraka pri promjenjivoj temperaturi. VAV sustavi preferiraju se zbog bolje energetske učinkovitosti (manje potrošnje energije), smanjene razine buke i dodatnog odvlaživanja. Sustavi promjenjivog volumena zraka vrlo su česti u zgradama poput ureda i hotela, gdje korištenje i popunjenost sobe varira tijekom dana jer omogućuju optimalnu zonsku regulaciju. Oni mogu zadovoljiti zahtjeve udobnosti različitih unutarnjih zona, smanjujući protok zraka na minimalnu vrijednost (obično 30%) kako bi zadovoljili zahtjeve ventilacije. Protok zraka koji tretira i distribuira VAV sustav manji je od CAV sustava jer se izračunava na temelju maksimalnog istovremenog opterećenja. Kao takav, veličina procesorskih jedinica je manja, kao i kanali, a time i potrošnja energije povezana s procesom distribucije zraka.

5.3.4. Odabir regulatora varijabilnog protoka

Regulatori varijabilnog protoka za ovaj sustav odabrani su za četiri prostorije koje imaju zajedničku ventilacijsko – rekuperacijsku jedinicu. Prostorije koje imaju zasebne jedinice regulirane su u samoj jedinici preko ventilatora, pa VAV regulatori nisu potrebni. Proizvođač *Klimaoprema* također u svojem katalogu ima i VAV regulatore, a odabir se vrši preko promjera kanala. Za određeni promjer kanala dobivaju se vrijednosti minimalnog i maksimalnog protoka zraka. Puni naziv regulatora glasi RVP – C, gdje C označava da se radi o cilindričnom regulatoru. Na slikama 5.6. i 5.7. prikazan je odabir prema promjeru kanala te sami regulator.

$\varnothing D_n$ [mm]	L [mm]	$\varnothing D_z$ [mm]	L_z [mm]	V_{min} [m ³]	V_{max} [m ³]
100	400	198	330	37	343
125	400	223	330	54	540
160	400	258	330	90	900
200	400	298	330	145	1459
250	500	348	430	217	2215
315	600	413	530	380	3680
355	600	453	530	482	4275
400	600	498	530	615	6047
500	800	598	740	973	9484
630	850	728	810	1435	12482

Slika 5.6. Odabir VAV regulatora prema promjeru kanala



Slika 5.7. RVP – C regulator

5.4. Pad tlaka u kanalima dobavnog i povratnog zraka

Za sustav mehaničke ventilacije zgrade kulturnog centra odabrani su kanali kružnog poprečnog presjeka. Prvi korak u dimenzioniranju kanala je odabir otvora zraka te njihov raspored po prostoriji ovisno o njihovoj namjeni i obliku. Dijelovi cjevovoda s istim konstantnim protokom nazivaju se dionice. Promjeri se odabiru tako da se prema zadanom protoku odabire neka standardna veličina koja će također ovisiti i o brzini strujanja. Preporučene vrijednosti brzine strujanja su od 2 do 8 m/s. Brzina se računa sljedećim izrazom:

$$w = \frac{\dot{V}}{A} = \frac{4 \dot{V}}{d^2 \pi} \text{ [m/s]}, \quad (5.2)$$

gdje su:

\dot{V} – volumni protok zraka [m³/h],

A – površina poprečnog presjeka [m²],

d – standardni promjer kanala [m].

Nakon što se odabere promjer cijevi prema zadovoljavajućoj brzini, može se odrediti i linijski pad tlaka u kanala, koji je dan izrazom:

$$R = \frac{\lambda}{d} \frac{\rho w^2}{2} \text{ [Pa/m]}, \quad (5.3)$$

gdje su:

λ – trenje u kanalu,

ρ – gustoća zraka.

Linijski pad tlaka pomnožen s duljinom daje izraz za pad tlaka u kanalu:

$$\Delta p_F = L \frac{\lambda}{d} \frac{\rho w^2}{2} = RL \text{ [Pa]} \quad (5.4).$$

Lakši način dobivanja vrijednosti linijskog pada tlaka je očitavanjem iz dijagrama. Bitno je za napomenuti da pri bilo kojem načinu određivanja vrijednosti linijskog pada tlaka moraju biti u rasponu od 0,7 do 5 Pa/m.

Lokalni gubici u kanalu računaju se na sljedeći način:

$$\Delta p_L = Z = \xi \frac{\rho w^2}{2} [\text{Pa}], \quad (5.5)$$

gdje je:

ξ – koeficijent lokalnog pada tlaka [-].

Ukupni pad tlaka se dobiva sumiranje lokalnog i linijskog gubitka:

$$\Delta p_{uk} = \Delta p_F + \Delta p_L = RL + Z [\text{Pa}]. \quad (5.6)$$

Proračun je proveden za sva četiri podsustava i tablično prikazan u tablicama od 5.6. do 5.13.

Tablica 5.6. Pad tlaka u kanalima dobavnog zraka za sustav mehaničke ventilacije prostorija čajne kuhinje, ureda i sale za sastanke

Dionica	Duljina, L	Volumni protok, \dot{V}	Brzina strujanja, w	d	R	RL	$\Sigma\xi$	P_{din}	Z	RL + Z
-	m	m ³ /h	m/s	mm	Pa/m	Pa	-	Pa	Pa	Pa
1	15,53	880	4,98	250	1,1	17,08	2,59	15,25	39,5	56,59
2	2,87	680	4,79	224	1,2	3,44	0,04	14,11	0,56	4
3	0,69	580	5,13	200	1,5	1,04	0,04	16,18	0,65	1,68
4	7	380	5,25	160	2,1	14,7	0,5	16,95	8,48	23,18
Otvor za zrak										6
VAV regulator										125
Ukupni pad tlaka										216,45

Tablica 5.7. Pad tlaka u kanalima povratnog zraka za sustav mehaničke ventilacije prostorija čajne kuhinje, ureda i sale za sastanke

Dionica	Duljina, L	Volumni protok, \dot{V}	Brzina strujanja, w	d	R	RL	$\Sigma\xi$	P_{din}	Z	RL + Z
-	m	m ³ /h	m/s	mm	Pa/m	Pa	-	Pa	Pa	Pa
1	16,68	880	4,98	250	1,1	18,35	2,38	15,25	36,3	54,64
2	2,5	680	4,79	224	1,2	3	0,38	14,11	5,62	8,36
3	0,67	580	5,13	200	1,5	1	0,15	16,18	2,43	3,43
4	6,11	380	5,25	160	2,1	12,83	1	16,95	16,95	29,78
Otvor za zrak										5
VAV regulator										125
Ukupni pad tlaka										226,21

Tablica 5.8. Pad tlaka u kanalima dobavnog zraka za sustav mehaničke ventilacije multimedijske dvorane

Dionica	Duljina, L	Volumni protok, \dot{V}	Brzina strujanja, w	d	R	RL	$\Sigma\xi$	P_{din}	Z	RL + Z
-	m	m ³ /h	m/s	mm	Pa/m	Pa	-	Pa	Pa	Pa
1	18,3	2850	6,3	400	0,9	16,47	1,51	24,4	36,85	53,3
2	1,75	2137,5	6	355	1	1,75	0	22,14	0	1,75
3	1,75	1425	5,6	300	1,1	1,93	0,08	19,29	1,54	3,47
4	3,16	712,5	4,03	250	0,8	2,528	0,63	10	6,3	8,82
Otvor za zrak										4
Ukupni pad tlaka										71,34

Tablica 5.9. Pad tlaka u kanalima povratnog zraka za sustav mehaničke ventilacije multimedijske dvorane

Dionica	Duljina, L	Volumni protok, \dot{V}	Brzina strujanja, w	d	R	RL	$\Sigma\xi$	P_{din}	Z	RL + Z
-	m	m^3/h	m/s	mm	Pa/m	Pa	-	Pa	Pa	Pa
1	19,85	2850	6,3	400	0,9	17,87	2	24,4	48,8	66,68
2	1,75	2137,5	6	355	1	1,75	0,5	22,14	11,07	12,82
3	1,75	1425	5,6	300	1,1	1,93	1	19,28	19,29	21,21
4	3,16	712,5	4,03	250	0,8	2,53	2,23	10	22,27	24,8
Otvor za zrak										4
Ukupni pad tlaka										199,9

Tablica 5.10. Pad tlaka u kanalima dobavnog zraka za sustav mehaničke ventilacije izložbenog prostora

Dionica	Duljina, L	Volumni protok, \dot{V}	Brzina strujanja, w	d	R	RL	$\Sigma\xi$	P_{din}	Z	RL + Z
-	m	m^3/h	m/s	mm	Pa/m	Pa	-	Pa	Pa	Pa
1	21	2372	6,66	355	1,2	25,2	2,875	27,28	78,43	103,62
2	2	1779	6,99	300	1,6	3,2	0,06	30,05	1,8	5
3	2	1186	6,71	250	1,8	3,6	0	27,69	0	3,6
4	3,01	593	5,24	200	1,6	4,82	0,63	16,89	10,63	15,45
Otvor za zrak										12
Ukupni pad tlaka										139,67

Tablica 5.11. Pad tlaka u kanalima povratnog zraka za sustav mehaničke ventilacije izložbenog prostora

Dionica	Duljina, L	Volumni protok, \dot{V}	Brzina strujanja, w	d	R	RL	$\Sigma\xi$	P_{din}	Z	RL + Z
-	m	m^3/h	m/s	mm	Pa/m	Pa	-	Pa	Pa	Pa
1	21	2372	6,66	355	1,2	25,2	2,66	27,28	72,7	97,9
2	2	1779	6,99	300	1,6	3,2	0,5	30,05	15,02	18,22
3	2	1186	6,71	250	1,8	3,6	1	27,69	27,69	31,29
4	2,51	593	5,24	200	1,6	4,02	2,23	16,87	37,66	41,67
Otvor za zrak										12
Ukupni pad tlaka										201,08

Tablica 5.12. Pad tlaka u kanalima dobavnog zraka za sustav mehaničke ventilacije prostorije višenamjenske dvorane za mlade

Dionica	Duljina, L	Volumni protok, \dot{V}	Brzina strujanja, w	d	R	RL	$\Sigma\xi$	P_{din}	Z	RL + Z
-	m	m^3/h	m/s	mm	Pa/m	Pa	-	Pa	Pa	Pa
1	18,7	2850	7,24	355	1,4	26,18	2,665	32,23	85,91	112,1
2	2	2137,5	7,62	315	1,7	3,4	0,06	35,71	2,14	5,54
3	2	1425	6,43	280	1,5	3	0	25,43	0	3
4	2,77	712,5	6,3	200	2,2	6,094	0,63	24,41	15,37	21,47
Otvor za zrak										12
Ukupni pad tlaka										154,1

Tablica 5.13. Pad tlaka u kanalima poratnog zraka za sustav mehaničke ventilacije prostorije višenamjenske dvorane za mlade

Dionica	Duljina, L	Volumni protok, \dot{V}	Brzina strujanja, w	d	R	RL	$\Sigma\xi$	P_{din}	Z	RL + Z
-	m	m ³ /h	m/s	mm	Pa/m	Pa	-	Pa	Pa	Pa
1	18,7	2850	7,24	355	1,4	26,18	2,245	32,24	72,37	98,55
2	2	2137,5	7,62	315	1,7	3,4	0,5	35,71	17,85	21,25
3	2	1425	6,43	280	1,5	3	1	25,43	25,43	28,43
4	3,15	712,5	6,3	200	2,2	6,93	2,23	24,41	54,43	61,36
Otvor za zrak										12
Ukupni pad tlaka										221,6

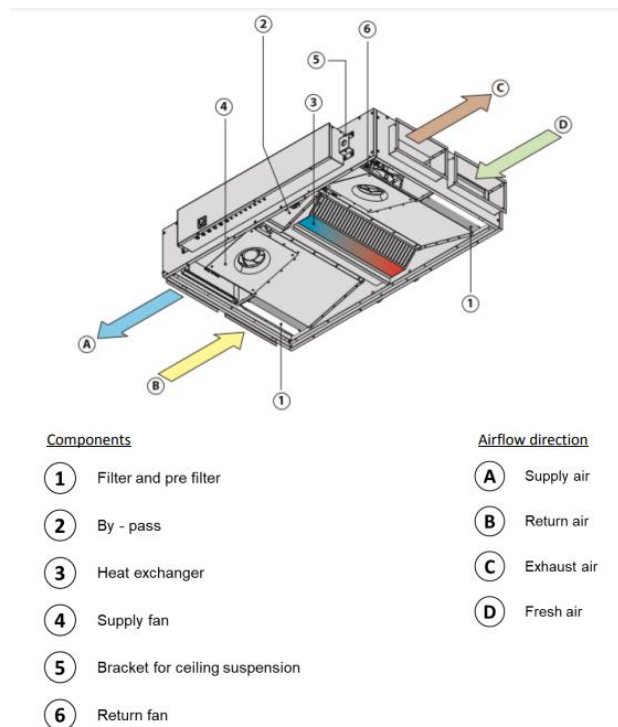
U nastavku slijedi izbor ventilacijsko – rekuperacijskih jedinica za sva četiri sustava mehaničke ventilacije.

5.5. Odabir ventilacijsko – rekuperacijskih jedinica

Na temelju izračunatih padova tlakova za sve sustave mehaničke ventilacije zgrade kulturnog centra, odabiru se ventilacijsko – rekuperacijske jedinice koje će dobavnim zrakom opskrbljivati prostorije, te će vršiti povrat topline preko rekuperatora kako bi cijeli sustav bio energetski učinkovitiji. Za odabir svih jedinica kontaktirana je tvrtka *Daikin* [21] koja je prema izračunatim padovima tlaka, ventilacijskim zahtjevima, temperaturi ubacivanja u prostoriju i projektnoj vanjskoj temperaturi predložila ALB uređaje ($A=AHU$, $L = Modular Light$, $B = Base Module$) s električnim grijačem (slika 5.8.). Sve jedinice su iste, razlika je samo u veličini. Jedinice se sastoje od dvaju filtera (F7 i M5), rekuperatora, dvaju ventilatora (dobavni i povratni), nosača za stropnu ugradnju i električnog grijača čija je zadaća dogrijavanje zraka iz rekuperatora na željenu temperaturu ubacivanja. Uređaj također ima 4 horizontalna priključka za svježi, otpadni, dobavni i povratni zrak koji su pravokutnog poprečnog presjeka, pa je potrebno staviti priključke s pravokutnih na kružne presjeke. Na slici 5.9. prikazan je jedan primjer jedinice sa svim glavnim elementima.



Slika 5.8. Daikin ALB ventilacijsko – rekuperacijska jedinica



Slika 5.9. Opis Daikin ALB jedinice

5.6. Regulacija sustava mehaničke ventilacije

Kao što je već rečeno, sustav mehaničke ventilacije za zgradu kulturnog centra podijeljen je u četiri dijela. Sustav koji dobavlja i vraća zrak iz prostorija čajne kuhinje, ureda i sale za stanke povezan je na jednu zajedničku jedinicu. S obzirom da se volumenski protoci po prostorijama razlikuju, za ovaj sustav potrebni su nam već spomenuti VAV regulatori koji će dobavljati i vraćati samo onaj protok zraka koji je u tom trenutku potreban i tako poboljšati energetske učinkovitost sustava. U proračunu se ventilacijski zahtjev računao prema dopuštenoj koncentraciji ugljikovog dioksida u prostoriji. Tako će VAV regulatori morati biti povezani s osjetnicima CO₂. Dakle, pogonskim sustavom upravljat će kontroler, a za ovaj sustav odabran je *KOER Codis C35 – VAV* (slika 5.10.). Odabrani kontroler ima ugrađene osjetnike

ugljikovog dioksida i prema njima povećava ili smanjuje volumni protok koji se dobavlja u prostoriju.



Slika 5.10. KOER Codis C35 – VAV

Ostale ventilacijsko – rekuperacijske jedinice dobavljaju zrak samo za jednu prostoriju, pa za taj slučaj VAV regulatori nisu potrebni. Protok će se regulirati preko regulatora broja okretaja na ventilatoru, a osjetnici CO₂ montirat će se na povratni kanal i tako slati signal o potrebnom protoku u prostoriji.

5.7. Sustav ventilacije sanitarnih prostorija

Budući da su sanitarne prostorije izvedene bez otvora prema okolišu, projektiran je sustav odsisa zraka. Proračun se vrši preko broja izmjena zraka u prostoriji koji je prikazan u tablici 5.14.

Tablica 5.14. Proračun protoka prema broju izmjena zraka za sanitarne prostorije

Prostorija	ACH [h ⁻¹]	Volumen prostorije [m ³]	Volumeni protok [m ³ /h]
WC invalidi	1,5	10,13	15,195
WC muški	1,5	13,74	20,61
WC ženski	1,5	10,76	16,14

Za prostorije su izabrani otvori za zrak, odnosno ZOV zračni ventili proizvođača *Klimaoprema*. To je zračni ventil podesivog protoka, a ostvarivanje željene vrijednosti protoka vrši se mijenjanjem otvorenosti ventila.

6. TEHNIČKI OPIS SUSTAVA

Za potrebe grijanja zgrade kulturnog centra predviđen je dvocijevni radijatorski sustav u srednjetemperaturnom režimu rada 65/50 °C i sustav grijanja podnim grijačima u niskotemperaturnom režimu rada 38/32 °C. Cjevovod sustava izrađen je od čelika. Kao toplinska podstanica za sustav grijanja odabrana je strojarnica koja je smještena u suterenskom dijelu zgrade. U njoj se nalazi cijelo strojarsko postrojenje za sustav grijanja. Projektno toplinsko opterećenje za sezonu grijanja iznosi 18969 W. Kao izvor topline za cijeli sustav grijanja odabran je kotao na drvene pelete Pel Tec – Lambda, nazivnog učinka 24 kW proizvođača *Centrometal*. S obzirom da se u jednom krugu grijanja prostorije griju niskotemperaturnim režimom rada, za sustav je predviđena i ugradnja akumulacijskog spremnika *Centrometal* CAS 301 – 325 l čija je zadaća odijeliti krug kotla od kruga grijanja kako se kotao ne bi stalno gasio i palio. Problem održavanja tlaka sustava unutar zadanih granica i problem širenja vode u sustavu riješen je instalacijom membranske ekspanzijske posude *Imera* RV80 – 80 l. Cirkulaciju vode u sustavu grijanja održavaju cirkulacijske pumpe. Odabrana cirkulacijska pumpa za sustav radijatorskog grijanja je *Grundfos* Alpha3 25-40 180, dok se za podno grijanje ugrađuje pumpa *Grundfos* Alpha2 L 25-40 180. Kao ogrjevna tijela za srednjetemperaturni režim rada odabrani su radijatori Orion proizvođača *Lipovica*. Nazivni učin radijatorskog grijanja iznosi 7265 W. U niskotemperaturnom režimu rada ugrađuju se polietilenski podni grijači nazivnog promjera ϕ 17x2 mm naziva RAUTHERM S proizvođača *Rehau*. Cijeli se sustav regulira preko centralne upravljačke jedinice koja je instalirana zajedno s kotlom. Za potrebe regulacije radijatorskog grijanja poslužit će termostatski radijatorski ventil *Danfoss* RA-DV Dynamic Valve koji je postavljen na povratni vod. Regulacija podnog grijanja provodi se preko troputnog miješajućeg ventila koji preko elektromotornog pogoda regulira temperaturu polaznog voda.

Sustav mehaničke ventilacije podijeljen je u četiri dijela. Za potrebe ventilacije najvećih prostorija (multimedijaska dvorana, izložbeni prostor, višenamjenska dvorana za mlade) u zgradi predviđene su zasebne ventilacijsko – rekuperacijske jedinice, dok se ostale mehanički ventilirane prostorije povezuju na zajedničku jedinicu. Kanali su kružnog poprečnog presjeka, a promjer je dimenzioniran ovisno o protoku zraka i brzini strujanja. Ventilacijski zahtjevi su proračunati prema dopuštenoj koncentraciji zagađivača u zraku. Iz proračunatih padova tlaka za dobavni i povratni zrak, ventilacijskih zahtjeva, temperaturi ubacivanja u prostoriju i vanjske projektne temperature zraka odabrane su ventilacijsko – rekuperacijske jedinice ALB proizvođača *Daikin*. Razlikuju se samo po veličini. Prema namjeni i veličini prostoriji također

se odabiru i otvori za zrak. U prostorijama većih dimenzija odabiru se distributeri zraka DEV – K proizvođača *Klimaoprema*, dok se za potrebe ventilacije manjih prostorija odabiru OAH rešetke istog proizvođača. Za regulaciju protoka prostorija povezanih na istu jedinicu potrebni su i VAV regulatori koji će ovisno o koncentraciji ugljikovog dioksida u zraku dobavljati zrak u prostoriji. VAV regulatori s osjetnicima CO₂ povezani su *KOER Codis C35 – VAV* kontrolerom koji se jednostavno ugrađuje na zid prostorije. Regulacija ostalih prostorija sa zasebnim jedinicama vrši se direktno na ventilatoru preko regulatora broja okretaja, dok se osjetnici CO₂ postavljaju na povratne kanale.

7. ZAKLJUČAK

U sklopu ovog završnog rada dano je rješenje sustava grijanja i mehaničke ventilacije za zgradu kulturnog centra. Cilj GViK sustava je postizanje i održavanje toplinske ugodnosti i kvalitete zraka u prostorijama u kojima borave ljudi uz minimalnu potrošnju energije. Kvaliteta zraka osigurana je sustavom mehaničke ventilacije s varijabilnim protokom zraka reguliranim preko VAV regulatora ili regulatora broja okretaja motora ventilatora u ventilacijsko – rekuperacijskim jedinicama. Kao glavni parametar uzeta je koncentracija ugljikovog dioksida u zraku, koji sam po sebi, iako nije otrovan izaziva gubitak koncentracije. VAV regulatori i regulatori broja okretaja motora ventilatora zajedno s osjetnicima CO₂ održavaju kvalitetu zraka i opskrbljuju zrakom prostorije samo onim protokom koji je i stvarno potreban, ne razbacujući time dodatno energiju, pa ove sustave možemo svrstati u energetske učinkovite. Iz energetskih razloga također se kao izvor topline za sustav grijanja odabire kotao na biomasu koji je osim zbog dobre energetske učinkovitosti, također pogodan i s ekološke strane jer kao gorivo koristi drvene pelete. Prednosti biomase kao energenta su dobra pristupačnost većem dijelu korisnika, obnovljivost, niža cijena u odnosu na fosilna goriva i ono što je danas najbitnije, ekološki prihvatljiva. Toplinska se ugodnost sustava postiže ugradnjom ogrjevnih tijela u prostorije gdje se za veće prostorije upotrebljavaju podni grijači u niskotemperaturnom režimu rada, dok je za ostale prostorije predviđeno srednjetemperaturno grijanje radijatorima.

8. LITERATURA

- [1] Balen, I., *Toplinska ugodnost*, podloge za predavanja iz kolegija *Termotehnika (KGH)*, FSB Zagreb
- [2] Balen, I., *Podjela sustava grijanja*, podloge za predavanja iz kolegija *Termotehnika (KGH)*, FSB Zagreb
- [3] Norma HRN EN 12831-1:2017, <https://repozitorij.hzn.hr/norm/HRN+EN+12831-1%3A2017>
- [4] Balen, I., *Ogrjevna tijela*, podloge za predavanja iz kolegija *Termotehnika (KGH)*, FSB Zagreb
- [5] Katalog proizvođača *Lipovica*, https://www.lipovica.hr/hr/katalozi_i_brosure
- [6] EN 442 – 1:2015, <https://repozitorij.hzn.hr/norm/HRN+EN+442-1%3A2015>
- [7] Katalog proizvođača *Rehau*, <https://www.rehau.com/hr-hr/sustavi-podnog-grijanja>
- [8] Ormarić za razdjelnike *Termometal*, <https://termometal.hr/razvodni-ormarici-grupa-219/>
- [9] Kotlovi na biomasu za potencijale operatere/investitore – Hrvatski institut Hrvoje Požar, <https://www.eihp.hr/wp-content/uploads/2016/04/BioEnergyCROATIAN.pdf>
- [10] Katalog proizvođača *Centrometal* – Kotlovi na drvenu sječku https://www.centrometal.hr/public/downloads/katalozi/Katalog_proizvoda.pdf
- [11] Katalog proizvođača *Centrometal* – Akumulacijski spremnici, <https://www.centrometal.hr/portfolio/cas/>
- [12] Virag, Z., Šavar, M., Džijan., *Mehanika fluida I*, FSB, Zagreb, 2018.
- [13] Balen, I., Smoljan, D., *Dimenzioniranje cijevnog razvoda*, podloge za predavanja iz kolegija *Termotehnika (KGH)*, FSB Zagreb
- [14] Odabir pumpi prema proizvođaču *Grundfos*, <https://product-selection.grundfos.com/hr>
- [15] Balen, I., Smoljan, D., *Ekspanzijski sustav*, podloge za predavanja iz kolegija *Termotehnika (KGH)*, FSB Zagreb
- [16] Odabir ekspanzijske posude proizvođača *Imera*, <https://termometal.hr/ekspanzijske-posude-imer-grupa-424/>
- [17] Termostatski radijatorski ventil RA-DV *Dynamic Valve* proizvođača *Danfoss*, http://tisan.hr/wp-content/uploads/2016/06/27_RA-DV_VDGWJ102.pdf
- [18] Balen, I., Smoljan, D., *Ventilacijski sustavi*, podloge za predavanja iz kolegija *Termotehnika (KGH)*, FSB Zagreb
- [19] Izbor otvora za zrak i VAV regulatora proizvođača *Klimaoprema*, <https://www.klimaoprema.hr/hr/gp/hvac>

[20] Regulatori varijabilnog protoka, <https://www.sagicofim.com/comfort/en/vav-variable-flow-regulators/>

[21] Ventilacijsko – rekuperacijska jedinica ALB proizvođača *Daikin*, https://www.daikin.hr/hr_hr/products/alb-rb.html

PRILOZI

- I. Proračun projektnog toplinskog opterećenja prema HRN EN 12831-1:2017
- II. Proračun podnog grijanja
- III. Tehnička dokumentacija
- IV. CD – R disk

Prilog I. – Proračun projektne toplinske opterećenja prema EN
12381-1:2017

Kat 1		Prostorija:				P2 Hodnik															
Duljina (m)					1,50	T (m) 5,00															
Širina (m)					5,80	Gw 1,00															
Površina (m ²)					8,70	f g1 1,45															
Visina (m)					3,34	Broj otvora 0															
Volumen (m ³)					29,06	e i 0,00															
Oplošje (m ²)					66,16	f vi 1,00															
Visina iznad tla (m)					0,20	V ex (m ³ /h) 0,00															
Theta int, i (°C)					20	V su (m ³ /h) 0,00															
Theta e (°C)					- 18	V su,i (m ³ /h) 0,00															
f RH					16,00	n min (1/h) 1,00															
Korekcijski faktor - fh,i					1,00																
OZ	Stijena prema	SS	Br	Duž. (m)	V/Š (m)	A (m²)	O	A' (m²)	P	B'	Z	U	Ueq	Theta u/as (°C)	ek	bu	fij	fg2	TM	H T,i (W/K)	Phi T,i (W)
P2	zemlji (pod)	hor.	1	1,50	5,80	8,70	+	8,70	0,00	0,00	0,00	0,300	0,00	- 18	1,00	0,00	0,00	0,26	0,00	0,000	0
UVR	grijanoj prostoriji	hor.	1	0,71	1,99	1,41	-	1,41	0,00	0,00	0,00	1,300	0,00	19	1,00	0,00	0,03	0,00	0,00	0,048	1
UZ3	grijanoj prostoriji	hor.	1	1,40	3,00	4,20	+	2,79	0,00	0,00	0,00	0,310	0,00	19	1,00	0,00	0,03	0,00	0,00	0,023	0

Rezultati proračuna

Phi V,inf (W)	0	Phi T,i (W)	2
Phi V,min (W)	29	Phi V,i (W)	375
Phi V,mech,inf	0	Phi V,mech (W)	0
Phi V,su (W)	0	Phi (W)	516
Phi RH (W)	139	Phi/A (W/m ²)	59
Phi/V (W/m ³)	17		

Kat 1		Prostorija:				P3 Ured															
Duljina (m)					3,24	T (m) 5,00															
Širina (m)					3,20	Gw 1,00															
Površina (m ²)					10,37	f g1 1,45															
Visina (m)					3,34	Broj otvora 1															
Volumen (m ³)					34,63	e i 0,02															

Oplošje (m ²)	63,76	f vi	0,55
Visina iznad tla (m)	0,20	V ex (m ³ /h)	0,00
Theta int, i (°C)	22	V su (m ³ /h)	0,00
Theta e (°C)	- 18	V su,i (m ³ /h)	0,00
f RH	16,00	n min (1/h)	0,50
Korekcijski faktor - fh,i	1,00		

OZ	Stijena prema	SS	Br	Duž. (m)	V/Š (m)	A (m ²)	O	A' (m ²)	P	B'	Z	U	Ueq	Theta u/as (°C)	ek	bu	fij	fg2	TM	H T,i (W/K)	Phi T,i (W)
P2	zemlji (pod)	hor.	1	3,24	3,20	10,37	+	10,37	3,20	6,48	0,00	0,300	0,17	- 18	1,00	0,00	0,00	0,30	0,00	0,767	30
PR1	okolici	hor.	1	1,54	1,73	2,66	-	2,66	0,00	0,00	0,00	0,600	0,00	- 18	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,596	63
VZ	okolici	hor.	1	3,67	3,34	12,26	+	9,59	0,00	0,00	0,00	0,280	0,00	- 18	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,685	107
F2																					
VZ	okolici	hor.	1	1,12	3,34	3,74	+	3,74	0,00	0,00	0,00	0,290	0,00	- 18	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,085	43
F3																					
UZ2	grijanoj prostoriji	hor.	1	3,24	3,00	9,72	+	9,72	0,00	0,00	0,00	0,300	0,00	19	1,00	0,00	0,08	0,00	0,00	0,219	8
UZ1	grijanoj prostoriji	hor.	1	2,12	3,34	7,08	+	7,08	0,00	0,00	0,00	0,300	0,00	20	0,00	0,00	0,05	0,00	0,00	0,106	4
UVR	grijanoj prostoriji	hor.	1	0,81	1,99	1,61	-	1,61	0,00	0,00	0,00	1,300	0,00	20	1,00	0,00	0,05	0,00	0,00	0,105	4
UZ3	grijanoj prostoriji	hor.	1	3,20	3,34	10,69	+	9,08	0,00	0,00	0,00	0,310	0,00	20	1,00	0,00	0,05	0,00	0,00	0,141	5
SK 2*	grijanoj prostoriji	hor.	1	3,24	3,20	10,37	+	10,37	0,00	0,00	0,00	0,260	0,00	20	1,00	0,00	0,05	0,00	0,00	0,135	5

Rezultati proračuna

Phi V,inf (W)	3	Phi T,i (W)	273
Phi V,min (W)	17	Phi V,i (W)	235
Phi V,mech,inf	0	Phi V,mech (W)	38
Phi V,su (W)	0	Phi (W)	673
Phi RH (W)	166	Phi/A (W/m ²)	64
Phi/V (W/m ³)	19		

Kat 1	Prostorija:	P4 Čajna kuhinja	
Duljina (m)	3,24	T (m)	5,00
Širina (m)	1,40	Gw	1,00
Površina (m ²)	4,54	f g1	1,45

Visina (m)	3,00	Broj otvora	0
Volumen (m ³)	13,61	e i	0,00
Oplošje (m ²)	36,91	f vi	0,55
Visina iznad tla (m)	0,20	V ex (m ³ /h)	0,00
Theta int, i (°C)	22	V su (m ³ /h)	0,00
Theta e (°C)	- 18	V su,i (m ³ /h)	0,00
f RH	16,00	n min (1/h)	0,50
Korekcijski faktor - fh,i	1,00		

OZ	Stijena prema	SS	Br	Duž. (m)	V/Š (m)	A (m ²)	O	A' (m ²)	P	B'	Z	U	Ueq	Theta u/as (°C)	ek	bu	fij	fg2	TM	H T,i (W/K)	Phi T,i (W)
P2	zemlji (pod)	hor.	1	3,24	1,40	4,54	+	4,54	1,40	6,49	0,00	0,300	0,17	- 18	1,00	0,00	0,00	0,30	0,00	0,336	13
VZ	okolici	hor.	1	1,58	3,40	5,37	+	5,37	0,00	0,00	0,00	0,280	0,00	- 18	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,504	60
F2																					
UVR	grijanoj prostoriji	hor.	1	0,71	1,99	1,41	-	1,41	0,00	0,00	0,00	1,300	0,00	20	1,00	0,00	0,05	0,00	0,00	0,092	3
UZ3	okolici	hor.	1	1,40	3,00	4,20	+	2,79	0,00	0,00	0,00	0,310	0,00	- 18	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,865	34

Rezultati proračuna

Phi V,inf (W)	0	Phi T,i (W)	111
Phi V,min (W)	7	Phi V,i (W)	93
Phi V,mech,inf	0	Phi V,mech (W)	0
Phi V,su (W)	0	Phi (W)	276
Phi RH (W)	73	Phi/A (W/m ²)	60
Phi/V (W/m ³)	20		

Kat 1	Prostorija:	P5 Sala za sastanke	
Duljina (m)	16,26	T (m)	5,00
Širina (m)	1,00	Gw	1,00
Površina (m ²)	16,26	f g1	1,45
Visina (m)	3,34	Broj otvora	2
Volumen (m ³)	54,31	e i	0,03
Oplošje (m ²)	147,82	f vi	0,55
Visina iznad tla (m)	0,20	V ex (m ³ /h)	0,00
Theta int, i (°C)	22	V su (m ³ /h)	0,00

OZ	Stijena prema	SS	Br	Duž. (m)	V/Š (m)	A (m ²)	O	A' (m ²)	P	B'	Z	U	Ueq	Theta u/as (°C)	ek	bu	fij	fg2	TM	H T,i (W/K)	Phi T,i (W)
P2	zemlji (pod)	hor.	1	16,26	1,00	16,26	+	16,26	1,50	21,68	0,00	0,300	0,12	- 18	1,00	0,00	0,00	0,30	0,00	0,849	34
VZ F2	okolici	hor.	1	3,43	3,34	11,46	+	11,46	0,00	0,00	0,00	0,280	0,00	- 18	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3,209	128
PR1	okolici	hor.	2	1,03	1,73	1,78	-	3,56	0,00	0,00	0,00	0,600	0,00	- 18	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,136	85
VZ F7	okolici	hor.	1	4,84	3,34	16,17	+	12,61	0,00	0,00	0,00	0,210	0,00	- 18	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,648	105
UVR	grijanoj prostoriji	hor.	1	0,81	1,99	1,61	-	1,61	0,00	0,00	0,00	1,300	0,00	20	1,00	0,00	0,05	0,00	0,00	0,105	4
UZ3	grijanoj prostoriji	hor.	1	1,50	3,34	5,01	+	3,40	0,00	0,00	0,00	0,310	0,00	20	1,00	0,00	0,05	0,00	0,00	0,052	2

Rezultati proračuna

Phi V,inf (W)	7	Phi T,i (W)	359
Phi V,min (W)	11	Phi V,i (W)	148
Phi V,mech,inf	0	Phi V,mech (W)	89
Phi V,su (W)	0	Phi (W)	767
Phi RH (W)	260	Phi/A (W/m ²)	47
Phi/V (W/m ³)	14		

Kat 1	Prostorija:	P7 Ured	
Duljina (m)	4,17	T (m)	5,00
Širina (m)	3,97	Gw	1,00
Površina (m ²)	16,55	f g1	1,45
Visina (m)	3,34	Broj otvora	2
Volumen (m ³)	55,29	e i	0,03
Oplošje (m ²)	87,49	f vi	0,55
Visina iznad tla (m)	0,20	V ex (m ³ /h)	0,00
Theta int, i (°C)	22	V su (m ³ /h)	0,00
Theta e (°C)	- 18	V su,i (m ³ /h)	0,00
f RH	16,00	n min (1/h)	0,40

Korekcijski faktor - fh,i				1,00																	
OZ	Stijena prema	SS	Br	Duž. (m)	V/Š (m)	A (m ²)	O	A' (m ²)	P	B'	Z	U	Ueq	Theta u/as (°C)	ek	bu	fij	fg2	TM	H T,i (W/K)	Phi T,i (W)
P2	zemlji (pod)	hor.	1	4,17	3,97	16,55	+	16,55	8,14	4,07	0,00	0,300	0,17	- 18	1,00	0,00	0,00	0,30	0,00	1,224	49
VZ F3	okolici	hor.	1	4,35	3,34	14,53	+	14,53	0,00	0,00	0,00	0,290	0,00	- 18	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	4,214	168
PR1	okolici	hor.	2	1,03	1,73	1,78	-	3,56	0,00	0,00	0,00	0,600	0,00	- 18	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,136	85
VZ F7	okolici	hor.	1	4,71	3,34	15,73	+	12,17	0,00	0,00	0,00	0,210	0,00	- 18	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,556	102
SK 2*	grijanoj prostoriji	hor.	1	4,17	3,97	16,55	+	16,55	0,00	0,00	0,00	0,260	0,00	20	1,00	0,00	0,05	0,00	0,00	0,215	8
UVR	grijanoj prostoriji	hor.	1	0,81	1,99	1,61	-	1,61	0,00	0,00	0,00	1,300	0,00	20	1,00	0,00	0,05	0,00	0,00	0,105	4

Rezultati proračuna

Phi V,inf (W)	7	Phi T,i (W)	417
Phi V,min (W)	22	Phi V,i (W)	301
Phi V,mech,inf	0	Phi V,mech (W)	90
Phi V,su (W)	0	Phi (W)	982
Phi RH (W)	265	Phi/A (W/m ²)	59
Phi/V (W/m ³)	17		

Kat 1	Prostorija:	P8 Predprostor WC-a	
Duljina (m)	2,57	T (m)	5,00
Širina (m)	1,64	Gw	1,00
Površina (m ²)	4,21	f g1	1,45
Visina (m)	3,00	Broj otvora	0
Volumen (m ³)	12,64	e i	0,00
Oplošje (m ²)	33,69	f vi	1,00
Visina iznad tla (m)	0,20	V ex (m ³ /h)	0,00
Theta int, i (°C)	22	V su (m ³ /h)	0,00
Theta e (°C)	- 18	V su,i (m ³ /h)	0,00
f RH	16,00	n min (1/h)	0,50
Korekcijski faktor - fh,i	1,00		

OZ	Stijena prema	SS	Br	Duž. (m)	V/Š (m)	A (m ²)	O	A' (m ²)	P	B'	Z	U	Ueq	Theta u/as (°C)	ek	bu	fij	fg2	TM	H T,i (W/K)	Phi T,i (W)
P2	zemlji (pod)	hor.	1	2,57	1,64	4,21	+	4,21	0,00	0,00	0,00	0,300	0,00	- 18	1,00	0,00	0,00	0,30	0,00	0,000	0
UVR	grijanoj prostoriji	hor.	1	0,91	1,95	1,77	-	1,77	0,00	0,00	0,00	1,300	0,00	20	1,00	0,00	0,05	0,00	0,00	0,115	4
UZ2	okolici	hor.	1	1,85	3,00	5,55	+	3,78	0,00	0,00	0,00	0,300	0,00	- 18	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,151	46

Rezultati proračuna

Phi V,inf (W)	0	Phi T,i (W)	50
Phi V,min (W)	6	Phi V,i (W)	86
Phi V,mech,inf	0	Phi V,mech (W)	0
Phi V,su (W)	0	Phi (W)	203
Phi RH (W)	67	Phi/A (W/m ²)	48
Phi/V (W/m ³)	16		

Kat 1		Prostorija:		P9 WC invalidi																	
Duljina (m)		1,50		T (m)		5,00															
Širina (m)		2,25		Gw		1,00															
Površina (m ²)		3,38		f g1		1,45															
Visina (m)		3,00		Broj otvora		0															
Volumen (m ³)		10,13		e i		0,00															
Oplošje (m ²)		29,25		f vi		1,00															
Visina iznad tla (m)		0,20		V ex (m ³ /h)		0,00															
Theta int, i (°C)		22		V su (m ³ /h)		0,00															
Theta e (°C)		- 18		V su,i (m ³ /h)		0,00															
f RH		16,00		n min (1/h)		1,50															
Korekcijski faktor - fh,i		1,00																			
OZ	Stijena prema	SS	Br	Duž. (m)	V/Š (m)	A (m ²)	O	A' (m ²)	P	B'	Z	U	Ueq	Theta u/as (°C)	ek	bu	fij	fg2	TM	H T,i (W/K)	Phi T,i (W)
P2	zemlji (pod)	hor.	1	1,50	2,25	3,38	+	3,38	0,00	0,00	0,00	0,300	0,00	- 18	1,00	0,00	0,00	0,30	0,00	0,000	0
UZ2	grijanoj prostoriji	hor.	1	2,25	3,00	6,75	+	6,75	0,00	0,00	0,00	0,300	0,00	20	1,00	0,00	0,05	0,00	0,00	0,103	4
UZ2	grijanoj	hor.	1	1,50	3,00	4,50	+	4,50	0,00	0,00	0,00	0,300	0,00	20	1,00	0,00	0,05	0,00	0,00	0,069	2

Duljina (m)	8,00	T (m)	5,00
Širina (m)	2,60	Gw	1,00
Površina (m ²)	20,80	f g1	1,45
Visina (m)	2,92	Broj otvora	1
Volumen (m ³)	60,74	e i	0,02
Oplošje (m ²)	103,50	f vi	0,53
Visina iznad tla (m)	3,12	V ex (m ³ /h)	0,00
Theta int, i (°C)	20	V su (m ³ /h)	0,00
Theta e (°C)	- 18	V su,i (m ³ /h)	0,00
f RH	16,00	n min (1/h)	1,00
Korekcijski faktor - fh,i	1,00		

OZ	Stijena prema	SS	Br	Duž. (m)	V/Š (m)	A (m ²)	O	A' (m ²)	P	B'	Z	U	Ueq	Theta u/as (°C)	ek	bu	fij	fg2	TM	H T,i (W/K)	Phi T,i (W)
SK 3	negrijanoj prostoriji	hor.	1	8,00	3,12	24,96	+	24,96	0,00	0,00	0,00	0,220	0,00	- 7	1,00	0,71	0,00	0,00	0,00	3,902	148
PR1	okolici	hor.	1	2,60	2,60	6,76	-	6,76	0,00	0,00	0,00	0,600	0,00	- 18	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	4,056	154
VZ F5	okolici	hor.	1	2,88	2,60	7,49	+	0,73	0,00	0,00	0,00	0,200	0,00	- 18	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,146	5
VZ F4	okolici	hor.	1	2,88	2,60	7,49	+	7,49	0,00	0,00	0,00	0,280	0,00	- 18	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,097	79

Rezultati proračuna

Phi V,inf (W)	5	Phi T,i (W)	387
Phi V,min (W)	61	Phi V,i (W)	785
Phi V,mech,inf	0	Phi V,mech (W)	63
Phi V,su (W)	0	Phi (W)	1504
Phi RH (W)	333	Phi/A (W/m ²)	72
Phi/V (W/m ³)	24		

Kat 2	Prostorija:	P2 Izložbeni prostor	
Duljina (m)	9,36	T (m)	5,00
Širina (m)	8,54	Gw	1,00
Površina (m ²)	79,93	f g1	1,45
Visina (m)	2,92	Broj otvora	2
Volumen (m ³)	233,41	e i	0,03

Oplošje (m ²)	264,40	f vi	0,53
Visina iznad tla (m)	3,12	V ex (m ³ /h)	0,00
Theta int, i (°C)	20	V su (m ³ /h)	0,00
Theta e (°C)	- 18	V su,i (m ³ /h)	0,00
f RH	16,00	n min (1/h)	0,20
Korekcijski faktor - fh,i	1,00		

OZ	Stijena prema	SS	Br	Duž. (m)	V/Š (m)	A (m ²)	O	A' (m ²)	P	B'	Z	U	Ueq	Theta u/as (°C)	ek	bu	fij	fg2	TM	H T,i (W/K)	Phi T,i (W)
SK 3	negrijanoj prostoriji	hor.	1	9,36	8,54	79,93	+	79,93	0,00	0,00	0,00	0,220	0,00	- 7	1,00	0,71	0,00	0,00	0,00	12,494	474
PR1	okolici	hor.	1	1,50	1,40	2,10	-	2,10	0,00	0,00	0,00	0,600	0,00	- 18	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,260	47
VZ F6	okolici	hor.	1	10,04	2,92	29,32	+	27,22	0,00	0,00	0,00	0,270	0,00	- 18	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	7,349	279
PR1	okolici	hor.	1	1,50	1,40	2,10	-	2,10	0,00	0,00	0,00	0,600	0,00	- 18	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,260	47
VZ F6	okolici	hor.	1	9,36	2,92	27,33	+	25,23	0,00	0,00	0,00	0,270	0,00	- 18	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	6,812	258
VZ F4	okolici	hor.	1	9,13	2,92	26,66	+	26,66	0,00	0,00	0,00	0,280	0,00	- 18	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	7,465	283
SK 2*	grijanoj prostoriji	hor.	1	3,24	1,40	4,54	+	4,54	0,00	0,00	0,00	0,260	0,00	19	1,00	0,00	0,03	0,00	0,00	0,031	1

Rezultati proračuna

Phi V,inf (W)	28	Phi T,i (W)	1393
Phi V,min (W)	47	Phi V,i (W)	603
Phi V,mech,inf	0	Phi V,mech (W)	362
Phi V,su (W)	0	Phi (W)	3274
Phi RH (W)	1279	Phi/A (W/m ²)	41
Phi/V (W/m ³)	14		

Kat 2	Prostorija:	P3 Višenamjenska dvorana za mlade	
Duljina (m)	8,00	T (m)	5,00
Širina (m)	11,00	Gw	1,00
Površina (m ²)	88,00	f g1	1,45
Visina (m)	2,92	Broj otvora	3
Volumen (m ³)	256,96	e i	0,03
Oplošje (m ²)	286,96	f vi	0,53

Visina iznad tla (m)	3,12	V ex (m ³ /h)	0,00
Theta int, i (°C)	20	V su (m ³ /h)	0,00
Theta e (°C)	- 18	V su,i (m ³ /h)	0,00
f RH	16,00	n min (1/h)	0,20

Korekcijski faktor - fh,i

1,00

OZ	Stijena prema	SS	Br	Duž. (m)	V/Š (m)	A (m ²)	O	A' (m ²)	P	B'	Z	U	Ueq	Theta u/as (°C)	ek	bu	fij	fg2	TM	H T,i (W/K)	Phi T,i (W)
SK 3	grijanoj prostoriji	hor.	1	8,00	11,00	88,00	+	88,00	0,00	0,00	0,00	0,220	0,00	- 7	1,00	0,00	0,71	0,00	0,00	13,756	522
PR2	okolici	hor.	1	7,50	2,92	21,90	-	21,90	0,00	0,00	0,00	0,800	0,00	- 18	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	17,520	665
VZ F6	okolici	hor.	1	8,50	2,92	24,82	+	2,92	0,00	0,00	0,00	0,270	0,00	- 18	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,788	30
VZ F4	okolici	hor.	1	11,13	2,92	32,50	+	32,50	0,00	0,00	0,00	0,280	0,00	- 18	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	9,100	345
VZ F5	okolici	hor.	1	11,13	2,92	32,50	+	32,50	0,00	0,00	0,00	0,200	0,00	- 18	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	6,500	247

Rezultati proračuna

Phi V,inf (W)	31	Phi T,i (W)	1811
Phi V,min (W)	51	Phi V,i (W)	664
Phi V,mech,inf	0	Phi V,mech (W)	398
Phi V,su (W)	0	Phi (W)	3883
Phi RH (W)	1408	Phi/A (W/m ²)	44
Phi/V (W/m ³)	15		

Prilog II. – Proračun podnog grijanja

Projekt: Zgrada kulturnog centra

Podno grijanje

G1-Instalacija grijanja \ Ulaz na Kat 1 (1.1)

REHAU-razdjeljivač s mjerачem protoka HKV-D 08 (1.1).1

Temperatura polazne vode	38,0	(°C)
Temperatura povratne vode	25,8	(°C)
Broj priključaka	8	
Uk. površina petlji	88,0	(m ²)
Uk. duljina cijevi	580,8	(m)
Instalirani učin	3776	(W)
Uk. instalirani učin	4312	(W)
Uk. volumen medija	77,09	(l)
Uk. protok	304,00	(kg/h)
	1,33	(kPa)

P	Tip	Obloga	D (mm)	RlA (m ² K/W)	A (m ²)	T (mm)	tp (°C)	q (W/m ²)	Δt (°C)	l (m)	ld (m)	Qi(k) (W)	Quk (W)	m (kg/h)	w (m/s)	Δp (kPa)	Poz. vent.
---	-----	--------	-----------	-----------------------------	------------------------	-----------	------------	--------------------------	------------	----------	-----------	--------------	------------	-------------	------------	-------------	---------------

Kat 1 \ P12 Multimedijaska dvorana

30	B	Laminat	9	0,053	11,0	150	24,2	42,9	12,2	72,6	0,0	472	539	38,0	0,1	0,9	2,50
31	B	Laminat	9	0,053	11,0	150	24,2	42,9	12,2	72,6	0,0	472	539	38,0	0,1	0,9	2,50
32	B	Laminat	9	0,053	11,0	150	24,2	42,9	12,2	72,6	0,0	472	539	38,0	0,1	0,9	2,50
33	B	Laminat	9	0,053	11,0	150	24,2	42,9	12,2	72,6	0,0	472	539	38,0	0,1	0,9	2,50
34	B	Laminat	9	0,053	11,0	150	24,2	42,9	12,2	72,6	0,0	472	539	38,0	0,1	0,9	2,50
35	B	Laminat	9	0,053	11,0	150	24,2	42,9	12,2	72,6	0,0	472	539	38,0	0,1	0,9	2,50
36	B	Laminat	9	0,053	11,0	150	24,2	42,9	12,2	72,6	0,0	472	539	38,0	0,1	0,9	2,50
37	B	Laminat	9	0,053	11,0	150	24,2	42,9	12,2	72,6	0,0	472	539	38,0	0,1	0,9	2,50

REHAU-razdjeljivač s mjeracom protoka HKV-D 02 (1.1).2

Temperatura polazne vode	38,0	(°C)
Temperatura povratne vode	30,5	(°C)
Broj priključaka	2	
Uk. površina petlji	16,3	(m ²)
Uk. duljina cijevi	107,3	(m)
Instalirani učin	768	(W)
Uk. instalirani učin	900	(W)
Uk. volumen medija	14,24	(l)
Uk. protok	103,20	(kg/h)
	1,20	(kPa)

P	Tip	Obloga	D (mm)	RlaB (m ² K/W)	A (m ²)	T (mm)	tp (°C)	q (W/m ²)	Δt (°C)	l (m)	ld (m)	Qi(k) (W)	Quk (W)	m (kg/h)	w (m/s)	Δp (kPa)	Poz. vent.
---	-----	--------	-----------	------------------------------	------------------------	-----------	------------	--------------------------	------------	----------	-----------	--------------	------------	-------------	------------	-------------	---------------

Kat 1 \ P5 Sala za sastanke

63	B	Laminat	9	0,053	8,1	150	26,6	47,2	7,5	53,7	0,0	384	450	51,6	0,1	0,8	2,50
64	B	Laminat	9	0,053	8,1	150	26,6	47,2	7,5	53,7	0,0	384	450	51,6	0,1	0,8	2,50

REHAU-razdjeljivač s mjeracom protoka HKV-D 08 (2.1).1

Temperatura polazne vode	38,0	(°C)
Temperatura povratne vode	25,2	(°C)
Broj priključaka	8	
Uk. površina petlji	79,9	(m ²)
Uk. duljina cijevi	527,5	(m)
Instalirani učin	3280	(W)
Uk. instalirani učin	3736	(W)
Uk. volumen medija	70,01	(l)
Uk. protok	251,20	(kg/h)
	0,89	(kPa)

P	Tip	Obloga	D (mm)	R _{laB} (m ² K/W)	A (m ²)	T (mm)	tp (°C)	q (W/m ²)	Δt (°C)	I (m)	Id (m)	Qi(k) (W)	Quk (W)	m (kg/h)	w (m/s)	Δp (kPa)	Poz. vent.
Kat 2 \ P2 Izložbeni prostor																	
38	B	Laminat	9	0,053	10,0	150	24,0	41,1	12,8	65,9	0,0	410	467	31,4	0,1	0,6	2,50
39	B	Laminat	9	0,053	10,0	150	24,0	41,1	12,8	65,9	0,0	410	467	31,4	0,1	0,6	2,50
40	B	Laminat	9	0,053	10,0	150	24,0	41,1	12,8	65,9	0,0	410	467	31,4	0,1	0,6	2,50
41	B	Laminat	9	0,053	10,0	150	24,0	41,1	12,8	65,9	0,0	410	467	31,4	0,1	0,6	2,50
42	B	Laminat	9	0,053	10,0	150	24,0	41,1	12,8	65,9	0,0	410	467	31,4	0,1	0,6	2,50
43	B	Laminat	9	0,053	10,0	150	24,0	41,1	12,8	65,9	0,0	410	467	31,4	0,1	0,6	2,50
44	B	Laminat	9	0,053	10,0	150	24,0	41,1	12,8	65,9	0,0	410	467	31,4	0,1	0,6	2,50
45	B	Laminat	9	0,053	10,0	150	24,0	41,1	12,8	65,9	0,0	410	467	31,4	0,1	0,6	2,50

REHAU-razdjeljivač s mjeracom protoka HKV-D 08 (2.1).2

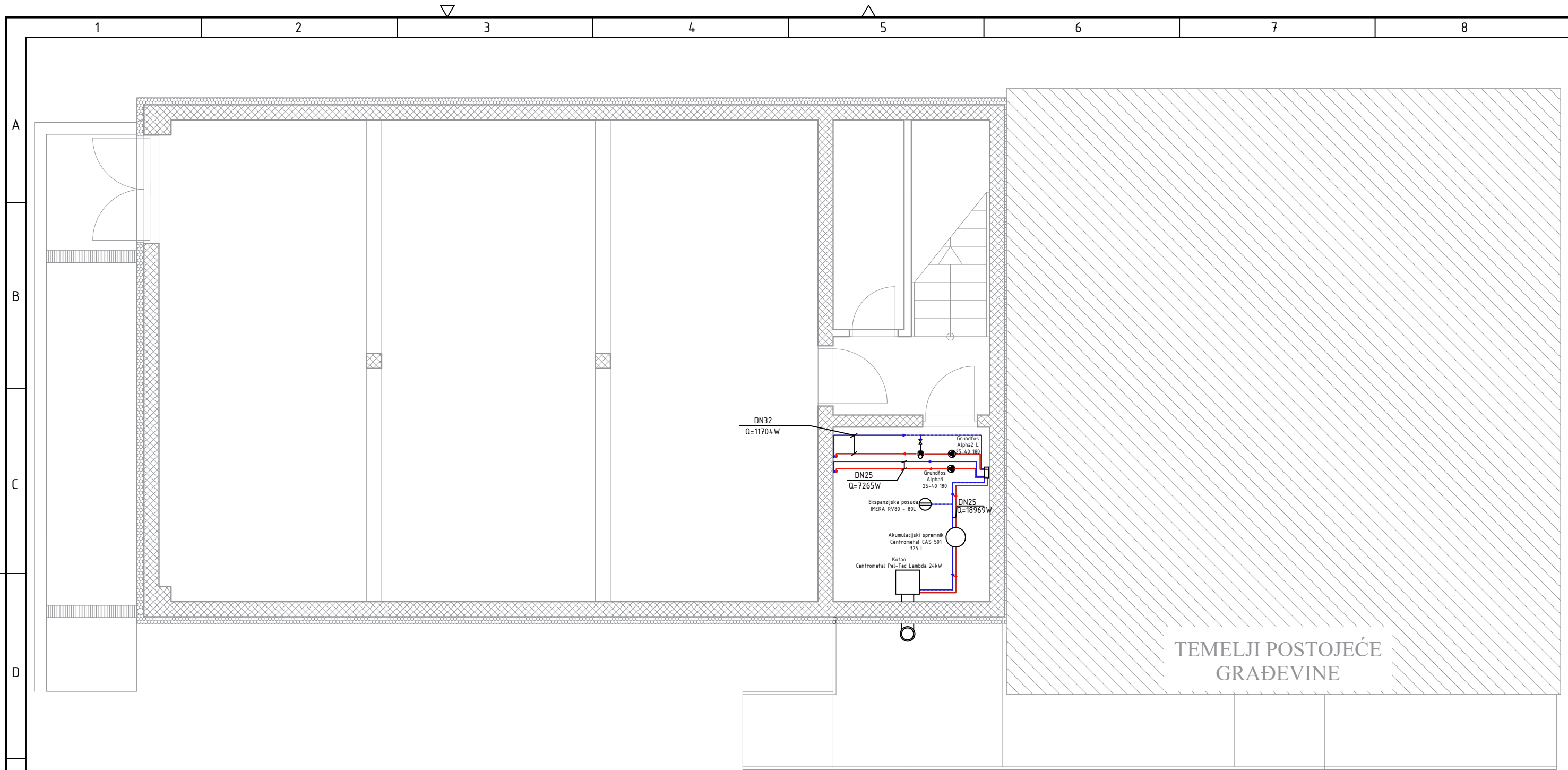
Temperatura polazne vode	38,0	(°C)
Temperatura povratne vode	26,2	(°C)
Broj priključaka	8	
Uk. površina petlji	88,0	(m ²)
Uk. duljina cijevi	580,8	(m)
Instalirani učin	3880	(W)
Uk. instalirani učin	4424	(W)
Uk. volumen medija	77,09	(l)
Uk. protok	322,40	(kg/h)
	1,38	(kPa)

P	Tip	Obloga	D (mm)	R _{laB} (m ² K/W)	A (m ²)	T (mm)	tp (°C)	q (W/m ²)	Δt (°C)	I (m)	Id (m)	Qi(k) (W)	Quk (W)	m (kg/h)	w (m/s)	Δp (kPa)	Poz. vent.
---	-----	--------	-----------	--	------------------------	-----------	------------	--------------------------	------------	----------	-----------	--------------	------------	-------------	------------	-------------	---------------

Kat 2 \ P3 Višenamjenska dvorana za mlade

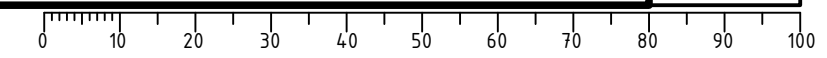
55	B	Laminat	9	0,053	11,0	150	24,3	44,1	11,8	72,6	0,0	485	553	40,3	0,1	0,9	2,50
56	B	Laminat	9	0,053	11,0	150	24,3	44,1	11,8	72,6	0,0	485	553	40,3	0,1	0,9	2,50
57	B	Laminat	9	0,053	11,0	150	24,3	44,1	11,8	72,6	0,0	485	553	40,3	0,1	0,9	2,50
58	B	Laminat	9	0,053	11,0	150	24,3	44,1	11,8	72,6	0,0	485	553	40,3	0,1	0,9	2,50
59	B	Laminat	9	0,053	11,0	150	24,3	44,1	11,8	72,6	0,0	485	553	40,3	0,1	0,9	2,50
60	B	Laminat	9	0,053	11,0	150	24,3	44,1	11,8	72,6	0,0	485	553	40,3	0,1	0,9	2,50
61	B	Laminat	9	0,053	11,0	150	24,3	44,1	11,8	72,6	0,0	485	553	40,3	0,1	0,9	2,50
62	B	Laminat	9	0,053	11,0	150	24,3	44,1	11,8	72,6	0,0	485	553	40,3	0,1	0,9	2,50

Prilog III. – Tehnička dokumentacija

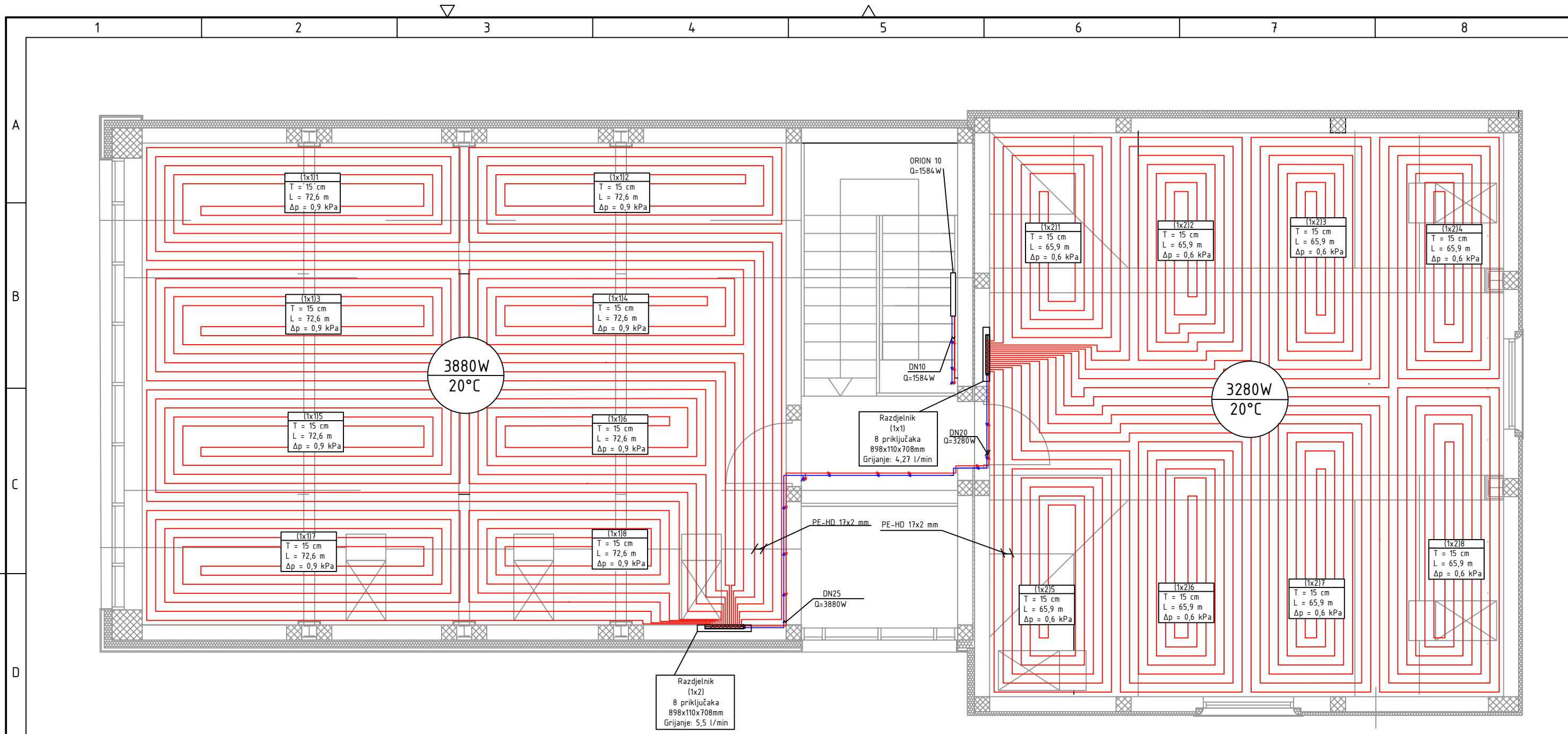


TEMELJI POSTOJEĆE
GRADEVINE

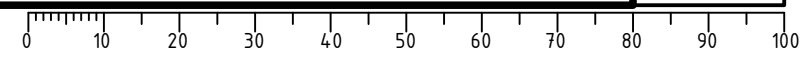
Projektirao	Datum	Ime i prezime	Potpis	
Razradio	17.09.2022.	Teo Slivar		
Crtao	17.09.2022.	Teo Slivar		
Pregledao				
Objekt:		Objekt broj:		
		R. N. broj:		
Napomena:				Kopija
Materijal:		Masa:		
	Naziv:		Pozicija:	Format: A3 Listova: 1 List: 1
Mjerilo originala	Raspored kotla i ostalih elemenata za sustav grijanja u strojarnici			
1:100	Crtež broj:			



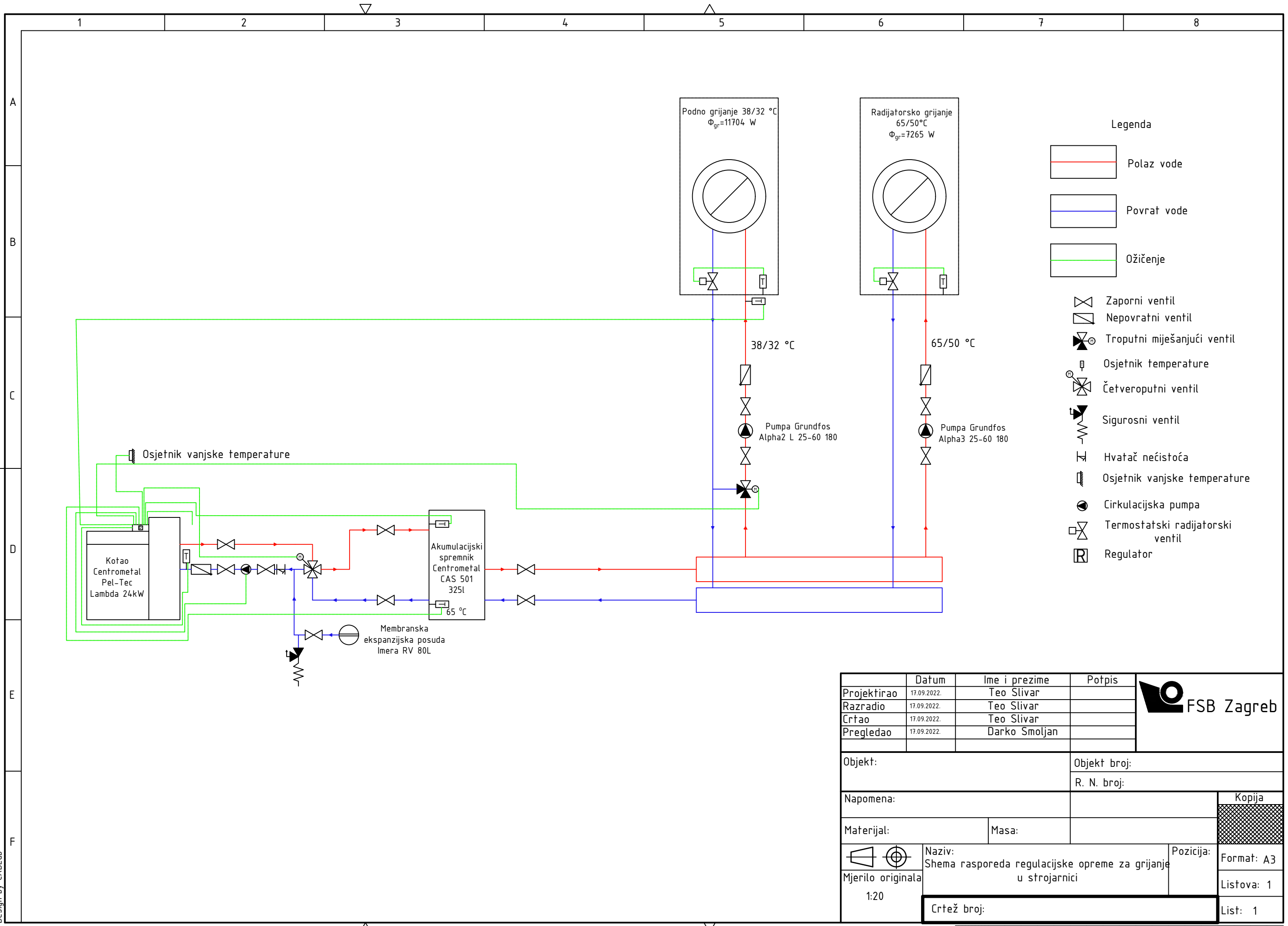
Design by CADLab



Projektirao	Datum	Ime i prezime	Potpis	
Razradio	17.09.2022.	Teo Slivar		
Crtao	17.09.2022.	Teo Slivar		
Pregledao	17.09.2022.	Darko Smoljan		
Objekt:		Objekt broj:		
Napomena:		R. N. broj:		
Materijal:		Masa:		
 Mjerilo originala 1:100		Naziv: Raspored ogrjevnih tijela i cijevnog razvoda u potkrovlju		Pozicija: Format: A3 Listova: 1 List: 1
		Crtež broj:		

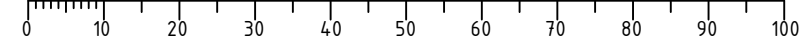


Design by CADLab

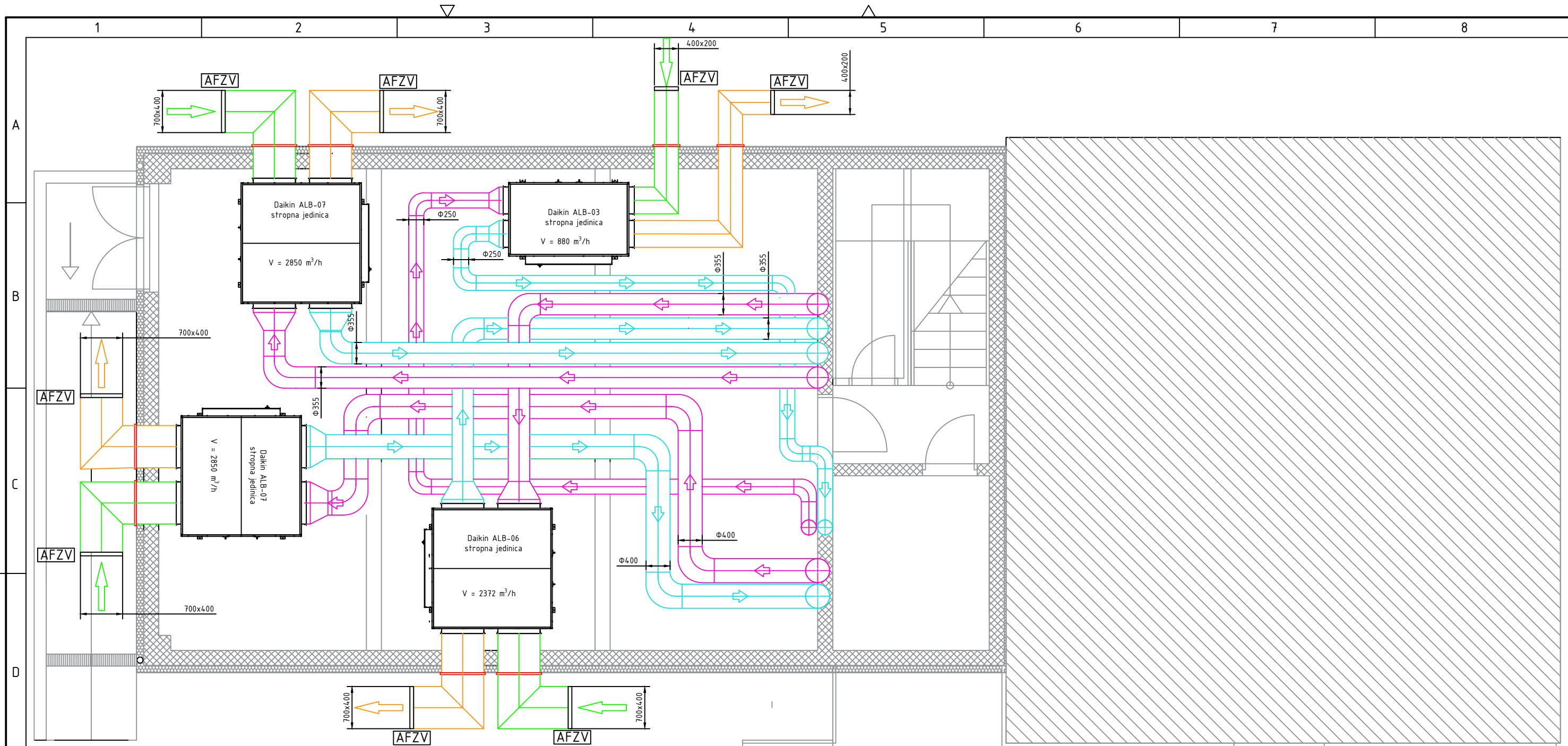


- Legenda**
- Polaz vode
 - Povrat vode
 - Ožičenje
 - Zaporni ventil
 - Nepovratni ventil
 - Troputni miješajući ventil
 - Osjetnik temperature
 - Četveroputni ventil
 - Sigurnosni ventil
 - Hvatač nečistoća
 - Osjetnik vanjske temperature
 - Cirkulacijska pumpa
 - Termostatski radijatorski ventil
 - Regulator

	Datum	Ime i prezime	Potpis	FSB Zagreb
Projektirao	17.09.2022.	Teo Slivar		
Razradio	17.09.2022.	Teo Slivar		
Crtao	17.09.2022.	Teo Slivar		
Pregledao	17.09.2022.	Darko Smoljan		
Objekt:		Objekt broj:		
		R. N. broj:		
Napomena:				Kopija
Materijal:		Masa:		
	Naziv: Shema rasporeda regulacijske opreme za grijanje u strojarnici		Pozicija:	Format: A3
Mjerilo originala 1:20				Listova: 1
Crtež broj:				List: 1



Design by CADLab



Legenda

- Dobavni zrak
- Povratni zrak
- Svježi zrak
- Otpadni zrak
- AFZV Vanjske aluminijske žaluzine

	Datum	Ime i prezime	Potpis
Projektirao	17.09.2022.	Teo Slivar	
Razradio	17.09.2022.	Teo Slivar	
Crtao	17.09.2022.	Teo Slivar	
Pregledao	17.09.2022.	Darko Smoljan	



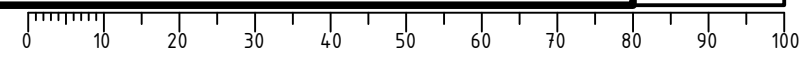
Objekt:	Objekt broj:
	R. N. broj:

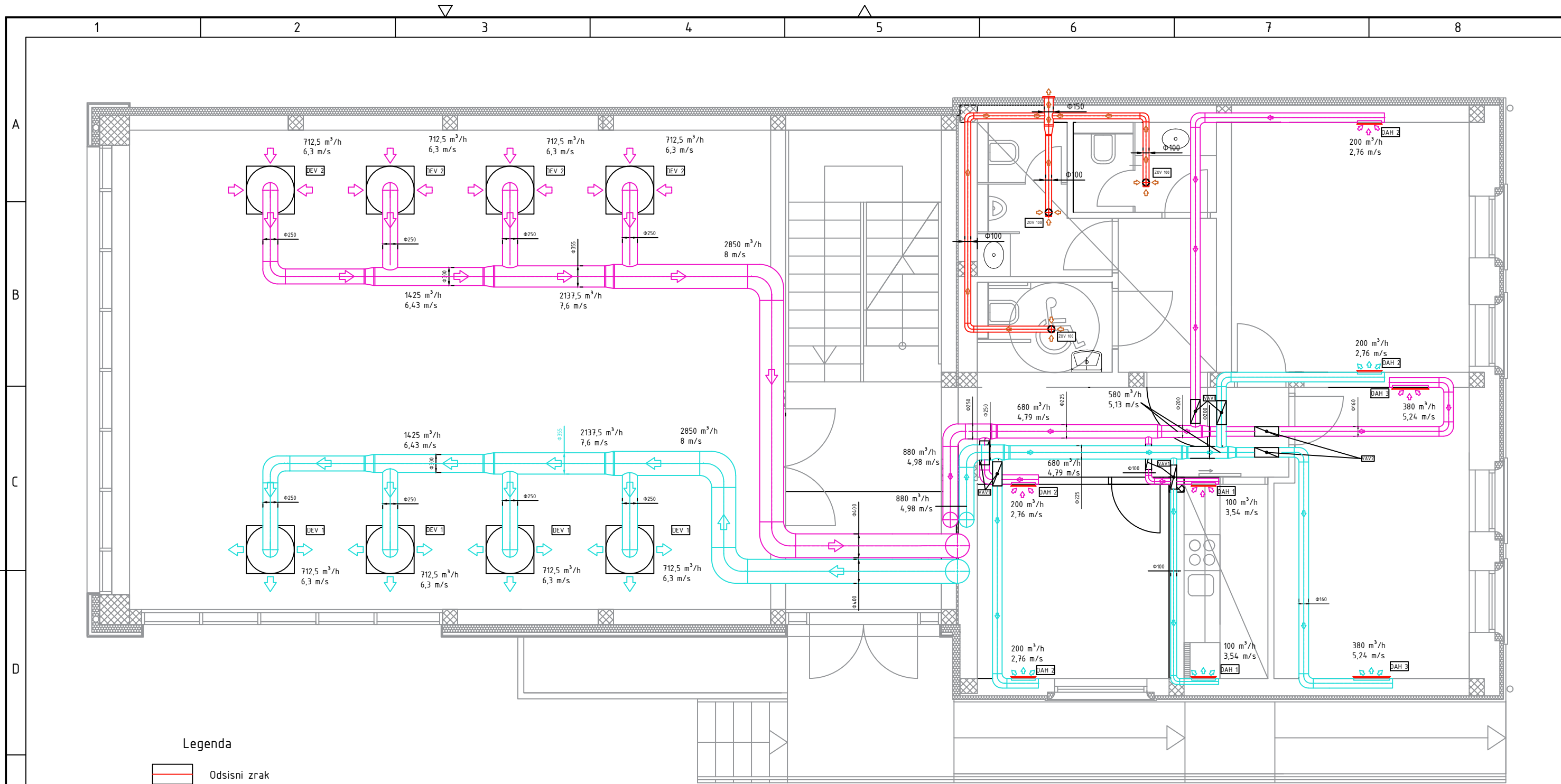
Napomena:	Kopija
-----------	--------

Materijal:	Masa:	
------------	-------	--

	Naziv:	Pozicija:	Format:
	Raspored kanala i stropnih jedinica u spremištu suferena		Listova:

Crtež broj:	List:
-------------	-------

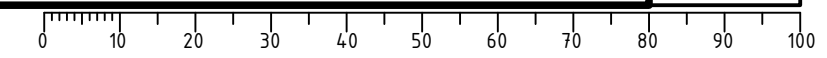


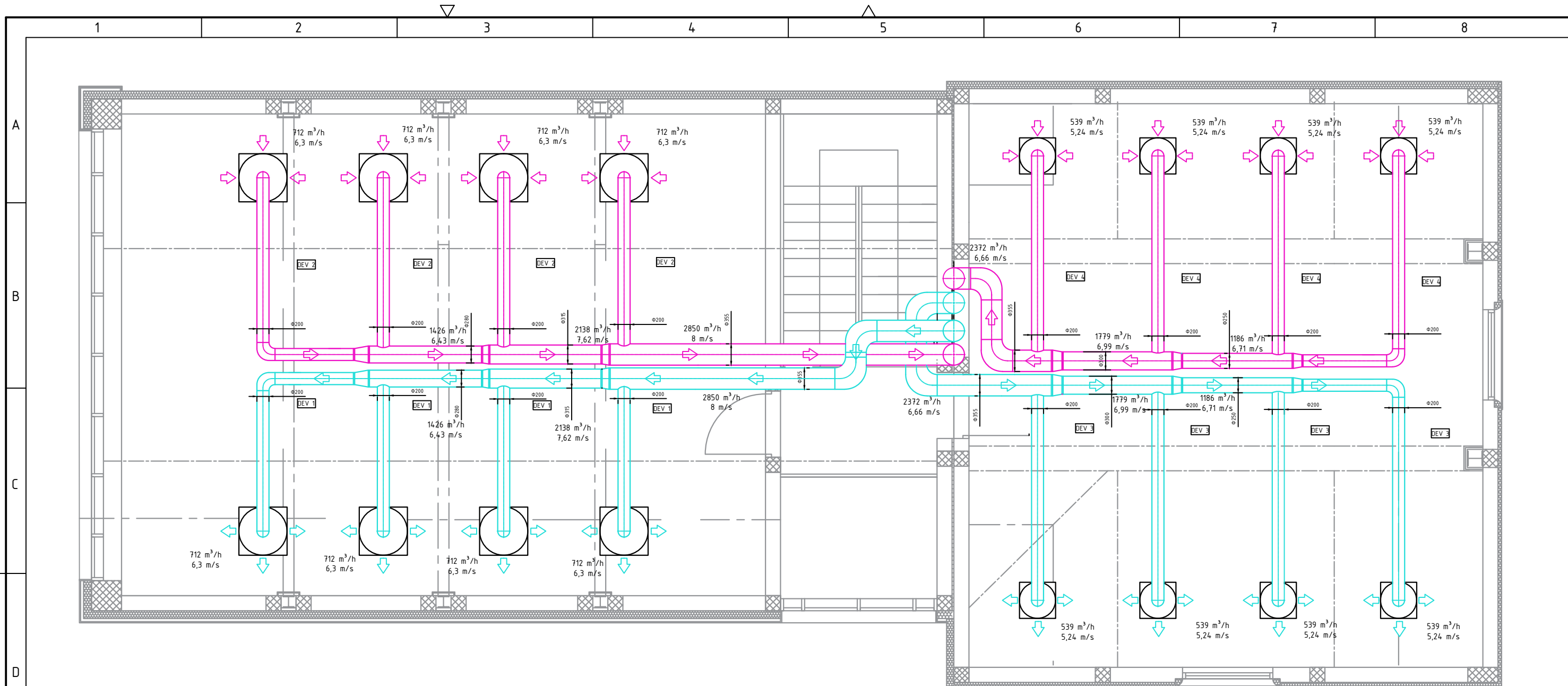


Legenda

- Odsisni zrak
- Dobavni zrak
- Povratni zrak
- DEV 1 DEV-K-800/72-B-A-V-248-RAL
V=712,5 m³/h
- DEV 2 DEV-K-800/72-B-B-V-248-RAL
V=712,5 m³/h
- DAH 1 OAH-1-425x125 PK2-425x125
V=100 m³/h
- DAH 2 OAH-1-425x125 PK2-425x125
V=200 m³/h
- DAH 3 OAH-1-625x125 PK2-625x125
V=380 m³/h
- VAV 1 RVP-C-100-MP-37/343-P
- VAV 2 RVP-C-160-MP-90/900-P

Projektirao	Datum	Ime i prezime	Potpis	
Razradio	17.09.2022.	Teo Slivar		
Crtao	17.09.2022.	Teo Slivar		
Pregledao	17.09.2022.	Darko Smoljan		
Objekt:			Objekt broj:	
			R. N. broj:	
Napomena:				Kopija
Materijal:		Masa:		Format: A3
Mjerilo originala		Naziv:		Listova: 1
1:100		Raspored kanala i distributera zraka u potkrovlju		List: 1
Crtež broj:				

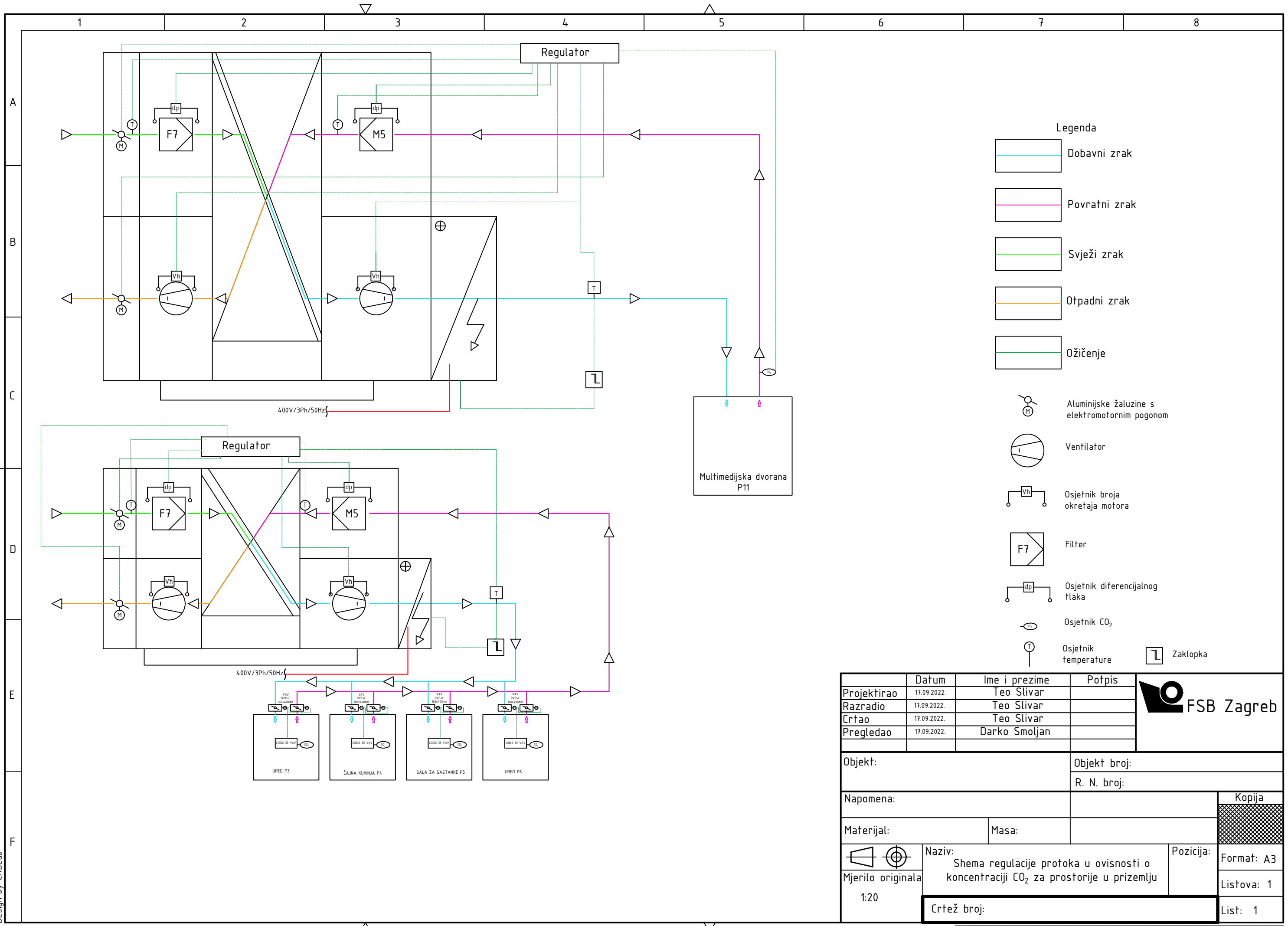




Legenda

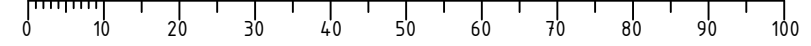
- Dobavni zrak
- Povratni zrak
- DEV 1 DEV-K-800/72-B-A-V-198-RAL
V=712 m³/h
- DEV 2 DEV-K-800/72-B-B-V-198-RAL
V=712 m³/h
- DEV 3 DEV-K-600/54-B-A-V-198-RAL
V=539 m³/h
- DEV 4 DEV-K-600/54-B-B-V-198-RAL
V=539 m³/h

	Datum	Ime i prezime	Potpis	FSB Zagreb
Projektirao	17.09.2022.	Teo Slivar		
Razradio	17.09.2022.	Teo Slivar		
Crtao	17.09.2022.	Teo Slivar		
Pregledao	17.09.2022.	Darko Smoljan		
Objekt:		Objekt broj:		
		R. N. broj:		
Napomena:				Kopija
Materijal:		Masa:		
 Mjerilo originala	Naziv: Raspored kanala, distributera zraka i rešetki u potkrovlju		Pozicija: Format: A3 Listova: 1	
1:100	Crtež broj:		List: 1	

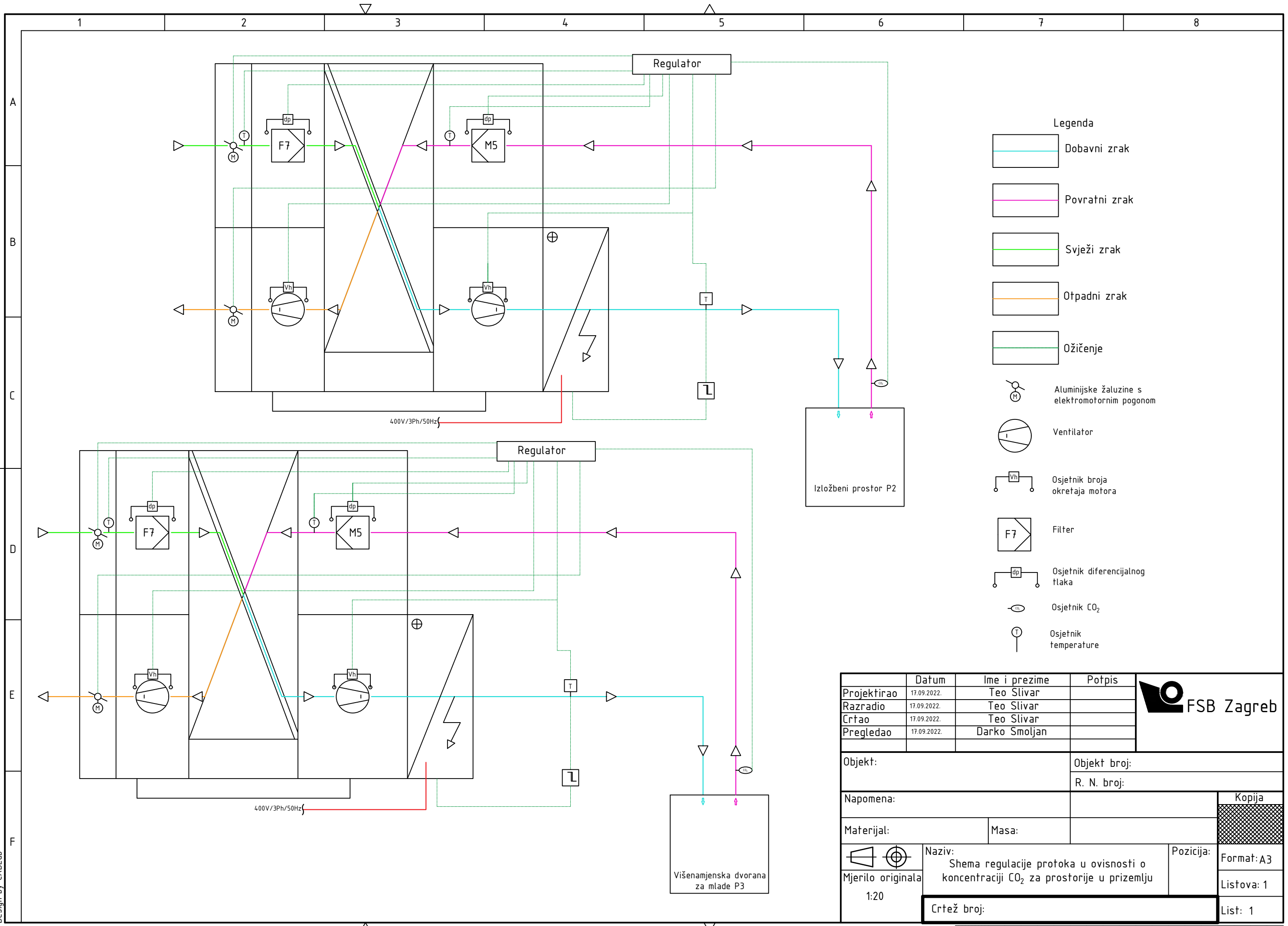


- Legenda**
- Dobavni zrak
 - Povratni zrak
 - Svježi zrak
 - Otpadni zrak
 - Ožičenje
 - Aluminijske žaluzine s elektromotornim pogonom
 - Ventilator
 - Osjetnik broja okretaja motora
 - Filter
 - Osjetnik diferencijalnog tlaka
 - Osjetnik CO₂
 - Osjetnik temperature
 - Zaklopka

Projektirao	Datum	Ime i prezime	Potpis	
Razradio	17.09.2022.	Teo Slivar		
Crtao	17.09.2022.	Teo Slivar		
Pregledao	17.09.2022.	Darko Smoljan		
Objekt:		Objekt broj:		
Napomena:		R. N. broj:		
Materijal:		Masa:		Kopija
Naziv: Shema regulacije protoka u ovisnosti o koncentraciji CO ₂ za prostorije u prizemlju		Pozicija:		Format: A3
				Listova: 1
Mjerilo originala: 1:20		Crtež broj:		List: 1

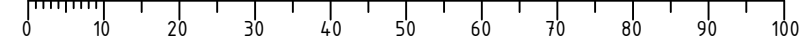


Design by CADLab



- Legenda**
- Dobavni zrak
 - Povratni zrak
 - Svježi zrak
 - Otpadni zrak
 - Ožičenje
 - Alumijske žaluzine s elektromotornim pogonom
 - Ventilator
 - Osjetnik broja okretaja motora
 - Filter
 - Osjetnik diferencijalnog tlaka
 - Osjetnik CO₂
 - Osjetnik temperature

	Datum	Ime i prezime	Potpis	FSB Zagreb
Projektirao	17.09.2022.	Teo Slivar		
Razradio	17.09.2022.	Teo Slivar		
Crtao	17.09.2022.	Teo Slivar		
Pregledao	17.09.2022.	Darko Smoljan		
Objekt:		Objekt broj:		
		R. N. broj:		
Napomena:				Kopija
Materijal:		Masa:		
	Naziv:		Pozicija:	Format: A3
Mjerilo originala	1:20		Schema regulacije protoka u ovisnosti o koncentraciji CO ₂ za prostorije u prizemlju	Listova: 1
Crtež broj:			List: 1	



Design by CADLab