

# Projekt sustava grijanja i ventilacije zatvorenog bazena

---

**Maršić, Ivan**

**Master's thesis / Diplomski rad**

**2017**

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

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:235:042221>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-07-21**

*Repository / Repozitorij:*

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



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

# **DIPLOMSKI RAD**

**Ivan Maršić**

Zagreb, 2017.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

# **DIPLOMSKI RAD**

Mentori:

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

Student:

Ivan Maršić

Zagreb, 2017.

## IZJAVA

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

Zahvaljujem se svome mentoru prof. dr. sc. Igoru Balenu na stručnim savjetima te podršci prilikom izrade rada.

Ivan Maršić



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
**FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE**



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

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

## DIPLOMSKI ZADATAK

Student: **Ivan Maršić** Mat. br.: 0035181633

Naslov rada na hrvatskom jeziku: **Projekt sustava grijanja i ventilacije zatvorenog bazena**

Naslov rada na engleskom jeziku: **Design of heating and ventilation system for indoor swimming pool**

Opis zadatka:

U ovom radu, potrebno je projektirati sustav grijanja i ventilacije za potrebe dijela sportske dvorane s dva bazena za rekreativnu i sportsku namjenu, ukupne korisne površine oko 2700 m<sup>2</sup>, prema zadanoj arhitektonskoj podlozi.

Izvor topline za zgradu je toplinska podstanica s priključkom na gradsku vrelovodnu mrežu. Za potrebe prostora bazena u svrhu odmagljivanja i ventilacije predvidjeti sustav u skladu sa zahtjevima u normi DIN 1946 i u smjernici VDI 2089. Za potrebe grijanja prostora bazena predvidjeti sustav podnog grijanja i toplozračnog grijanja, a za potrebe zagrijavanja bazenske vode predvidjeti sustav sa solarnim kolektorima i dogrijavanjem pomoću toplinske podstanice. Pripremu potrošne tople vode za tuševe predvidjeti kao akumulacijski sustav.

Zgrada se nalazi na području grada Zagreba.

Na raspolaganju su energetske izvori:

- priključak na gradsku vrelovodnu mrežu 120/70°C
- elektro-priključak 220/380V; 50Hz
- vodovodni priključak tlaka 5 bar

Rad treba sadržavati:

- analizu sustava grijanja i ventilacije zatvorenih plivačkih bazena s osnovnim shemama,
- toplinsku bilancu za zimsko razdoblje,
- tehnički opis funkcije termotehničkog postrojenja,
- tehničke proračune koji definiraju izbor opreme,
- funkcionalnu shemu spajanja i shemu automatske regulacije,
- crteže kojima se definira raspored i montaža opreme.

U radu navesti korištenu literaturu i eventualno dobivenu pomoć.

Zadatak zadan:

Datum predaje rada:

Predvideni datum obrane:


28. rujna 2017.

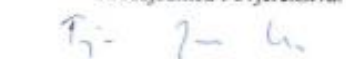
30. studenog 2017.

6., 7. i 8. prosinca 2017.

Zadatak zadao:

Predsjednica Povjerenstva:

  
 Prof. dr. sc. Igor Balen

  
 Prof. dr. sc. Tanja Jurčević Lulić

## SADRŽAJ

SADRŽAJ .....	5
POPIS SLIKA .....	7
POPIS TABLICA .....	9
POPIS TEHNIČKE DOKUMENTACIJE .....	10
SAŽETAK.....	11
SUMMARY .....	12
POPIS OZNAKA .....	13
1. UVOD .....	15
2. PRORAČUN PROJEKTNIH TOPLINSKIH GUBITAKA ZGRADE .....	18
3. PRORAČUN POTREBNE ENERGIJE ZA ZAGRIJAVANJE BAZENSKE VODE .....	20
3.1. TOPLINSKA BILANCA BAZENA .....	21
3.1.1. ISHLAPLJIVANJE VODE .....	22
3.1.2. PROVOĐENJE TOPLINE KROZ OPLOŠJE BAZENA .....	23
3.1.3. DODAVANJE SVJEŽE VODE.....	23
3.2. REKAPITULACIJA TOPLINSKE BILANCE BAZENA .....	24
3.3. PRORAČUN IZMJENJIVAČA TOPLINE BAZENSKE VODE .....	25
3.4. PRORAČUN PUMPE SEKUNDARNOG BAZENSKOG KRUGA .....	27
3.5. PRORAČUN PUMPE PRIMARNOG BAZENSKOG KRUGA.....	27
3.5. PRORAČUN SUNČEVIH KOLEKTORA ZA ZAGRIJAVANJE BAZENSKE VODE .....	28
3.5.1. PRORAČUN PUMPE SOLARNOG KRUGA ZA ZAGRIJAVANJE BAZENSKE VODE...	31
3.5.2. PRORAČUN EKSPANZIJSKE POSUDE SOLARNOG KRUGA ZA ZAGRIJAVANJE BAZENSKE VODE .....	32
4. PRORAČUN POTREBNE ENERGIJE ZA PRIPREMU POTROŠNE TOPLE VODE .....	34
4.1. ODABIR AKUMULACIJSKOG SPREMNIKA .....	34
4.2. ODABIR PUMPE ZA ZAGRIJAVANJE PTV-a .....	36
4.3. PRORAČUN SUNČEVIH KOLEKTORA ZA ZAGRIJAVANJE PTV-a.....	37
4.3.1. ODABIR PUMPE SOLARNOG KRUGA ZA ZAGRIJAVANJE PTV-a .....	39

4.3.2. ODABIR EKSPANZIJSKE POSUDE SOLARNOG KRUGA ZA ZAGRIJAVANJE PTV-a	40
5. DIMENZIONIRANJE PODNOG GRIJANJA .....	41
5.1 REZULTATI PRORAČUNA PODNOG GRIJANJA .....	44
5.2. ODABIR PUMPE PODNOG GRIJANJA .....	44
6. PRORAČUN TOPLOZRAČNOG GRIJANJA .....	46
6.1. ODABIR OTVORA ZA DOBAVU I ODSIS ZRAKA .....	51
6.2. ODABIR REGULATORA VARIJABILNOG PROTOKA.....	52
6.3. DIMENZIONIRANJE KANALA ZA VENTILACIJU .....	53
6.4. ODABIR PUMPE KRUGA TOPLOZRAČNOG GRIJANJA .....	60
7. PRORAČUN KOMPONENATA PRIMARNOG KRUGA .....	61
8. TEHNIČKI OPIS SUSTAVA GRIJANJA .....	63
9. TEHNIČKI OPIS SUSTAVA PRIPREME POTROŠNE TOPLE VODE .....	64
10. TEHNIČKI OPIS SUSTAVA GRIJAVANJA BAZENSKE VODE .....	65
11. ZAKLJUČAK .....	66
LITERATURA.....	68

## POPIS SLIKA

Slika 1. Bazenski prostor.....	20
Slika 2. Karakteristike pumpe sekundarnog bazenskog kruga MAGNA3 80-100 F .....	27
Slika 3. Karakteristike pumpe sekundarnog bazenskog kruga MAGNA3 65-80 F .....	28
Slika 4. Pločasti kolektori auroTHERM VFK 145 V [6] .....	29
Slika 5. Potrebna i dobivena energija od solarnog sustava za zagrijavanje bazenske vode .....	31
Slika 6. Karakteristika pumpe solarnog kruga zagrijavanja bazenske vode MAGNA3 100-40 F .....	32
Slika 7. Ekspanzijska posuda Elbi volumena 3000 litara .....	33
Slika 8. Akumulacijski spremnik " ACV LCA 2CO 5000 hh " [5].....	36
Slika 9. Karakteristika pumpe za potrebe zagrijavanja PTV-a MAGNA3 65-100 F .....	37
Slika 10. Potrebna i dobivena sunčeva energija za potrebe zagrijavanja PTV-a.....	39
Slika 11. Karakteristika pumpe solarnog kruga zagrijavanja PTV-a ALPHA2 15-50 130.....	39
Slika 12. Rehau Tacker mreža [3] .....	41
Slika 13. D2 Tp 30-2 sustav sa dodatnom izolacijom 30 mm [3] .....	42
Slika 14. Rehau Rautherm cijev [3] .....	42
Slika 15. Rehau Tacker igla [3].....	42
Slika 16. Rehau razdjelnik i sabirnik [3] .....	43
Slika 17. Razvodni ormarić Rehau UP [3] .....	43
Slika 18. Karakteristika pumpe podnog grijanja MAGNA3 100-80 F.....	45
Slika 19. Odabrana klimatizacijska komora [4] .....	47
Slika 20. Vrećasti filter F7 .....	49
Slika 21. Regulacijska žaluzina.....	49
Slika 22. Proces pripreme zraka u h,x dijagramu .....	50
Slika 23. Linijski difuzori Menerga za dobavu zraka - TYP III, 3 x 15 mm.....	51
Slika 24. Spojni priključak između kanala za zrak i linijskog difuzora .....	51
Slika 25. Ventilacijska rešetka "ANA - 3- UR“ za dobavu zraka .....	52
Slika 26. Ventilacijska rešetka "OAB 1-0" za odsis zraka .....	52
Slika 27. Regulator varijabilnog protoka Klimaoprema - RVP - C.....	53



Slika 28. Karakteristika pumpe toplozračnog grijanja ..... 60

Slika 29. Karakteristike pumpe TPE 80-250 ..... 62

## POPIS TABLICA

Tablica 1. Koeficijenti prolaza topline .....	18
Tablica 2. Površina i orijentacija građevnih elemenata .....	18
Tablica 3. Toplinski gubici dvorane sa bazenima .....	19
Tablica 4. Mjesečna potrošnja toplinske energije za zagrijavanje bazenske vode .....	25
Tablica 5. Karakteristike izmjenjivača topline za zagrijavanje bazenske vode.....	26
Tablica 6. Meteorološki podaci – Zagreb [7] .....	29
Tablica 7. Tehnički podaci pločastog solarnog kolektora [6] .....	30
Tablica 8. Isporučena energija solarnog sustava za zagrijavanje bazenske vode.....	30
Tablica 9. Karakteristike akumulacijskog spremnika „ACV LCA 2CO 5000 hh“ .....	36
Tablica 10. Isporučena sunčeva energija u sustav za zagrijavanje PTV-a .....	38
Tablica 11. Kritična dionica podnog grijanja .....	44
Tablica 12. Potrebni protok zraka za odsisavanje .....	47
Tablica 13. Karakteristike pločastog rekuperatora topline .....	48
Tablica 14. Karakteristike grijača.....	48
Tablica 15. Karakteristike ventilatora .....	48
Tablica 16. Karakteristike filtera zraka .....	49
Tablica 17. Pad tlaka u pravokutnim kanalima za dobavu zraka - 1. klimatizacijska jedinica .....	53
Tablica 18. Pad tlaka u kanalima kružnog presjeka za odsis zraka - 1. klimatizacijska jedinica.....	55
Tablica 19. Pad tlaka u kanalima kružnog presjeka za dobavu zraka - 2. klimatizacijska jedinica .....	56
Tablica 20. Pad tlaka u kanalima kružnog presjeka za odsis zraka - 2. klimatizacijska jedinica.....	57
Tablica 21. Pad tlaka u kanalima pravokutnog oblika za dobavu zraka - 3. klimatizacijska jedinica.....	57
Tablica 22. Pad tlaka kanala kružnog presjeka za odsis zraka - 3. klimatizacijska komora.....	59
Tablica 23. Kritična dionica kruga toplozračnog grijanja .....	60
Tablica 24. Karakteristike izmjenjivača topline D118-H-174.....	61

## **POPIS TEHNIČKE DOKUMENTACIJE**

1. Tlocrt prizemlja – Podno grijanje
2. Tlocrt podruma – razvod cijevi ventilacijskih kanala
3. Tlocrt prizemlja – razvod cijevi ventilacijskih kanala
4. Tlocrt podruma – dispozicija opreme
5. Shema spajanja
6. Klimatizacijska jedinica

## SAŽETAK

Predmet ovog diplomskog rada je projektno rješenje sustava grijanja zraka, pripreme potrošne tople vode i grijanja bazenske vode za zgradu na području grada Zagreba prema zadanoj arhitektonskoj podlozi. Ukupna korisna površina zgrade iznosi 6315 m<sup>2</sup>. Proračun toplinskih gubitaka zgrade proveden je prema normi HRN EN 12831.

Sportske dvorane sa bazenima su javne ustanove u kojima osim zaposlenika borave ljudi različitih životnih dobi i zbog toga je važno ispravno dimenzionirati sustav grijanja zbog stvaranja toplinske ugodnosti.

Izvor topline za sustave grijanja zraka je toplinska podstanica. Kao ogrjevna tijela koriste se podno i toplozračno grijanje te su dimenzionirani na temelju prethodno određenih gubitaka zgrade. Važno je održavati unutarnju projektnu temperaturu zraka od 28°C i relativnu vlažnost od 60 %. Za sustav grijanja bazenske vode koristi se toplinska podstanica kao primarni izvor topline i pločasti sunčevi kolektori kao pomoćni izvor. Toplinski gubici bazenske vode javljaju se zbog ishlapljivanja vode, provođenja kroz oplošje bazena i dodavanja svježje vode. Potrebno je održavati temperaturu bazenske vode na 26 °C. Za pripremu potrošne tople vode koristi se akumulacijski sustav sa bivalentnim spremnikom koji se zagrijava solarnim kolektorima, uz podršku toplinske podstanice. Kolektorska polja smještena su na ravnom krovu zgrade pod nagibom od 30° prema jugoistoku.

Odabrane komponente sustava povezuju se u funkcionalnu cjelinu sa odgovarajućim regulacijskim elementima za potpuno automatski rad kako bi korištenje sustava bilo što jednostavnije za korisnike. Smještanje opreme predviđeno je u podrumu.

Ključne riječi: bazen, grijanje, ventilacija

## SUMMARY

The subject of this graduate thesis is the project solution of the heating system, preparation of hot water and heating of the pool water for the building in the city of Zagreb according to the given architectural background. The total usable area of the building is 6315 m<sup>2</sup>. Calculation of heat losses of buildings was carried out according to HRN EN 12831.

Swimming pool sports halls are public facilities where except employees are people of different ages, and it is therefore important to properly dimension the heating system to create warmth.

The source of heat for air heating systems is the thermal substation. As heating elements, floor and air heating are used and are dimensioned based on pre-determined building losses. It is important to maintain an internal projected temperature of 28°C and a relative humidity of 60%. For the pool water heating system, the thermal substation is used as the primary heat source and the plate solar collectors as the auxiliary source. Pool water losses are due to the evaporation of water, through swimming pools and adding fresh water. It is necessary to maintain the pool water temperature at 26 °C. For storage of hot water, a storage system with a bivalent tank that is heated by solar collectors is used, with the support of a thermal substation. The collector fields are located on a flat roof of a building with a slope of 30 degrees to the southeast.

The selected system components are connected to a functional unit with the appropriate control elements for a fully automatic operation to make the use of the system as easy as possible for the users. The equipment is provided in the basement.

Keywords: pool, heating, ventilation

**POPIS OZNAKA**

$\theta_i$	unutarnja projektna temperatura [K]
$\theta_e$	vanjska projektna temperatura [K]
$n$	broj izmjena zraka na sat [1/h]
$V_R$	volumen prostorije [m <sup>3</sup> ]
$\rho$	gustoća zraka [kg/m <sup>3</sup> ]
$c_p$	specifični toplinski kapacitet zraka [kJ/kgK]
$W$	količina ishlapljene vode [kg/s]
$\varepsilon$	koeficijent ishlapljivanja [kg/m <sup>2</sup> h]
$p_s$	tlak zasićenja vodene pare [hPa]
$p_d$	parcijalni tlak vodene pare [hPa]
$A_{\text{baz}}$	površina bazena [m <sup>2</sup> ]
$\phi_\sigma$	toplinski tok odveden ishlapljivanjem [kW]
$\phi_T$	toplinski tok odveden provođenjem [kW]
$k$	koeficijent prolaza topline [W/m <sup>2</sup> K]
$A_{\text{opl}}$	oplošje bazena [m <sup>2</sup> ]
$\mathcal{G}_w$	temperatura bazenske vode [°C]
$\mathcal{G}_p$	temperatura prostorije ispod bazena [°C]
$\phi_{\text{svj.}}$	potrebni toplinski učin za zagrijavanje svježe vode [kW]
$m$	protok svježe vode [kg/s]
$c_w$	specifični toplinski kapacitet vode – [kJ/kgK]

- $\vartheta_w$  temperatura bazenske vode [°C]
- $\vartheta_{SVJ}$  temperatura svježe vode [°C]
- $\phi_{GUB}$  mjesečna potrošnja toplinske energije [kWh]
- $\Phi_b$  ogrjevni učin za zagrijavanje bazenske vode [kW]
- $V_{nmin}$  – minimalni volumen zatvorene ekspanzijske posude [l]
- $\Delta V$  promjena volumena vode s promjenom temperature [l]
- $V_D$  preuzimanje sadržaja pare iz kolektora [l]
- $V_v$  dodatni volumen sustava [l]
- $V_s$  volumen spremnika PTV-a [m<sup>3</sup>]
- b faktor mrtvog prostora

## 1. UVOD

U bazenskim prostorima je za ugodan boravak kupaca najbitnije pobrinuti se za kvalitetu vode u bazenu i zraka u prostoru. Važno je da voda nije prehladna ili prevruća i da je zdravstveno ispravna odnosno ugodna prema koži. U ovom radu održava se konstanta temperatura vode od 26°C. Kod zraka je važno održavati odgovarajuću temperaturu i relativnu vlažnost. Ovi parametri ne utječu samo na ugodu ljudi u prostoru, nego i na građevinsku konstrukciju zgrade te potrošnju energije u zgradi. Temperatura zraka u prostoru se održava konstantnom i iznosi 28 °C, baš kao i što je potrebno održavati konstantnu relativnu vlažnost zraka 60 %. S obzirom da voda sa površine bazena neprestano ishlapljuje, potrebno je i stalno odvlaživanje zraka u bazenskom prostoru. Na ishlapljivanje vode utječe temperatura vode i zraka, parcijalni tlak vodene pare u zraku i brzina kretanja zraka iznad površine bazena. Proračun toplinskih gubitaka bazenske vode provodi se prema smjernici VDI 2089 za ishlapljivanje vode i provođenje kroz oplošje bazena. Potrebni toplinski učin za dodavanje svježe vode dobiva se pod pretpostavkom broja korisnika bazena.

Proračun toplinskih gubitaka zgrade provodi se prema normi HRN EN 12831. Toplinski gubici se dijele na toplinske gubitke provođenjem (kroz zidove, strop, pod, prozore, vrata itd.) i toplinske gubitke ventilacijom (infiltracija, prozračivanje). Kod prekida rada sustava (npr. tokom noći), potrebno je dodati i toplinski tok potreban za naknadno zagrijavanje prostora. Dopušteni pad temperature tokom noći je 2°C. Za proračun toplinskih gubitaka zgrade potrebno je poznavati projektne uvjete za zgradu. Potrebno je poznavati vanjsku projektnu temperaturu za Zagreb (-13 °C), smjer vjetra i brzinu vjetra, unutarnju projektnu temperaturu zraka (28 °C), temperaturu susjednih grijanih i negrijanih prostorija i karakteristike i konfiguraciju zgrade (lokacija, oblik, orijentacija, građevni materijali, površine građevnih dijelova i koeficijente prolaza topline).

Toplinski gubici provođenjem nastaju izmjenom topline kroz građevne dijelove od grijanog prostora prema okolišu niže temperature.

$$Q_T = (H_{T,ie} + H_{T,iue} + H_{T,ig} + H_{T,ij}) (\theta_i - \theta_e) \quad [W]$$

gdje su:

$H_{T,ie}$  – koeficijent gubitaka provođenjem od grijanog prostora prema vanjskom zraku [W/K]



$H_{T,iue}$  – koeficijent gubitaka provođenjem od grijanog prostora kroz negrijani prostor prema vanjskom zraku [W/K]

$H_{T,ig}$  – koeficijent gubitaka provođenjem od grijanog prostora prema tlu [W/K]

$H_{T,ij}$  – koeficijent gubitaka provođenjem od grijanog prostora prema susjednom prostoru grijanom na nižu temperaturu [W/K]

$\theta_i$  – unutarnja projektna temperatura [K]

$\theta_e$  – vanjska projektna temperatura [K]

Za proračun ventilacijskih gubitaka potrebno je definirati minimalan broj izmjena zraka za prostoriju.

$$Q_V = n * V_R * \rho * c_p * (\theta_i - \theta_e)$$

gdje su:

$n$  – broj izmjena zraka na sat [1/h]

$V_R$  – volumen prostorije [m<sup>3</sup>]

$\rho$  – gustoća zraka [kg/m<sup>3</sup>]

$c_p$  – specifični toplinski kapacitet zraka [kJ/kgK]

$\theta_i$  – unutarnja projektna temperatura [K]

$\theta_e$  – vanjska projektna temperatura [K]

U ovom radu se koriste panelni grijači (podno grijanje). Podno grijanje se od ostalih sustava razlikuje po tome što 1/3 topline odaju konvekcijom, a 2/3 topline odaju zračenjem. Također, njegove prednosti su to što ogrjevno tijelo nije vidljivo, povoljan profil temperature po visini i niske temperature medija. U ovom radu je korištena mokra montaža podnog grijanja (cijevi u estrihu). Materijal cijevi plastične cijevi (PE-X) dimenzija  $\phi 20 \times 2$  mm. U ovom radu najviša

dozvoljena temperatura poda iznosi 33 °C što je inače temperatura poda za prostor kupaonice. Udaljenost između cijevi podnog grijanja iznosi 300 mm. Osim podnog grijanja, koristi se toplozračni sustav grijanja zraka koji se sastoji iz 3 klimatizacijske jedinice. Njihov zadatak je grijati i odvlaživati prostor. Pumpa kruga podnog grijanja i toplozračnog grijanja se dimenzionira na način da se odredi kritična dionica. To je ona dionica u kojoj je najveći ukupni pad tlaka koji se računa kao pad tlaka u cijevima. Kritična dionica je najčešće i ona najudaljenija dionica. Glavni kriterij za dimenzioniranje pumpe je buka. Buka se javlja pri povećanom padu tlaka u cijevima. Ograničenja pada tlaka u prostorima gdje ne borave ljudi su od 100 – 200 Pa/m. Tamo gdje borave ljudi ograničenja pada tlaka iznose 40 – 100 Pa/m.

U ovom radu se kao izvori topline koriste daljinsko grijanje i sunčevo zračenje. Kod daljinskog grijanja toplinska energija prenosi se distribucijskim medijem umjesto da se proizvodi u svakom objektu zasebno. U ovom radu se koristi vrelovodni priključak daljinskog grijanja sa temperaturnim režimom 120/70 °C. Zgrada je povezana na vrelovodni priključak preko izmjenjivača topline. Tražena temperatura polazne vode prema potrošačima se postiže promjenom protoka vode sa strane daljinskog grijanja kroz izmjenjivač topline. Sunčevo zračenje ima za prednost što je taj izvor energije neiscrpan i besplatan, ne zagađuje okoliš, nema potencijalnih opasnosti korištenja i koristi se za niskotemperaturne sustave grijanja. U ovom radu se sunčevo zračenje koristi za zagrijavanje bazenske vode i potrošne tople vode (PTV) uz pomoć pločastih solarnih kolektora.

## 2. PRORAČUN PROJEKTNIH TOPLINSKIH GUBITAKA ZGRADE

S obzirom da se sustav grijanja projektira za zgradu na području grada Zagreba, potrebni podaci za proračun preuzimaju se iz meteoroloških podataka za Zagreb-Maksimir. Vanjska projektna temperatura iznosi  $-13\text{ }^{\circ}\text{C}$ , a unutarnja projektna temperatura iznosi  $28\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Koeficijenti prolaza topline građevnih elemenata nisu definirani već su uzete njihove proizvoljne vrijednosti. Pregled odabranih koeficijenata prolaza topline nalazi se u tablici 1.

Tablica 1. Koeficijenti prolaza topline

Oznaka	Građevni element	Koeficijent prolaza topline [ $\text{W}/\text{m}^2\text{K}$ ]
VZ	Vanjski zid	0,3
P	Prozor	1,4
Z	Unutarnji zid	0,6
PP	Pod prema tlu	0,6
K	Ravni krov	0,25

U tablici 2. prikazani su građevni elementi i njihova površina te orijentacija prema vanjskom okolišu ili prostorijama sa različitom temperaturom.

Tablica 2. Površina i orijentacija građevnih elemenata

Građevni element	Orijentacija građevnog elementa				Horizontalno [ $\text{m}^2$ ]
	SI [ $\text{m}^2$ ]	JI [ $\text{m}^2$ ]	JZ [ $\text{m}^2$ ]	SZ [ $\text{m}^2$ ]	
Vanjski zid	74,1	114	145,6	-	-
Prozori	451,5	759	491,6	469,2	-
Zid prema grijanom	71,5	672,6	-	1076,4	-
Pod	-	-	-	-	5350
Krov	-	-	-	-	7424

Za proračun je korišten softver INTEGRACad 2017. Rezultati proračuna toplinskih gubitaka zgrade prikazani su u tablici 3.

Tablica 3. Toplinski gubici dvorane sa bazenima

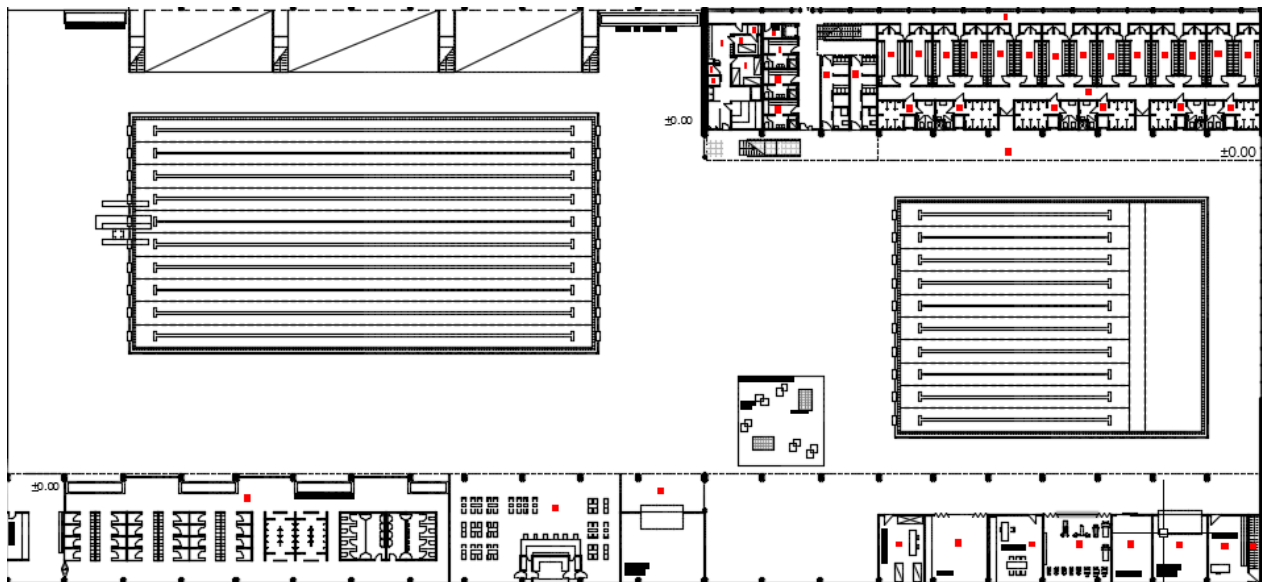
<b>Prostorija</b>	<b>A [m<sup>2</sup>]</b>	<b>Q<sub>T</sub> [W]</b>	<b>Q<sub>V</sub> [W]</b>	<b>Q<sub>RH</sub> [W]</b>	<b>Q<sub>N</sub> [W]</b>	<b>q<sub>n</sub> [W/m<sup>2</sup>]</b>
Bazenski prostor	6315	246010	227725	111259	584994	93

Oznake u tablici 12.: A – površina bazenskog prostora, Q<sub>T</sub> – gubici topline provođenjem, Q<sub>V</sub> – ventilacijski toplinski gubici, Q<sub>RH</sub> – gubici topline zbog ponovnog zagrijavanja, Q<sub>N</sub> – ukupni projektni toplinski gubici, q<sub>n</sub> – ukupni projektni gubici svedeni na jedinicu površine

Projektni toplinski gubici bazenskog prostora dobiveni su proračunom prema normi HRN EN 12831 i mjerodavni su za projektiranje sustava grijanja. Sustav grijanja je projektiran za rad u projektnim uvjetima, ali zbog variranja vanjske temperature ti se uvjeti pojavljuju samo nekoliko dana godišnje te većinu vremena sustav radi u djelomičnom opterećenju.

### 3. PRORAČUN POTREBNE ENERGIJE ZA ZAGRIJAVANJE BAZENSKE VODE

U projektu je potrebno provesti proračun za određivanje energije za zagrijavanje bazenske vode i održavanja iste na projektnoj temperaturi od 26°C. Također, potrebno je održavati projektnu temperaturu zraka 28°C relativne vlažnosti 60%. Radno vrijeme bazena je 12 sati dnevno. Za pokrivanje toplinskih gubitaka korišteni su toplinska podstanica s priključkom na gradsku vrelododnu mrežu i pločasti sunčevi kolektori. Potrebno je odrediti kapacitet izmjenjivača topline koji može zadovoljiti potrebe zagrijavanja bazenske vode u vremenskom periodu od 72 sata te površinu pločastih sunčevih kolektora koja u ljetnim mjesecima može pokriti toplinske gubitke bazenske vode. Proračun obuhvaća bazen 1 dimenzija 50 x 25 x 2,3 m i bazen 2 dimenzija 33 x 25 x 2,3 m. Na slici 1. je prikazana arhitektonska podloga dvorane sa dva unutarnja bazena za sportsku i rekreativnu namjenu.



Slika 1. Bazenski prostor

### 3.1. TOPLINSKA BILANCA BAZENA

#### Karakteristike bazena 1:

Dimenzije (d x š x v): 50m x 25m x 2,3m

Površina: 1250 m<sup>2</sup>

Volumen: 2875 m<sup>3</sup>

Oplošje: 1595 m<sup>2</sup>

#### Karakteristike bazena 2:

Dimenzija (d x š x v): 33m x 25m x 2,3m

Površina: 825 m<sup>2</sup>

Volumen: 1897,5 m<sup>3</sup>

Oplošje: 1184,6 m<sup>2</sup>

Za potrebe proračuna zagrijavanja bazenske vode te ispravnog izbora opreme sustava grijanja bazenske vode potrebno je poznavati toplinske gubitke bazenske vode, jer upravo tu toplinsku energiju treba kompenzirati sustavom grijanja. Zbog toga je potrebno provesti proračun toplinske bilance bazena kojim se uzimaju u obzir sljedeći oblici toplinskih gubitaka:

- Ishlapljivanje vode
- Provođenje topline kroz oplošje bazena
- dodavanje svježe vode

Ostali toplinski gubici i dobici bazenske vode (konvekcija, zračenje i pasivni dobici od Sunčevog zračenja) su zanemareni.

### 3.1.1. ISHLAPLJIVANJE VODE

Ishlapljivanjem bazenske vode dolazi do gubitaka vode u bazenu. Za potrebe proračuna gubitaka ishlapljivanjem potrebno je poznavati apsolutnu vlažnost zraka u prostoru bazena i graničnog sloja zraka na površini bazena te njihove tlakove. Proračun ishlapljivanja bazenske vode izrađen je prema smjernici VDI 2089.

Količina ishlapljene vode u jedinici vremena računa se prema formuli:

$$W = \frac{\varepsilon \cdot (ps - pd) \cdot A_{baz}}{3600}$$

$W$  – količina ishlapljene vode [kg/s]

$\varepsilon$  – koeficijent ishlapljivanja – 20 [kg/m<sup>2</sup>h] – za vodu sa umjerenim pokretanjem [1]

$ps$  – tlak zasićenja vodene pare – 33,6 [hPa] [2]

$pd$  – parcijalni tlak vodene pare – 22,7 [hPa] [2]

$A_{baz}$  – površina bazena [m<sup>2</sup>]

Nakon određivanja količine ishlapljene vode u jedinici vremena, potrebno je izračunati toplinski tok odveden ishlapljivanjem preko formule:

$$\phi_{\sigma} = W \cdot r$$

$\phi_{\sigma}$  - toplinski tok odveden ishlapljivanjem [kW]

$r$  – toplina potrebna za ishlapljivanje vode pri temperaturi graničnog sloja vode - 2439 [kJ/kg] [2]

Količina ishlapljenog zraka iznosi 0,126 kg/s, a odvedeni toplinski tok ishlapljivanjem iznosi 307,4 kW.

### 3.1.2. PROVOĐENJE TOPLINE KROZ OPLOŠJE BAZENA

Toplinski gubici bazena provođenjem kroz oplošje bazena nastaju prema prostoriji ispod razine bazena. Prema tome gubici topline provođenjem nastaju zbog razlike temperature bazenske vode i temperature prostorije ispod bazena. Temperatura prostorije ispod bazena je pretpostavljena i iznosi 20°C. Također, koeficijent prolaza topline kroz oplošje bazena je pretpostavljen 1 W/m<sup>2</sup>K. Toplinski tok odveden provođenjem računa se preko formule:

$$\phi_T = k \cdot A_{opl} \cdot (\vartheta_w - \vartheta_p)$$

$\phi_T$  – toplinski tok odveden provođenjem [kW]

k – koeficijent prolaza topline [W/m<sup>2</sup>K]

$A_{opl}$  – oplošje bazena [m<sup>2</sup>]

$\vartheta_w$  – temperatura bazenske vode [°C]

$\vartheta_p$  – temperatura prostorije ispod bazena (pretpostavka) [°C]

Odvedeni toplinski tok provođenjem iznosi 16,7 kW i moguće ga je smanjiti sa boljom izolacijom oplošja bazena.

### 3.1.3. DODAVANJE SVJEŽE VODE

Gubici bazenske vode ne javljaju se samo pri ishlapljivanju. Gubitke vode uzrokuje prelijevanje vode preko ruba bazena, stvaranje valova, izlazak plivača iz bazena, kemijska obrada, filtracija, kada dio onečišćene vode treba izbaciti iz higijenskih razloga i slično. Sve ove gubitke treba kompenzirati dodavanjem svježe vode. Temperatura svježe vode je 12 °C, te se ona zagrijava na temperaturu bazenske vode. Opterećenje bazena ostvareno je prema pretpostavci broja osoba u bazenu istovremeno. Za bazen 1 koji ima 8 traka pretpostavljeno je da u svakoj traci istovremeno plivaju 4 osobe što je 32 osobe istovremeno u bazenu, a u bazenu 2 ima dvostruko manje osoba, tj. 16 osoba. Zajedno je u dva bazena pretpostavljeno 48 osoba, te se za proračun uzima podatak od 50 osoba. Također, pretpostavljeno je da svaka osoba provede u bazena 30 minuta, što u konačnici dovodi do opterećenja bazena od 100 osoba u satu. Prema DIN 19643 potrebno je dodavati svježu



vodu u količinama od 30 litara po osobi dnevno. Iz ovih podataka proračunava se potreban protok svježe vode koji iznosi 0,83 kg/s. Na ovu vrijednost potrebno je dodati svježu vodu koju je potrebno nadomjestiti zbog ishlapljivanja vode u iznosu od 0,126 kg/s. Ukupna potrebna količina svježe vode iznosi 0,956 kg/s

Iz ovih podataka izračunava se potrebni toplinski učin koji je potrebno dovesti svježoj vodi da se zagrije na temperaturu bazenske vode preko formule:

$$\phi_{svj.} = m \cdot c_w \cdot (\vartheta_w - \vartheta_{svj.})$$

$\phi_{svj.}$  – potrebni toplinski učin [kW]

m – protok svježe vode [kg/s]

$c_w$  – specifični toplinski kapacitet vode – 4,187 [kJ/kgK] [2]

$\vartheta_w$  - temperatura bazenske vode [°C]

$\vartheta_{svj.}$  - temperatura svježe vode [°C]

Toplinski učin koji je potrebno dovesti svježoj vodi da se zagrije na temperaturu bazenske vode iznosi 56 kW.

### 3.2. REKAPITULACIJA TOPLINSKE BILANCE BAZENA

Dnevna potrošnja toplinske energije predstavlja zbroj svih oblika toplinskih gubitaka, prethodno pomnoženih s dnevnim brojem sati trajanja pogona bazena. Toplinski gubici koji nastaju ishlapljivanjem bazenske vode i zbog dodavanja svježe vode javljaju se u vremenu trajanja pogona, dok se toplinski gubici provođenjem javljaju tokom cijelog dana. U tablici 4. prikazana je mjesečna potrošnja toplinske energije za zagrijavanje bazenske vode. Mjesečna potrošnja toplinske energije računa se prema formuli:

$$\phi_{GUB} = ((\phi_{\sigma} + \phi_{SVJ}) \cdot t_r + \phi_T \cdot t_d) \cdot n_d$$

$\phi_{GUB}$  – mjesečna potrošnja toplinske energije [kWh]

$t_r$  – radno vrijeme bazena - 12 [h]

$t_d$  – 24 [h]

$n_d$  – broj dana u mjesecu [-]

Tablica 4. Mjesečna potrošnja toplinske energije za zagrijavanje bazenske vode

Mjesec	$n_D$	$Q_{GUB,mj}$ [kWh]
I	31	144903
II	28	130880
III	31	144903
IV	30	140229
V	31	144903
VI	30	140229
VII	31	144903
VIII	31	144903
IX	30	140229
X	31	144903
XI	30	140229
XII	31	144903

### 3.3. PRORAČUN IZMJENJIVAČA TOPLINE BAZENSKE VODE

Izmjenjivač topline za potrebe zagrijavanja bazenske vode je odabran upotrebom programa za odabir pločastog izmjenjivača topline proizvođača Danfoss. Kapacitet izmjenjivača topline je izračunat tako da se nakon stanja mirovanja svaki bazen mora zagrijati u roku od 72 sata od temperature vodovodne vode na temperaturu bazenske vode. Kapacitet izmjenjivača proračunava se za bazen 1 zbog većeg volumena. Prema formuli:

$$\Phi_b = V_b * \rho * c_w * (\vartheta_b - \vartheta_w) = 649 \text{ kW}$$

$\Phi_b$  – ogrjevni učin za zagrijavanje bazenske vode [kW]

$V_b$  – volumni protok bazena 1 – 39,93 [m<sup>3</sup>/h]

$\rho$  – gustoća vode – 998,2 [kg/m<sup>3</sup>]

$c_w$  – toplinski kapacitet vode – 4,187 [kJ/kgK]

$\vartheta_b$  – temperatura bazenske vode - 26 [°C]

$\vartheta_w$  – temperatura vodovodne vode – 12 [°C]

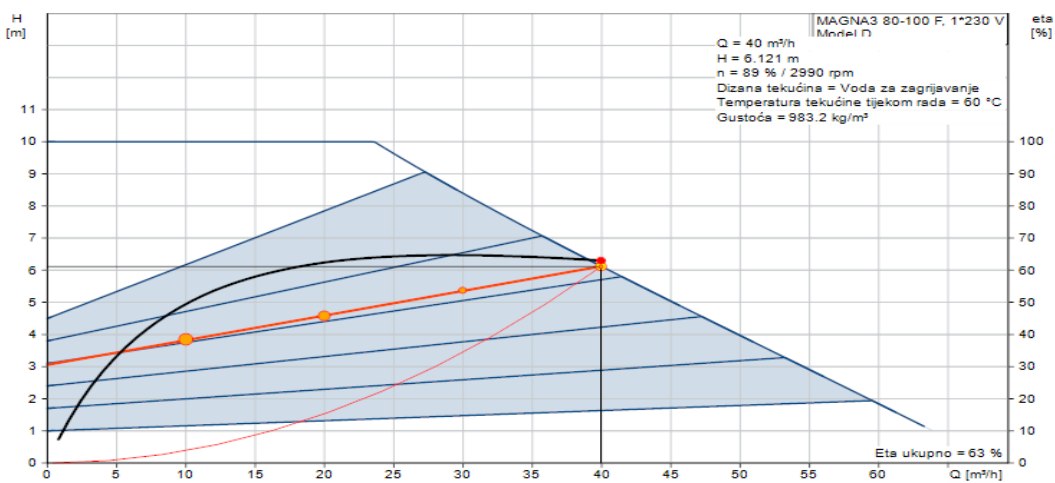
Kapacitet izmjenjivača topline iznosi 649 kW. Temperaturni režim vode iz toplinske podstanice je 80/60 °C, dok je režim bazenske vode pretpostavljen 26/12 °C iako je to teško ostvarivo jer temperatura u bazenu postupno raste. Za zadane parametre izračunat je pločasti izmjenjivač topline D118-192 te su njegove karakteristike prikazane u tablici 5.

Tablica 5. Karakteristike izmjenjivača topline za zagrijavanje bazenske vode

Kapacitet izmjenjivača [kW]	649
Temperaturni režim primara [°C]	80/60
Temperaturni režim sekundara [°C]	26/12
Maseni protok primara pri nazivnom kapacitetu [kg/s]	7,746
Maseni protok sekundara pri nazivnom kapacitetu [kg/s]	11,088
Ukupni pad tlaka na primaru [kPa]	31,38
Ukupni pad tlaka na sekundaru [kPa]	59,95
Broj ploča	192
Visina [mm]	613
Duljina [mm]	186
Dubina [mm]	345,6

### 3.4. PRORAČUN PUMPE SEKUNDARNOG BAZENSKOG KRUGA

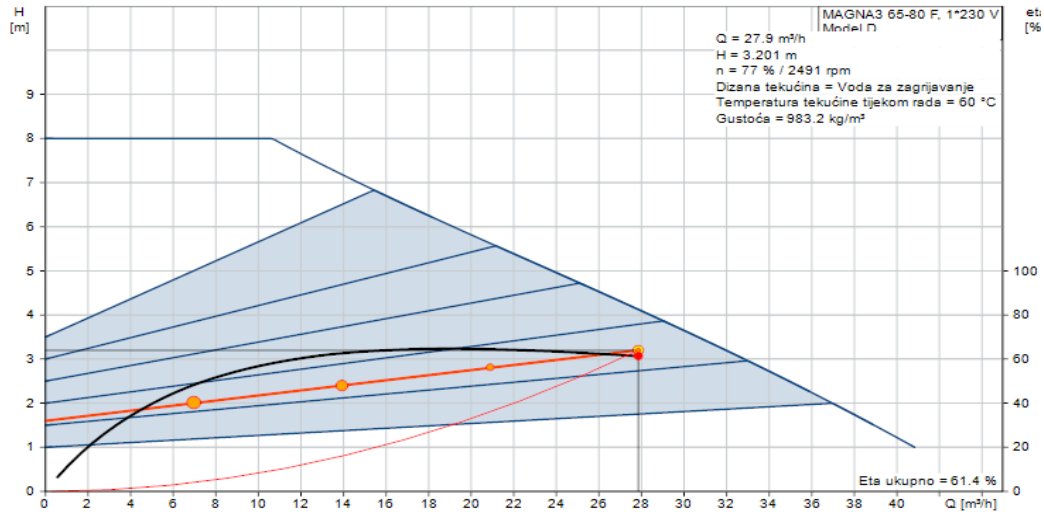
Pumpa sekundarnog bazenskog kruga dimenzionira se s obzirom na protok vode i pad tlaka kroz izmjenjivač topline čije vrijednosti su prikazane u tablici 11. Maseni protok vode kroz izmjenjivač topline je 11,088 kg/s, što iznosi 39,93 m<sup>3</sup>/h. Pad tlaka koji pumpa treba svladati iznosi 59950 Pa, pa visina dobave pumpe iznosi 6,11 metara. Odabrana je pumpa preko web aplikacije „Grundfos“ proizvođača iz koje uzimam pumpu MAGNA3 80-100 F. Karakteristika pumpe je prikazana na slici 2.



Slika 2. Karakteristike pumpe sekundarnog bazenskog kruga MAGNA3 80-100 F

### 3.5. PRORAČUN PUMPE PRIMARNOG BAZENSKOG KRUGA

Pumpa primarnog bazenskog kruga dimenzionira se s obzirom na protok vode i pad tlaka kroz izmjenjivač topline čije vrijednosti su prikazane u tablici 11. Maseni protok vode kroz izmjenjivač topline je 7,746, što iznosi 27,89 m<sup>3</sup>/h. Pad tlaka koji pumpa treba svladati iznosi 31380 Pa, pa visina dobave pumpe iznosi 3,2 metra. Odabrana je pumpa preko web aplikacije „Grundfos“ proizvođača iz koje uzimam pumpu MAGNA3 65-80 F. Karakteristika pumpe je prikazana na slici 3.



Slika 3. Karakteristike pumpe sekundarnog bazenskog kruga MAGNA3 65-80 F

### 3.5. PRORAČUN SUNČEVIH KOLEKTORA ZA ZAGRIJAVANJE BAZENSKE VODE

Za proračun sunčevih kolektora za zagrijavanje bazenske vode izabrani su pločasti kolektori auroTHERM VFK 145 V proizvođača Vaillant koji su prikazani na slici 4. Radno vrijeme bazena je od 7 – 19h i za te sate je preuzeta prosječna mjesečna temperatura vanjskog zraka te globalno sunčevo zračenje. U tablici 6. prikazani su meteorološki podaci za grad Zagreb. Pločasti sunčevi kolektori su postavljeni na ravnom krovu zgrade pod kutom od  $30^\circ$  u smjeru jugoistoka. Proračun sunčevih kolektora proveden je prema Algoritmu za određivanje energijskih zahtjeva i učinkovitosti termotehničkih sustava u zgradama, HRN EN 15316-4-3:2008. U tablici 7. prikazani su osnovni tehnički podaci o pločastim solarnim kolektorima.



Slika 4. Pločasti kolektori auroTHERM VFK 145 V [6]

Tablica 6. Meteorološki podaci – Zagreb [7]

Mjesec	nd	$\theta_{e,avg}$ [°C]	$I_m$ [W/m <sup>2</sup> ]	$t_m$ [h]
I	31	-0,5	112,01	744
II	28	3,8	186,84	672
III	31	10	283,00	744
IV	30	15,4	378,86	720
V	31	19,8	445,79	744
VI	30	23,8	472,99	720
VII	31	25	486,11	744
VII	31	27,1	436,08	744
IX	30	21,3	358,02	720
X	31	15,1	247,16	744
XI	30	10,6	128,09	720
XII	31	2,6	81,39	744

Tablica 7. Tehnički podaci pločastog solarnog kolektora [6]

Bruto površina [m <sup>2</sup> ]	2,51
Neto površina [m <sup>2</sup> ]	2,35
Širina [mm]	1233
Visina [mm]	2033
Dubina [mm]	80
Učinkovitost [%]	62
Koeficijent gubitaka topline a1 [W/m <sup>2</sup> K]	3,72
Koeficijent gubitaka topline a2 [W/m <sup>2</sup> K]	0,016
Težina [kg]	38
Maksimalna temperatura u stanju mirovanja [°C]	171
Zapremnina apsorbera [l]	2,16

Ugrađeno je 948 pločastih sunčevih kolektora za proračun pokrivanja toplinskih gubitaka bazenske vode što je površina od 2227,8 m<sup>2</sup> kolektora. U tablici 8. prikazana je isporučena energija od sunčevih kolektora u sustav za zagrijavanje bazenske vode.

Tablica 8. Isporučena energija solarnog sustava za zagrijavanje bazenske vode

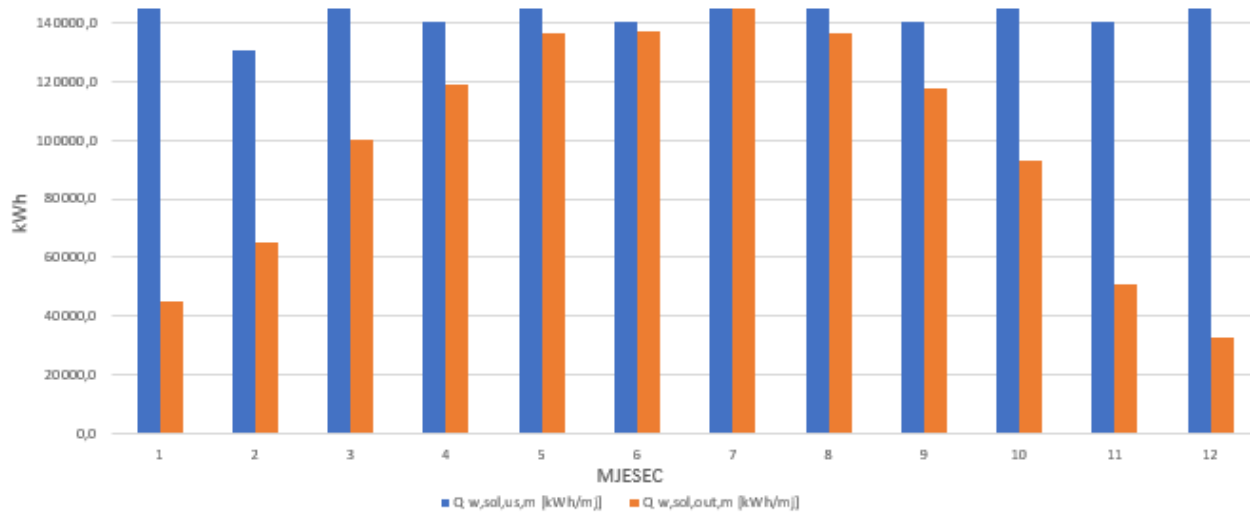
Mjesec	Q <sub>w,sol,us,m</sub> [kWh]	Q <sub>w,sol,out,m</sub> [kWh]	f sol,m [-]
I	144903	40536	0,28
II	130881	59864	0,46
III	144903	95470	0,66
IV	140229	116551	0,83
V	144903	135701	0,94
VI	140229	137019	0,98
VII	144903	144272	0,99
VIII	144903	134198	0,93
IX	140229	112135	0,8
X	144903	85647	0,59
XI	140229	45552	0,32
XII	144903	29551	0,2

$Q_{w,sol,us,m} = Q_{gub,mj}$  - potrebna energija za pripremu bazenske vode [kWh]

$Q_{w,sol,out,m}$  - isporučena energija solarnog kolektora u sustav [kWh]

$f_{sol,m}$  - faktor pokrivanja [-]

U tablici 8. i na slici 5. vidljivo je da je dobivena energija od sunčevih kolektora dostatna da se pokriju potrebe zagrijavanje bazenske vode za četiri ljetna mjeseca, dok je izvan ljetnog perioda ostatak energije potrebno nadomjestiti preko toplinske podstanice.



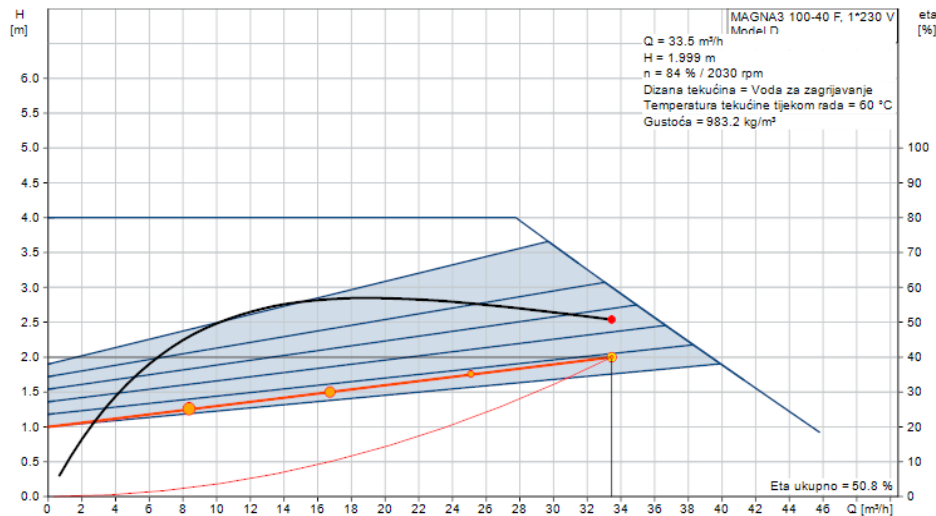
Slika 5. Potrebna i dobivena energija od solarnog sustava za zagrijavanje bazenske vode

### 3.5.1. PRORAČUN PUMPE SOLARNOG KRUGA ZA ZAGRIJAVANJE BAZENSKE VODE

Protok vode kroz kolektore uobičajeno iznosi 35 – 100 l/(hm<sup>2</sup>kolektora), ali proizvođač za sustave sa većim brojem kolektora preporuča manji protok od 15 l/(hm<sup>2</sup>kolektora). Kolektori su spojeni u 79 paralelnih spojeva sa 12 kolektora u spoju. U tablici koju je dao proizvođač kolektora očitano je pad tlaka u kolektorima od 6500 Pa te treba naknadno dodati pad tlaka u cjevovodima od 13200 Pa što daje ukupni pad tlaka od 19700 Pa. Odabrana pumpa treba imati visinu dobave 2 metra i



protok od 33,48 m<sup>3</sup>/h. Odabrana je pumpa preko web aplikacije „Grundfos“ proizvođača iz koje uzimam pumpu MAGNA3 100-40 F. Karakteristika pumpe je prikazana na slici 6.



Slika 6. Karakteristika pumpe solarnog kruga zagrijavanja bazenske vode MAGNA3 100-40 F

### 3.5.2. PRORAČUN EKSPANZIJSKE POSUDE SOLARNOG KRUGA ZA ZAGRIJAVANJE BAZENSKE VODE

Postavljanjem ekspanzijske posude u sustav održava se tlak sustava unutar zadanih granica. Prije proračuna volumena ekspanzijske posude potrebno je odabrati sigurnosni ventil. Odabrani tlak pri kojem se sigurnosni ventil otvara je 6 bara. Minimalni volumen ekspanzijske posude solarnog kruga zagrijavanja bazenske vode računa se prema izrazu:

$$V_{nmin} = (\Delta V + V_D + V_v) * \frac{p_e + 1}{p_e - p_o} = (86,64 + 2052 + 12,1) * \frac{5,5 + 1}{5,5 - 1,5} = 3495 \text{ l}$$

$V_{nmin}$  – minimalni volumen zatvorene ekspanzijske posude [l]

$\Delta V$  – promjena volumena vode s promjenom temperature [l]

$V_D$  – preuzimanje sadržaja pare iz kolektora =  $V_K = 2052$  l

$V_v$  – dodatni volumen, uzima se kao 0,5% ukupnog volumena vode u sustavu = 12,1 [l]

$p_e$  – krajnji projektni tlak, uzima se 0,5 bara ispod tlaka otvaranja sigurnosnog ventila [bar]

$p_o$  – primarni tlak ekspanzijske posude prilikom isporuke – posuda prije isporuke mora biti pod tlakom od 1,5 bara zbog visine instalacije od 10 - 15 metara [bar]

$$\Delta V = V_{SUS} * \frac{n}{100} = 86,64 \text{ l}$$

n – postotak širenja vode – preuzet iz tablice [1]

$V_{SUS}$  – volumen vode u sustavu

$$V_{SUS} = V_{KOL} + V_{CIJ} + V_{IZMJ} = 2052 \text{ l} + 348 \text{ l} + 20 \text{ l} = 2420 \text{ l}$$

Odabrana je ekspanzijska posuda volumena 3000 litara proizvođača Elbi koja je prikazana na slici 7.



Slika 7. Ekspanzijska posuda Elbi volumena 3000 litara

## 4. PRORAČUN POTREBNE ENERGIJE ZA PRIPREMU POTROŠNE TOPLE VODE

Za pripremu potrošne tople vode (PTV) korištena je toplinska podstanica s priključkom na gradsku vrelvodnu mrežu i pločasti sunčevi kolektori. Potrebno je odrediti kapacitet izmjenjivača topline koji može zadovoljiti potrebe zagrijavanja PTV-a te optimalnu površinu sunčevih kolektora koji u ljetnim mjesecima može pokriti potrebe za zagrijavanjem PTV-a.

### 4.1. ODABIR AKUMULACIJSKOG SPREMNIKA

Potrebno je izračunati ogrjevni učin za zagrijavanje PTV-a kako bi se odabrao izmjenjivač topline preko kojeg će vrela voda iz toplane zagrijavati vodu. Akumulacijski sustavi pripreme PTV-a zahtijevaju spremnik koji se puni toplom vodom te iz kojeg potrošači dobivaju već pripremljenu vodu za uporabu. Potrebno je odabrati spremnik koji je bivalentan, odnosno da ima dvije izmjenjivačke površine. Donja izmjenjivačka površina je za solarni sustav, a gornja izmjenjivačka površina je za dogrijavanje iz toplinske podstanice za slučaj kada je energija sunca nedovoljna za zagrijavanje PTV-a.

$$\Phi_{PTV} = \rho * V * c_w * n * \varphi * (\vartheta_{tw} - \vartheta_{hw}) = 152,85 \text{ kW}$$

$\Phi_{PTV}$  – ogrjevni učin za zagrijavanje PTV-a [kW]

$\rho$  – gustoća vode – 998,2 [kg/m<sup>3</sup>]

$V$  – potrošnja tuševa – 101 [l/jedinici/danu] [5]

$n$  – broj tuševa u objektu - 79

$c_w$  – toplinski kapacitet vode – 4,187 [kJ/kgK]

$\varphi$  – faktor istovremenosti – 0,5

$\vartheta_{tw}$  – temperatura tople vode – 45 °C

$\vartheta_{hw}$  – temperatura hladne vode – 12 °C

Kapacitet izmjenjivača topline za zagrijavanje PTV određuje se iz:

$$\Phi_k = \frac{\Phi_{PTV} * z_b}{z_a + z_b} = 51 \text{ kW}$$

$z_b$  – vrijeme korištenja (vrijeme maksimalne potrošnje sustava – 2 h)

$z_a$  – vrijeme zagrijavanja (uzima se 4 h)

Volumen akumulacijskog spremnika računa se prema izrazu:

$$V_s = \frac{\Phi_k * z_a * b * 3600}{\rho_w * c_w * (\vartheta_s - \vartheta_w)} = 4023 \text{ l}$$

$V_s$  – volumen spremnika PTV-a [ $\text{m}^3$ ]

$b$  – faktor mrtvog prostora (uzima se 1,1 – za stojeći spremnik)

$\rho_w$  – gustoća vode – 998,2  $\text{kg}/\text{m}^3$

$c_w$  – specifični toplinski kapacitet vode – 4,187  $\text{kJ}/\text{kgK}$

$\vartheta_s$  – temperatura vode u spremniku (pretpostavka 60 °C)

$\vartheta_w$  – temperatura vode iz vodovoda (pretpostavka 12 °C)

Izračunata je minimalna zapremnina spremnika od 4023 litara te je na temelju toga izabrana akumulacijski spremnik „ACV LCA 2CO 5000 hh“. Akumulacijski spremnik je prikazan na slici 9. Karakteristike spremnika dane su u tablici 10.

Tablica 9. Karakteristike akumulacijskog spremnika „ACV LCA 2CO 5000 hh“

Volumen [l]	5000
Površina gornjeg izmjenjivača topline [m <sup>2</sup> ]	4,8
Toplinski učin gornjeg izmjenjivača topline [kW]	54
Površina donjeg izmjenjivača topline [m <sup>2</sup> ]	11,4
Toplinski učin donjeg izmjenjivača topline [kW]	80
Maksimalna temperatura u spremniku [°C]	95
Visina spremnika [mm]	2167
Promjer spremnika [mm]	1600
Protok kroz gornji izmjenjivač topline [l/h]	2800
Pad tlaka u izmjenjivaču topline [Pa]	44500

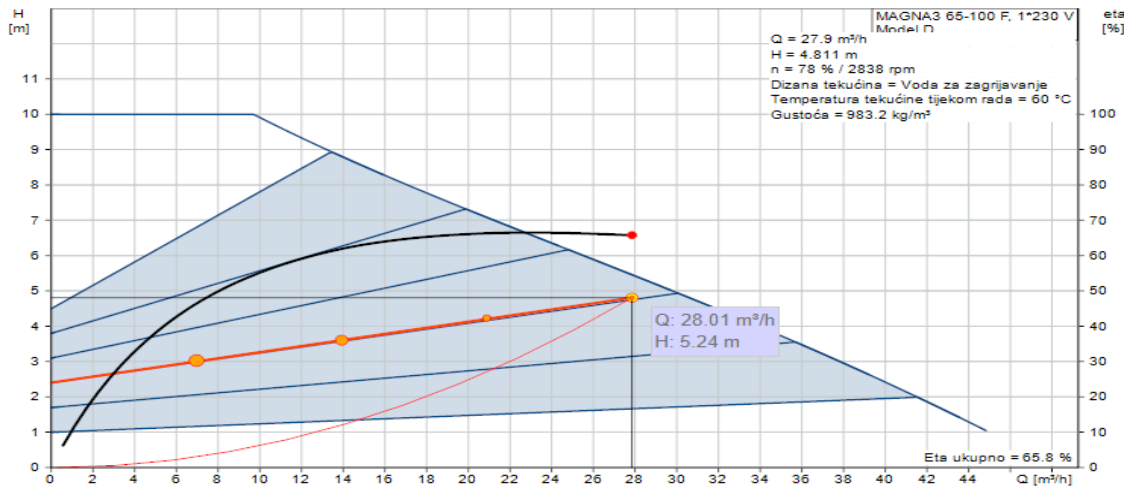


Slika 8. Akumulacijski spremnik " ACV LCA 2CO 5000 hh " [5]

#### 4.2. ODABIR PUMPE ZA ZAGRIJAVANJE PTV-a

Pumpa za zagrijavanje PTV-a dimenzionirana je prema zahtjevima spremnika tople vode. Iz tehničkog opisa spremnika prikazanog u tablici , preuzet je podatak o protoku vode kroz izmjenjivač topline i na temelju toga podatka je dimenzionira pumpa. Protok pumpe je 2,8 m<sup>3</sup>/h,

dok pad tlaka na izmjenjivačima topline iznosi 44500 Pa, a pad tlaka u cjevovodima iznosi 2600 Pa. Ukupni pad tlaka iznosi 47100 Pa što je visina dobave od 4,81 metara. Odabrao sam pumpu preko web aplikacije proizvođača „Grundfos“ iz koje uzimam pumpu „MAGNA3 65-100 F“. Karakteristika pumpe je prikazana na slici 9.



Slika 9. Karakteristika pumpe za potrebe zagrijavanja PTV-a MAGNA3 65-100 F

#### 4.3. PRORAČUN SUNČEVIH KOLEKTORA ZA ZAGRIJAVANJE PTV-a

Za proračun pokrivanja toplinskog učina za zagrijavanje PTV-a izabrani su pločasti kolektori auroTHERM VFK 145 V proizvođača Vaillant koji su prikazani na slici 6. Pločasti kolektori su postavljeni na ravnom krovu zgrade pod kutom od 30° u smjeru jugoistoka. Proračun sunčevih kolektora proveden je prema Algoritmu za određivanje energijskih zahtjeva i učinkovitosti termotehničkih sustava u zgradama, HRN EN 15316-4-3:2008. Dnevna potrebna toplina za zagrijavanje PTV-a računa se prema:

$$Q_w = \Phi_{PTV} * z_b = 152,85 * 2 = 305,7 \left[ \frac{kWh}{dan} \right]$$

Ugrađeno je 48 pločastih sunčevih kolektora za potrebe zagrijavanja PTV-a što je površina od 112,8 m<sup>2</sup>. U tablici 10. prikazana je isporučena energija od sunčevih kolektora u sustav za zagrijavanje PTV-a.

Tablica 10. Isporučena sunčeva energija u sustav za zagrijavanje PTV-a

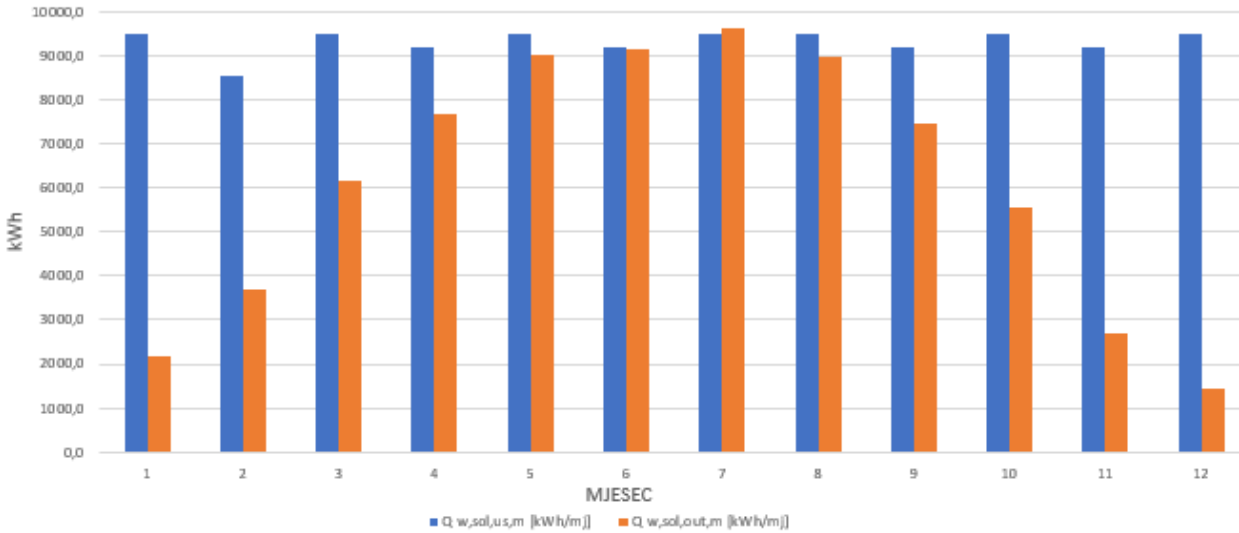
Mjesec	$Q_{w,sol,us,m}$ [kWh]	$Q_{w,sol,out,m}$ [kWh]	$f_{sol,m}$ [-]
I	9478	2197	0,23
II	8561	3673	0,43
III	9478	6168	0,65
IV	9172	7677	0,84
V	9478	9005	0,95
VI	9172	9136	0,99
VII	9478	9478	1
VIII	9478	8989	0,95
IX	9172	7442	0,81
X	9478	5543	0,58
XI	9172	2691	0,29
XII	9478	1445	0,15

$Q_{w,sol,us,m}$  - potrebna energija za pripremu potrošno tople vode [kWh]

$Q_{w,sol,out,m}$  - isporučena energija u sustav [kWh]

$f_{sol,m}$  - faktor pokrivanja [-]

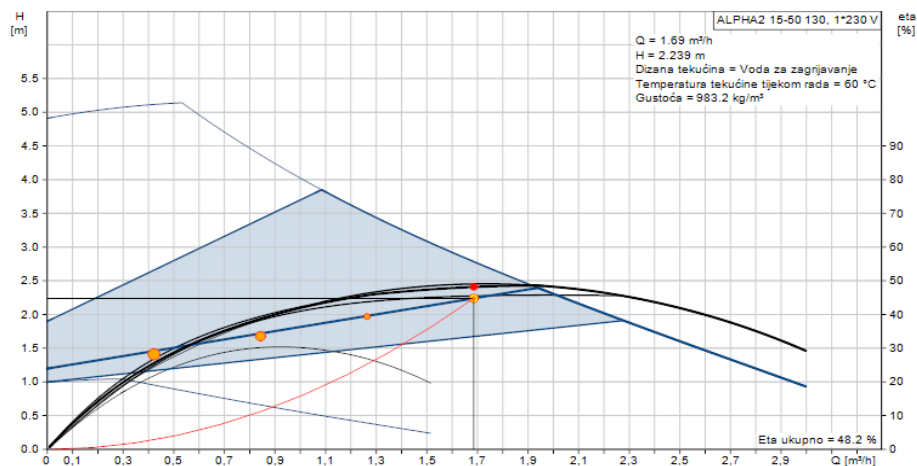
Iz priložene tablice 10. i na slici 10. prikazano je da je za potrebe zagrijavanja potrošno tople vode isporučena toplinska energija solarnih kolektora dovoljna za ljetne mjeseci, dok je izvan ljetnog perioda ostatak energije potrebno nadomjestiti preko toplinske podstanice.



Slika 10. Potrebna i dobivena sunčeva energija za potrebe zagrijavanja PTV-a

#### 4.3.1. ODABIR PUMPE SOLARNOG KRUGA ZA ZAGRIJAVANJE PTV-a

U sustavima sa većim brojem solarnih kolektora (12 i više) preporuča se manji protok solarnog fluida kroz kolektore od  $15 \text{ l/hm}^2$ . Kolektori su spojeni u 4 paralelna spoja sa po 12 kolektora u spoju. U tablici koju je dao proizvođač kolektora očitano je pad tlaka u kolektorima od  $6500 \text{ Pa}$  i pad tlaka u cjevovodu od  $15500 \text{ Pa}$  što je ukupno  $22000 \text{ Pa}$ . Odabrana pumpa ima visinu dobave  $2,24 \text{ metara}$  i protok od  $1,69 \text{ m}^3/\text{h}$ . Odabrao sam pumpu preko web „Grundfos“ aplikacije proizvođača iz koje uzimam pumpu „ALPHA2 15-50 130“. Karakteristika pumpe je prikazana na slici 11.



Slika 11. Karakteristika pumpe solarnog kruga zagrijavanja PTV-a ALPHA2 15-50 130



### 4.3.2. ODABIR EKSPANZIJSKE POSUDE SOLARNOG KRUGA ZA ZAGRIJAVANJE PTV-a

Postavljanjem ekspanzijske posude u sustav održava se tlak u sustavu unutar zadanih granica. Prije proračuna volumena ekspanzijske posude potrebno je odabrati sigurnosni ventil. Odabrani tlak pri kojem se sigurnosni ventil otvara je 6 bara. Minimalni volumen ekspanzijske posude računa se prema izrazu:

$$V_{nmin} = (\Delta V + V_D + V_v) * \frac{p_e + 1}{p_e - p_o} = (2,8 + 108 + 2) * \frac{5,5 + 1}{5,5 - 1,5} = 183,3 \text{ l}$$

gdje je:

$V_{nmin}$  – minimalni volumen zatvorene ekspanzijske posude [l]

$\Delta V$  – promjena volumena vode s promjenom temperature [l]

$V_D$  – preuzimanje sadržaja pare iz kolektora =  $V_K = 108 \text{ l}$

$V_v$  – dodatni volumen, uzima se kao 0,5% ukupnog volumena vode u sustavu = 2 [l]

$p_e$  – krajnji projektni tlak, uzima se 0,5 bara ispod tlaka otvaranja sigurnosnog ventila [bar]

$p_o$  – primarni tlak ekspanzijske posude prilikom isporuke – posuda prije isporuke mora biti pod tlakom od 1,5 bara zbog visine instalacije od 10 - 15 metara [bar]

$$\Delta V = V_{SUS} * \frac{n}{100} = 2,8 \text{ l}$$

$n$  – postotak širenja vode – preuzet iz tablice – [1]

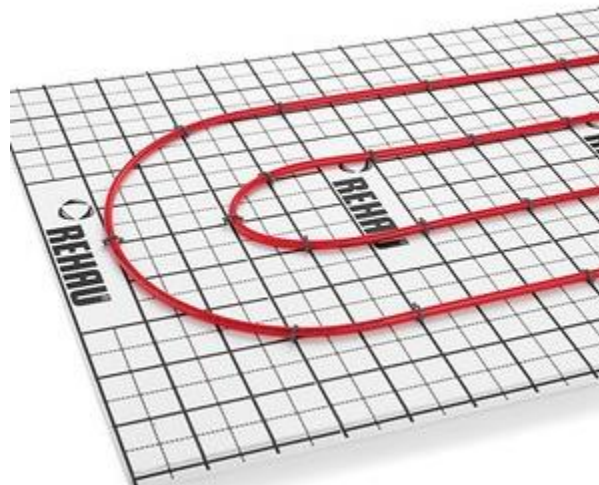
$V_{SUS}$  – volumen vode u sustavu

$$V_{SUS} = V_{KOL} + V_{CIJ} + V_{IZMJ} = 108 \text{ l} + 42 \text{ l} + 20 \text{ l} = 170 \text{ l}$$

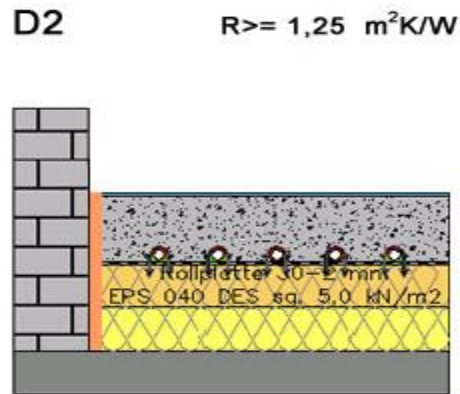
Odabrana je ekspanzijska posuda volumena 250 litara proizvođača Elbi.

## 5. DIMENZIONIRANJE PODNOG GRIJANJA

Sustav podnog grijanja postavljen je po cijelom prostoru dvorane osim po rubnim dijelovima gdje su postavljeni linijski difuzori za ubacivanje toplog zraka preko sustava toplozračnog grijanja. Dimenzioniranje sustava provedeno je u programu INTEGRACad. Temperaturni režim podnog grijanje je 45/40 °C. Instalirani toplinski učin ovisi o otporu podne obloge, razmaku polaganja cijevi, temperaturnom režimu ogrjevnog medija i temperaturi zraka u prostoriji. Broj krugova grijanja se određuje tako da se poštuju ograničenja o duljini cijevi od metara i padu tlaka od kroz jedan krug. Temperatura poda boravišne zone ne smije prelaziti 33 °C. Za sustav podnog grijanja korištena je Rehau Tacker mreža za pozicioniranje cijevi koja se zalijeva cementnim estrihom debljine 45 mm i toplinske vodljivosti 1,2 W/mK i koja je prikazana na slici 12. Ploče za pozicioniranje služe za fiksiranje cijevi i istovremeno kao barijera protiv penetracije estriha u izolaciju ispod ploče. Preporuka je da se kao obloga koriste keramičke pločice debljine 13 mm. Za toplinsku izolaciju podnog grijanja odabran je D2 Tp 30-2 sustav sa dodatnom izolacijom 30 mm prikazan na slici 13. koji se postavlja u slučaju kada je prostor ispod podnog grijanja povremeno grijan ili negrijan.



Slika 12. Rehau Tacker mreža [3]



Slika 13. D2 Tp 30-2 sustav sa dodatnom izolacijom 30 mm [3]

U ovom radu korištene su cijevi Rehau – Rautherm 20x2,0 kolut u kolutu od 150 metara. Na slici 14. prikazana je cijev podnog grijanja. Zbog lakše instalacije preporuča se koristiti kolut cijevi. Fiksiranje cijevi postiže se Rehau Tacker iglom koja svojim specijalno oblikovanim vrhovima za pridržavanje jamči fiksiranje Rehau cijevi bez ispadanja iz mreže. Rehau Tacker igla prikazana je na slici 15.



Slika 14. Rehau Rautherm cijev [3]



Slika 15. Rehau Tacker igla [3]

Krugovi podnog grijanja su spojeni na razdjelnike i sabirnike koji se smještaju u Rehau razvodni ormar UP. Razdjelnik i sabirnik su prikazani na slici 16. U ovom projektu je ugrađeno 9 ormarića čiji broj grijaćih krugova varira od 6 do 12. Svaki razdjelnik sadrži mjerač protoka s mogućnošću zatvaranja po grijaćem krugu u polaznom vodu, uložak termostatskog ventila s regulacijom količine protoka u povratnom vodu i završne kapice razdjelnika s ventilom za odzračivanje i slavinom za punjenje/pražnjenje. Dimenzije razvodnih ormarića variraju prema broju grijaćih krugova, a najzastupljeniji razvodni ormarić je od 12 krugova i dimenzija duljine 1174, dubine, 110 i visine 708 milimetara. Razvodni ormarić je prikazan na slici 17.



Slika 16. Rehau razdjelnik i sabirnik [3]



Slika 17. Razvodni ormarić Rehau UP [3]

## 5.1 REZULTATI PRORAČUNA PODNOG GRIJANJA

U prostoru je ugrađeno 86 petlji podnog grijanja koje su spojene na 9 razvodnih ormarića. Ukupno ugrađena površina podnog grijanja je 3350 m<sup>2</sup>, a ukupno instalirani toplinski učin podnog grijanja je 157 kW, što pokriva 27% ukupnih toplinskih gubitaka prostorije. Ostatak će se pokriti preko toplozračnog grijanja.

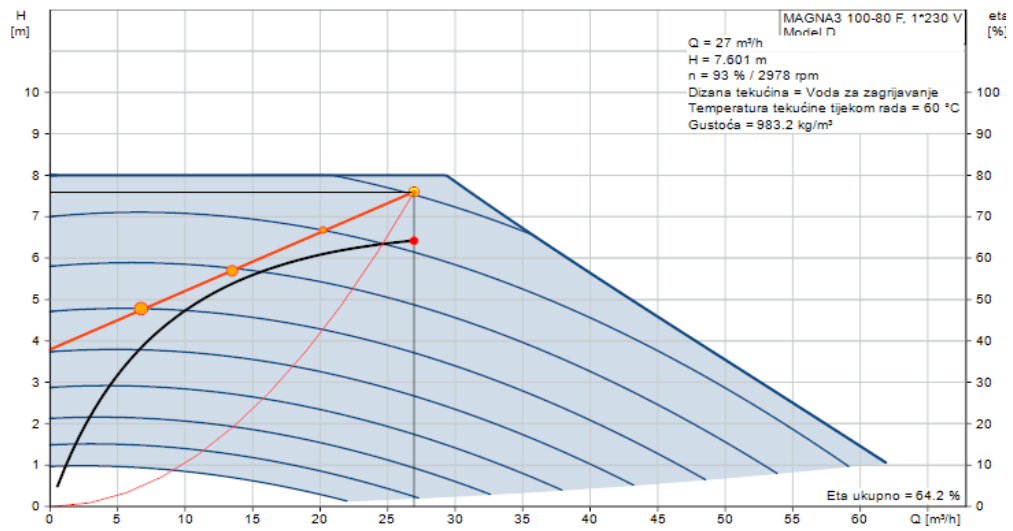
## 5.2. ODABIR PUMPE PODNOG GRIJANJA

U tablici 11. je prikazana kritična dionica podnog grijanja preko koje će se odrediti ukupan pad tlaka kojeg pumpa mora svladati.

Tablica 11. Kritična dionica podnog grijanja

Dionica	L [m]	Toplina [kW]	Vodena vrijednost [W/K]	Protok [kg/s]	DN [mm]	Unutarnji promjer cijevi [mm]	R [Pa/m]	R*L [Pa]	$\sum \xi$	Z [Pa]	R*L + Z [Pa]
1	14	157	31400	7,5	80	82,5	200	2800	7,5	6326	30326
2	24	130,175	26035	6,2	80	82,5	160	3840	3	2156	5996
3	7	102,793	20559	4,9	80	82,5	100	700	1,5	676	1376
4	66	58,106	11621	2,8	60	64	120	7920	2	721	8641
5	6	42,239	8448	2	/	57	120	720	2	639	1359
6	67	22,894	4579	1,1	50	51,5	60	4020	3,5	528	4548
7	100	11,821	2364	0,6	32	35,75	110	11000	0	0	11000
8	150	2,444	489	0,1							17300
Razdjelni ormarić											15000
Ukupno											74346

Prema rezultatima iz tablice potrebna je pumpa s visinom dobave 7,59 metara i protokom 27 m<sup>3</sup>/h. Pumpa se odabire pomoću web aplikacije proizvođača „Grundfoss“ iz koje preuzimamo pumpu „MAGNA3 100-80 F“. Karakteristika pumpe prikazana je na slici 18.



Slika 18. Karakteristika pumpe podnog grijanja MAGNA3 100-80 F

## 6. PRORAČUN TOPLOZRAČNOG GRIJANJA

Toplozračno grijanje u zgradi podijeljeno je na 3 klimatizacijske jedinice i ima za zadatak pokriti ventilacijske gubitke prostorije, toplinske gubitke zbog ponovnog pokretanja sustava i onaj dio toplinskih gubitaka provođenjem kojeg podno grijanje nije pokrilo. Za ventilaciju dijela prostora bazena 1 predviđene su 2 klimatizacijske jedinice. Jedna od njih ima za zadatak dobiti zrak uz staklene i zidne površine kroz linijske difuzore, dok druga ima za zadatak dobiti zrak iznad prostora gledališta. Obje klimatizacijske jedinice imaju kanale za odsisavanje zraka iznad bazena. Za ventilaciju dijela prostora bazena 2 predviđena je jedna klimatizacijska jedinica koja ima za zadatak dobiti zrak uz staklene i zidne površine kroz linijske difuzore te iznad prostora gledališta. Sustav kanala za odsisavanje zraka je postavljen iznad bazena.

Ogrjevni medij za potrebe toplozračnog grijanja je topla voda temperature 70/50 °C. Klimatizacijske jedinice smještene su u podrumu zgrade i smještene su blizu sadržaja koji opslužuju. Zrak se filtrira i grije u klimatizacijskim jedinicama i ubacuje u prostor preko limenih kanala. U prostoru bazena je potrebno odvlažiti zrak uslijed ishlapljivanja bazenske vode. Otpadni zrak se nakon iskorištenja u rekuperatorima izbacuje van prostora zgrade.

Potreba za odsisavanjem zraka iz prostora javlja se zbog ishlapljene vode iz bazena. Kao što je navedeno kod toplinskih gubitaka ishlapljivanjem kod bazena, maseni protok ishlapljene vode iznosi 0,126 kg/s. Prema smjernici VDI 2089 izračunava se potrebni protok zraka za odsisavanje. Potrebni protok zraka za odsisavanje prikazan je u tablici 12.

$$V_z = \frac{3600 \cdot \rho \cdot m_w}{x_p - x_{vz}}$$

gdje su:

$V_z$  – potreban protok zraka za odsisavanje [m<sup>3</sup>/h]

$\rho$  – gustoća zraka – 1,2304 [kg/m<sup>3</sup>]

$m_w$  – maseni protok ishlapljene vode – 0,126 [kg/s]

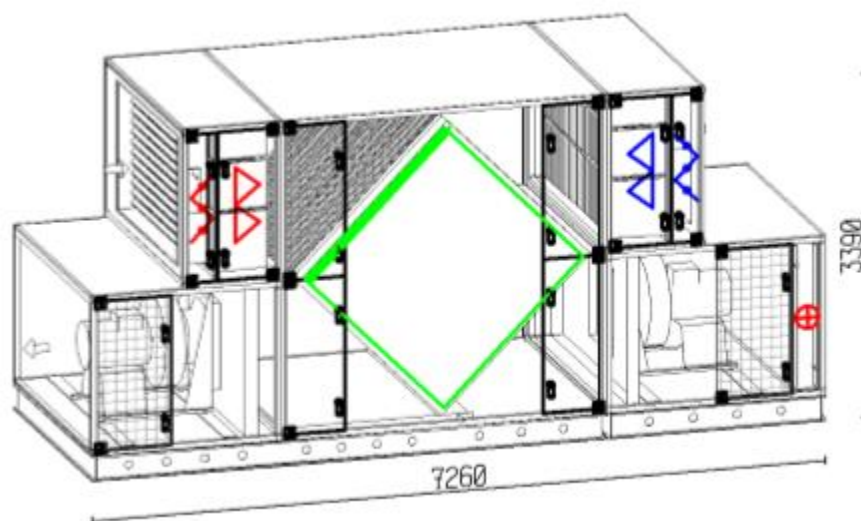
$x_p$  – apsolutna vlažnost zraka u prostoriji – 0,014 [kg/kg]

$x_{vz}$  – prosječna mjesečna apsolutna vlažnost vanjskog zraka [kg/kg]

Tablica 12. Potrebni protok zraka za odsisavanje

Mjesec	xvz [kg/kg]	Vz [m <sup>3</sup> /h]	Vz [m <sup>3</sup> /h] – bazen 1	Vz [m <sup>3</sup> /h] – bazen 2
1.	0,003	32735	19720	13015
2.	0,0036	34835	20985	13850
3.	0,0041	36530	22006	14524
4.	0,0059	44342	26712	17630
5.	0,0072	52080	31373	20707
6.	0,0098	82721	49832	32889
7.	0,01	83764	50460	33304
8.	0,0088	87490	52705	34785
9.	0,0074	67811	40850	26961
10.	0,0062	54307	32715	21592
11.	0,0037	46052	27742	18310
12.	0,006	35167	21185	13982

Odabrane su klimatizacijske komore preko softvera „SystemAirCAD“. Klimatizacijska jedinica koja će se koristiti u ovom projektu prikazana je na slici 19.



Slika 19. Odabrana klimatizacijska komora [4]



Karakteristike komponenata klimatizacijske jedinice prikazane su u idućim tablicama. Karakteristike rekuperatora topline prikazane su u tablici 13. Karakteristike grijača prikazane su u tablici 14. Karakteristike ventilatora prikazane su u tablici 15.

Tablica 13. Karakteristike pločastog rekuperatora topline

	Dobavni zrak	Odsisni zrak
Pad tlaka [Pa]	314	315
ZIMA		
Temperatura zraka prije i poslije rekuperatora [°C]	-15/21,1	28/9,3
Relativna vlažnost zraka prije i poslije rekuperatora [%]	85/6	60/100
LJETO		
Temperatura zraka prije i poslije rekuperatora [°C]	32/29,1	28/30,9
Relativna vlažnost zraka prije i poslije rekuperatora [%]	50/59	60/51

Također važno je nadodati da su razmaci između ploča rekuperatora 5 mm te da je učinkovitost rekuperatora 84%.

Tablica 14. Karakteristike grijača

Pad tlaka na strani zraka [Pa]	45
Temperatura zraka prije i poslije grijača [°C]	21,1/40
Relativna vlažnost zraka prije i poslije grijača [%]	6/2
Toplinski učin grijača [kW]	222,05
Temperaturni režim vode [°C]	70/50
Brzina vode u grijaču [l/s]	2,71
Pad tlaka grijača na strani vode [Pa]	14500

Također važno je nadodati da su cijevi za polaz i povrat iz toplinske podstanice bakrene, a materijal grijača je aluminij.

Tablica 15. Karakteristike ventilatora

	Dobavni zrak	Odsisni zrak
Ukupni pad tlaka [Pa]	748	736
Snaga ventilatora [kW]	9,85	9,72
Maksimalna brzina vrtnje [o/min.]	1160	1160

Ventilatori u tablici 15. projektirani su za pad tlaka u kanalima 1. ventilacijske jedinice.

Da bi zrak za ventilaciju bio odgovarajuće kvalitete, u sekciju za dobavu zraka potrebno je ugraditi vrećasti filter F7 koji se postavljaju nakon regulacijske žaluzije. U sekciji za odsis smjestit će se vrećasti filter M5 s ciljem zaštite ventilatora i rekuperatora od nečistoće iz povratnog zraka. U tablici 16. prikazane su karakteristike filtera zraka za dobavni i odsisni zrak. Vrećasti filter je prikazan na slici 20.

Tablica 16. Karakteristike filtera zraka

Pad tlaka [Pa]	143
Brzina zraka na ulazu u filter [m/s]	3,01
Brzina zraka u filteru [m/s]	0,16
Klasa filtera	F7
Dubina filtera [mm]	520



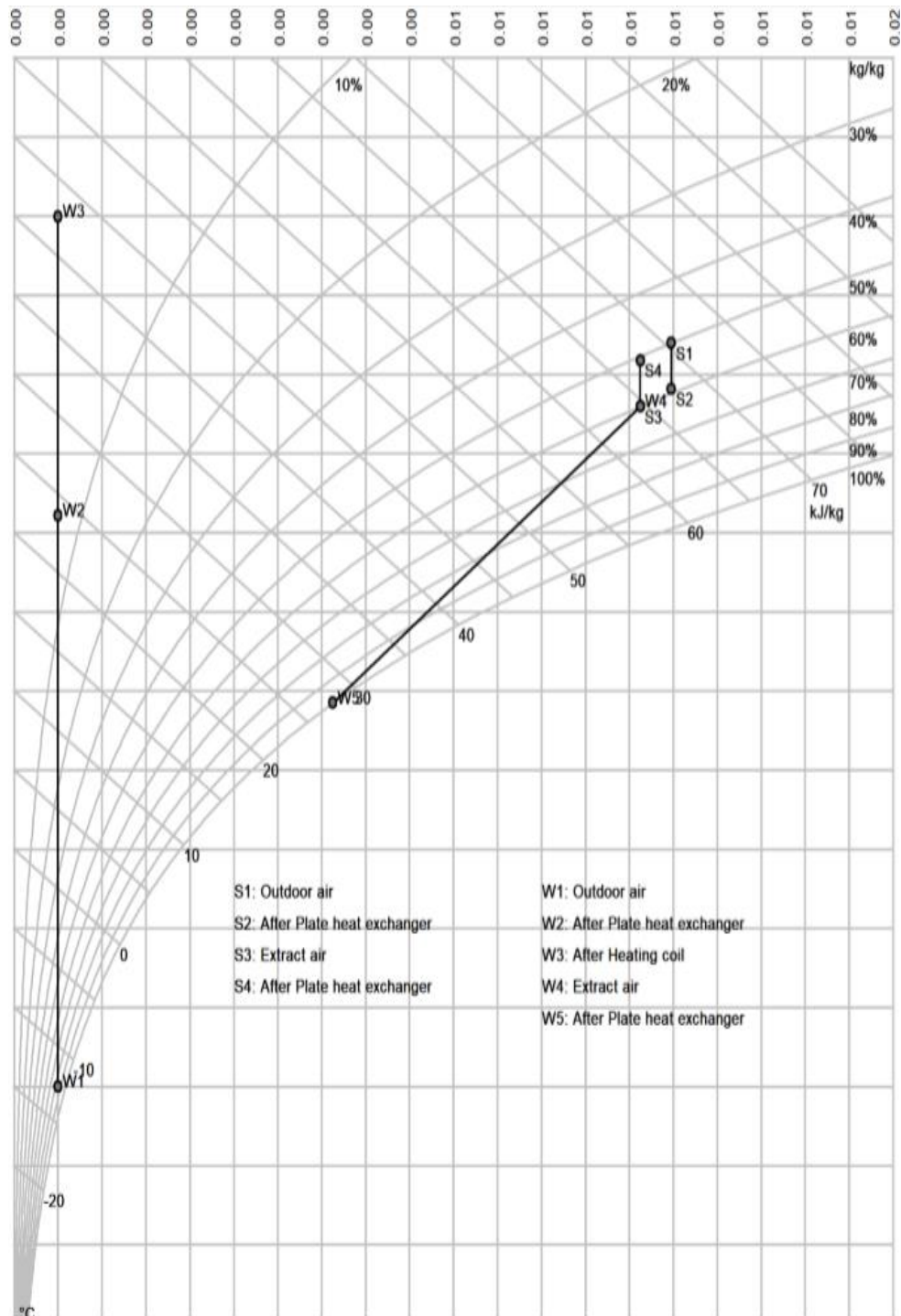
Slika 20. Vrećasti filter F7

Regulacijske žaluzine instaliraju se na ulaz vanjskog zraka i na izlaz istrošenog zraka. Regulacija se postiže zakretanjem zaklopki. Regulacijska žaluzina je prikazana na slici 21.



Slika 21. Regulacijska žaluzina

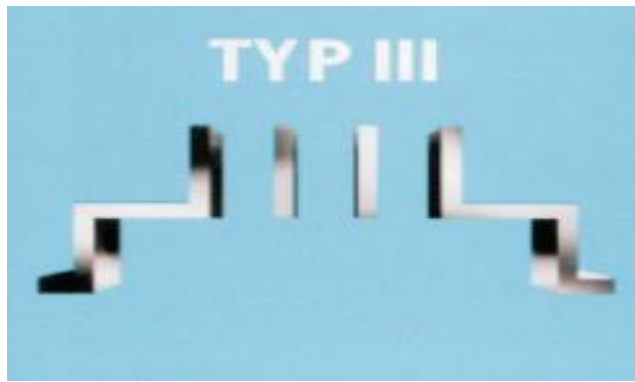
Na slici 22. je prikazana priprema zraka u h,x dijagramu.



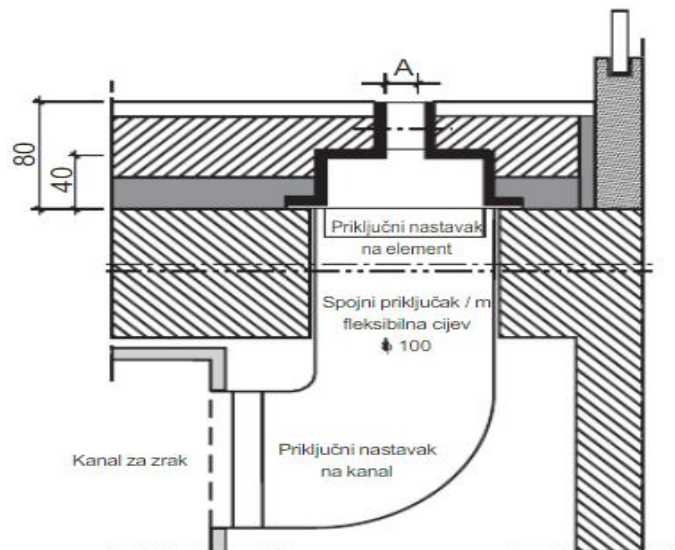
Slika 22. Proces pripreme zraka u h,x dijagramu

## 6.1. ODABIR OTVORA ZA DOBAVU I ODSIS ZRAKA

Kako bi se zrak mogao dovesti ili odvesti iz objekta potrebno je odabrati i dimenzionirati kanalne otvore. Potrebno je paziti na pravilnu distribuciju zraka, odgovarajuću brzinu i pad tlaka zraka. Za odabir otvora odsisavanja zraka iznad površine bazena i dobave zraka iznad gledališta koristi se software „AURA Select“ proizvođača „Klimaoprema“. Za dobavu zraka uz prozorske i zidne površine koriste se linijski difuzori za ubacivanje zraka od tvrtke „Menerga“. Odabran je TYP III, 3 x 15 mm prikazan na slici 23. Izvedba linijskih difuzora u zgradi prikazana je na slici 24. Osim linijskih difuzora na svim ostalim dobavnim kanalima koriste se pravokutne rešetke tipa „ANA - 3 – UR“ koja je prikazana na slici 25.



Slika 23. Linijski difuzori Menerga za dobavu zraka - TYP III, 3 x 15 mm



Slika 24. Spojni priključak između kanala za zrak i linijskog difuzora



Slika 25. Ventilacijska rešetka "ANA - 3- UR" za dobavu zraka

Za odsis zraka iz zgrade koriste se ventilacijske rešetke „OAB 1-0“ proizvođača „Klimaoprema“ koja se nalazi na slici 26. Rešetke se smještaju na glavne kanale koji se nalaze iznad bazenskih površina te se spajaju sa prijelaznim komadom pravokutnog na okrugli presjek. Dimenzije rešetke ovise o količini zraka koju je potrebno dovesti. Distributeri za dobavu te rešetke za odsis moraju biti smješteni na odgovarajućoj udaljenosti kako ne bi došlo do recirkulacije zraka.



Slika 26. Ventilacijska rešetka "OAB 1-0" za odsis zraka

## 6.2. ODABIR REGULATORA VARIJABILNOG PROTOKA

Regulatori varijabilnog protoka koriste se za regulaciju količine zraka koja se sustavom prisilne ventilacije dovodi ili odvodi iz prostorije. Time se omogućava prilagodba ventilacijskog sustava stvarnim potrebama čime se postižu značajne uštede na pogonskim troškovima. Regulator varijabilnog protoka sastoji se od osjetnika tlaka, pretvornika diferencijalnog tlaka, upravljačke jedinice, lamele i motornog pogona.

Funkcija regulatora je održavanje protoka zraka između najmanje i najveće unaprijed postavljene vrijednosti protoka zraka. Količina zraka se određuje preko sobnog osjetnika relativne vlažnosti zraka u prostoru koji zatim izlaznim signalom pokreće motorni pogon. Postavljena količina dobavnog/odsisnog zraka postiže se održavanjem diferencijalnog tlaka na regulatoru. Pogonom motora regulatora upravlja osjetnik relativne vlažnosti zraka u prostoru smješten u prostoriji.

Osjetnik ima mogućnost namještanja minimalne i maksimalne vrijednosti protoka zraka koji se dovodi/odvodi iz prostora. Regulator varijabilnog protoka je izabran od proizvođača „Klimaoprema“ tipa „RVP-C“ i prikazan na slici 27.



Slika 27. Regulator varijabilnog protoka Klimaoprema - RVP - C

### 6.3. DIMENZIONIRANJE KANALA ZA VENTILACIJU

Količina kojom se vrši ventilacija zgrade iznosi  $3 \times 35\,100 \text{ m}^3/\text{h}$ . Udio svježeg zraka ručno se može podešavati pomoću elemenata automatske regulacije. U slučaju manje popunjenosti prostora može se količina svježeg zraka smanjiti do minimalno 10% od ukupne količine (u zimskim mjesecima). Ukoliko nema potrebe za rad sve tri klimatizacijske jedinice onda može raditi samo jedna jedinica.

#### 1. Klimatizacijska jedinica:

Sustav dobave zraka je izveden kroz kanale pravokutnog oblika te se preko linijskih difuzora zrak ubacuje u prostor. U tablici 17. prikazan je pad tlaka za dionicu dobave zraka 1. klimatizacijske jedinice.

Tablica 17. Pad tlaka u pravokutnim kanalima za dobavu zraka - 1. klimatizacijska jedinica

Dionica	V [m <sup>3</sup> /h]	L [m]	Dimenzije kanala [mm]	Dh [mm]	w [m/s]	$\Sigma$ $\xi$ [Pa]	R [Pa/m]	R*I [Pa]	Z [Pa]	R*I+Z [Pa]
1 - 2	35100	17,7	20000 x 800	1143	9,52	0,33	0,84	14,91	22,52	37,43
2 - 3	34625	1,00	2000 x 800	1143	9,38	0,00	0,70	0,70	0,00	0,70
3 - 4	34150	1,00	2000 x 800	1143	9,25	0,00	0,68	0,68	0,00	0,68
4 - 5	33675	1,00	2000 x 800	1143	9,12	0,00	0,66	0,66	0,00	0,66
5 - 6	33200	1,00	2000 x 800	1143	8,99	0,00	0,65	0,65	0,00	0,65
6 - 7	32725	1,00	2000 x 800	1143	8,86	0,00	0,63	0,63	0,00	0,63

7 - 8	32250	1,00	2000 x 800	1143	8,73	0,00	0,61	0,61	0,00	0,61
8 - 9	31775	1,00	2000 x 800	1143	8,60	0,00	0,59	0,59	0,00	0,59
9 - 10	31300	1,00	2000 x 800	1143	8,48	0,00	0,58	0,58	0,00	0,58
10 - 11	30825	1,00	2000 x 800	1143	8,35	0,00	0,56	0,56	0,00	0,56
11 - 12	30350	1,00	2000 x 800	1143	8,22	0,00	0,54	0,54	0,00	0,54
12 - 13	29875	1,00	2000 x 800	1143	8,09	0,00	0,53	0,53	0,00	0,53
13 - 14	29400	1,00	2000 x 800	1143	7,96	0,00	0,51	0,51	0,00	0,51
14 - 15	28925	1,00	2000 x 800	1143	7,83	0,00	0,49	0,49	0,00	0,49
15 - 16	28450	1,00	2000 x 800	1143	7,70	0,00	0,48	0,48	0,00	0,48
16 - 17	27975	1,00	2000 x 800	1143	7,58	0,00	0,46	0,46	0,00	0,46
17 - 18	27500	1,00	2000 x 800	1143	7,45	0,00	0,45	0,45	0,00	0,45
18 - 19	27025	1,00	2000 x 800	1143	7,32	0,00	0,43	0,43	0,00	0,43
19 - 20	26550	1,00	2000 x 800	1143	7,19	0,00	0,42	0,42	0,00	0,42
20 - 21	26075	1,00	2000 x 800	1143	7,06	0,00	0,41	0,41	0,00	0,41
21 - 22	25600	1,00	2000 x 800	1143	6,93	0,00	0,39	0,39	0,00	0,39
22 - 23	25125	1,00	2000 x 800	1143	6,80	0,00	0,38	0,38	0,00	0,38
23 - 24	24650	1,00	2000 x 800	1143	6,67	0,00	0,36	0,36	0,00	0,36
24 - 25	24175	1,00	2000 x 800	1143	6,55	0,00	0,35	0,35	0,00	0,35
25 - 26	23700	1,00	2000 x 800	1143	6,42	0,00	0,34	0,34	0,00	0,34
26 - 27	23225	1,00	2000 x 800	1143	6,29	0,00	0,32	0,32	0,00	0,32
27 - 28	22750	1,00	2000 x 800	1143	6,16	0,00	0,31	0,31	0,00	0,31
28 - 29	22275	1,00	2000 x 800	1143	6,03	0,00	0,30	0,30	0,00	0,30
29 - 30	21800	1,00	2000 x 800	1143	5,90	0,00	0,29	0,29	0,00	0,29
30 - 31	21325	1,00	2000 x 800	1143	5,77	0,00	0,28	0,28	0,00	0,28
31 - 32	20850	1,00	2000 x 800	1143	5,65	0,00	0,26	0,26	0,00	0,26
32 - 33	20375	1,00	2000 x 800	1143	5,52	0,00	0,25	0,25	0,00	0,25
33 - 34	19900	1,00	2000 x 800	1143	5,39	0,00	0,24	0,24	0,00	0,24
34 - 35	19425	1,00	2000 x 800	1143	5,26	0,00	0,23	0,23	0,00	0,23
35 - 36	18950	1,00	2000 x 800	1143	5,13	0,00	0,22	0,22	0,00	0,22
36 - 37	18475	1,00	2000 x 800	1143	5,00	0,00	0,21	0,21	0,00	0,21
37 - 38	18000	1,00	2000 x 800	1143	4,87	0,00	0,20	0,20	0,00	0,20
38 - 39	17525	1,00	2000 x 800	1143	4,75	0,00	0,19	0,19	0,00	0,19
39 - 40	17050	1,00	2000 x 800	1143	4,62	0,00	0,18	0,18	0,00	0,18
40 - 41	16575	1,00	2000 x 800	1143	4,49	0,00	0,17	0,17	0,00	0,17
41 - 42	16100	1,00	2000 x 800	1143	4,36	0,00	0,16	0,16	0,00	0,16
42 - 43	15625	1,00	2000 x 800	1143	4,23	0,00	0,15	0,15	0,00	0,15
43 - 44	15150	1,00	2000 x 800	1143	4,10	0,00	0,14	0,14	0,00	0,14
44 - 45	14675	1,00	2000 x 800	1143	3,97	0,00	0,14	0,14	0,00	0,14
45 - 46	14200	1,00	2000 x 800	1143	3,85	0,00	0,13	0,13	0,00	0,13
46 - 47	13725	1,00	2000 x 800	1143	3,72	0,00	0,12	0,12	0,00	0,12
47 - 48	13250	1,00	2000 x 800	1143	3,59	0,00	0,11	0,11	0,00	0,11
48 - 49	12775	1,00	2000 x 800	1143	3,46	0,00	0,10	0,10	0,00	0,10
49 - 50	12300	1,00	2000 x 800	1143	3,33	0,00	0,10	0,10	0,00	0,10
50 - 51	11825	1,00	2000 x 800	1143	3,20	0,00	0,09	0,09	0,00	0,09

51 - 52	11350	1,00	2000 x 800	1143	3,07	0,00	0,08	0,08	0,00	0,08
52 - 53	10875	12,5	2000 x 800	1143	2,94	0,11	0,08	0,97	0,64	1,60
53 - 54	10400	1,00	2000 x 800	1143	2,82	0,00	0,07	0,07	0,00	0,07
54 - 55	9925	1,00	2000 x 800	1143	2,69	0,00	0,07	0,07	0,00	0,07
55 - 56	9450	1,00	2000 x 800	1143	2,56	0,00	0,06	0,06	0,00	0,06
56 - 57	8975	1,00	2000 x 800	1143	2,43	0,00	0,05	0,05	0,00	0,05
57 - 58	8500	1,00	2000 x 800	1143	2,30	0,00	0,05	0,05	0,00	0,05
58 - 59	8025	7,60	2000 x 800	1143	2,17	0,00	0,04	0,33	0,00	0,33
59 - 60	7550	1,00	2000 x 800	1143	2,04	0,00	0,04	0,04	0,00	0,04
60 - 61	7075	1,00	2000 x 800	1143	1,92	0,00	0,03	0,03	0,00	0,03
61 - 62	6600	1,00	2000 x 800	1143	1,79	0,00	0,03	0,03	0,00	0,03
62 - 63	6125	1,00	2000 x 800	1143	1,66	0,00	0,03	0,03	0,00	0,03
63 - 64	5650	1,00	2000 x 800	1143	1,53	0,00	0,02	0,02	0,00	0,02
64 - 65	5175	7,60	2000 x 800	1143	1,40	0,00	0,02	0,15	0,00	0,15
65 - 66	4700	1,00	2000 x 800	1143	1,27	0,00	0,02	0,02	0,00	0,02
66 - 67	4225	1,00	2000 x 800	1143	1,14	0,00	0,01	0,01	0,00	0,01
67 - 68	3750	1,00	2000 x 800	1143	1,02	0,00	0,01	0,01	0,00	0,01
68 - 69	3275	1,00	2000 x 800	1143	0,89	0,00	0,01	0,01	0,00	0,01
69 - 70	2800	1,00	2000 x 800	1143	0,76	0,00	0,01	0,01	0,00	0,01
70 - 71	2325	5,60	2000 x 800	1143	0,63	0,00	0,00	0,03	0,00	0,03
71 - 72	1850	1,00	2000 x 800	1143	0,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
72 - 73	1375	1,00	2000 x 800	1143	0,37	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
73 - 74	900	1,00	2000 x 800	1143	0,24	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
74 - 75	475	1,00	2000 x 800	1143	0,13	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
75 - 76	475	0,30	φ 100	100	16,8	00,1	43,5	13,05	00,00	13,05
<b>Ukupno</b>								<b>37,15</b>	<b>23,27</b>	<b>60,42</b>

Sustav odsisa zraka izveden je kroz kanale kružnog presjeka iznad površine bazena. U tablici 18. prikazan je pad tlaka u kanalima kružnog presjeka 1. klimatizacijske jedinice.

Tablica 18. Pad tlaka u kanalima kružnog presjeka za odsis zraka - 1. klimatizacijska jedinica

Dionica	V [m <sup>3</sup> /h]	L [m]	Dimenzije kanala [mm]	w [m/s]	∑ ξ [Pa]	R [Pa/m]	R*I [Pa]	Z [Pa]	R*I+Z [Pa]
1 - 2	35100	2,00	φ 1100	10,3	0,00	0,87	1,75	0,00	1,75
2 - 3	35100	6,50	φ 1100	10,3	0,11	0,87	5,67	7,72	13,4
3 - 4	35100	10,0	φ 1100	10,3	0,11	0,87	8,73	7,72	16,4
4 - 5	35100	30,0	φ 1100	10,3	0,11	0,87	26,18	7,72	33,9
5 - 6	35100	6,00	φ 1100	10,3	0,11	0,87	5,24	7,72	13,0
6 - 7	31590	4,20	φ 1100	9,23	0,00	0,71	2,99	0,00	2,99
7 - 8	28080	5,40	φ 1100	8,21	0,00	0,57	3,06	0,00	3,06
8 - 9	24570	5,40	φ 1100	7,18	0,00	0,44	2,37	0,00	2,37



9 - 10	21060	5,50	φ 1100	6,16	0,00	0,33	1,8	0,00	1,8
10 - 11	17550	5,30	φ 1100	5,13	0,00	0,23	1,22	0,00	1,22
11 - 12	14040	5,50	φ 1100	4,1	0,00	0,15	0,83	0,00	0,83
12 - 13	10530	5,40	φ 1100	3,1	0,00	0,09	0,48	0,00	0,48
13 - 14	7020	5,30	φ 1100	2,05	0,00	0,04	0,22	0,00	0,22
14 - 15	3510	4,90	φ 1100	1,03	20,0	0,01	0,06	0,00	00,1
<b>Ukupno</b>							<b>60,6</b>	<b>30,88</b>	<b>91,48</b>

Pad tlaka u kanalima za dobavu zraka 1. ventilacijske jedinice iznosi 60,42 Pa, na to se dodaju padovi tlaka na istrujnoj rešetki, zaštitnoj kapi, regulatoru varijabilnog protoka i istrujnom otvoru te s time ukupni eksterni pad tlaka iznosi 200 Pa. Istim postupkom određen je eksterni pad tlaka odsisne ventilacije 150 Pa.

## 2. Klimatizacijska jedinica:

Sustav dobave zraka je izveden kroz kanale kružnog presjeka iznad gledališta. U tablici 19. prikazan je pad tlaka kritične dionice za dobavu zraka kružnog presjeka.

Tablica 19. Pad tlaka u kanalima kružnog presjeka za dobavu zraka - 2. klimatizacijska jedinica

Dionica	V [m <sup>3</sup> /h]	L [m]	Dimenzije kanala [mm]	w [m/s]	Σ ξ [Pa]	R [Pa/m]	R*I [Pa]	Z [Pa]	R*I+Z [Pa]
1 - 2	35100	13,0	φ 1100	10,3	0,22	0,87	11,35	15,43	26,78
2 - 3	35100	2,90	φ 1100	10,3	0,11	0,87	2,53	7,72	10,25
3 - 4	31910	5,00	φ 1100	9,33	0,00	0,73	3,63	0,00	3,63
4 - 5	28720	5,00	φ 1100	8,39	0,00	0,59	2,96	0,00	2,96
5 - 6	25530	5,00	φ 1100	7,46	0,00	0,47	2,36	0,00	2,36
6 - 7	22340	5,00	φ 1100	6,53	0,00	0,37	1,83	0,00	1,83
7 - 8	19150	5,00	φ 1100	5,60	0,00	0,27	1,36	0,00	1,36
8 - 9	15960	5,00	φ 1100	4,67	0,00	0,19	0,96	0,00	0,96
9 - 10	12770	5,00	φ 1100	3,73	0,00	0,13	0,63	0,00	0,63
10 - 11	9580	5,00	φ 1100	2,80	0,00	0,07	0,37	0,00	0,37
11 - 12	6390	5,00	φ 1100	1,87	0,00	0,03	0,17	0,00	0,17
12 - 13	3190	5,00	φ 1100	0,93	20,0	0,01	0,05	0,00	0,05
<b>Ukupno</b>							<b>28,15</b>	<b>23,15</b>	<b>51,3</b>

Sustav odsisa zraka izveden je kroz kanale kružnog presjeka iznad površine bazena. U tablici 20. prikazan je pad tlaka odsisnih kanala zraka kružnog presjeka.

Tablica 20. Pad tlaka u kanalima kružnog presjeka za odsis zraka - 2. klimatizacijska jedinica

Dionica	V [m <sup>3</sup> /h]	L [m]	Dimenzije kanala [mm]	w [m/s]	$\sum$ $\xi$ [Pa]	R [Pa/m]	R*I [Pa]	Z [Pa]	R*I+Z [Pa]
1 - 2	35100	2,00	φ 1100	10,3	0,00	0,87	1,75	0,00	1,75
2 - 3	35100	6,50	φ 1100	10,3	0,11	0,87	5,67	7,72	13,4
3 - 4	35100	10,0	φ 1100	10,3	0,11	0,87	8,73	7,72	16,4
4 - 5	35100	15,0	φ 1100	10,3	0,11	0,87	13,09	7,72	33,9
5 - 6	35100	6,00	φ 1100	10,3	0,11	0,87	5,24	7,72	13,0
6 - 7	31590	4,20	φ 1100	9,23	0,00	0,71	2,99	0,00	2,99
7 - 8	28080	5,40	φ 1100	8,21	0,00	0,57	3,06	0,00	3,06
8 - 9	24570	5,40	φ 1100	7,18	0,00	0,44	2,37	0,00	2,37
9 - 10	21060	5,50	φ 1100	6,16	0,00	0,33	1,8	0,00	1,8
10 - 11	17550	5,30	φ 1100	5,13	0,00	0,23	1,22	0,00	1,22
11 - 12	14040	5,50	φ 1100	4,1	0,00	0,15	0,83	0,00	0,83
12 - 13	10530	5,40	φ 1100	3,1	0,00	0,09	0,48	0,00	0,48
13 - 14	7020	5,30	φ 1100	2,05	0,00	0,04	0,22	0,00	0,22
14 - 15	3510	4,90	φ 1100	1,03	20,0	0,01	0,06	0,00	0,1
<b>Ukupno</b>							<b>47,51</b>	<b>30,88</b>	<b>78,39</b>

Pad tlaka u kanalima za dobavu zraka 2. ventilacijske komore iznosi 51,3 Pa, na to se moraju dodati padovi tlaka na istrujnoj rešetki, zaštitnoj kapi, regulatoru varijabilnog protoka i istrujnom otvoru te s time ukupni eksterni pad tlaka iznosi 180 Pa. Istim postupkom određen je eksterni pad tlaka odsisne ventilacije 130 Pa.

### 3. Klimatizacijska jedinica:

Sustav dobave zraka izveden je kroz kanale pravokutnog oblika te se preko linijskih difuzora vrši ubacivanje zraka u prostor uz prozorske površine i zidove. U tablici 21. prikazan je pad tlaka dobavnih kanala zraka za kritičnu dionicu.

Tablica 21. Pad tlaka u kanalima pravokutnog oblika za dobavu zraka - 3. klimatizacijska jedinica

Dionica	V [m <sup>3</sup> /h]	L [m]	Dimenzije kanala [mm]	Dh [mm]	w [m/s]	$\sum$ $\xi$ [Pa]	R [Pa/m]	R*I [Pa]	Z [Pa]	R*I+Z [Pa]
1 - 2	35100	11,0	2000 x 800	1143	9,50	0,11	0,72	7,91	6,62	14,53
2 - 3	27100	14,0	2000 x 800	1143	7,34	0,22	0,44	6,11	7,90	14,01
3 - 4	26620	1,00	2000 x 800	1143	7,21	0,00	0,42	0,42	0,00	0,42

4 - 5	26140	1,00	2000 x 800	1143	7,08	0,00	0,41	0,41	0,00	0,41
5 - 6	25660	5,00	2000 x 800	1143	6,95	0,00	0,39	1,97	0,00	1,97
6 - 7	25180	1,00	2000 x 800	1143	6,82	0,00	0,38	0,38	0,00	0,38
7 - 8	24700	1,00	2000 x 800	1143	6,69	0,00	0,37	0,37	0,00	0,37
8 - 9	24220	3,90	2000 x 800	1143	6,56	0,00	0,35	1,37	0,00	1,37
9 - 10	23740	1,00	2000 x 800	1143	6,43	0,00	0,34	0,34	0,00	0,34
10 - 11	23260	1,00	2000 x 800	1143	6,30	0,00	0,33	0,33	0,00	0,33
11 - 12	22780	13,0	2000 x 800	1143	6,17	0,00	0,31	4,07	0,00	4,07
12 - 13	22300	0 1,00	2000 x 800	1143	6,04	0,00	0,30	0,30	0,00	0,30
13 - 14	21820	1,00	2000 x 800	1143	5,91	0,00	0,29	0,29	0,00	0,29
14 - 15	21340	8,70	2000 x 800	1143	5,78	0,00	0,28	2,40	0,00	2,40
15 - 16	20860	1,00	2000 x 800	1143	5,65	0,00	0,26	0,26	0,00	0,26
16 - 17	20380	1,00	2000 x 800	1143	5,52	0,00	0,25	0,25	0,00	0,25
17 - 18	19900	12,7	2000 x 800	1143	5,39	0,00	0,24	3,07	0,00	3,07
18 - 19	19420	0 1,00	2000 x 800	1143	5,26	0,00	0,23	0,23	0,00	0,23
19 - 20	18940	1,00	2000 x 800	1143	5,13	0,00	0,22	0,22	0,00	0,22
20 - 21	18460	1,00	2000 x 800	1143	5,00	0,00	0,21	1,82	0,00	1,82
21 - 22	17980	8,70	2000 x 800	1143	4,87	0,00	0,20	0,20	0,00	0,20
22 - 23	17500	1,00	2000 x 800	1143	4,74	0,11	0,19	0,95	1,65	2,59
23 - 24	17020	5,00	2000 x 800	1143	4,61	0,00	0,18	0,18	0,00	0,18
24 - 25	16540	1,00	2000 x 800	1143	4,48	0,00	0,17	0,17	0,00	0,17
25 - 26	16060	1,00	2000 x 800	1143	4,35	0,00	0,16	0,16	0,00	0,16
26 - 27	15580	1,00	2000 x 800	1143	4,22	0,00	0,15	0,15	0,00	0,15
27 - 28	15100	1,00	2000 x 800	1143	4,09	0,00	0,14	0,14	0,00	0,14
28 - 29	14620	1,00	2000 x 800	1143	3,96	0,00	0,13	0,13	0,00	0,13
29 - 30	14140	1,00	2000 x 800	1143	3,83	0,00	0,13	0,13	0,00	0,13
30 - 31	13660	1,00	2000 x 800	1143	3,70	0,00	0,12	0,12	0,00	0,12
31 - 32	13180	1,00	2000 x 800	1143	3,57	0,00	0,11	0,11	0,00	0,11
32 - 33	12700	1,00	2000 x 800	1143	3,44	0,00	0,10	0,10	0,00	0,10
33 - 34	12220	1,00	2000 x 800	1143	3,31	0,00	0,10	0,10	0,00	0,10
34 - 35	11740	1,00	2000 x 800	1143	3,18	0,00	0,09	0,09	0,00	0,09
35 - 36	11260	1,00	2000 x 800	1143	3,05	0,00	0,08	0,08	0,00	0,08
36 - 37	10780	1,00	2000 x 800	1143	2,92	0,00	0,08	0,08	0,00	0,08
37 - 38	10300	1,00	2000 x 800	1143	2,79	0,00	0,07	0,07	0,00	0,07
38 - 39	9820	1,00	2000 x 800	1143	2,66	0,00	0,06	0,06	0,00	0,06
39 - 40	9340	1,00	2000 x 800	1143	2,53	0,00	0,06	0,06	0,00	0,06
40 - 41	8860	1,00	2000 x 800	1143	2,40	0,00	0,05	0,05	0,00	0,05
41 - 42	8380	1,00	2000 x 800	1143	2,27	0,00	0,05	0,05	0,00	0,05
42 - 43	7900	1,00	2000 x 800	1143	2,14	0,00	0,04	0,04	0,00	0,04
43 - 44	7420	1,00	2000 x 800	1143	2,01	0,00	0,04	0,04	0,00	0,04
44 - 45	6940	1,00	2000 x 800	1143	1,88	0,00	0,03	0,03	0,00	0,03
45 - 46	6460	1,00	2000 x 800	1143	1,75	0,00	0,03	0,03	0,00	0,03
46 - 47	5980	1,00	2000 x 800	1143	1,62	0,00	0,03	0,03	0,00	0,03
47 - 48	5500	1,00	2000 x 800	1143	1,49	0,00	0,02	0,02	0,00	0,02

48 - 49	5020	1,00	2000 x 800	1143	1,36	0,00	0,02	0,02	0,00	0,02
49 - 50	4540	1,00	2000 x 800	1143	1,23	0,00	0,02	0,02	0,00	0,02
50 - 51	4060	1,00	2000 x 800	1143	1,10	0,00	0,01	0,01	0,00	0,01
51 - 52	3640	1,00	2000 x 800	1143	0,99	0,00	0,01	0,01	0,00	0,01
52 - 53	3360	1,00	2000 x 800	1143	0,91	0,00	0,01	0,01	0,00	0,01
53 - 54	2880	1,00	2000 x 800	1143	0,78	0,00	0,01	0,01	0,00	0,01
54 - 55	2400	1,00	2000 x 800	1143	0,65	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
55 - 56	1920	1,00	2000 x 800	1143	0,52	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
56 - 57	1440	1,00	2000 x 800	1143	0,39	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
57 - 58	960	1,00	2000 x 800	1143	0,26	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
58 - 59	480	1,00	2000 x 800	1143	0,13	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
59 - 60	480	0,30	φ 100	100	17	0,00	44,4	13,31	0,00	13,31
<b>Ukupno</b>								<b>49,3</b>	<b>16,17</b>	<b>65,47</b>

Sustav odsisa zraka izveden je kroz kanale kružnog presjeka iznad površine bazena. U tablici 22. prikazan je pad tlaka odsisnih kanala zraka kružnog presjeka.

Tablica 22. Pad tlaka kanala kružnog presjeka za odsis zraka - 3. klimatizacijska komora

Dionica	V [m <sup>3</sup> /h]	L [m]	Dimenzije kanala [mm]	w [m/s]	∑ ξ [Pa]	R [Pa/m]	R*I [Pa]	Z [Pa]	R*I+Z [Pa]
1 - 2	35100	2,00	φ 1100	10,3	0,00	0,87	1,75	0,00	1,75
2 - 3	35100	10,0	φ 1100	10,3	0,11	0,87	8,73	7,72	16,44
3 - 4	35100	14,1	φ 1100	10,3	0,11	0,87	12,31	7,72	20,02
4 - 5	35100	18,4	φ 1100	10,3	0,11	0,87	16,06	7,72	33,78
5 - 6	35100	7,00	φ 1100	10,3	0,11	0,87	6,11	7,72	13,83
6 - 7	35100	7,00	φ 1100	10,3	0,11	0,87	6,11	7,72	13,83
7 - 8	28080	7,00	φ 1100	8,21	0,00	0,57	3,97	0,00	3,97
8 - 9	21060	7,00	φ 1100	6,16	0,00	0,33	2,29	0,00	2,29
9 - 10	14040	5,50	φ 1100	4,10	0,00	0,15	0,83	0,00	0,83
10 - 11	7020	5,30	φ 1100	2,05	0,00	0,04	0,22	00,00	0,22
<b>Ukupno</b>							<b>58,36</b>	<b>38,58</b>	<b>96,94</b>

Pad tlaka u kanalima za dobavu zraka 1. ventilacijske jedinice iznosi 65,47 Pa, na to se moraju dodati padovi tlaka na istrujnoj rešetki, zaštitnoj kapi, regulatoru varijabilnog protoka i istrujnom otvoru te s time ukupni eksterni pad tlaka iznosi 195 Pa. Istim postupkom određen je eksterni pad tlaka odsisne ventilacije 150 Pa.

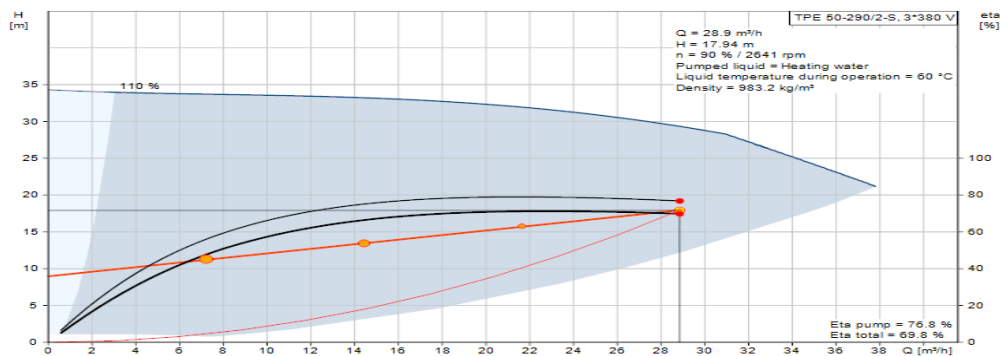
## 6.4. ODABIR PUMPE KRUGA TOPLOZRAČNOG GRIJANJA

Pumpa kruga klimatizacijskih jedinica se dimenzionira na način da se odredi kritična dionica. Ukupni pad tlaka se računa kao pad tlaka u cijevima zbrojen sa padom tlaka na grijaču klimatizacijske jedinice. Temperaturni režim grijanja klimatizacijske jedinice je 70/50 °C. U tablici 23. je prikazana kritična dionica kruga toplozračnog grijanja.

Tablica 23. Kritična dionica kruga toplozračnog grijanja

Dionica	Dužina [m]	Toplina [kW]	Toplinska vrijednost [W/K]	Protok [kg/s]	DN [mm]	Unutarnji promjer cijevi [mm]	R [Pa/m]	R*L [Pa]	$\sum \xi$	Z [Pa]	R*L + Z [Pa]
1	16	666,15	33307,5	8	/	88	170	2720	0	0	2720
2	88	444,1	22205	5,3	80	82,5	120	10560	6	2995	13555
3	112	222,05	11102,5	2,7	60	64	110	12320	6	2164	14484
Grijač											14500
Ukupno											45258

Pumpa kruga klimatizacijskih jedinica se dimenzionira na način da se odredi kritična dionica. Ukupni pad tlaka se računa kao pad tlaka u cijevima zbrojen sa padom tlaka na grijaču klimatizacijske jedinice. Temperaturni režim grijanja klimatizacijske jedinice je 70/50 °C. Prema rezultatima iz tablice potrebna je pumpa s visinom dobave 4,62 metara i protokom 28,85 m<sup>3</sup>/h. Pumpa se odabire pomoću web aplikacije proizvođača „Grundfos“ iz koje preuzimamo pumpu „TPE 50-290/2-S A-F-A-BAQE“. Karakteristika pumpe toplozračnog grijanja prikazana je na slici 28.



Slika 28. Karakteristika pumpe toplozračnog grijanja

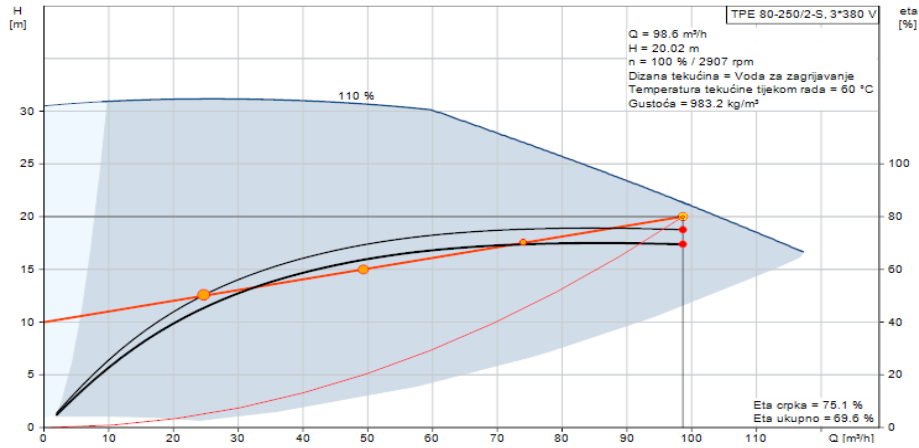
## 7. PRORAČUN KOMPONENATA PRIMARNOG KRUGA

Priključak na toplinsku podstanicu izveden je preko izmjenjivača topline D118-H-174 odabranog upotrebom programama za odabir pločastog izmjenjivača topline proizvođača Danfoss. Toplinski učin izmjenjivača topline je dobiven zbrojem toplinskih učina svih komponenata sustava i iznosi 1523 kW. Karakteristike izmjenjivača topline prikazane su u tablici 24.

Tablica 24. Karakteristike izmjenjivača topline D118-H-174

Kapacitet izmjenjivača [kW]	1523
Temperaturni režim primara [°C]	120/70
Temperaturni režim sekundara [°C]	60/80
Maseni protok primara pri nazivnom kapacitetu [kg/s]	7,221
Maseni protok sekundara pri nazivnom kapacitetu [kg/s]	18,177
Ukupni pad tlaka na primaru [kPa]	50
Ukupni pad tlaka na sekundaru [kPa]	200
Broj ploča	174
Visina [mm]	613
Duljina [mm]	186
Dubina [mm]	279,5

Pumpa za ovaj dio sustava dimenzionirana je preko pada tlaka kroz izmjenjivač koji iznosi 200000 Pa i protoka koji je potreban svim komponentama sustava i iznosi 98,64 m<sup>3</sup>/h. Potrebna visina pumpe je 20,5 Pa. Izabrana je pumpa TPE 80-250 preko web aplikacije Grundfos. Karakteristike pumpe prikazane su na slici 29.



Slika 29. Karakteristike pumpe TPE 80-250

Postavljanjem ekspanzijske posude u sustav održava se tlak u sustavu unutar zadanih granica. Prije proračuna volumena ekspanzijske posude potrebno je odabrati sigurnosni ventil. Odabrani tlak pri kojem se sigurnosni ventil otvara je 6 bara. Minimalni volumen ekspanzijske posude računa se prema izrazu:

$$V_{nmin} = (V_e + V_v) * \frac{p_e + 1}{p_e - p_o} = (8,11 + 467,2) * \frac{5,5 + 1}{5,5 - 1} = 581 \text{ l}$$

$V_{nmin}$  – minimalni volumen zatvorene ekspanzijske posude [l]

$V_e$  – promjena volumena vode s promjenom temperature [l]

$V_v$  – dodatni volumen, uzima se kao 0,5% ukupnog volumena vode u sustavu = 8,11 [l]

$p_e$  – krajnji projektni tlak, uzima se 0,5 bara ispod tlaka otvaranja sigurnosnog ventila [bar]

$p_o$  – primarni tlak ekspanzijske posude prilikom isporuke – posuda prije isporuke mora biti pod tlakom od 1 bara zbog visine instalacije do 10 metara [bar]

$$V_e = V_{SUS} * \frac{n}{100} = 467,2 \text{ l}$$

$n$  – postotak širenja vode – preuzet iz tablice [1]

$V_{SUS}$  – volumen vode u sustavu = 1622 l – proračun iz Excela

Odabrana je ekspanzijska posuda volumena 1000 litara proizvođača Elbi

## 8. TEHNIČKI OPIS SUSTAVA GRIJANJA

Zgrada je na vrelovod priključena indirektnim priključkom preko izmjenjivača topline D118-H-174 proizvođača Danfoss kapaciteta 1523 kW. Kao pumpa kruga podnog grijanja koristi se MAGNA3 100-80 F proizvođača Grundfos. Dimenzioniranje sustava podnog grijanja provedeno je u računalnom programu IntegraCAD. Petlje podnog grijanja su izvedene sustavom REHAU Tacker mreže, a cijevi petlji su Rehau Rautherm dimenzija 20x2 mm. Petlje podnog grijanja se spajaju na Rehau razdjelnik i sabirnik podnog grijanja. Polaz cijevnih petlji se spaja na razdjelnik, a povrat na sabirnik i smješteni su u Rehau razvodne ormariće UP te je ukupno instalirano 3 razdjelnika sa 12 priključaka, 1 razdjelnik sa 11 priključaka, 1 razdjelnik sa 10 priključaka, 1 razdjelnik sa 9 priključaka, 1 razdjelnik sa 7 priključaka, 1 razdjelnik sa 6 priključaka i 1 razdjelnik sa 5 priključaka. Ukupni instalirani kapacitet podnog grijanja iznosi 157 kW. Ostatok od 425 kW pokriva se preko toplozračnog grijanja. Kako bi se u zoni boravka održala odgovarajuća kvaliteta zraka, za zgradu je projektiran sustav ventilacije koji za zadatak ima odsisati ishlapljeni zrak iz zgrade te ubacivati zrak odgovarajuće temperature da se zadovolje potrebe za pokrivanjem toplinskih gubitaka zgrade. Ukupni protok zraka tlačne i odsisne ventilacije iznosi 105 300 m<sup>3</sup> /h i podijelio se na 3 klimatizacijske jedinice sa jednakim protokom. Kanali za distribuciju dobavnog zraka u pojedini prostor opremljeni su regulatorima varijabilnog protoka koji imaju zadaću regulirati protok zraka. Pogonom regulatora varijabilnog protoka upravljaju sobni osjetnici koji u ovisnosti o kvaliteti zraka otvaraju ili pritvaraju regulator. Osjetnik je namijenjen za zidnu ugradnju i može upravljati sa više regulatora varijabilnog protoka istovremeno. Dobava zraka u zonu boravka vrši se preko stropnih kanala te preko linijskih difuzora proizvođača Menerga uz staklene i zidne površine, a odsis zraka se vrši preko pravokutnih rešetki OAB, proizvođača Klimaoprema. Zrak za ventilaciju priprema se u centralnim klimatizacijskim jedinicama smještenim u prostoru podruma. Kod vanjskih projektnih uvjeta u zimskom periodu zrak se dovodi u stanje ubacivanja na temperaturu 40°C i 2 % relativne vlažnosti koje će u prostoru održavati unutarnje projektne uvjete. Kako bi se to ostvarilo klimatizacijska jedinica se sastoji od rekuperatora topline, grijača, filtera te dobavnog i odsisnog ventilatora. Rekuperator topline ima funkciju izmjene topline između dobavnog i odsisnog zraka što omogućuje uštedu na pogonskim troškovima. Učin rekuperatora kod zimskih projektnih uvjeta iznosi 428,52 kW. Grijač snage 222 kW kod temperaturnog režima ogrjevnog medija 70/50 °C koristi se kako bi se zrak zagrijao na stanje ubacivanja. Pumpa



ventilacijskog kruga je izabrana TPE 50-290 proizvođača Grundfos. Za distribuciju zraka koriste se tlačni i odsisni ventilator smješteni u klimatizacijskoj jedinici. Tlačni ventilator ima nazivni protok od 35100 m<sup>3</sup>/h sa ukupnim tlakom od 950 Pa i priključnu električnu snagu od 10,31 kW. Odsisni ventilator ima nazivni protok od 35100 m<sup>3</sup>/h sa ukupnim tlakom od 800 Pa i priključnu električnu snagu od 9,93 kW. Filteri zraka imaju funkciju održavanja zadovoljavajuće kvalitete zraka te zaštite komponenta klimatizacijske jedinice. U tu se svrhu u dobavnu sekciju ugrađuje vrećasti filter F7. U odsisnu sekciju ugrađuje se filter M5 s ciljem zaštite komponenta od zaprljanja. Klimatizacijska jedinica opremljena je sa antivibracijskim priključcima za sprječavanje prenošenja vibracija te inspeksijskim otvorima za nadzor i servis.

## **9. TEHNIČKI OPIS SUSTAVA PRIPREME POTROŠNE TOPLE VODE**

Za pripremu PTV-a koristi se akumulacijski sustav spremnika PTV-a koji je smješten u prostoriji ispod bazenskog prostora. Odabran je akumulacijski spremnik ACV LCA 2CO 5000 hh zapremnine 5000 litara. Spremnik je bivalentan što znači da ima dvije izmjenjivačke površine. Donja izmjenjivačka površina služi za grijanje PTV-a preko pločastih solarnih kolektora auroTHERM VFK 145 V proizvođača Vaillant. Ukupno je instalirano 48 pločastih solarnih kolektora koji pokrivaju dnevnu potrošnju potrošne tople vode za ljetne mjeseci. Ugrađena je pumpa koja mora savladati pad tlaka kroz cijevi, kolektore i izmjenjivač topline te svladati minimalni potrebni protok kroz kolektore. Odabrana pumpa solarnog sustava je ALPHA2 15-150 130 proizvođača Grundfos. Odabrana je ekspanzijska posuda solarnog sustava volumena 250 litara proizvođača Elbi. Gornja izmjenjivačka površina u akumulacijskom spremniku služi za zagrijavanje potrošnje tople vode preko toplinske podstanice. Temperaturni režim toplinske podstanice iznosi 80/60 °C te je potreban kapacitet izmjenjivača od 51 kW da se pokrije dnevna potreba PTV-a. Temperaturni režim PTV-a je 60/12 °C. Ugrađena je pumpa u sustav koja mora savladati pad tlaka na izmjenjivaču te ostvariti protok propisan prema tipu spremnika. Odabrana je pumpa CM3-2 A-R-G-E-AVBE proizvođača Grundfos. Ako temperatura vode u spremniku padne ispod zadane vrijednosti i ukoliko je temperatura na osjetniku izlaza iz kolektora dovoljno velika onda regulator pokreće pumpu solarnog kruga. Inače, ako temperaturu u kolektorima nije dovoljno velika, pokreće se pumpa kruga toplinske podstanice.

## **10. TEHNIČKI OPIS SUSTAVA GRIJAVANJA BAZENSKE VODE**

Primarni izvor za zagrijavanje bazenske vode je toplinska podstanica koja preko izmjenjivača topline bazenskog kruga D118-192 proizvođača Danfoss zagrijava bazensku vodu. Pumpa bazenskog kruga je MAGNA3 80-100 F preuzeta od proizvođača Grundfos. Pomoćni izvor topline su pločasti solarni kolektori koji su smješteni na ravnom krovu dvorane i nagnuti 30° u smjeru jugoistoka. Ukupno je postavljeno 948 pločastih kolektora što čini površinu od 2227,8 m<sup>2</sup>. Kada ima sunčevog zračenja, bazenska voda se zagrijava preko izmjenjivača topline solarnog kruga. Pumpa solarnog kruga je MAGNA3 100-40 F proizvođača Grundfos. Izabrana je i ekspanzijska posuda Elbi zapremnine 3000 litara. Bazenska voda neprestano cirkulira te se zagrijava preko izmjenjivača topline spojenog na toplinsku podstanicu. Ukoliko ima sunčevog zračenja, preko troputnog ventila se bazenska voda preusmjeri na izmjenjivač topline solarnog kruga.

## 11. ZAKLJUČAK

U diplomskom radu izrađeno je projektno rješenje sustava grijanja zraka, sustav grijanja bazenske vode i ventilacije zatvorenog bazena na području Grada Zagreba. Bazenski prostor nalazi se na površini od 6315 m<sup>2</sup>.

Toplinski gubici bazenske vode uzeti u razmatranje su ishlapljivanje, provođenje i dodavanje svježe vode. Očekivano toplinski gubici bazenske vode ishlapljivanjem su najveći od svih gubitaka (79% ukupnih toplinskih gubitaka). Toplinski gubici provođenjem su najmanji (9% ukupnih toplinskih gubitaka). Toplinski gubici koji se javljaju zbog dodavanja svježe vode (12% ukupnih toplinskih gubitaka) su dobiveni pod pretpostavkom broja korisnika bazena od 100 osoba po satu. Kao rješenja izvedbe sustava za pokrivanje toplinskih gubitaka bazenske vode i pripreme potrošne tople vode korištena su dva izvora topline; toplinska podstanica kao primarni izvor topline te pločasti sunčevi kolektori kao pomoćni izvor topline. Glavni zadatak toplinske podstanice je zagrijavanje bazenske vode i potrošne tople vode na projektnu temperaturu u određenom vremenskom intervalu. Toplinska podstanica smještena je u prostoriji ispod bazenskog prostora dok su sunčevi kolektori smješteni na ravni krov zgrade.

Akumulacijski sustavi pripreme PTV-a zahtijevaju spremnik koji se puni toplom vodom te iz kojeg potrošači dobivaju već pripremljenu vodu za uporabu. Odabran je bivalentan spremnik. Donja izmjenjivačka površina je za solarni sustav, a gornja izmjenjivačka površina je za dogrijavanje iz toplinske podstanice za slučaj kada je energija sunca nedovoljna za zagrijavanje PTV-a.

Proveden je proračun toplinskih gubitaka zgrade i bazenske vode te je na temelju toga izabrana potrebna oprema za pokrivanje toplinskih gubitaka. Bazeni se nalaze u zatvorenom prostoru gdje je tokom cijele godine potrebno održavati temperaturu bazenske vode na 26°C, temperaturu zraka bazenskog prostora na 28°C i relativnu vlažnost zraka 60%. Obradom podataka izračunati su toplinski gubici zgrade provođenjem koji iznose 246 kW, toplinski gubici ventilacijom u iznosu od 227,7 kW i toplinski gubici uzrokovani ponovnim pokretanjem sustava koji iznose 111,3 kW, što čini ukupne toplinske gubitke u iznosu od 585 kW. Sustavi grijanja korišteni u ovom radu su podno grijanje i toplozračno grijanje. Korištenjem sustava podnog i toplozračnog grijanja vrši se grijanje bazenskog prostora. Izvor topline za ta dva sustava je toplinska podstanica. Proračun podnog grijanja je proveden u programu INTEGRACad2017. Ukupno instalirani učin podnog grijanja

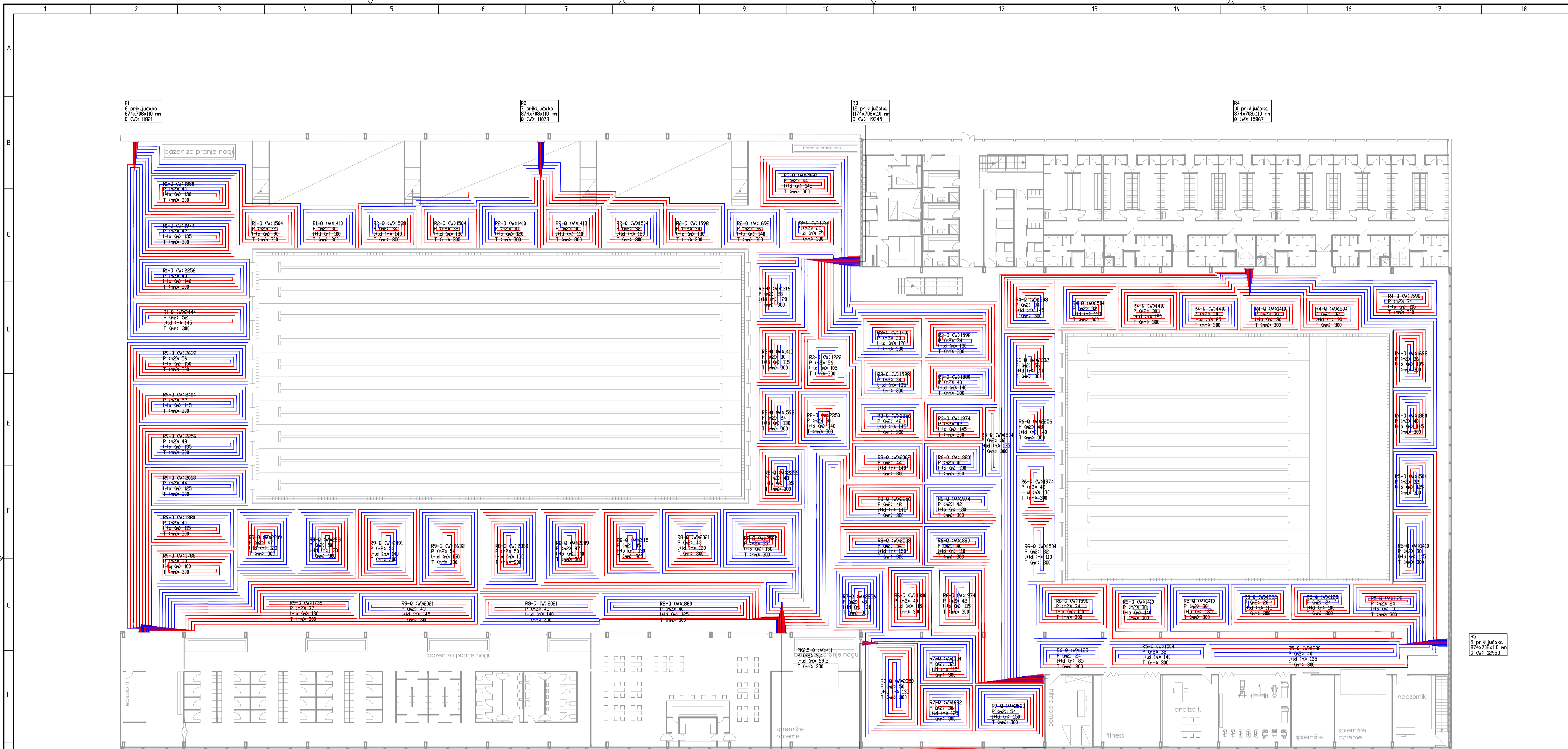
iznosi 157 kW što pokriva 27% ukupnih toplinskih gubitaka. Podnim grijanjem instaliranim na 3350 m<sup>2</sup> nastoji se osigurati temperatura poda ne viša od 33°C što stvara ugodu kupcima pri izlasku iz bazena. Toplozračno grijanje je izvedeno sa tri klimatizacijske jedinice sa ukupnim protokom od 105 300 m<sup>3</sup>/h. Zadatak klimatizacijskih jedinica je odsisavanje ishlapljenog zraka iz zgrade i pokrivanje toplinskih gubitaka zgrade. Od ukupnih toplinskih gubitaka, podno grijanje je pokrilo 157 kW, a ostatak od 428 kW pokriva se toplozračnim grijanjem. Klimatizacijska jedinica sadrži grijač, ventilatore, filtere i rekuperator topline.

## LITERATURA

- [1] Recknagel, Šprenger, Šramek, Čeperković; *Grejanje i klimatizacija*, Vrnjačka Banja, 2004.
- [2] Halasz B., Galović A., Boras I.: *Toplinske tablice*, Zagreb, 2010.
- [3] [www.rehau.com](http://www.rehau.com)
- [4] [www.systemair.com](http://www.systemair.com)
- [5] [www.acv.com](http://www.acv.com)
- [6] <https://www.vaillant.hr/krajnji-korisnici/proizvodi/aurotherm-vfk-145-v-h-2243.html>
- [7] Tehnički propis o racionalnoj upotrebi energije i toplinskoj zaštiti u zgradama – prilog E
- [8] Algoritam za određivanje energijskih zahtjeva i učinkovitosti termotehničkih sustava u zgradama, HRN EN 15316-4-3:2008
- [9] Soldo V., Novak S., Horvat I.: *Algoritam za proračun potrebne energije za grijanje i hlađenje prostora zgrade prema HRN EN ISO 13790*, Zagreb, 2014.
- [10] Sustavi grijanja u zgradarstvu: *Metoda proračuna toplinskog opterećenja prema EN 12831*
- [11] Ministarstvo graditeljstva i prostornog uređenja: *Tehnički propis o racionalnoj uporabi energije i toplinskoj zaštiti u zgradama*
- [12] Dović D., Horvat I., Rodić A., Soldo V., Švaić S.: Algoritam za određivanje energijskih zahtjeva i učinkovitosti termotehničkih sustava u zgradama: *Sustavi grijanja prostora i pripreme potrošne tople vode*, Zagreb, 2015.
- [13] Dović D., Ferdelji N., Horvat I., Rodić A.: *Algoritam za proračun potrebne energije za primjenu ventilacijskih i klimatizacijskih sustava kod grijanja i hlađenja prostora zgrade*
- [14] [www.vaillant.hr](http://www.vaillant.hr)
- [15] [www.klimaoprema.hr](http://www.klimaoprema.hr)
- [16] [www.product-selection.grundfos.com](http://www.product-selection.grundfos.com)
- [17] I.Balen „Podloge za predavanje iz kolegija Grijanje“; FSB, Zagreb

## **PRILOZI**

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



LEGENDA

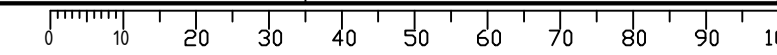
— Polaz - topla voda

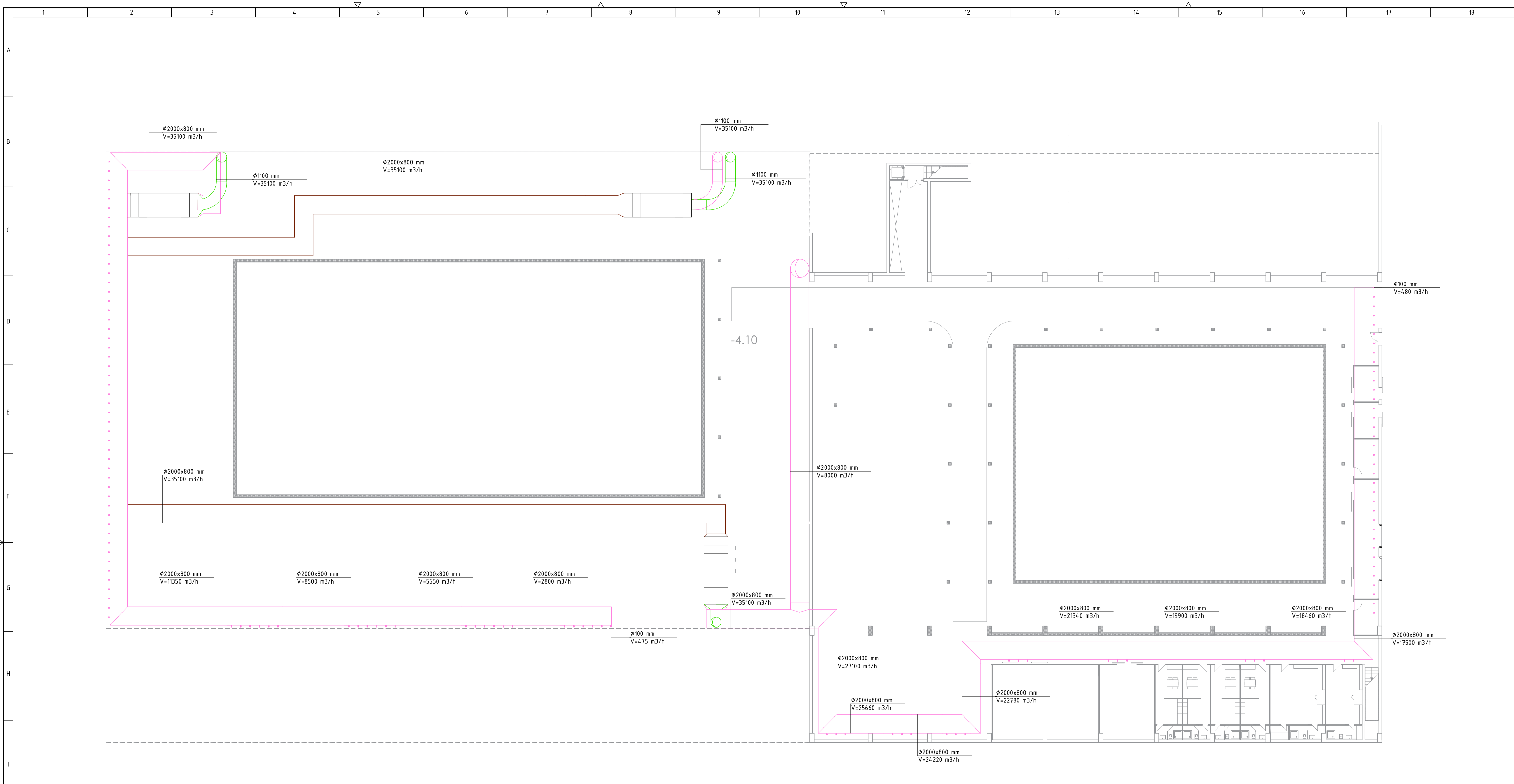
— Povrat - hladna voda

Projektno	Datum	Ime i prezime	Potpis
Projektirao	11.2017.	Ivan Maršić	
Osudio	11.2017.	Ivan Maršić	
Crtao	11.2017.	Ivan Maršić	
Pregledao	11.2017.	prof.dr.sc. Igor Balen	

Objekt: Tlocrt prizemlja - podno grijanje	Objekt broj: 1
	Mjerilo: 1:200





### LEGENDA

- dobava zraka - ventilacija
- odisis zraka - ventilacija
- otpadni zrak - ventilacija

Projekat	Datum	Ime i prezime	Polis
Projektovanje	11.2017	Ivan Maršić	
Elazradba	11.2017	Ivan Maršić	
Crtao	11.2017	Ivan Maršić	
Pregledao	11.2017	prof.dr.sc. Igor Batić	

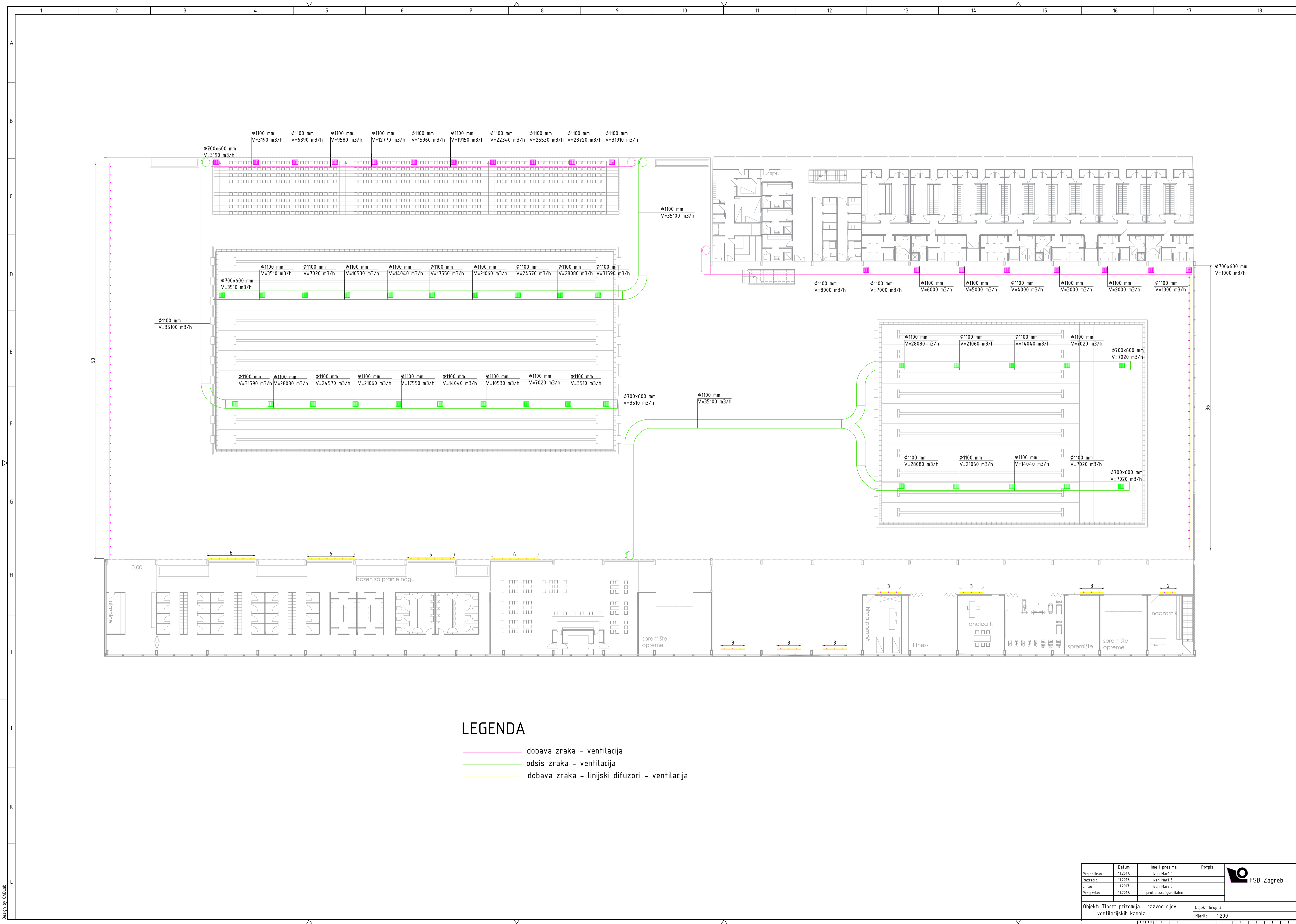
Objekt: Tlocrt podruma - razvod cijevi ventilacijskih kanala

Objekt broj: 2

Mjerilo: 1:200







### LEGENDA

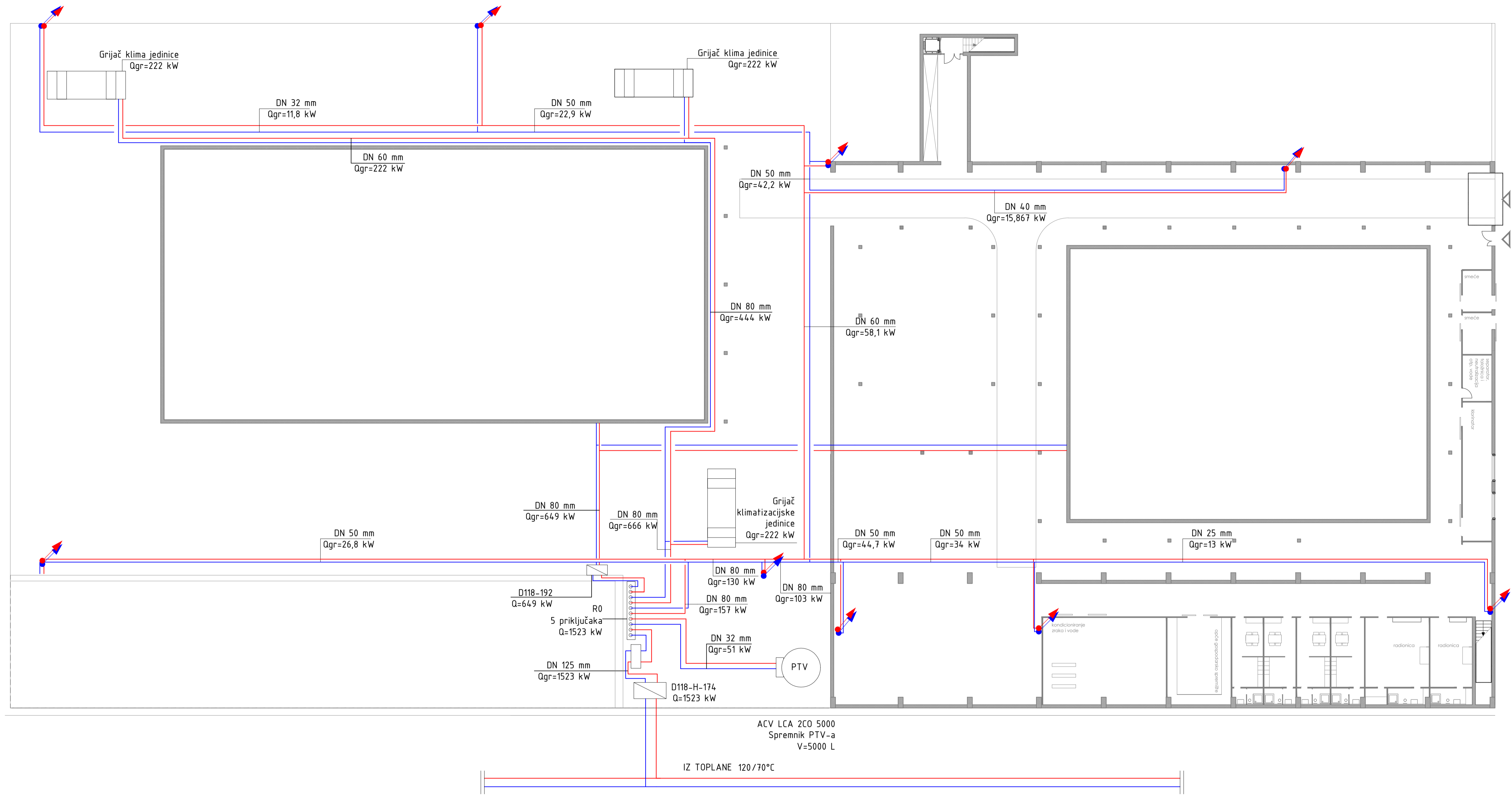
- dobava zraka - ventilacija
- odsis zraka - ventilacija
- dobava zraka - linijski difuzori - ventilacija

	Datum	Ime i prezime	Polisipis
Projekcija	11.2017	Ivan Maršić	
Završeno	11.2017	Ivan Maršić	
Čitavo	11.2017	Ivan Maršić	
Prepisao	11.2017	prof.dr.sc. Igor Balen	

Objekt: Tlocrt prizemlja - razvod cijevi ventilacijskih kanala		Objekt broj: 3
		Mjerilo: 1:200





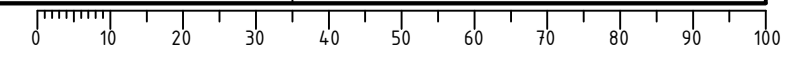
**LEGENDA**

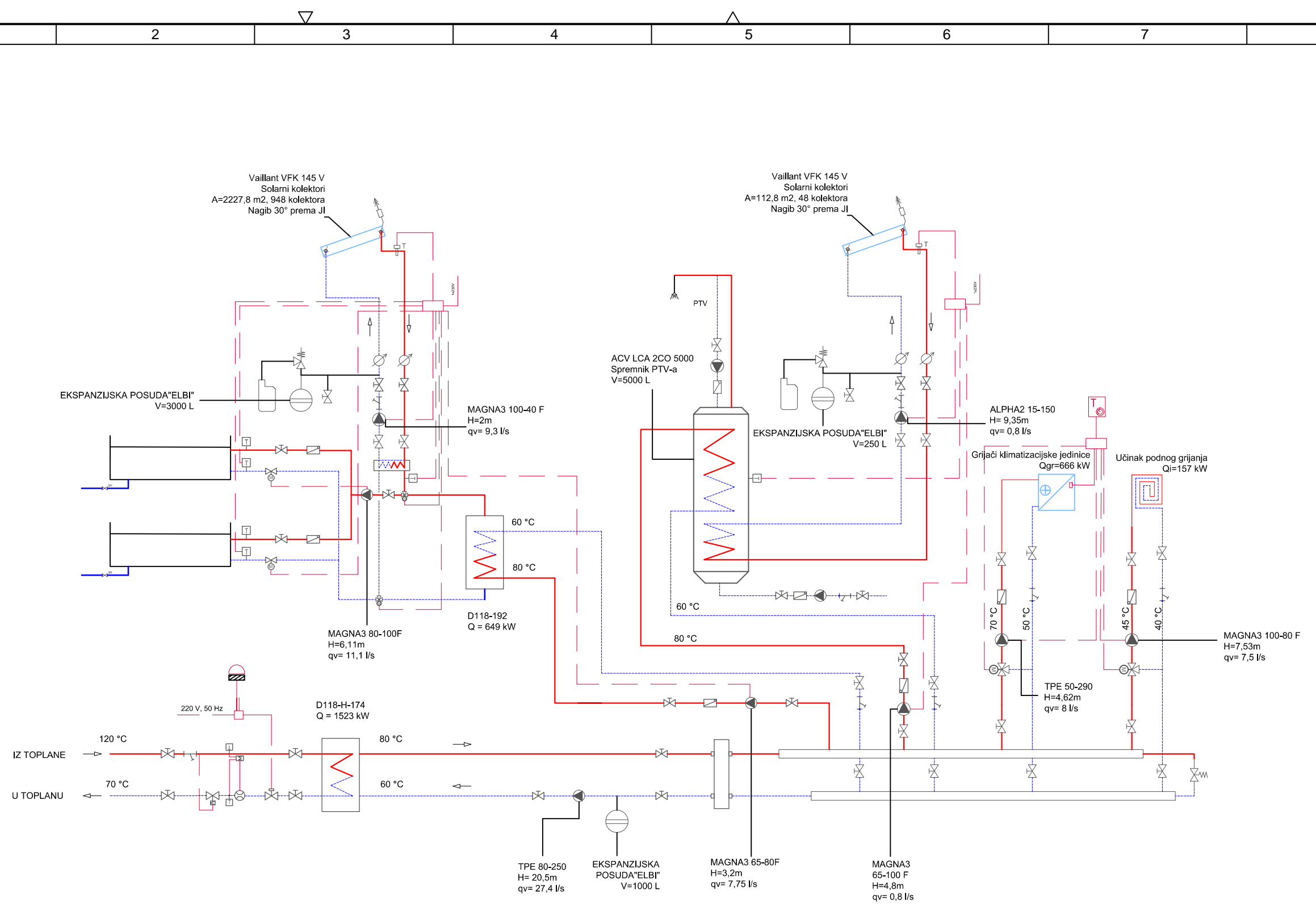
- Polaz - topla voda
- Povrat - hladna voda

Projekat	Datum	Ime i prezime	Polpis
Projektiranje	11.2017	Ivan Maršić	
Elazradnja	11.2017	Ivan Maršić	
Crtao	11.2017	Ivan Maršić	
Pregledao	11.2017	prof.dr.sc. Igor Batić	

Objekt: Tlocrt podruma - strojarnica	Objekt broj: 4
	Mjerilo: 1:200

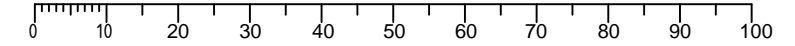




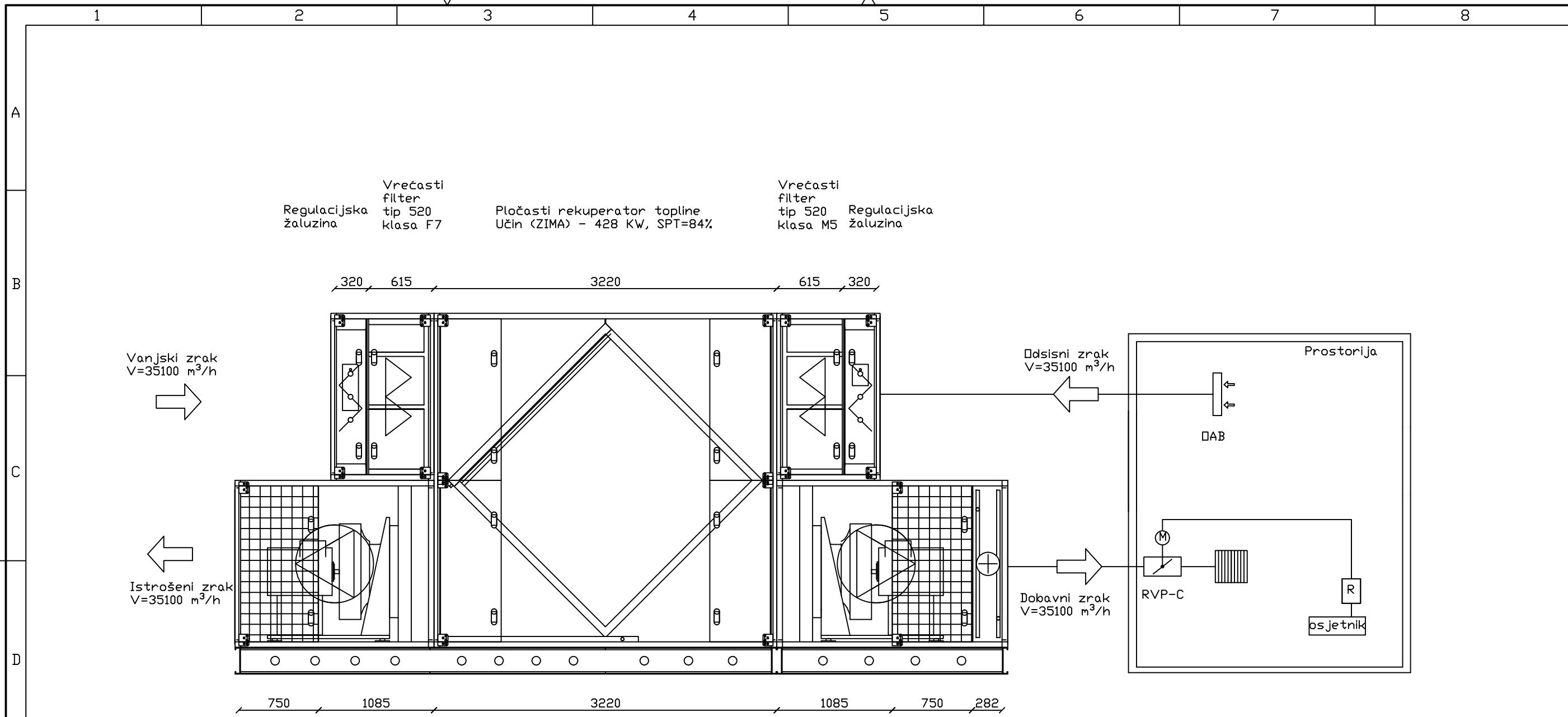
Projekтираo	Datum	Ime i prezime	Potpis
Razradio	11.2017.	Ivan Maršić	
Crtao	11.2017.	Ivan Maršić	
Pregledao	11.2017.	prof.dr.sc. Igor Balen	



Objekt: Shema sustava  
Objekt broj: 5  
Mjerilo:



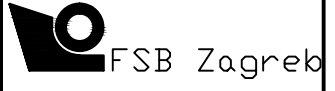
Design by CADLab



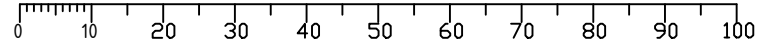
### LEGENDA

- DAB - ventilacijska rešetka odsisnog kanala
- RVP-C - regulator varijabilnog protoka
- R - regulator protoka zraka prostorije

	Datum	Ime i prezime	Potpis
Projektirao	11.2017.	Ivan Maršić	
Razradio	11.2017.	Ivan Maršić	
Crtao	11.2017.	Ivan Maršić	
Pregledao	11.2017.	prof.dr.sc. Igor Balen	



Objekt: Klimatizacijska jedinica      Objekt broj: 6



Design by CADLab