

# Projekt ventilacije zgrade sa zatvorenim plivačkim bazenima

---

**Soldo, Ivan**

**Master's thesis / Diplomski rad**

**2019**

*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:235:797971>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-07-30**

*Repository / Repozitorij:*

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



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

# **DIPLOMSKI RAD**

**Ivan Soldo**

Zagreb, 2019.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

# **DIPLOMSKI RAD**

Mentor:

Dr. sc. Igor Balen, dipl. ing.

Student:

Ivan Soldo

Zagreb, 2019.

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

Posebno se zahvaljujem svojoj obitelji, a onda i prijateljima, koji su mi bili najveća podrška tijekom studija i bez čije žrtve strudiranje ne bi bilo moguće. Također zahvaljuje se mentoru prof. dr. sc. Igoru Balenu na stručnim savjetima te pruženoj pomoći i podršci tijekom izrade rada.

Ivan Soldo





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 Soldo**

Mat. br.: 0035196024

Naslov rada na hrvatskom jeziku: **Projekt ventilacije zgrade sa zatvorenim plivačkim bazenima**

Naslov rada na engleskom jeziku: **Design of ventilation system for building with indoor swimming pools**

Opis zadatka:

U ovom radu, potrebno je projektirati sustav grijanja i ventilacije za potrebe zgrade s dva bazena za rekreativnu i sportsku namjenu, ukupne korisne površine 3800 m<sup>2</sup>, prema zadanoj arhitektonskoj podlozi. Izvor topline je geotermalni izvor dovoljne izdašnosti na lokaciji zgrade, konstantne temperature tople vode 60 °C. Za potrebe prostora bazena u svrhu odmagljivanja i ventilacije predvidjeti sustav u skladu sa zahtjevima prema normi DIN 1946 i smjernici VDI 2089. Za potrebe grijanja prostora bazena predvidjeti sustav podnog grijanja temperaturnog režima 38 °C/32 °C i toplozračnog grijanja. Zagrijavanje bazenske vode predvidjeti pomoću izmjenjivača topline voda-voda. Pripremu potrošne tople vode za tuševe predvidjeti kao akumulacijski sustav.  
Zgrada se nalazi na području grada Zagreba.

Na raspolaganju su energetske izvori:

- geotermalni toplovodni izvor 60 °C,
- elektro-priključak 230/400V; 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.

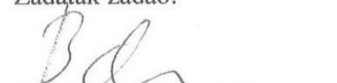
U radu navesti korištenu literaturu i eventualno dobivenu pomoć.

Zadatak zadan:  
15. studenog 2018.

Datum predaje rada:  
17. siječnja 2019.

Predvideni datum obrane:  
23., 24. i 25. siječnja 2019.

Zadatak zadao:

  
Prof. dr. sc. Igor Baten

Predsjednica Povjerenstva:

  
Prof. dr. sc. Tanja Jurčević Lulić

## SADRŽAJ

SADRŽAJ .....	I
POPIS SLIKA .....	III
POPIS TABLICA.....	IV
POPIS TEHNIČKE DOKUMENTACIJE .....	V
POPIS OZNAKA .....	VI
SAŽETAK.....	VIII
SUMMARY .....	IX
2. GEOMETRIJSKE KARAKTERISTIKE ZGRADE.....	4
3. PRORAČUN PROJEKTNIH TOPLINSKIH GUBITAKA.....	10
3.1. Ulazni podaci .....	11
3.2. Projektni transmisijski gubici topline .....	13
3.3. Projektni ventilacijski gubici topline .....	17
3.3.1. Ventilacija zatvorenog plivališta.....	20
3.4. Toplinsko opterećenje uslijed prekida rada sustava grijanja.....	23
3.5. Ukupno toplinsko opterećenje.....	23
4. DIMENZIONIRANJE SUSTAVA PODNOG GRIJANJA .....	26
4.1. Osnovne karakteristike sustava.....	26
4.2. Odabir komponenti sustava.....	28
4.3. Opis modela proračuna podnog grijanja .....	30
4.4. Primjer dimenzioniranja sustava podnog grijanja.....	32
4.5. Instalirani kapacitet sustavom podnog grijanja.....	34
4.6. Proračun izmjenjivača topline za sustav podnog grijanja .....	35
4.7. Hidraulički proračun cjevovoda i odabir pumpe.....	37
5. DIMENZIONIRANJE SUSTAVA MEHANIČKE VENTILACIJE .....	40
5.1. Osnovne karakteristike sustava.....	40
5.2. Dobava svježeg zraka u prostoriju .....	41
5.3. Odabir komponenti sustava.....	43
5.4. Dimenzioniranje kanala i hidraulički proračun.....	46
5.5. Odabir ventilacijske jedinice.....	51
5.5.1. Dimenzioniranje ventilacijske jedinice za prateće prostore.....	52
5.5.2. Dimenzioniranje ventilacijske jedinice prostorije s velikim bazenom.....	57
5.5.3. Dimenzioniranje ventilacijske jedinice prostorije s malim bazenom.....	62
6. DIMENZIONIRANJE SUSTAVA POTROŠNE TOPLE VODE .....	65
6.1. Dimenzioniranje akumulacijskog spremnika.....	65
7. DIMENZIONIRANJE SUSTAVA ZA ZAGRIJAVANJE BAZENSKE VODE.....	68
8. TEHNIČKI OPIS TERMOTEHNIČKIH SUSTAVA.....	70
8.1. Sustav podnog grijanja.....	70

---

8.2. Sustav mehaničke ventilacije .....	71
8.3. Sustav pripreme potrošne tople vode .....	74
8.4. Sustav zagrijavanja bazenske vode .....	74
9. ZAKLJUČAK.....	76
PRILOG .....	79

**POPIS SLIKA**

Slika 1.	Tlocrt podruma s oznakama prostorija.....	4
Slika 2.	Tlocrt prizemlja s oznakama prostorija.....	6
Slika 3.	Tlocrt kata s oznakama prostorija.....	7
Slika 4.	Istočno pročelje zgrade.....	9
Slika 5.	Sjeverno pročelje zgrade.....	9
Slika 6.	Zapadno pročelje zgrade.....	9
Slika 7.	Južno pročelje zgrade.....	9
Slika 8.	Utjecaj ogrjevnog tijela na razdiobu temperature [5].....	26
Slika 9.	Suha i mokra izvedba polaganja cijevi [6].....	27
Slika 10.	Sustav postavljanja cijevi kod površinskog grijanja.....	27
Slika 11.	Razdjelnik i sabirnik sustava podnog grijanja [7].....	29
Slika 12.	Primjer dimenzioniranja sustava podnog grijanja.....	33
Slika 13.	Radna točka pumpe u sustavu podnog grijanja [11].....	39
Slika 14.	Difuzori za dobavu zraka.....	44
Slika 15.	Ventilacijska rešetka za odvođenje zraka.....	45
Slika 16.	Regulator varijabilnog protoka.....	46
Slika 17.	Ventilator Dospel EURO.....	51
Slika 18.	Položaj komponenti u ventilacijskoj jedinici za prateće prostore.....	55
Slika 19.	Proces pripreme zraka za ventilaciju pratećih prostora.....	57
Slika 20.	Položaj komponenti u ventilacijskoj jedinici za bazenske prostore.....	58
Slika 21.	Proces pripreme zraka za ventilaciju bazenskih prostora-zima.....	61
Slika 22.	Proces pripreme zraka za ventilaciju bazenskih prostora-ljeto.....	62
Slika 23.	Proces pripreme zraka za ventilaciju malog bazena-zima.....	64
Slika 24.	Spremnik potrošne tople vode <i>Bosch AS 1500 Duo</i> .....	66

**POPIS TABLICA**

Tablica 1. Popis prostorija u zgradi .....	5
Tablica 2. Toplinske karakteristike prozora vrata .....	8
Tablica 3. Toplinske karakteristike ploha .....	8
Tablica 4. Podaci o površini, volumeni i unutarnjoj projektnoj temperaturi svake prostorije	11
Tablica 5. Primjer proračuna transmisijskog gubitka topline.....	16
Tablica 6. Volumen svježeg zraka za odvlaživanje prostora s bazenom .....	22
Tablica 7. Toplinsko opterećenje svake prostorije .....	24
Tablica 8. Dimenzije podžbuknog ormarića prema broju krugova [7] .....	29
Tablica 9. Toplinski otpor podloge .....	31
Tablica 10. Ogrjevni učinak instaliran sustavom podnog grijanja .....	34
Tablica 11. Pad tlaka u kritičnoj dionici cijevne mreže .....	38
Tablica 12. Projektne vrijednosti dobavnog i povratnog zraka za prateće prostore.....	42
Tablica 13. Projektne vrijednosti dobavnog i povratnog zraka za prostorije s bazenom .....	43
Tablica 14. Pad tlaka u sustavu tlačne ventilacije pratećih prostora .....	47
Tablica 15. Pad tlaka u sustavu odsisne ventilacije pratećih prostora.....	48
Tablica 16. Pad tlaka u sustavu tlačne ventilacije velikog bazena .....	49
Tablica 17. Pad tlaka u sustavu odsisne ventilacije velikog bazena.....	49
Tablica 18. Pad tlaka u sustavu tlačne ventilacije malog bazena .....	50
Tablica 19. Pad tlaka u sustavu odsisne ventilacije malog bazena.....	50
Tablica 20. Karakteristike ventilatora sanitarnih čvorova i tuševa .....	51
Tablica 21. Tehničke karakteristike ventilacijske jedinice za prateće prostore .....	56
Tablica 22. Geometrijske karakteristike bazena.....	68

**POPIS TEHNIČKE DOKUMENTACIJE**

OZNAKA	Naziv iz sastavnice
1-01-2019	Shema spajanja i regulacije ventilacijske jedinice prostorije velikog bazena
2-01-2019	Shema spajanja i regulacije ventilacijske jedinice pratećih prostora
3-01-2019	Shema spajanja i regulacije ventilacijske jedinice prostorije malog bazena
4-01-2019	Shema cijevnog razvoda
5-01-2019	Tlocrt kata- raspored ventilacijskih kanala
6-01-2019	Tlocrt podruma- raspored ventilacijskih kanala
7-01-2019	Tlocrt prizemlja- raspored ventilacijskih kanala
8-01-2019	Tlocrt podruma- raspored petlji podnog grijanja
9-01-2019	Tlocrt prizemlja- raspored petlji podnog grijanja
10-01-2019	Tlocrt kata- raspored petlji podnog grijanja
11-01-2019	Tlocrt podruma- raspored cijevi
12-01-2019	Tlocrt prizemlja- raspored cijevi
13-01-2019	Tlocrt kata- raspored cijevi

## POPIS OZNAKA

Oznaka	Jedinica	Opis
$\rho$	kg/m <sup>3</sup>	gustoća
$\lambda$	-	faktor trenja
$\varepsilon$	-	relativna hrapavost stijenke
$\vartheta_w$	°C	temperatura vode
$\vartheta_{m,e}$	°C	srednja godišnja vanjska temperatura zraka
$\vartheta_{int,i}$	°C	unutarnja projektna temperatura zraka
$\vartheta_e$	°C	vanjska projektna temperatura zraka
$U$	W/m <sup>2</sup> K	koeficijent prolaza topline
$Re$	-	Reynoldsov broj
$R$	Pa/m	pad tlaka uslijed trenja
$P$	Pa	tlak
$\Phi_{inst.pg,i}$	W	instalirani ogrjevni učinak u krugu podnog grijanja
$\Phi$	W	projektni transmisijski gubitak topline
$x_{d,int}$	kg/kg	apsolutna vlažnost zraka u prostoru bazena
$x_{d,ex}$	kg/kg	srednja vlažnost vanjskog zraka najvlažnijeg mjeseca u godini
$n_{min}$	h-1	minimalni broj izmjena zraka
$n_{50}$	h-1	broj izmjena zraka u prostoriji pri razlici tlaka 50 pa
$f_{g2}$	-	faktor smanjenja temperaturne razlike koji uzima u obzir razliku između srednje godišnje vanjske temperature i vanjske projektne temperature zraka
$f_{g1}$	-	korekcijski faktor za utjecaj godišnje oscilacije vanjske temperature zraka
$f_{RH,i}$	-	korekcijski faktor ovisan o vremenu zagrijavanja i pretpostavljenom padu temperature za vrijeme prekida rada sustava grijanja
$e_i$	-	koeficijent zaštićenosti koji uzima u obzir utjecaj vjetra i broj izloženih otvora
$d_{eq}$	mm	ekvivalentni promjer
$c_p$	J/kgK	specifični toplinski kapacitet zraka

$b_u$	-	faktor smanjenja temperaturne razlike
$H_{V,i}$	W/K	koeficijent ventilacijskog gubitka topline
$H_{T,iue}$	W/K	koeficijent transmisijskog gubitka od grijanog prostora kroz negrijani prostor prema vanjskom okolišu
$H_{T,ij}$	W/K	koeficijent transmisijskog gubitka od grijanog prostora prema tlu
$H_{T,ig}$	W/K	koeficijent transmisijskog gubitka od grijanog prostora prema tlu
$H_{T,ie}$	W/K	koeficijent transmisijskog gubitka od grijanog prostora prema vanjskom okolišu
$H_{T,i}$	W/K	koeficijent transmisijskog gubitka topline
$G_w$	-	korekcijski faktor za utjecaj podzemnih voda
$A_B$	m <sup>2</sup>	površina bazena
$\dot{m}_{HK,n}$	kg/s	maseni protok ogrjevnog medija u krugu podnog grijanja
$\dot{V}_{su}$	m <sup>3</sup> /s	volumni protok dovedenog vanjskog zraka
$\dot{V}_{o,p}$	m <sup>3</sup> /s·osoba	dobava svježeg zraka po osobi
$\dot{V}_i$	m <sup>3</sup> /s	volumni protok zraka
$\dot{V}_{ex}$	m <sup>3</sup> /s	volumni protok odvedenog zraka
$\dot{M}_w$	kg/s	masa vode koja ishlapi s površine bazena
$\Psi$	W/mK	linearni koeficijent prolaza topline linearnog toplinskog mosta
$\varphi_{int}$	%	relativna vlažnost



## SAŽETAK

U sklopu ovog rada potrebno je dimenzionirati sustav podnog grijanja i mehaničke ventilacije za zgradu s dva zatvorena bazena i pratećim prostorima. Zgrada se sastoji od tri etaže s ukupnom neto površinom od 3800 m<sup>2</sup>, a smještena je na području grada Zagreba. Bazen u prizemlju zgrade ima površinu 400 m<sup>2</sup> dok je bazen u podrumu površine 32 m<sup>2</sup>. Proračun toplinskih gubitaka određen je u skladu s normom EN 12831. Sustav podnog grijanja dimenzioniran je za pokrivanje toplinskog opterećenja uslijed transmisijskih gubitaka, infiltracije te prekida rada sustava grijanja. Projektno toplinsko opterećenje iznosi 141 kW, a sustavom podnog grijanja instaliran je ogrjevni učinak od 90 kW. Ostatak toplinskog opterećenja pokrije se sustavom mehaničke ventilacije. U zgradi se nalaze tri odvojena sustava tlačno-odsisne ventilacije te jedanaest sustava odsisne ventilacije za sanitarne čvorove i tuševe. Jedna ventilacijska jedinica koristi se za ventilaciju pratećih prostora dok se ventilacija prostora s bazenom izvodi odvojeno, s dvije ventilacijske jedinice. Sustav mehaničke ventilacije pratećih prostora dimenzioniran je pomoću higijenskog minimuma s dobavom vanjskog zraka od 35 m<sup>3</sup>/h i osobi. Ventilacijske jedinice za bazenske prostore dimenzionirane su prema zahtjevu za odvlaživanjem, a proračun je proveden prema normi VDI 2089. Sustav pripreme potrošne tople vode izvodi se kao centralni s akumulacijskim spremnikom volumena 1500 L.

Ključne riječi: ventilacija, zatvoreni bazen, podno grijanje

## **SUMMARY**

In this master's thesis it is necessary to design underfloor heating system and mechanical ventilation for the building with two swimming pools and additional spaces. The building consists of three floors with total net area of 3800 m<sup>2</sup> and it is located in Zagreb. Swimming pool at the ground floor has an area of 400 m<sup>2</sup> while swimming pool at basement level has an area of 32 m<sup>2</sup>. Calculation of thermal losses is determined in accordance with EN 12831. The underfloor heating system is design in order to cover the thermal load due to transmission losses, infiltration and intermittention of the heating system operation. The project heat load is 141 kW while the installed heating capacity of underfloor heating is 90 kW. The rest of thermal load is covered by mechanical ventilation system. The building has three separated ventilation units and eleven suction ventilation system for sanitary knots and showers. One ventilation unit is used for ventilation of the additional spaces while the ventilation system of swimming pool halls is performed separately with two ventilation units. Mechanical ventilation system of additional spaces is design by using hygienic minimum of outdoor air with 35 m<sup>3</sup>/h per person. Ventilation system for swimming pool halls are design in accordance to the dehumidification requirements. The calculation is determined in accordance with VDI 2089 standard. The hot water system is carried out as a central system with storage tank of 1500 L.

Key words: mechanical ventilation, indoor swimming pool, underfloor heating

## 1. UVOD

Ubrzani razvoj tehnologija dovodi do povećanja kvalitete života te čovjeku postaje normalno nešto što se u bliskoj povijesti smatralo visokim luksuzom ili potpuno nemogućim. Takav pristup javlja se i u području grijanja, ventilacije i klimatizacije kojima se žele postići najpovoljniji uvjeti za boravak osoba u prostoru. Primjena novih znanja i tehnologija u izradi uređaja i opreme za sustave grijanja, ventilacije i klimatizacije (dalje *GViK*) pruža mogućnost postizanja širokog raspona toplinskih uvjeta koji će uz pravilno projektiranje i izvođenje zadovoljiti i najzahtjevnije korisnike.

Zbog specifičnog toplinskog opterećenja te razine odjevenosti korisnika zatvorena plivališta predstavljaju velik izazov u projektiranju i izvođenju sustava grijanja i ventilacije. Niska razina odjevenosti korisnika te pojačano hlađenje uslijed ishlapljivanja kapljica vode s površine kože stavlja velik pritisak na odabir sustav grijanja. Javna zatvorena plivališta najčešće se izvode s visokim stropovima što rezultira podizanjem toplog zraka iz zone boravka i nakupljanje ispod stropa stvarajući nepovoljnu stratifikaciju temperature zraka. Uz navedeno, područje oko bazena najčešće je obloženo pločicama što rezultira dodatnim osjećajem hladnoće pri izlasku iz vode. Na temelju navedenog, zatvorena plivališta najčešće se izvode sa sustavom podnog grijanja koji zbog specifičnih karakteristika u odnosu na ostale tipove grijanja uspješno odgovara navedenim zahtjevima.

Podno grijanje pripada skupini površinskog grijanja kod kojeg je zračenje dominantan mehanizam prijenosa topline što omogućuje izravan prijenos topline s poda kao ogrjevnog tijela na osobu i plohe bez korištenja zraka kao posrednog medija. Nadalje, površinski sustav grijanja karakterizira niska temperatura ogrjevnog medija što omogućuje izravan kontakt korisnika s ogrjevnim tijelom. Na taj način sprječava se pothlađivanje stopala i postiže se kvalitetna stratifikacija temperature zraka s visokom razinom toplinske ugodnosti. Stratifikacija temperature zraka utječe na toplinsku ugodnost, ali i na troškove grijanja. Sustavom podnog grijanja izbjegava se nepotrebno pregrijavanje prostora zbog uzgonskog podizanja toplog zraka iz zone boravka. Negativna strana primjene sustava podnog grijanja javlja se u složenosti projektiranja i izvođenja. Kod projektiranja podnog grijanja potrebno je predvidjeti raspored namještaja i ugradnju podne obloge jer sustav radi s niskom temperaturom ogrjevnog medija i

zahtjeva veliku površinu izmjene topline s malim toplinskim otporom obloge. Dimenzioniranje samog sustava provodi se prema normi EN 1264 te pomoću tablica i dijagrama proizvođača.

Temperatura zraka u prostoru faktor je koji znatno utječe na ugodnost boravka. Optimalna vrijednost ovisi o namjeni prostora, razini odjevenosti i razini fizičke aktivnosti te o godišnjem dobu i vanjskim okolišnim uvjetima. Za zatvorena plivališta prema normi VDI 2089 preporuča se temperatura zraka 30 do 34 °C ili 2 do 4 °C viša od temperature vode. Javna plivališta potrebno je projektirati s temperaturom vode od 28 °C, dok se za terapijske bazene i lječilišta preporučuju temperature vode i do 36 °C. Prema ASHRAE zahtjevi su nešto blaži pri čemu se preporuča temperatura zraka 1 do 2 °C višom od temperature vode koja se za javna plivališta kreće od 24 do 29 °C.

Ukoliko se sustavom podnog grijanja ne može pokriti toplinsko opterećenje prostora i postići željena temperatura zraka, najčešće se koristi kombinacija sa zračnim sustavom. Zbog specifičnih zahtjeva prostora s bazenom, sustav mehaničke ventilacije neizostavan je termotehnički sustav zatvorenog plivališta. Uz temperaturu zraka, važno je kontrolirati i vlažnost zraka u prostoru zbog latentnog opterećenja uslijed ishlapljivanja vode s površine bazena i ljudskog tijela. Ishlavljanje vode rezultira viškom vlage u zraku koja u određenim uvjetima može kondenzirati ili narušiti toplinsku ugodnost boravka. Opasnost od kondenzacije posebno je izražena u zimskim mjesecima kad su vanjske stijenke hladne. Za zaštitu konstrukcije zgrade i toplinsku ugodnost preporuča se relativna vlažnosti 40 do 64 % pri čemu su niže vrijednosti karakteristične za zimski, a više vrijednosti za ljetni period kad je i veća apsolutna vlažnost vanjskog zraka. Sprječavanje kondenzacije postiže se pravilnim projektiranjem sustava mehaničke ventilacije tako da se „ispiru“ vanjske stijenke prostora s bazenom.

Uz kontroliranje temperature i vlažnosti zraka, sustavom mehaničke ventilacije mora se osigurati odgovarajuća kvaliteta zraka. Uz dovođenje odgovarajuće količine svježeg zraka potrebnog za disanje, mehaničkom ventilacijom potrebno je odvesti štetne hlapljive spojeve poput klora koji se koriste za tretiranje bazenske vode. Za kvalitetno odvođenje zagađenog zraka kanali sustava odsisne ventilacije postavljaju se direktno iznad bazenskog prostora.

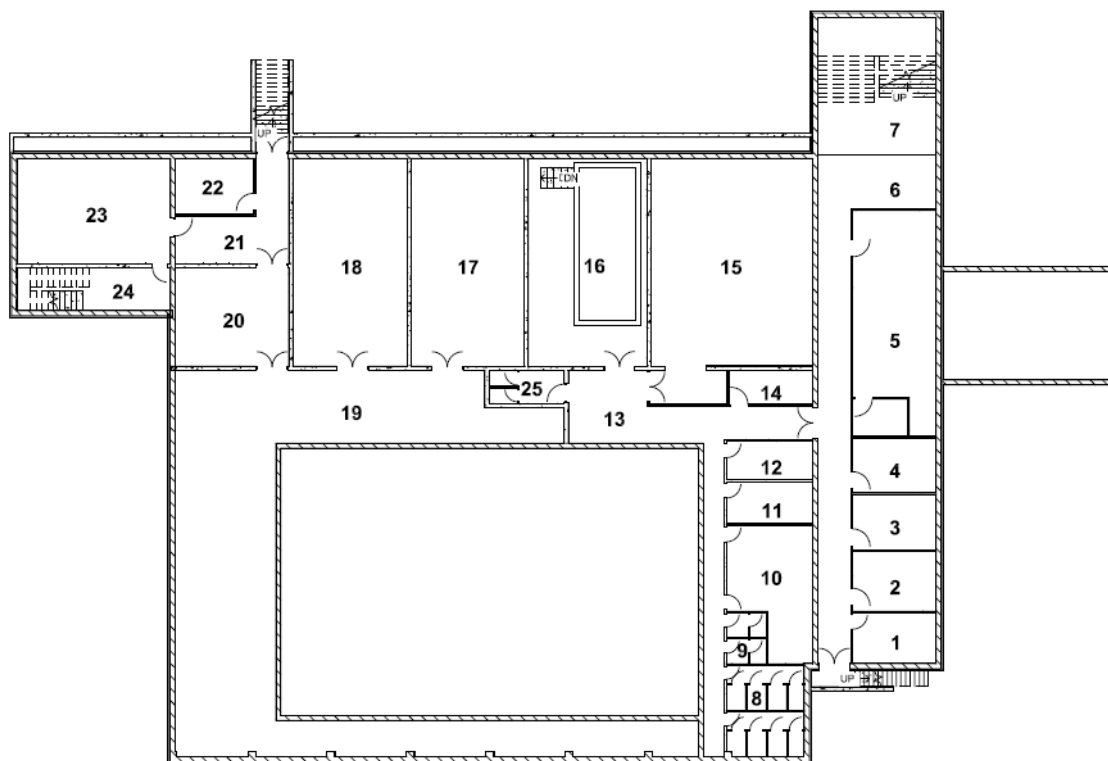
Ishlavljanje vode s površine bazena kontinuirani je proces što znači da sustav mehaničke ventilacije treba raditi i noću. Iz tog razloga, mehanička ventilacija prostora s bazenom izvodi se kao odvojeni sustav, neovisno o pratećim prostorima unutar zgrade.

Cilj ovog rada je dimenzioniranje i projektiranje sustava podnog grijanja i mehaničke ventilacije zgrade s dva bazena na različitim razinama. Dodatnu kompleksnost proračunu daju prateći prostori poput cafe bara, ureda, teretane i prostora za rehabilitaciju za koje je također predviđena ugradnja navedenih sustava. Za provedbu proračuna potrebno je definirati nekoliko ulaznih parametara, a svakako je potrebno poznavati geometrijske i termodinamičke karakteristike zgrade. Na temelju arhitektonskih podloga kreiran je 3D model zgrade pomoću *Autodesk Revit 2017* programskog paketa koji je korišten u daljnjem proračunu.

## 2. GEOMETRIJSKE KARAKTERISTIKE ZGRADE

Sustav podnog grijanja i mehaničke ventilacije potrebno je projektirati za zgradu rekreativne i sportske namjene s dva bazena i ukupnom neto površinom od 3800 m<sup>2</sup>. Zgrada se sastoji od tri etaže i smješten je na području grada Zagreba u blizini izdašnog geotermalnog izvora s temperaturom vode od 60 °C. Vanjska bruto dimenzija zgrade iznosi 66,2 x 45,1 m uz prosječnu visinu etaže od 4 m.

U podrumu se nalaze četiri rehabilitacijske sobe koje se mogu iskoristiti za masažu ili u terapijske svrhe te rehabilitacijska dvorana za fizikalnu terapiju. Uz navedeno, u podrumu se nalaze i teretana, dvije svlačionice i garderoba s trideset ormara, prostorija s osam tuševa, dva sanitarna čvora, prostorija s malim bazenom dimenzija 9,2 x 3,4 m, radionica i nekoliko manjih prostorija koje služe kao spremište. Uz sve spomenute grijane prostore, tu se nalaze i negrijani prostori: glavni razvodni ormar, strojarnica i prostorija za kompenzaciju razine vode u bazenima te opremom za tretiranje vode. Tlocrt podruma s rasporedom prostorija prikazan je na slici 1, a popis prostorija s nazivom, površinom i volumenom naveden je u tablici 1.

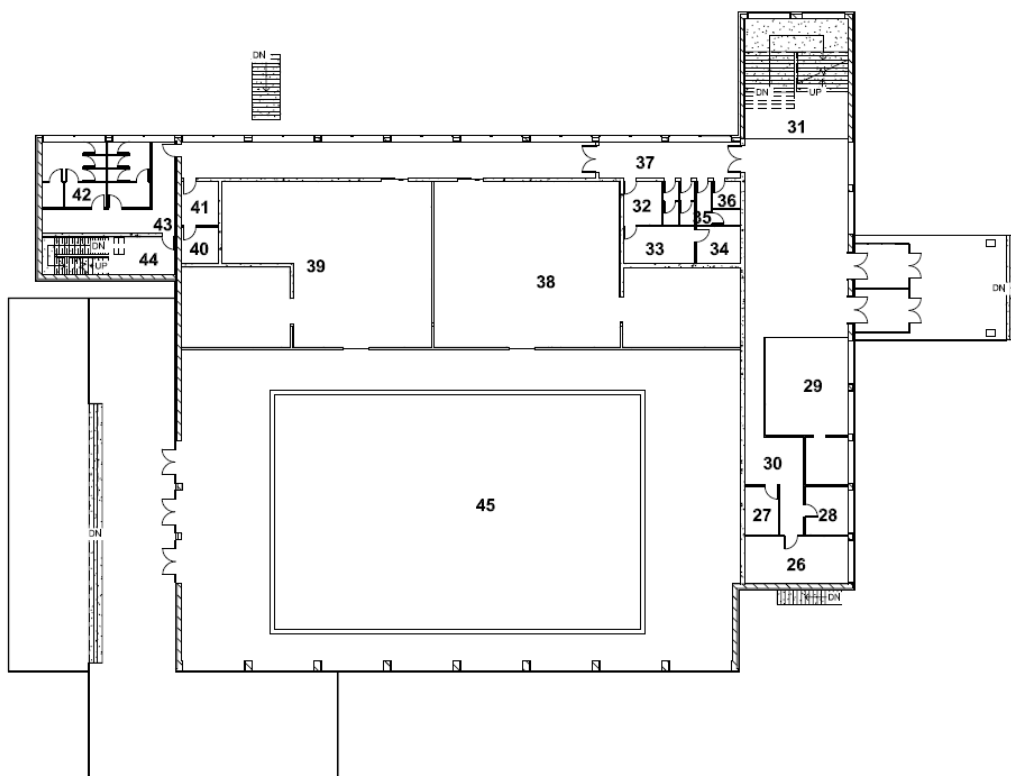


Slika 1. Tlocrt podruma s oznakama prostorija

Tablica 1. Popis prostorija u zgradi

PODRUM		PRIZEMLJE		KAT	
Oznaka	Naziv	Oznaka	Naziv	Oznaka	Naziv
-	-	-	-	-	-
1	Rehabilitacija	26	Ured	46	Dvorana
2	Rehabilitacija	27	Ambulanta	47	Sanitarni čvor
3	Rehabilitacija	28	Ured	48	Hodnik
4	Rehabilitacija	29	Cafe bar	49	Ured
5	Rehabilitacija-dvorana	30	Hodnik	50	Ured
6	Hodnik	31	Stepenište	51	Ured
7	Stepenište	32	Ured	52	Ured
8	Tuševi	33	Spremište	53	Ured
9	Sanitarni čvor	34	Spremište	54	Ured
10	Garderoba	35	Sanitarni čvor	55	Hodnik
11	Svlačionica	36	Blagajna	56	Stepenište
12	Svlačionica	37	Hodnik	57	Stepenište
13	Hodnik	38	Svlačionica	58	Tribine i bazen
14	Spremište	39	Svlačionica		
15	Teretana	40	Ured		
16	Mali bazen	41	Ured		
17	Glavni GRO	42	Sanitarni čvor		
18	Strojarnica	43	Hodnik		
19	Kompenzacija	44	Stepenište		
20	Radionica	45	Bazen		
21	Hodnik				
22	Spremište				
23	Spremište				
24	Stepenište				
25	Sanitarni čvor				

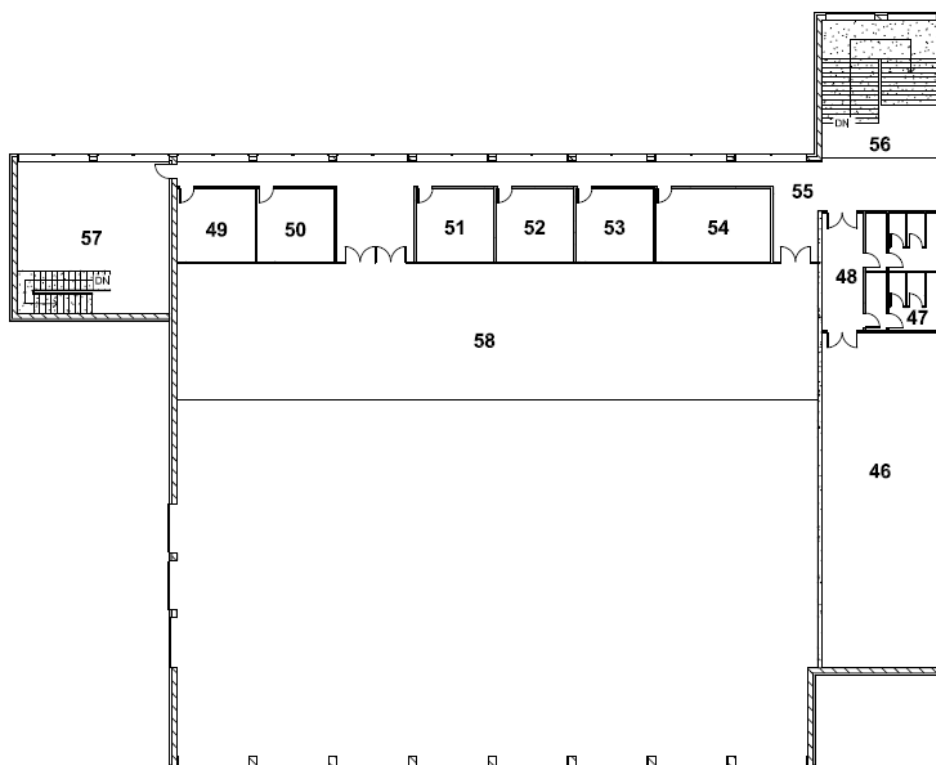
Prizemlje zgrade uzdignuto je 70 cm u odnosu na razinu tla. Glavni ulaz u zgradu nalazi se na istočnoj strani nakon čega slijedi veliki hodnik i cafe bar. Tu su nalaze još i nekoliko ureda te mala ambulanta. Ulaskom u hodnik na sjevernoj strani dolazi se do blagajne, spremišta i malog sanitarnog čvora za osoblje nakon kojih se dolazi do svlačionica u sklopu kojih se nalaze i tuševi. Na zapadnoj strani istog hodnika nalaze se dva ureda, veliki sanitarni čvor te pomoćne stepenice. Glavni dio prizemlja zauzima veliki bazen dimenzija 25 x 16 m i njegov pristupni prostor. Iz područja plivališta postoji mogućnost izlaska na terasu smještenoj na zapadnoj strani te sunčalište smješteno na jugozapadnom dijelu građevine. Tlocrt prizemlja prikazan je na slici 2.



**Slika 2. Tlocrt prizemlja s oznakama prostorija**

Na katu zgrade nalaze se dva hodnika. Jedan hodnik vodi prema velikom sanitarnom čvoru i dvorani za sastanke, dok drugi hodnik povezuje urede i vodi prema tribinama velikog bazena. Sa zapadne strane nalaze se pomoćne stepenice. Tribine imaju kapacitet od 120 sjedećih mjesta. Tlocrt kata prikazan je na slici 3.





**Slika 3. Tlocrt kata s oznakama prostorija**

Vanjsku ovojnicu zgrade karakteriziraju velike staklene površine. Podrumski prostori s istočne strane nemaju otvora prema vanjskom okolišu, dok se na prizemlju nalazi sedam prozora dimenzija 2,2 x 2,95 m (Tablica 2, oznaka P-1) te dvoja ulazna vrata od kojih svaka imaju dva krila (Tablica 2, oznaka V-2). Na katu zgrade nalazi se devet prozora istog tipa. Sjevernu stranu zgrade također karakterizira veliki udio staklene površine. Teretana u podrumu ima osam prozora dimenzija 1,1 x 1,08 m (Tablica 2, oznaka P-3), dok prostor malog bazena ima šest prozora istog tipa. Prostorija u kojoj se nalazi glavni razvodni ormar te strojarnica imaju svaka po tri ventilacijske rešetke dimenzija 1,1 x 2,15 m. Do radionice vode metalna vrata (Tablica 2, oznaka V-1) dimenzija 2 x 1,8 m. Na prizemlju i katu sa sjeverne strane nalazi se dvadeset velikih prozora (Tablica 2, oznaka P-2). Stepenište na sjeverozapadnoj strani ima po dva prozora na prizemlju i katu s karakteristikama prema oznaci P-1. Na zapadnoj strani tri su izlaza prema terasi, a vrata s dvostrukim krilima smještena su u tri velike staklene stijene dimenzija 8,65 x 2,95 m. Najveće staklene površine nalaze se s južne strane zgrade. Cijelo pročelje sastoji se od nekoliko nosivih stupova te osam velikih staklenih stijena od kojih svaka ima dimenzije 8,65 x 4,24 m.

**Tablica 2. Toplinske karakteristike prozora vrata**

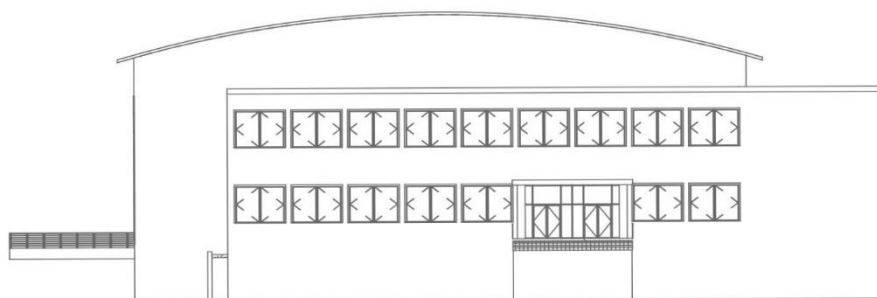
OZNAKA	OPIS	B	H	A <sub>UK</sub>	U
-	-	m	m	m <sup>2</sup>	W/m <sup>2</sup> ·K
V-1	Metalna vrata prema radionici	1,80	2,00	3,60	2,80
V-2	Vrata na glavnom ulazu	1,80	2,00	3,60	1,30
V-3	Vrata prema terasi	1,75	2,01	3,52	1,30
V-4	Unutarnja vrata	1,05	2,00	2,10	3,80
P-1	Prozor prema istoku	2,95	2,20	6,49	1,32
P-2	Prozor prema sjeveru	4,30	2,20	9,46	1,28
P-3	Prozor u podrumu	1,08	1,10	1,18	1,43
P-4	Staklena stijena	4,24	8,65	36,7	1,30

U izgradnji ovojnice zatvorenog plivališta koriste se kvalitetni materijali s visokom otporom prolasku topline. Radi smanjenja gubitaka topline transmisijom vanjska ovojnica zgrade u potpunosti je izolirana kamenom vunom. Nedostatak ovog izolacijskog materijala je nizak faktor otpora difuziji vodene pare ( $\mu \approx 1$ ) što dovodi do nakupljanja vlage i gubitka izolacijskih svojstava. Iz tog razloga vanjski zidovi podrumskih prostorija izolirani su pločama ekspaniranog polistirena koji ima znatno veći faktor otpora difuziji vodene pare ( $\mu \approx 100$ ). Karakteristike ploha korištenih u proračunu transmisijskih gubitaka navedene su u tablici 3.

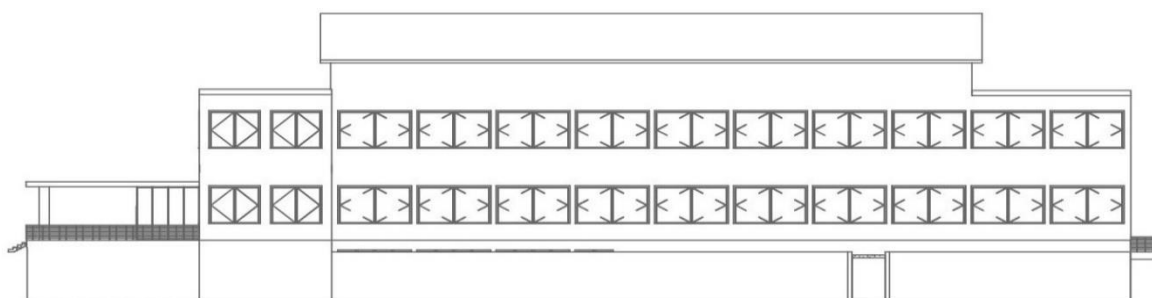
**Tablica 3. Toplinske karakteristike ploha**

OZNAKA	OPIS	DEBLJINA	U
-	-	cm	W/m <sup>2</sup> K
POD-TLO	Pod prema tlu	60	0,537
VZ-POD	Vanjski zid u zemlji	43	0,300
STROP	Strop između etaža	35	0,645
STROP-B	Strop iznad bazena	13	0,349
RAVNI KROV	Ravni krov iznad prvog kata	25	0,442
VZ-OKOLIS	Vanjski zid iznad razine tla	45	0,290
UZ-GKP/12	Unutarnji pregradni zid od gips-kartonske ploče	12	2,083
UZ-30	Unutarnji nosivi zid	30	1,443

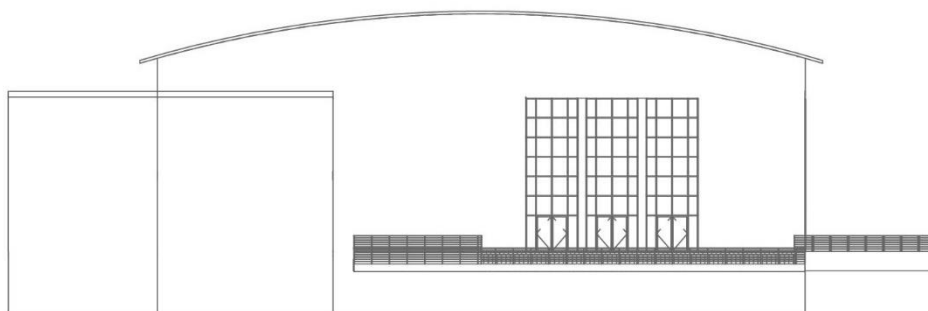
Na temelju arhitektonskih podloga napravljen je 3D model zgrade pomoću programa *AutoDesk Revit 2017*. Na slikama 4-8 prikazana su pročelja zgrade.



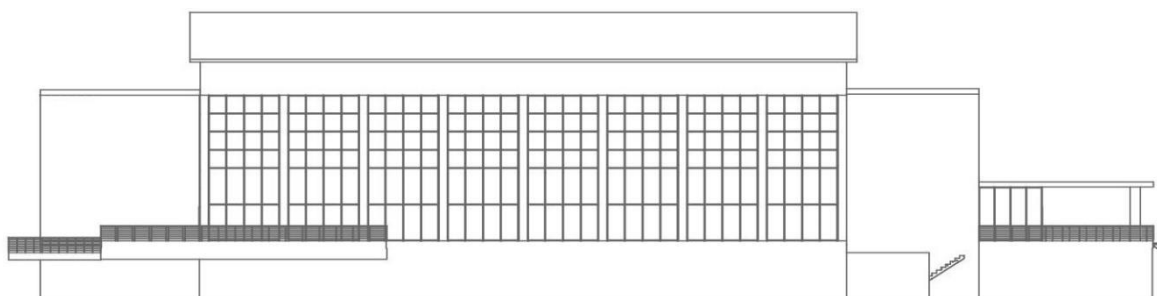
**Slika 4. Istočno pročelje zgrade**



**Slika 5. Sjeverno pročelje zgrade**



**Slika 6. Zapadno pročelje zgrade**



**Slika 7. Južno pročelje zgrade**

### 3. PRORAČUN PROJEKTNIH TOPLINSKIH GUBITAKA

U zgradu zatvorenog plivališta predviđa se ugradnja podnog grijanja u kombinaciji sa zračnim sustavom. U gotovo sva zatvorena plivališta ugrađuje se podno grijanje kako bi se zaštitili plivači od pothlađivanja nakon izlaska iz bazena. Zračni sustav neizostavni je dio plivališta radi odvođenja viška vlage iz zraka i sprječavanja kondenzacije te dovođenja svježeg zraka za disanje.

Prvi korak u dimenzioniranju sustava grijanja je proračun toplinskih gubitaka za zimski period. U ovom radu toplinski gubici za zimu proračunati su prema normi EN 12831:2003. Proračun toplinskog opterećenja grijane prostorije sastoji se od nekoliko karakterističnih koraka [1]:

KORAK	POSTUPAK
1.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Na temelju meteoroloških podataka odrediti:               <ul style="list-style-type: none"> <li>· vanjske projektne temperature</li> <li>· srednje godišnje vanjske temperature</li> </ul> </li> </ul>
2.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Definiranje stanja svake prostorije (grijana ili negrijana)</li> <li>- Definiranje unutarnje projektne temperature za svaku grijanu prostoriju</li> </ul>
3.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Određivanje geometrijskih karakteristika svake prostorije</li> <li>- Određivanje toplinskih značajki svih građevinskih elemenata grijanih i negrijanih prostorija</li> </ul>
4.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Proračun projektnih transmisijskih gubitaka množenjem izračunatog koeficijenta transmisijskih toplinskih gubitaka i razlike između vanjske i unutarnje projektne temperature</li> </ul>
5.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Proračun projektnih ventilacijskih gubitaka množenjem izračunatog koeficijenta ventilacijskih toplinskih gubitaka i razlike između vanjske i unutarnje projektne temperature</li> </ul>
6.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Proračun ukupnih toplinskih gubitaka prostorije zbrajanjem transmisijskih i ventilacijskih gubitaka</li> </ul>
7.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Proračun potrebnog dodatnog kapaciteta zbog prekida rada sustava grijanja</li> </ul>
8.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Proračun ukupnog projektnog toplinskog opterećenja zbrajanjem ukupnih toplinskih projektnih gubitaka i dodatnog kapaciteta zbog prekida rada sustava</li> </ul>

Za potrebe proračuna projektnog toplinskog opterećenja zgrada je podijeljen na 58 prostorija prema slikama 1-3. Podjela zgrade izvršena je na temelju odvojenosti pojedinog dijela prostora

zidom ili vratima te na temelju različitih projektnih uvjeta (na primjer hodnik i stepenište promatraju se kao odvojene prostorije).

### 3.1. Ulazni podaci

U prvom koraku proračuna odabrani su projektni uvjeti na temelju lokacije zgrade i dostupnih meteoroloških podataka. Meteorološki podaci odabrani su prema [2] za postaju Zagreb - Maksimir:

- Vanjska projektna temperatura zraka:  $\vartheta_e = -12,8 \text{ }^\circ\text{C}$
- Srednja godišnja vanjska temperatura zraka:  $\vartheta_{m,e} = 11,55 \text{ }^\circ\text{C}$

U drugom koraku potrebno je pojedinačno za svaku prostoriju definirati postoji li sustav grijanja i mehaničke ventilacije. Nadalje, za proračun projektnih toplinskih gubitaka nužno je definirati i unutarnju projektanu temperaturu. Podaci potrebni za daljnji proračun navedeni su u tablici 4. U zgradi se nalaze samo tri prostorije bez ugrađenog sustava grijanja, a to su prostorije glavnog razvodnog ormara, strojarnice i kompenzacije. U tablici su navedeni podaci o neto korisnoj površini te volumenu za svaku prostoriju.

**Tablica 4. Podaci o površini, volumeni i unutarnjoj projektnoj temperaturi svake prostorije**

Oznaka	Naziv	Površina poda	Volume n	Sustav grijanja	Meh. vent.	$\vartheta_{int,i}$ °C
-	-	m <sup>2</sup>	m <sup>3</sup>	-	-	°C
1	Rehabilitacija	14,90	50,8	DA	DA	22
2	Rehabilitacija	17,61	60,0	DA	DA	22
3	Rehabilitacija	16,32	55,6	DA	DA	22
4	Rehabilitacija	16,27	55,5	DA	DA	22
5	Rehabilitacija- dvorana	66,86	228,0	DA	DA	20
6	Hodnik	76,46	260,7	DA	DA	20
7	Stepenište	57,89	205,9	DA	DA	20
8	Tuševi	25,17	85,8	DA	DA	24
9	Sanitarni čvor	7,21	24,6	DA	DA	20
10	Garderoba	34,90	119,0	DA	DA	22
11	Svlačionica	12,94	44,1	DA	DA	22
12	Svlačionica	11,90	40,6	DA	DA	22
13	Hodnik	64,68	220,6	DA	DA	20
14	Spremište	10,27	35,0	DA	DA	18

15	Teretana	130,28	444,3	DA	DA	18
16	Mali bazen	87,90	299,7	DA	DA	28
17	Glavni GRO	83,80	285,8	NE	NE	19
18	Strojarnica	84,86	289,4	NE	NE	19
19	Kompenzacija	257,09	876,7	NE	NE	19
20	Radionica	40,16	137,0	DA	DA	20
21	Hodnik	26,04	88,8	DA	DA	20
22	Spremište	15,46	52,7	DA	DA	20
23	Spremište	57,48	196,0	DA	DA	20
24	Stepenište	23,48	82,7	DA	DA	20
25	Sanitarni čvor	8,63	29,4	DA	DA	20
26	Ured	22,76	92,4	DA	DA	20
27	Ambulanta	7,58	30,8	DA	DA	22
28	Ured	9,56	38,8	DA	DA	20
29	Cafe bar	46,95	190,6	DA	DA	20
30	Hodnik	123,26	500,5	DA	DA	20
31	Stepenište	57,73	253,4	DA	DA	20
32	Ured	7,88	32,0	DA	DA	20
33	Spremište	12,43	48,7	DA	DA	20
34	Spremište	7,67	30,0	DA	DA	20
35	Sanitarni čvor	11,84	48,1	DA	DA	20
36	Blagajna	3,48	14,2	DA	DA	20
37	Hodnik	94,33	383,0	DA	DA	20
38	Svlačionica	187,48	512,9	DA	DA	24
39	Svlačionica	174,45	505,4	DA	DA	24
40	Ured	6,15	24,1	DA	DA	20
41	Ured	7,47	30,3	DA	DA	20
42	Sanitarni čvor	32,68	132,7	DA	DA	20
43	Hodnik	22,33	90,6	DA	DA	20
44	Stepenište	23,12	100,1	DA	DA	20
45	Bazen	836,81	7294,4	DA	DA	28
46	Dvorana	140,74	593,9	DA	DA	20
47	Sanitarni čvor	31,05	131,0	DA	DA	20
48	Hodnik	17,31	73,1	DA	DA	20
49	Ured	20,32	85,7	DA	DA	20
50	Ured	20,19	85,2	DA	DA	20
51	Ured	20,23	85,4	DA	DA	20
52	Ured	20,23	85,4	DA	DA	20
53	Ured	20,23	85,4	DA	DA	20
54	Ured	29,33	126,3	DA	DA	20
55	Hodnik	112,04	472,8	DA	DA	20
56	Stepenište	57,73	243,6	DA	DA	20

57	Stepenište	82,04	340,5	DA	DA	20
58	Tribine i bazen	310,50	1803,0	DA	DA	26

Nakon definiranja unutarnje projektne temperature te postoji li sustav grijanja i mehaničke ventilacije, potrebno je odrediti geometrijske karakteristike svake prostorije i toplinske značajke svih građevinskih elemenata koji predstavljaju ovojnici prostorije. Ovaj korak podrazumijeva izračun površine poda, zidova, prozora, vrata te određivanje koeficijenta prolaza topline svakog građevnog elementa (tablice 2 i 3). Također potrebno je definirati susjedne prostorije i njihove projektne unutarnje temperature. U ovom koraku definiraju se i toplinski mostovi koji su uzeti u obzir prema [1], *tablica C.4.*

### 3.2. Projektni transmisijski gubici topline

Proračun transmisijskih gubitaka topline proveden je za svaku prostoriju. Koeficijent transmisijskog gubitka sastoji se od četiri člana:

$$H_{T,i} = H_{T,ie} + H_{T,iue} + H_{T,ig} + H_{T,ij} \quad (1)$$

Gdje je:

- $H_{T,ie}$  – koeficijent transmisijskog gubitka od grijanog prostora prema vanjskom okolišu, [W/K]
- $H_{T,iue}$  – koeficijent transmisijskog gubitka od grijanog prostora kroz negrijani prostor prema vanjskom okolišu, [W/K]
- $H_{T,ig}$  – koeficijent transmisijskog gubitka od grijanog prostora prema tlu, [W/K]
- $H_{T,ij}$  – koeficijent transmisijskog gubitka od grijanog prostora prema susjednom prostoru grijanom na različitu temperaturu, [W/K]

Koeficijent transmisijskog gubitka izravno prema vanjskom okolišu računa se prema jednadžbi (2). Linearni koeficijenti prolaza topline linearnih toplinskih mostova uzeti su u obzir i određeni su prema [1], *tablica C.4.* Korekcijski faktori izloženosti  $e_k$  i  $e_l$  koji uzimaju u obzir klimatske utjecaje poput brzine vjetera, vlažnosti i temperature uzeti su kao konstante s vrijednošću 1. Koeficijenti prolaza topline svih građevnih elemenata prikazani su u tablicama 2 i 3. Površine građevnih elemenata kroz koje se odvija prolaz topline određene su na temelju izrađenog 3D modela zgrade.

$$H_{T,ie} = \sum_k A_k \cdot U_k \cdot e_k + \sum_l \Psi_l \cdot L_l \cdot e_l \quad (2)$$

gdje je:

- $A_k$  – površina plohe „k“ kroz koju prolazi toplina, [m<sup>2</sup>]
- $U_k$  – koeficijent prolaza topline plohe „k“, [W/m<sup>2</sup>K]  
korekcijski faktori izloženosti koji uzimaju u obzir klimatske
- $e_k, e_l$  – utjecaje poput temperature, vlage i brzine strujanja (prema [1]  $e_k = e_l = 1$ ), [-]
- $\Psi_l$  – linearni koeficijent prolaza topline linearnog toplinskog mosta „l“, [W/mK]
- $L_l$  – dužina linijskog toplinskog mosta, [m]

U zgradi se nalaze tri negrijane prostorije u prizemlju, a to su strojarnica, glavni razvodni ormar i kompenzacija. Koeficijent transmisijskog gubitka kroz negrijane prostorije računa se prema jednadžbi (3). Faktor smanjenja temperature razlike računa se prema jednadžbi (4), a pretpostavljena temperatura u negrijanom prostoru prema jednadžbi (5).

$$H_{T,iue} = \sum_k A_k \cdot U_k \cdot b_u + \sum_l \Psi_l \cdot L_l \cdot b_u \quad (3)$$

$$b_u = \frac{\vartheta_{int,i} - \vartheta_u}{\vartheta_{int,i} - \vartheta_e} \quad (4)$$

$$\vartheta_u = \frac{\sum_i (U \cdot A)_{int,i} \cdot \vartheta_{int,i} + \sum_j (U \cdot A)_{ue,j} \cdot \vartheta_{ue,j}}{\sum_i (U \cdot A)_{int,i} + \sum_j (U \cdot A)_{ue,j}} \quad (5)$$

gdje je:

- $b_u$  – faktor smanjenja temperature razlike, [-]
- $\sum_i (U \cdot A)_{int,i}$  – suma umnožaka  $U \cdot A$  za pregrade prostorije koje graniče sa susjednim prostorijama, [W/°C]
- $\sum_j (U \cdot A)_{ue,j}$  – suma umnožaka  $U \cdot A$  za pregrade prostorije koje graniče s vanjskim okolišem, [W/°C]

Prostorije u podrumu izmjenjuju toplinu sa tlom pri čemu se kao temperatura tla uzima srednja godišnja temperatura zraka. Koeficijent transmisijskog gubitka prema tlu računa se prema jednadžbi (6). Faktor  $f_{gI}$  uzima u obzir utjecaj godišnje oscilacije vanjske temperature i prema [1] iznosi  $f_{gI}=1,45$ . Faktor  $G_w$  uzima u obzir utjecaj podzemnih voda. Udaljenost podzemnih voda od poda veća je od jednog metra stoga prema [1]  $G_w=1$ . Ekvivalentni koeficijent prolaza topline kroz plohu u kontaktu s tlom ovisi o udaljenosti poda od razine tla,



stvarnom koeficijentu prolaza topline plohe i koeficijentu  $B$  te se računa prema [1], tablica 4,5 i 6. Pregradni zidovi između susjednih prostorija i vanjskog okoliša uzeti su u obzir tako da se neto površina prostorije uveća za polovinu površine pregradnog zida.

$$H_{T,ig} = f_{g1} \cdot f_{g2} \cdot G_w \sum_k A_k \cdot U_{eq,k} \quad (6)$$

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

$$U_{eq,k} = U_{eq,k}(U_k, z, B) \quad (8)$$

$$B = \frac{A_g}{0,5 \cdot P} \quad (9)$$

gdje je:

- $f_{g1}$  – korekcijski faktor za utjecaj godišnje oscilacije vanjske temperature zraka (prema [1]  $f_{gl}=1,45$ ) [-]
- $f_{g2}$  – faktor smanjenja temperaturne razlike koji uzima u obzir razliku između srednje godišnje vanjske temperature i vanjske projektne temperature zraka, [-]
- $G_w$  – korekcijski faktor za utjecaj podzemnih voda (prema [1]  $G_w=1$ ), [-]
- $U_{eq,k}$  – ekvivalentan koeficijent prolaza topline (prema [1], tablice 4,5 i 6), [W/m<sup>2</sup>K]

Koeficijent transmisijskog gubitka prema prostoriji grijanoj na drugu temperaturu računa se prema jednadžbi (10). U slučaju da je projektna temperatura susjedne prostorije veća od one u promatranoj, toplinski dobitak od susjedne prostorije je zanemaren. Drugim riječima, koeficijent transmisijskog gubitka uzima se u obzir samo ako je faktor  $f_{ij}$  veći od nule.

$$H_{T,ij} = \sum_k A_k \cdot U_k \cdot f_{ij} \quad (10)$$

$$f_{ij} = \frac{\vartheta_{int,i} - \vartheta_{adj,space}}{\vartheta_{int,i} - \vartheta_e} \quad (11)$$

gdje je:

- $f_{ij}$  – faktor smanjenja temperaturne razlike koji uzima u obzir razliku između temperature susjednog prostora i vanjske projektne temperature, [-]

Projektni transmisijski gubitak topline računa se kao umnožak ukupnog koeficijenta transmisijskog gubitka i razlike projektnih temperatura prema sljedećem izrazu:

$$\Phi_{T,i} = H_{T,i} \cdot (\vartheta_{int,i} - \vartheta_e) \quad (12)$$

Na temelju opisanog postupka proveden je proračun transmisijskog gubitka topline za svaku grijanu prostoriju u zgradi. U tablici 5 prikazan je primjer proračuna za jednu karakterističnu prostoriju.

**Tablica 5. Primjer proračuna transmisijskog gubitka topline**

16		MALI BAZEN					
<i>Transmisijaska izmjena topline direktno prema vanjskom okolišu</i>							
Oznaka	Građevni element	$A_k$	$U_k$	$e_k$	$A_k \cdot U_k \cdot e_k$		
		m <sup>2</sup>	W/m <sup>2</sup> K	-	W/K		
P-3	Prozor_teretana	4,72	1,43	1	6,76		
VZ-POD	Vanjski zid u zemlji	21,63	0,30	1	6,48		
Ukupno od građevnih elemenata		$\Sigma_k A_k \cdot U_k \cdot e_k$ W/K			13,25		
Oznaka	Toplinski most	$L_l$	$\Psi_l$	$E_l$	$\Psi_l \cdot U_l \cdot e_l$		
		m	W/mK	-	W/K		
62B	Gornji dio prozora	4,32	0,12	1	0,51		
62C	Bočni dio prozora	8,8	0,12	1	1,05		
62A	Donji dio prozora	4,32	0,12	1	0,51		
Ukupno od toplinskih mostova		$\Sigma_l \Psi_l \cdot L_l \cdot e_l$ W/K			2,09		
Ukupni koeficijent prolaska topline prema okolišu		$H_{T,ie} = \Sigma_l A_l \cdot U_l \cdot e_l + \Sigma_l \Psi_l \cdot L_l \cdot e_l$				15,34	
<i>Transmisijaska izmjena topline prema negrijanom prostoru</i>							
Oznaka	Građevni element	$\vartheta_{adj}$	$A_k$	$U_k$	$b_u$	$A_k \cdot U_k \cdot b_u$	
		°C	m <sup>2</sup>	W/m <sup>2</sup> K	-	W/K	
UZ-30	17	19	44,62	1,44	0,22	14,20	
Ukupno od građevnih elemenata		$\Sigma_k A_k \cdot U_k \cdot b_u$ W/K			14,20		
Oznaka	Toplinski most	$L_l$	$\Psi_l$	$b_u$	$\Psi_l \cdot L_l \cdot b_u$		
		m	W/mK	-	W/K		
-	-	0	-	0,00	0,00		
Ukupno od toplinskih mostova		$\Sigma_l \Psi_l \cdot L_l \cdot b_u$ W/K			0,00		
Ukupni koef. prolaska topline kroz negrijane prostore		$H_{T,iue} = \Sigma_k A_k \cdot U_k \cdot b_u + \Sigma_l \Psi_l \cdot L_l \cdot b_u$				14,20	
<i>Transmisijaska izmjena topline prema tlu</i>							
Izračun koeficijenta B'		$A_g$	P	$B' = 2 \cdot A_g / P$			
		m <sup>2</sup>	m	m			
		86,25	6,90	25,00			
Oznaka	Građevni element	$U_k$	$U_{eq,k}$	$A_k$	$A_k \cdot U_{eq,k}$		
		W/m <sup>2</sup> K	W/m <sup>2</sup> K	m <sup>2</sup>	W/K		
POD-TLO	POD PREMA TLU	0,53	0,15	86,25	12,94		

Ukupno od građevnih elemenata		$\Sigma_k A_k \cdot U_{\text{equiv},k}$		W/K	12,90	
Korekcijski faktori		$f_{g1}$	$f_{g1}$	$G_w$	$f_{g1} \cdot f_{g2} \cdot G_w$	
		-	-	-	-	
		1,45	0,40	1,00	0,58	
Ukupni koef.prolaska topline prema tlu		$H_{T,ig}=(\Sigma_k A_k \cdot U_{\text{equiv},k}) \cdot f_{g1} f_{g2} G_w$				7,56
<i>Transmisijaska izmjena prema susjednom prostoru grijanom na drugu temperaturu</i>						
Oznaka	Oznaka susjedne prostorije	$T_{\text{adj}}$	$f_{ij}$	$A_k$	$U_k$	$A_k \cdot U_k \cdot f_{ij}$
		°C	-	m <sup>2</sup>	W/m <sup>2</sup> K	W/K
STROP	15	18	0,245	44,62	0,65	7,06
UZ-30	17	19	0,221	44,62	1,44	14,2
UZ-30	13	20	0,196	26,06	1,44	7,37
STROP	42	20	0,196	43,12	0,65	5,46
STROP	43	20	0,196	43,12	0,65	5,46
Ukupni koef.prolaska topline prema tlu		$H_{T,ij}=\Sigma_k A_k U_k f_{ij}$			W/K	39,55
Ukupni koeficijent transmisijске izmjene topline		$H_{T,i}=H_{T,ie}+H_{T,iue}+H_{T,ig}+H_{T,ij}$			W/K	76,66
Podaci o temperaturi						
Temperatura tla				$\vartheta_g$	°C	11,55
Vanjska projektna temperatura				$\vartheta_e$	°C	-12,8
Unutarnja projektna temperatura				$\vartheta_{\text{int},i}$	°C	28,0
Projektna temperaturna razlika				$\vartheta_{\text{int},i} - \vartheta_e$	°C	40,8
<i>Projektni transmisijски gubici</i>				$\Phi_{T,i}=H_{T,i} (\vartheta_{\text{int},i} - \vartheta_e)$		[W]
						3128

### 3.3. Projektni ventilacijski gubici topline

Ventilacijski gubici topline javljaju se zbog prodiranja hladnog vanjskog zraka u grijani prostor, a sastoje se od gubitaka uslijed infiltracije, prozračivanja i mehaničke ventilacije. Projektne ventilacijske gubice računaju se prema sljedećem izrazu:

$$\Phi_{V,i} = H_{V,i} \cdot (\vartheta_{\text{int},i} - \vartheta_e) \quad (13)$$

$$H_{V,i} = \dot{V}_i \cdot \rho \cdot c_p \quad (14)$$

gdje je:

- $\Phi_{V,i}$  – projektne ventilacijske gubice topline prostorije „i“, [W]
- $H_{V,i}$  – koeficijent ventilacijskog gubitka topline, [W/K]
- $\rho$  – gustoća zraka, [kg/m<sup>3</sup>]
- $c_p$  – specifični toplinski kapacitet zraka, [J/(kg·K)]

$\dot{V}_i$  – volumni protok zraka u grijanu prostoriju „i“, [m<sup>3</sup>/s]

Ukoliko se uvrste vrijednosti gustoće i specifičnog toplinskog kapaciteta zraka te volumni protok zraka u grijanu prostoriju izrazi u m<sup>3</sup>/h, koeficijent ventilacijskog gubitka topline može se računati prema sljedećem izrazu:

$$H_{V,i} = 0,34 \cdot \dot{V}_i \quad (15)$$

Izračun volumnog protoka zraka u grijanu prostoriju ovisi ima li prostorija ugrađen sustav mehaničke ventilacije. Prema ranije navedenom, cijela zgrada ima sustav mehaničke ventilacije stoga se izrazi za izračun volumnog protoka zraka bez sustava mehaničke ventilacije neće navoditi. Volumni protok zraka u grijanu prostoriju prema [1] računa se pomoću sljedećeg izraza:

$$\dot{V}_i = \dot{V}_{inf,i} + \dot{V}_{su,i} \cdot f_{V,i} + \dot{V}_{mech,inf,i} \quad (16)$$

gdje je:

- $\dot{V}_{inf,i}$  – protok zraka u prostoriju uslijed infiltracije kroz zatore, [m<sup>3</sup>/h]
- $\dot{V}_{su,i}$  – protok zraka u prostoriju doveden sustavom mehaničke ventilacije, [m<sup>3</sup>/h]
- $f_{V,i}$  – faktor smanjenja temperaturne razlike koji uzima u obzir razliku između temperature dobavnog zraka nakon rekuperatora i vanjske projektne temperature, [-]
- $\dot{V}_{mech,inf,i}$  – višak odvedenog zraka iz prostorije, [m<sup>3</sup>/h]

Potrebno je naglasiti kako će se sustavom mehaničke ventilacije pokriti toplinsko opterećenje zbog dobave svježeg zraka (drugi član s desne strane u jednadžbi (16)). Iz tog razloga proračun ventilacijskog gubitka topline neće se temeljiti na jednadžbi (16). Sustavom podnog grijanja nastoji se pokriti ventilacijski gubitak topline uslijed infiltracije i uslijed viška odvedenog zraka iz prostorije koji se određuju prema jednadžbama (18), odnosno (19) i (20).

Na temelju opisanog, volumni protok zraka u grijanu prostoriju određuje se prema sljedećem izrazu:

$$\dot{V}_i = \dot{V}_{inf,i} + \dot{V}_{mech,inf,i} \quad (17)$$

Volumen vanjskog zraka koji uđe u grijanu prostoriju kroz zatore računa se prema sljedećem izrazu:

$$\dot{V}_{inf,i} = 2 \cdot V_i \cdot n_{50} \cdot e_i \cdot \varepsilon \quad (18)$$

gdje je:

- $V_i$  – volumen grijane prostorije, [m<sup>3</sup>]
- $n_{50}$  – broj izmjena zraka u prostoriji pri razlici tlaka 50 Pa, [h<sup>-1</sup>]
- $e_i$  – koeficijent zaštićenosti koji uzima u obzir utjecaj vjetra i broj izloženih otvora, [-]
- $\varepsilon$  – korekcijski faktor za visinu koji uzima u obzir različiti odnos tlakova s povećanjem visine iznad tla ( $\varepsilon=1$  za zgrade do 10 m visine), [-]

Višak odvedenog zraka iz prostorije računa se prema sljedećem izrazu:

$$\dot{V}_{mech,inf,i} = \dot{V}_{mech,inf} \cdot \frac{V_i}{\sum V_i} \quad (19)$$

$$\dot{V}_{mech,inf} = \max(\dot{V}_{ex} - \dot{V}_{su}; 0) \quad (20)$$

gdje je:

- $\dot{V}_{ex}$  – volumni protok odvedenog zraka iz cijele zgrade, [m<sup>3</sup>/h]
- $\dot{V}_{su}$  – volumni protok dovedenog vanjskog zraka za cijelu zgradu, [m<sup>3</sup>/h]

Protok zraka doveden sustavom mehaničke ventilacije određen je na temelju ASHRAE Standard 62.1. Prema navedenoj normi preporuča se dobava vanjskog zraka od 30 do 60 m<sup>3</sup>/h i osobi, ovisno o namjeni prostora. Proračun dobave svježeg zraka proveden je s volumnim protokom od 35 m<sup>3</sup>/h i osobi. Tako se dobava svježeg zraka u prostoriju računa prema sljedećem izrazu:

$$\dot{V}_{su,i} = N \cdot \dot{V}_{o,p} \quad (21)$$

Gdje je:

- $N$  – broj osoba u prostoriji, [-]
- $\dot{V}_{o,p}$  – dobava svježeg zraka po osobi [m<sup>3</sup>/h]

Dobava svježeg zraka u hodnike i stepeništa određena je prema [1] kao minimalni broj izmjena zraka prema sljedećem izrazu:

$$\dot{V}_{min,i} = n_{min} \cdot V_i \quad (22)$$

gdje je:

$n_{min}$  – minimalni broj izmjena zraka, [h<sup>-1</sup>]

Volumni protok dovedenog svježeg i odvedenog istrošenog zraka utječe na tlak u prostoriji. Ugrađeni sustav mehaničke ventilacije u svakoj prostoriji omogućuje regulaciju tlaka. Četiri prostorije rehabilitacije, ambulanta, te svi uredi projektirani su s pretlakom pri čemu za spomenute prostore vrijedi:

$$\dot{V}_{ex,i} \cong 0,95 \cdot \dot{V}_{su,i} \quad (23)$$

Prema jednadžbi (23) volumni protok odvedenog zraka manji je za 5 % u odnosu na volumen svježeg zraka dovedenog u prostoriju. Za prostorije u pretlaku volumen zraka koju uđe u prostoriju uslijed infiltracije jednak je nuli jer strujanje može biti ostvareno samo iz područja višeg u područje nižeg tlaka.

Prijelazne prostorije projektirane su tako da im je volumni protok dovedenog svježeg zraka jednak volumnom protoku odvedenog zraka. Prijelazne prostore čine svi hodnici i stepeništa, svlačionice i garderoba u podrumu, radionica, spremišta, blagajna i cafe bar te za njih vrijedi sljedeći izraz:

$$\dot{V}_{su,i} = \dot{V}_{ex,i} \quad (24)$$

Sustav mehaničke ventilacije za prostorije sanitarnih čvorova, tuševa u podrumu te svlačionica u prizemlju zgrade projektirane su prema zahtjevu minimalnog odvedenog zraka. Prema [3] za sanitarne čvorove preporuča se odsis od 20 m<sup>3</sup>/h po jedinici, dok se za prostore tuševa preporuča odsis od 40 m<sup>3</sup>/h po ugrađenom tušu. Svi ugrađeni tuševi ne koriste se istovremeno te je kao faktor istovremenosti uzeto 50% što znači da se pretpostavlja kontinuirano korištenje polovine instaliranih tuševa.

### 3.3.1. Ventilacija zatvorenog plivališta

Sustav mehaničke ventilacije za prostorije dimenzionira se na temelju zahtjeva za odvlaživanjem. Količina svježeg vanjskog zraka za uklanjanje viška vlage nastale ishlapljivanjem vode s površine bazena proračunava se na temelju VDI 2089. U zimskom periodu apsolutna vlažnost u prostoru s bazenom mora se održavati unutar granica kako bi se izbjegla kondenzacija vodene pare na hladnim vanjskim ploham. Ukoliko temperatura na vanjskim ploha padne ispod temperature rosišta unutarnje apsolutne vlažnosti, doći će do rošenja ploha što u konačnici može rezultirati pojavom algi i uništavanjem konstrukcije. Prema Normi temperatura zraka iznad bazena treba biti 2 do 4 °C veća od temperature vode kako bi se plivači

osjećali ugodno nakon izlaska iz vode. Veća temperaturna razlika nije poželjna jer rezultira povećanim ishlapljivanjem vode s površine bazena. Temperatura vode ovisi o namjeni bazena i kreće se od 24 do 35 °C. Na temelju opisanog u daljnji proračun proveden je uz sljedeće uvjete:

- temperatura vode u bazenu:  $\vartheta_w=26\text{ °C}$
- temperatura zraka iznad bazena:  $\vartheta_{int}=28\text{ °C}$
- relativna vlažnost iznad bazena:  $\varphi_{int}=60\text{ %}$

VDI 2089 preporuča relativnu vlažnost u rasponu od 40 do 64 % pri čemu se niže vrijednosti preporučuju u zimskom, a više vrijednosti u ljetnom periodu.

Masa vode koja ishlapi s površine plivačkog bazena u periodu korištenja računa se prema sljedećem izrazu:

$$\dot{M}_w = \frac{\beta_b}{R_D \cdot \bar{T}} \cdot [p_s(\vartheta_w) - p_d(\vartheta_{int})] \cdot A_B \quad (25)$$

$$\bar{T} = \frac{\vartheta_w + \vartheta_{int}}{2} + 273,15 \quad (26)$$

$$p_d(\vartheta) = \frac{\varphi \cdot p_s(\vartheta)}{100} \quad (27)$$

gdje je:

- $\dot{M}_w$  – masa vode koja ishlapi s površine bazena, [kg/h]
- $\beta_b$  – koeficijent prijenosa vode (prema [4], *tablica 5*), [m/h]
- $R_D$  – specifična plinska konstanta vodene pare, [J/(kg·K)]
- $\bar{T}$  – srednja aritmetička temperatura vode i zraka, [K]
- $p_s$  – tlak zasićenja vodene pare, [Pa]
- $p_d$  – parcijalni tlak vodene pare, [Pa]
- $A_B$  – površina bazena, [m<sup>2</sup>]
- $\varphi$  – relativna vlažnost zraka, [%]

Maseni protok svježeg zraka potrebnog za odvlaživanje prostorije računa se prema sljedećem izrazu:

$$\dot{M}_{su} = \frac{\dot{M}_w}{x_{d,int} - x_{d,ex}} \quad (28)$$

$$x_d = 0,622 \frac{p_d}{p - p_d} \quad (29)$$

$$\dot{V}_{su,min} = \frac{\dot{M}_{su}}{\rho_{su}} \quad (30)$$

gdje je:

- $\dot{M}_{su}$  – maseni protok svježeg zraka, [kg/h]
- $x_{d,int}$  – apsolutna vlažnost zraka u prostoru bazena, [kg/kg]
- $x_{d,ex}$  – srednja vlažnost vanjskog zraka najvlažnijeg mjeseca u godini, [kg/kg]
- $\dot{V}_{su,min}$  – Minimalni volumni protok svježeg zraka, [m<sup>3</sup>/h]
- $\rho_{su}$  – gustoća svježeg zraka, [kg/m<sup>3</sup>]
- $p$  – tlak zraka u prostoriji, [Pa]

Podaci potrebni za izračun vlažnosti zraka:

- $R_D = 461,52 \text{ J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$
- $p_s(\vartheta_w) = 3360 \text{ Pa}$
- $p_s(\vartheta_{int}) = 3778 \text{ Pa}$
- $p = 101325 \text{ Pa}$
- $x_{d,int} = 14,2 \text{ g}/\text{kg}$
- $x_{d,ex} = 9 \text{ g}/\text{kg}$
- $\rho_{su} = 1,2 \text{ kg}/\text{m}^3$
- $\beta_b = \begin{cases} 28, & \text{za veliki bazen (dubina veća od 1,35 m)} \\ 40, & \text{za mali bazen (dubina manja od 1,35 m)} \end{cases}$
- $A_B = \begin{cases} 400 \text{ m}^2 & \text{– veliki bazen} \\ 31,3 \text{ m}^2 & \text{– mali bazen} \end{cases}$

Na temelju jednadžbi (25) do (30) proveden je proračun potrebnog volumena svježeg zraka za odvlaživanje prostora. Dobiveni rezultati prikazani su u tablici 6.

**Tablica 6. Volumen svježeg zraka za odvlaživanje prostora s bazenom**

	Volumen	$\beta_b$	$\bar{T}$	$A_B$	$p_d(\vartheta_{int})$	$\dot{M}_w$	$\dot{M}_{su}$	$\dot{V}_{su,min}$
-	m <sup>3</sup>	m/h	K	m <sup>2</sup>	Pa	kg/h	kg/h	m <sup>3</sup> /h
Bazen i tribine	9097	28	300	400	2267	88,4	16889	<b>14074</b>
Mali bazen	286	40	300	31,3	2267	9,9	1888	<b>1573</b>

Prostorije bazena te tribine projektirane su u potlaku kako bi se spriječilo širenje vlage i mirisa:

$$\dot{V}_{ex,i} \cong 1,05 \cdot \dot{V}_{su,i} \quad (31)$$



### 3.4. Toplinsko opterećenje uslijed prekida rada sustava grijanja

Radi uštede energije, sustav grijanja isključuje se u periodu nekorištenja. Tako se toplinskom opterećenju uslijed transmisijskih i ventilacijskih gubitaka treba dodati opterećenje uslijed prekida rada sustava grijanja. Dodatno toplinsko opterećenje predstavlja potrebni toplinski učinak sustava grijanja za postizanje projektne temperature u prostoriji nakon pada tijekom perioda nekorištenja. Tako se prema [1], *tablica 10a* za nestambene zgrade uz prekida rada sustava grijanja od maksimalno 12 sati odabire korekcijski faktor  $f_{RH}$ . Za prostorije koje graniče s vanjskim okolišem pretpostavlja se pad temperature za 3 °C, dok se za unutarnje prostorije pretpostavlja pad od 2 °C. Prostorije u kojima su smješteni bazeni uključujući i prostor tribina imaju kontinuirani rad sustava grijanja i ventilacije kako bi se spriječile neželjene pojave poput kondenzacije vodene pare.

Za prostorije u rubnim zonama korekcijski faktor iznosi  $f_{RH}=16 \text{ W/m}^2$  dok za unutarnje prostorije iznosi  $f_{RH}=9 \text{ W/m}^2$ . Proračun toplinskog opterećenja uslijed prekida rada sustava grijanja provodi se prema sljedećem izrazu:

$$\Phi_{RH,i} = f_{RH,i} \cdot A_{RH,i} \quad (32)$$

gdje je:

- $f_{RH,i}$  – korekcijski faktor ovisan o vremenu zagrijavanja i pretpostavljenom padu temperature za vrijeme prekida rada sustava grijanja, [ $\text{W/m}^2$ ]
- $A_{RH,i}$  – površina poda grijane prostorije s 50 % debljine zidova, [ $\text{m}^2$ ]

### 3.5. Ukupno toplinsko opterećenje

Toplinsko opterećenje svake prostorije prikazano je u tablici 7. Opterećenje zbog dobave svježeg zraka sustavom mehaničke ventilacije zanemareno je i u potpunosti se pokriva ventilacijskom jedinicom. Toplinska opterećenja stepeništa i sanitarnih čvorova dodana su toplinsko opterećenju najbližeg hodnika radi lakšeg proračuna.. Posljednji redak u tablici 7 prikazuje ukupno toplinsko opterećenje izračunato prema sljedećem izrazu:

$$\Phi_{H,i} = \Phi_{T,i} + \Phi_{V,i} + \Phi_{RH,i} \quad (33)$$

$$\Phi_H = \sum_i \Phi_{H,i} \quad (34)$$

- $\Phi_T = 92473 \text{ W}$
- $\Phi_V = 17463 \text{ W}$
- $\Phi_{RH} = 31044 \text{ W}$
- $\Phi_H = 140980 \text{ W}$

**Tablica 7. Toplinsko opterećenje svake prostorije**

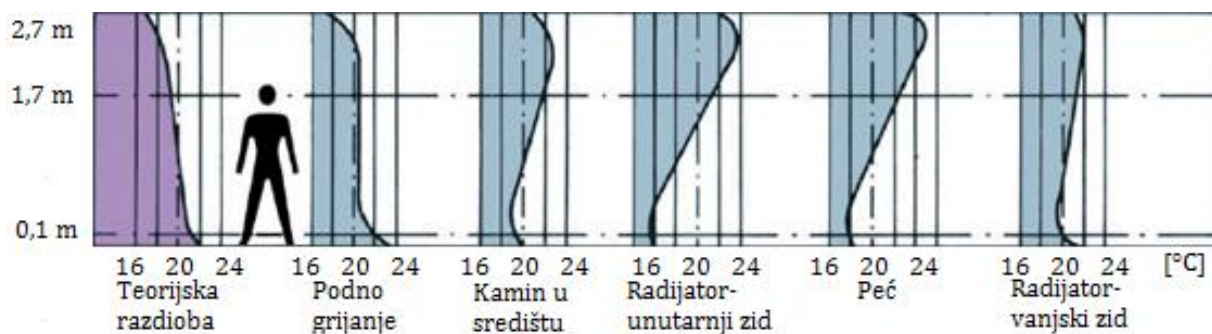
Oznaka	Naziv	$\Phi_{V,i}$	$\Phi_{RH,i}$	$\Phi_{T,i}$	$\Phi_{H,i}$
-	-	W	W	W	W
1	Rehabilitacija	0	238	218	456
2	Rehabilitacija	0	282	107	389
3	Rehabilitacija	0	261	101	362
4	Rehabilitacija	0	260	99	359
5	Rehabilitacija-dvorana	0	1070	332	1402
6	Hodnik	0	1223	575	3207
7	Stepenište	0	926	482	0
8	Tuševi	0	403	724	1127
9	Sanitarni čvor	0	115	18	0
10	Garderoba	0	558	441	1000
11	Svlačionica	0	207	132	339
12	Svlačionica	0	190	203	393
13	Hodnik	0	1035	428	1990
14	Spremište	0	164	21	0
15	Teretana	372	2084	1032	3488
16	Mali bazen	333	0	3128	3460
17	Glavni gro	0	0	0	0
18	Strojarnica	0	0	0	0
19	Kompenzacija	0	0	0	0
20	Radionica	0	643	222	865
21	Hodnik	79	417	597	1093
22	Spremište	0	248	216	464
23	Spremište	0	919	580	2104
24	Stepenište	0	375	230	0
25	Sanitarni čvor	0	138	71	0
26	Ured	82	364	701	1147
27	Ambulanta	0	121	0	121
28	Ured	35	153	397	584
29	Cafe bar	255	751	1184	2190
30	Hodnik	670	1972	1365	6749
31	Stepenište	339	924	1479	0

32	Ured	0	71	11	290
33	Spremište	0	112	16	0
34	Spremište	0	69	11	0
35	Sanitarni čvor	0	0	16	16
36	Blagajna	0	0	4	4
37	Hodnik	513	1509	4459	6502
38	Svlačionica	0	3000	1089	4089
39	Svlačionica	0	2791	1011	3802
40	Ured	0	55	0	123
41	Ured	0	67	0	0
42	Sanitarni čvor	178	523	965	1665
43	Hodnik	81	209	317	1304
44	Stepenište	0	212	486	0
45	Bazen	12143	0	39789	60952
46	Dvorana	795	2252	4895	7941
47	Sanitarni čvor	175	497	1315	1987
48	Hodnik	0	277	283	560
49	Ured	0	325	254	580
50	Ured	0	323	254	577
51	Ured	0	324	254	578
52	Ured	0	324	254	578
53	Ured	0	324	254	578
54	Ured	0	479	376	855
55	Hodnik	633	0	6416	10311
56	Stepenište	326	520	2416	0
57	Stepenište	456	738	3225	4419
58	Tribine i bazen	0	0	9021	0
	<b>UKUPNO [W]</b>	<b>17463</b>	<b>31044</b>	<b>92473</b>	<b>140980</b>

## 4. DIMENZIONIRANJE SUSTAVA PODNOG GRIJANJA

### 4.1. Osnovne karakteristike sustava

U sustavima podnog grijanja osnovni mehanizam izmjene topline je zračenje s udjelom 60 do 75 % što omogućuje istu razinu toplinske ugodnosti uz niže temperature zraka u odnosu na korištenje drugih ogrjevnih tijela. Razlog tome je direktan prijenos topline s ogrjevne površine na osobe i plohe bez korištenja zraka kao posrednog medija. U odnosu na ostale sustave, primjenom podnog grijanja postiže se željena stratifikacija temperature zraka uz stvaranje osjećaja toplih nogu i hladnije glave (slika 8).

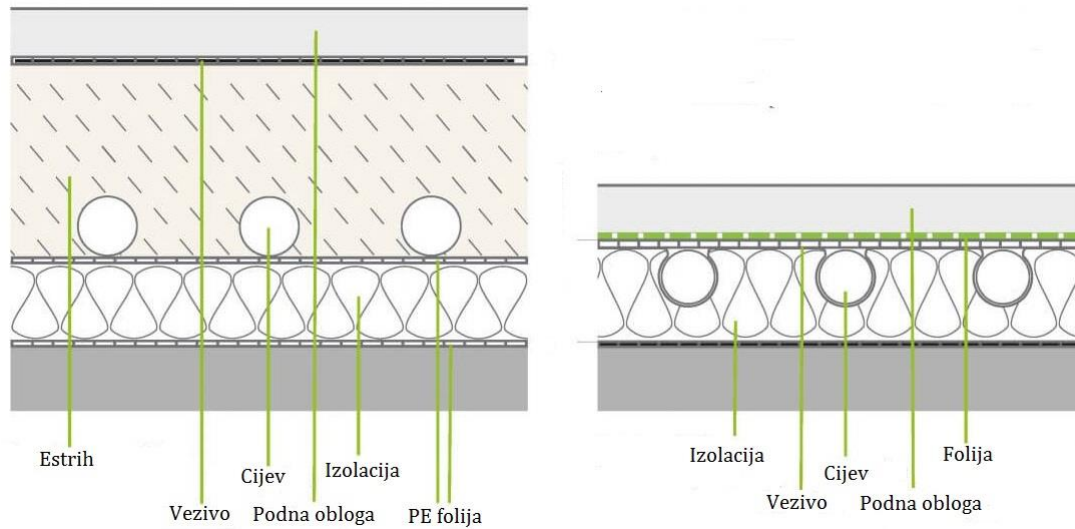


Slika 8. Utjecaj ogrjevnog tijela na razdiobu temperature [5]

Sustavi podnog grijanja pripadaju skupini niskotemperaturnih sustava s režimima 45/40 °C, 40/35 °C, 35/30 °C...što zahtjeva velike površine izmjene topline. Iz tog razloga ovi sustavi imaju veliku količinu vode u optoku zbog čega su nešto tromiji. Kod dimenzioniranja sustava podnog grijanja potrebno je obratiti pažnju na maksimalno dopuštenu temperaturu plohe koja prema EN 1264-1 iznosi:

- zone predviđene za duži boravak:  $\vartheta_{F,max}=27\text{ °C}$ ,
- zone predviđene za kraći boravak:  $\vartheta_{F,max}=29\text{ °C}$ ,
- kupaonice:  $\vartheta_{F,max}=33\text{ °C}$ ,
- rubne zone:  $\vartheta_{F,max}=35\text{ °C}$ .

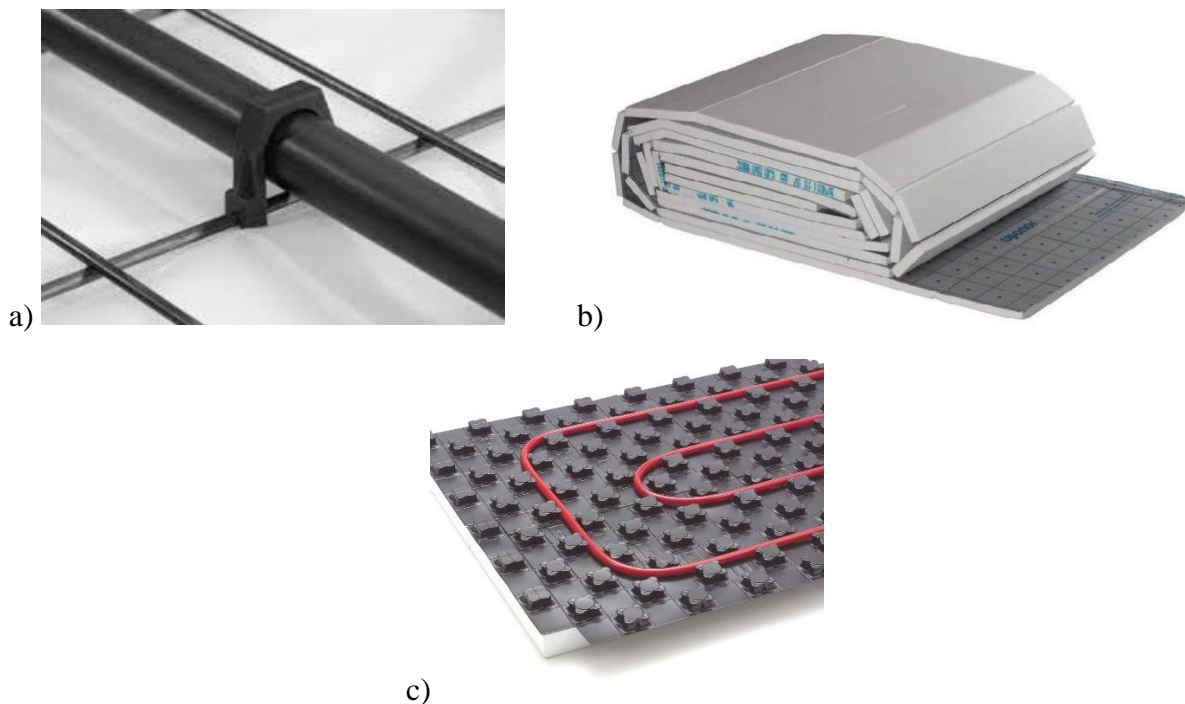
Sustavi podnog grijanja mogu se podijeliti s obzirom na način ugradnje cijevi na suhe i mokre (slika 9). Kod suhe izvedbe cijevi podnog grijanja nalaze se ispod sloja estriha, a odvaja ih folija visoke toplinske vodljivosti. U mokroj izvedbi cijevi podnog grijanja zalivene su estrihom. Kod suhe izvedbe cijevi mogu biti ugrađene u izolacijski sloj što rezultira manjom potrebnom debljinom estriha.



**Slika 9. Suha i mokra izvedba polaganja cijevi [6]**

Prije instalacije cijevi potrebno je poravnati podlogu za ugradnju uz izolaciju kako bi se spriječili toplinski gubici prema tlu ili nižoj etaži. Postoji nekoliko sustava za postavljanje cijevi:

- rešetkasta konstrukcija (slika 10-a),
- „TACKER“ sustav (slika 10-b),
- ploča s čepovima (slika 10-c).



**Slika 10. Sustav postavljanja cijevi kod površinskog grijanja**

Ploča s čepovima koristi se za suhu izvedbu polaganja cijevi pri čemu se cijevi utisnu između čepova, podloga se prekrije folijom i zalije estrihom. Rešetkasta konstrukcija i „TACKER“ sustav koriste se za mokru izvedbu pri čemu se cijevi učvršćuju posebnim ubodnim pričvrsnicama.

Pri ugradnji podnog grijanja potrebno je obratiti pažnju na toplinski otpor podne obloge jer se radi o niskotemperaturnom sustavu. Preporuča se ugradnja pločica, laminata ili posebnih parketa namijenjenih za sustave podnog grijanja uz mogućost primijene tankih tepiha. Toplinski otpor odabrane podne obloge ne smije biti veći od  $0,15 \text{ m}^2\text{K/W}$ .

Polaganje cijevi moguće je izvesti u obliku pužne petlje i serpentine te njihove kombinacije. Razmak između cijevi kreće se od 5 do 30 cm, ovisno o toplinskom opterećenju. U rubnim zonama koje obuhvaćaju područje do maksimalno jedan metar udaljenosti od vanjskog zida dozvoljena je viša temperatura podloge što pruža mogućnost gušćeg slaganja cijevi. Veći razmaci rezultiraju nejednoliko progrijanošću podloge odnosno pojavu toplih i hladnih zona. S druge strane, manji razmaci cijevi ne mogu se postići zbog minimalnog potrebnog radijusa savijanja cijevi. Cijevi za površinsko grijanje izrađuju se od polietilena ili kombinacije aluminijske i polietilena uz promjere  $10 \times 2 \text{ mm}$  do  $20 \times 2 \text{ mm}$ .

Zbog toplinskih naprezanja u podu, preporuka je da jedna petlja ne pokriva više od  $40 \text{ m}^2$  površine poda uz najveću duljinu stranice do 8 m. Za kompenzaciju toplinskog naprezanja potrebno je ugraditi dilatacijske fuge između pojedinih petlji te između petlji i rubnih ploha kako bi se spriječilo pucanje podloge. Uz navedeno, sustav je potrebno projektirati tako da duljina cijevi jednog kruga ne prelazi 120 m.

#### **4.2. Odabir komponenti sustava**

U ovoj zgradi cijevi podnog grijanja polažu se u mokroj izvedbi uz ukupnu debljinu cementnog estriha od 80 mm. Komponente sustava podnog grijanja su:

- dilatacijske trake i zaštitne cijevi za dilatacijske spojeve,
- podžbukni ormarić,
- modularni razdjelnik/sabirnik s indikatorom protoka,
- ubodne pričvrsnice za cijevi,
- TACKER ploča za postavljanje cijevi,
- PE-Xa cijevi dimenzije  $\phi 17 \times 2 \text{ mm}$ ,

- regulacija sustava.

Radi jednostavnosti izvedbe i nabave, sve petlje podnog grijanja izvedene su od cijevi 17 x 2 mm. Za polaganje cijevi koristi se „TACKER“ sustav prikazan na Slika 10-a. Sustav se sastoji od ploče ekspaniranog polistirena debljine 30 mm i folije na kojoj je otisnut raster s korakom od 5 cm radi lakšeg pridržavanja proračunskog razmaka cijevi. Za pričvršćivanje cijevi na podlogu koriste se ubodne pričvrstnice.

Petlje podnog grijanja spajaju se na razdjelnik koji je smješten u podžbuknom ormariću. Odabrani su razdjelnici od nehrđajućeg čelika *UPONOR Vario S* s mogućnošću spajanja do 12 petlji. Na polaznoj grani razdjelnika nalaze se indikatori protoka sa skalom 0 – 4 L/min te vijci za balansiranje sustava podnog grijanja. Zbog različitog protoka i duljine cijevi u petljama, a samim time i različitog pada tlaka prije puštanja u rad potrebno je provesti balansiranje sustava kako bi svaka petlja dobila projektni protok ogrjevnog medija.

U podrumu zgrade postavljeno je 6 razdjelnika, na prizemlju 10, dok se na katu nalaze 4 razdjelnika. Na svaki razdjelnih spojeno je 7 do 12 petlji podnog grijanja. Na slici 11 prikazan je razdjelnik podnog grijanja, dok se u tablici 8 nalaze dimenzije podžbuknog ormarića u ovisnosti o broju priključenih petlji.



**Slika 11. Razdjelnik i sabirnik sustava podnog grijanja [7]**

**Tablica 8. Dimenzije podžbuknog ormarića prema broju krugova [7]**

Tip podžbuknog ormarića	Dimenzije (visina x širina x dubina)	Bez ventila za broj krugova	S ventilima za broj krugova
UFH1	910 x 555 x 120 mm	2 – 8	2 – 6
UFH2	910 x 710 x 120 mm	9 – 11	7 – 9
UFH3	910 x 785 x 120 mm	12	10 - 12

### 4.3. Opis modela proračuna podnog grijanja

Proračun sustava podnog grijanja definiran je normom EN 1264-1. Kompleksan proračun pojednostavljen je korištenjem dijagrama proizvođača koji su dobiveni ispitivanjem sustava podnog grijanja. Dimenzioniranje sustava temelji se na nekoliko ulaznih parametara:

- temperaturni režim grijanja,
- unutarnju projektnu temperaturu prostorije,
- debljina i toplinska provodnost cementnog estriha,
- debljina i toplinska provodnost podne obloge (pločice, parket, laminat,...),
- vrsta i dimenzije cijevi,
- razmak između cijevi.

Sustav podnog grijanja dimenzioniran je tako da pokrije gubitke topline transmisijom, uslijed prekida rada sustava te dio ventilacijski gubitak topline uslijed infiltracije i viška odvedenog zraka iz prostorije prema jednadžbama (17) do (19). Ukoliko se sustavom podnog grijanja ne može pokriti traženo toplinsko opterećenje, to će se nadoknaditi zračnim sustavom.

Na temelju toplinskog opterećenja prostorije (tablica 7) i korisne površine prostorije pogodne za ugradnju podnog grijanja određen je potrebni specifični toplinski učinak podnog grijanja prema izrazu:

$$q_{des,i} = \frac{\Phi_{H,i}}{A_{pg,i}} \quad (35)$$

Gdje je:

- $q_{des}$  – potrebni specifični toplinski učinak [W/m<sup>2</sup>]
- $A_{pg,i}$  – korisna površina prostorije pogodna za ugradnju podnog grijanja [m<sup>2</sup>]

Instalirani specifični toplinski učinak podnog grijanja određuje se prema dijagramu proizvođača. Uz dimenzije cijevi, važan ulazni podatak je toplinski otpor podloge. U tablici 9 prikazani su otpori podloga koje se koriste u prostorijama unutar promatrane zgrade. Toplinskom otporu u tablici potrebno je dodati i otpor cementnog estriha kojim su zalivene cijevi i on iznosi 0,015 m<sup>2</sup>K/W. Ukupno toplinski otpor podloge naveden je u posljednjem stupcu tablice 9.



**Tablica 9. Toplinski otpor podloge**

Vrsta podne obloge	$R_{\lambda, obloga}$	$R_{obloga}$
-	$m^2K/W$	$m^2K/W$
Pločice	0,015	0,030
Laminat	0,040	0,055
Laminat + tepih	0,103	0,118
PVC	0,009	0,024

Za određivanje maksimalnog instaliranog toplinskog učinka potrebno je odrediti logaritamsku srednju vrijednost temperature polaznog i povratnog voda te unutarnje projektne temperature:

$$\Delta\vartheta_{H,i} = \frac{\vartheta_V - \vartheta_R}{\ln \frac{\vartheta_V - \vartheta_{int,i}}{\vartheta_R - \vartheta_{int,i}}} \quad (36)$$

Gdje je:

$\vartheta_V$  – temperatura polaznog voda ogrjevnog medija, [°C]

$\vartheta_R$  – temperatura povratnog voda ogrjevnog medija, [°C]

Temperaturni režim ogrjevnog medija iznosi 38/32 °C. U prostorijama s većim toplinskim opterećenjem, a gdje ne postoji opasnost od prevelikog pada tlaka, sustav podnog grijanja dimenzioniran je s temperaturom povratnog voda od 34 °C. Na taj način povećan je protok ogrjevnog medija kroz petlju podnog grijanja, ali je povećana i srednja logaritamska temperaturna razlika prema jednadžbi (36), a samim time i instalirani ogrjevni učinak.

U slučaju prevelikog specifičnog toplinskog opterećenja, sustav je dimenzioniran tako da isporuči najveći mogući specifični toplinski učinak. Kao primjer takvog slučaja može se prikazati hodnik na drugom katu s oznakom „55“ kod kojeg  $q_{des}=113,2 \text{ W/m}^2$ . Uz navedeni temperaturni režim i gusto postavljanje cijevi može se postići najviše  $q_{max}=80,1 \text{ W/m}^2$  uz razmak između cijevi od 10 cm.

Na temelju opisanog instalirani ogrjevni učinak računa se prema sljedećem izrazu:

$$\Phi_{inst.pg,i} = \sum_n \min(q_{des,i}; q_{max,i}) \cdot A_{HK,n} \quad (37)$$

Gdje je:

$n$  – broj instaliranih ogrjevnih krugova u prostoriji, [-]

$A_{HK,n}$  – površina „n-tog“ ogrjevnog kruga, [m<sup>2</sup>]

Protok ogrjevnog medija u grijaćem krugu računa se prema sljedećem izrazu [8]:

$$\dot{m}_{HK,n} = \frac{q_{des,i} \cdot A_{HK,n}}{4190 \cdot (\vartheta_V - \vartheta_R)} \cdot \left( 1 + \frac{R_0}{R_u} + \frac{\vartheta_{int,i} - \vartheta_{int,i}^*}{q_{des,i} \cdot R_u} \right) \quad (38)$$

Gdje je:

- $R_0$  – Gornji djelomični otpor prolaza topline, [m<sup>2</sup>K/W]
- $R_u$  – Donji djelomični otpor prolazu topline, [m<sup>2</sup>K/W]
- $\vartheta_{int,i}^*$  – Unutarnja projektna temperatura ispod prostorije s podnim grijanjem, [°C]

Duljina pojedine petlje podnog grijanja određuje se prema sljedećem izrazu:

$$L_{HK,n} = \frac{A_{HK,n}}{T_n} + L_s \quad (39)$$

Gdje je:

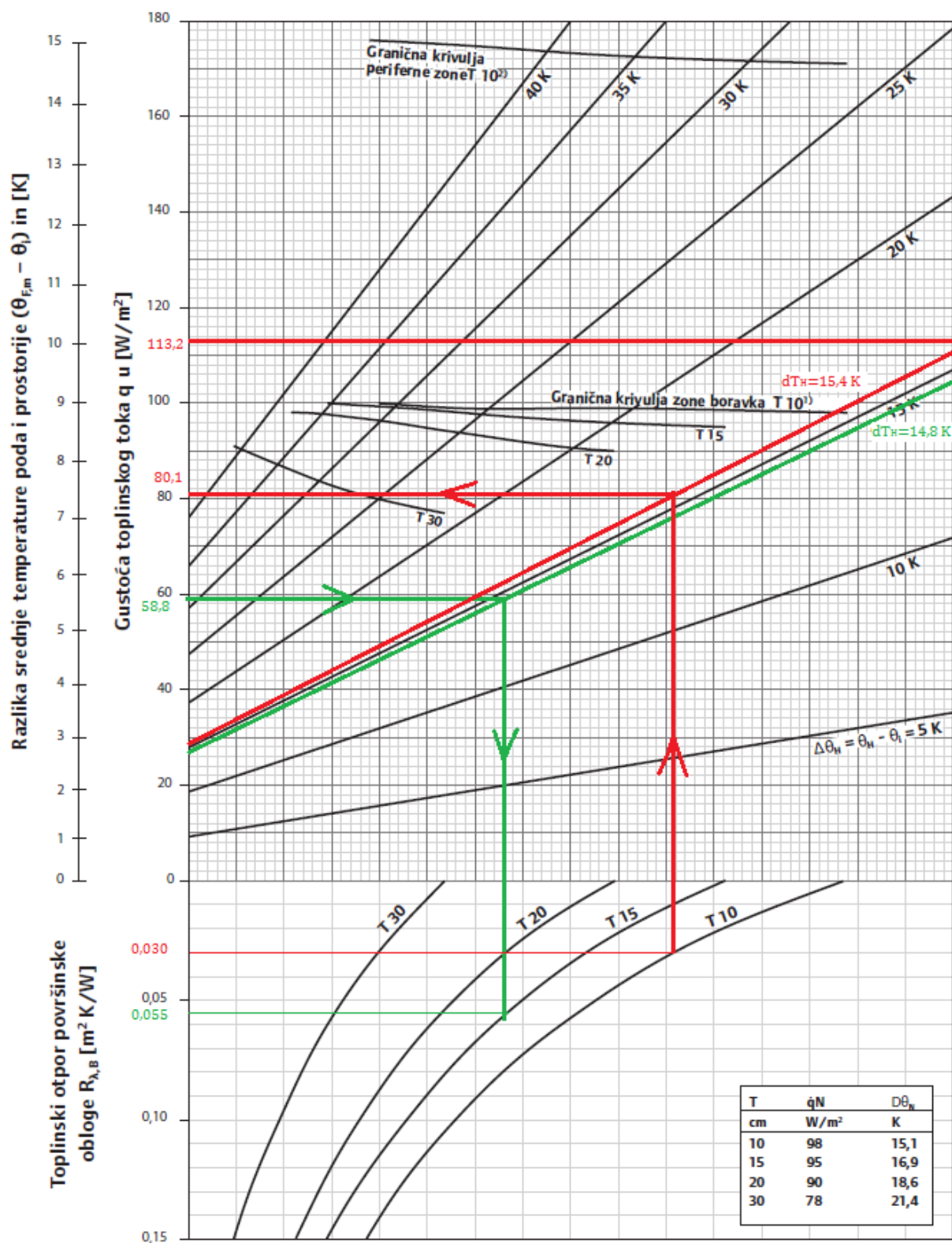
- $L_{HK,n}$  – Ukupna duljina cijevi „n-tog“ grijaćeg kruga, [m]
- $T_n$  – Razmak između cijevi „n-tog“ grijaćeg kruga, [m]
- $L_s$  – Duljina spojnih cijevi, [m]

#### 4.4. Primjer dimenzioniranja sustava podnog grijanja

Na slici 12 prikazan je primjer dimenzioniranja sustava podnog grijanja. Zelenom bojom označen je primjer dimenzioniranja za cafe bar s oznakom prostorije 29, dok je crvenom bojom označen primjer dimenzioniranja za hodnik s oznakom prostorije „55“.

Potrebni specifični ogrjevni učinak za cafe bar iznosi 58,8 W/m<sup>2</sup> što se uz  $\Delta\vartheta_H=14,8$  K i otpor podne obloge 0,055 m<sup>2</sup>K/W postiže razmakom cijevi od T=15 cm. Uz navedeni razmak cijevi, srednju logaritamsku temperaturnu razliku i otpor podne obloge maksimalno se može postići 59,5 W/m<sup>2</sup>.

Dimenzioniranje prostorije poput hodnika „55“ nešto je složenije jer se sustavom podnog grijanja ne može pokriti traženo toplinsko opterećenje. Za promatranu prostoriju potreban specifični ogrjevni učinak iznosi 113,2 W/m<sup>2</sup> što se ne može postići niti uz gust raspored cijevi. Uz otpor podne obloge 0,03 m<sup>2</sup>K/W,  $\Delta\vartheta_H=15,4$  K te razmakom između cijevi T=10 cm postiže se 80,1 W/m<sup>2</sup>. Nedostatak ogrjevnog učinka od 33,1 W/m<sup>2</sup> potrebno je pokriti zračnim sustavom grijanja.



Slika 12. Primjer dimenzioniranja sustava podnog grijanja

#### 4.5. Instalirani kapacitet sustavom podnog grijanja

U tablici 10 navedeno je toplinsko opterećenje koje je potrebno pokriti sustavom podnog grijanja te instalirani učinak sustava. Instaliranim podnim grijanjem pokrije se ukupno 90070 W od potrebnih 140980 W što znači da se zračnim sustavom mora pokriti dodatnih 50910 W. Ukupni ogrjevni kapacitet sustava podnog grijanja ostvaren je ugradnjom 161 petlje raspodijeljene na 20 razdjelnih ormarića.

**Tablica 10. Ogrjevni učinak instaliran sustavom podnog grijanja**

Oznaka	Naziv	$\Phi_{H,i}$	$\Phi_{inst.pg,i}$	Broj petlji
-	-	W	W	-
1	Rehabilitacija	456	456	1
2	Rehabilitacija	389	389	1
3	Rehabilitacija	362	362	1
4	Rehabilitacija	359	359	1
5	Rehabilitacija-dvorana	1402	1402	3
6	Hodnik	3207	3207	4
7	Stepenište	0	0	0
8	Tuševi	1127	1025	2
9	Sanitarni čvor	0	0	0
10	Garderoba	1000	1000	2
11	Svlačionica	339	339	1
12	Svlačionica	393	393	1
13	Hodnik	1990	1990	4
14	Spremište	0	0	0
15	Teretana	3488	3488	5
16	Mali bazen	3460	1358	5
17	Glavni gro	0	0	0
18	Strojarnica	0	0	0
19	Kompenzacija	0	0	0
20	Radionica	865	865	2
21	Hodnik	1093	1093	2
22	Spremište	464	464	1
23	Spremište	2104	2104	3
24	Stepenište	0	0	0
25	Sanitarni čvor	0	0	0
26	Ured	1147	1147	2
27	Ambulanta	121	121	1
28	Ured	584	584	1
29	Cafe bar	2190	2190	4
30	Hodnik	6749	6749	8
31	Stepenište	0	0	0

32	Ured	290	290	1
33	Spremište	0	0	0
34	Spremište	0	0	0
35	Sanitarni čvor	16	0	0
36	Blagajna	4	0	0
37	Hodnik	6502	6484	11
38	Svlačionica	4089	4089	9
39	Svlačionica	3802	3802	9
40	Ured	123	123	1
41	Ured	0	0	0
42	Sanitarni čvor	1665	1476	2
43	Hodnik	1304	1304	2
44	Stepenište	0	0	0
45	Bazen	60952	14997	38
46	Dvorana	7941	7941	12
47	Sanitarni čvor	1987	1406	2
48	Hodnik	560	954	1
49	Ured	580	580	1
50	Ured	577	577	1
51	Ured	578	578	1
52	Ured	578	578	1
53	Ured	578	578	1
54	Ured	855	855	1
55	Hodnik	10311	7954	12
56	Stepenište	0	0	0
57	Stepenište	4419	4419	0
58	Tribine i bazen	0	0	0
	<b>UKUPNO [W]</b>	<b>140980</b>	<b>90070</b>	<b>161</b>

#### 4.6. Proračun izmjenjivača topline za sustav podnog grijanja

Kao izvor energije za pokrivanje toplinskog opterećenja koristi se geotermalni izvor odgovarajućeg kapaciteta s temperaturom vode 60 °C. Geotermalna voda ne može se koristiti kao ogrjevni medij u petljama podnog grijanja zbog otopljenih tvari koje predstavljaju potencijalnu opasnost od začepjenja cijevnog razvoda. Na temelju navedenog, primarni krug s geotermalnom vodom odvojen je od ostatka sustava pomoću sekundarnog kruga s tretiranom vodom. Dalje se voda sa sekundarnog kruga koristi za zagrijavanje vode u krugu podnog grijanja. Za potrebe proračuna, temperaturni režim sekundarnog kruga iznosi 56/50 °C. U proračunu krug podnog grijanja označen je kao „sekundarni krug 2“. Dimenzioniranje sustava

provedeno je uz zanemarivanje gubitaka topline na izmjenjivaču i cijevnom razvodu geotermalnog sustava i sustava podnog grijanja.

Za prijenos topline s geotermalnog kruga na vodu u sustavu podnog grijanja koristi se pločasti izmjenjivač. Maseni protok vode u sustavu podnog grijanja određen je kao suma masenih protoka vode kroz 161 petlju prema izrazu:

$$g_{m,PG} = \sum_{i=1}^{161} g_{m,i} \quad (40)$$

Gdje je:

$g_{m,i}$  – maseni protok vode kroz petlju „i“, [kg/h]

Ulazni podaci za dimenzioniranje izmjenjivača su:

- temperatura vode sekundarnog kruga na ulazu u izmjenjivač:  $\vartheta_{21}=56$  °C
- temperatura vode sekundarnog kruga na izlazu iz izmjenjivača:  $\vartheta_{22}=50$  °C
- temperatura vode sekundarnog kruga 2 na izlazu iz izmjenjivača:  $\vartheta_{12}=38$  °C
- temperatura vode sekundarnog kruga 2 na ulazu u izmjenjivač:  $\vartheta_{11}=32$  °C
- maseni protok vode u sustavu sekundarnog kruga 2:  $q_{m,PG}=17271$  kg/h
- specifični toplinski kapacitet vode:  $c_w=4,18$  kJ/kgK

Potreban učinak izmjenjivača topline računa se uvrštavanjem ulaznih podataka u sljedeći izraz:

$$\phi_{PG} = g_{m,PG} \cdot c_w \cdot (\vartheta_{12} - \vartheta_{11}) \quad (41)$$

$$\phi_{PG} = \frac{17271}{3600} \cdot 4,18 \cdot (38 - 32)$$

$$\phi_{PG} = 120,3 \text{ kW}$$

Maseni protok u sekundarnom krugu potreban za zagrijavanje vode u krugu podnog grijanja jednak je masenom protoku vode u krugu podnog grijanja jer je u proračunu zanemarena promjena svojstva vode s promjenom temperature:

$$g_{m,0} = g_{m,PG} = 17271 \text{ kg/h}$$

Za odabir izmjenjivača topline korišten je računalni program *Danfoss Hexact v5.1.24*. Na temelju opisanog odabran je pločasti lemljeni izmjenjivač oznake XB70L-1-50. Karakteristike navedenog izmjenjivača su:

---

Tip izmjenjivača: **XB70L-1-50**

---

Svojstva	Sustav podnog grijanja	Sustav geotermalnog kruga
Temperatura na ulazu u izmjenjivač [°C]	32	56
Temperatura na izlazu iz izmjenjivača [°C]	38	50
Maseni protok [kg/h]	17271	17271
Ukupni pad tlaka [kPa]	7,54	5,87
Dimenzije priključka	DN65	DN100

#### 4.7. Hidraulički proračun cjevovoda i odabir pumpe

Dimenzioniranje cjevovoda u krugu podnog grijanja provedeno je na temelju preporučenih brzina strujanja vode u cijevima. Za cjevovode koji prolaze kroz prostorije u kojima borave ljudi preporuča se brzina strujanja medija do 0,8 m/s dok se u glavni razvodni kanali mogu projektirati s brzinama strujanja do 1,5 m/s [9]. Preporuča se da pad tlaka uslijed linijskih gubitaka ne prelazi 150 Pa/m, dok se za cjevovode koji prolaze kroz prostore u kojima borave ljudi preporuča dimenzioniranje s najvećim padom tlaka od 100 Pa/m [10].

Za distribuciju ogrjevnog medija koriste se srednje teške čelične bešavne cijevi standardnih dimenzija, dok se u petljama podnog grijanja koriste polietilenske cijevi dimenzije  $\phi 17 \times 2$  mm. Odabrane dimenzije cijevi prikazane su na shemi cijevnog razvoda u priloženoj tehničkoj dokumentaciji.

Projektni maseni protok ogrjevnog medija u petljama podnog grijanja može se postići samo ispravim dimenzioniranjem cjevovoda i odabirom pumpe za pokrivanje pada tlaka u sustavu. Dimenzioniranje pumpe temelji se na padu tlaka u kritičnoj dionici cijevnog razvoda i projektnom masenom protoku.

Kritična dionica za odabir pumpe predstavlja dio sustava cijevnog razvoda s najvećim padom tlaka. Tako je najveći pad tlaka u sustavu od izmjenjivača topline do razvodnog ormarića oznake 0.8, smještenog u prostoru velikog bazena. Na razdjelni ormarić spojeno je 10 petlji od ukupno 38 ugrađenih za pokrivanje toplinskog opterećenja prostorije s velikim bazenom. Proračun pada tlaka u kritičnoj dionici cjevovoda prikazan je u tablici 11. Duljina dionice obuhvaća i cjevovode korištene za povrat ogrjevnog medija prema izmjenjivaču topline.

**Tablica 11. Pad tlaka u kritičnoj dionici cijevne mreže**

Dionica	L	$\Phi_{PG}$	$q_{m,PG}$	DN	$d_U$	w	R	$\Sigma\zeta$	Z	R·L	$\Delta p$
-	m	W	kg/s	-	mm	m/s	Pa/m	-	Pa	Pa	Pa
1	4	90070	4,80	80	76,1	1,06	138	8,0	4477	552	5029
2	11	70169	3,54	80	76,1	0,78	77	3,5	1069	847	1916
3	5	61253	3,16	80	76,1	0,70	61	0,5	121	305	426
4	6	48146	2,38	65	64,2	0,74	85	0,5	136	510	646
5	30	40715	2,03	65	64,2	0,63	62	3,0	595	1860	2455
6	18	11476	0,66	32	35,9	0,66	140	2,9	626	2520	3146
7	8	7500	0,49	32	35,9	0,49	79	1,0	118	632	750
8	8	7500	0,49	32	35,9	0,49	79	4,0	471	632	1103
9	20	4048	0,26	25	27,2	0,46	99	4,2	438	1980	2418
Ukupno u cijevnom razvodu [Pa]											17888
Pad tlaka na izmjenjivaču topline [Pa]											7540
Pad tlaka na razdjelnom ormariću [Pa]											8200
<b>Ukupni pad tlaka [Pa]</b>											<b>33628</b>

Gdje je:

- $\Sigma\zeta$  – suma lokalnih otpora na dionici, [-]  
 $Z$  – pad tlaka uslijed lokalnih gubitaka, [Pa]  
 $R$  – pad tlaka uslijed trenja, [Pa/m]

$$Z = \Sigma\zeta \cdot \frac{\rho_w \cdot w^2}{2} \quad (42)$$

Potrebna visina dobave pumpe određuje se prema sljedećem izrazu:

$$\Delta p_{uk} = \rho_w \cdot g \cdot H \quad (43)$$

Gdje je:

- $\rho_w$  – gustoća vode pri 35 °C (994,04 kg/m<sup>3</sup>)  
 $\Delta p_{uk}$  – ukupni pad tlaka (33628 Pa)

Uvrštavanjem ulaznih podataka dobije se visina dobave:

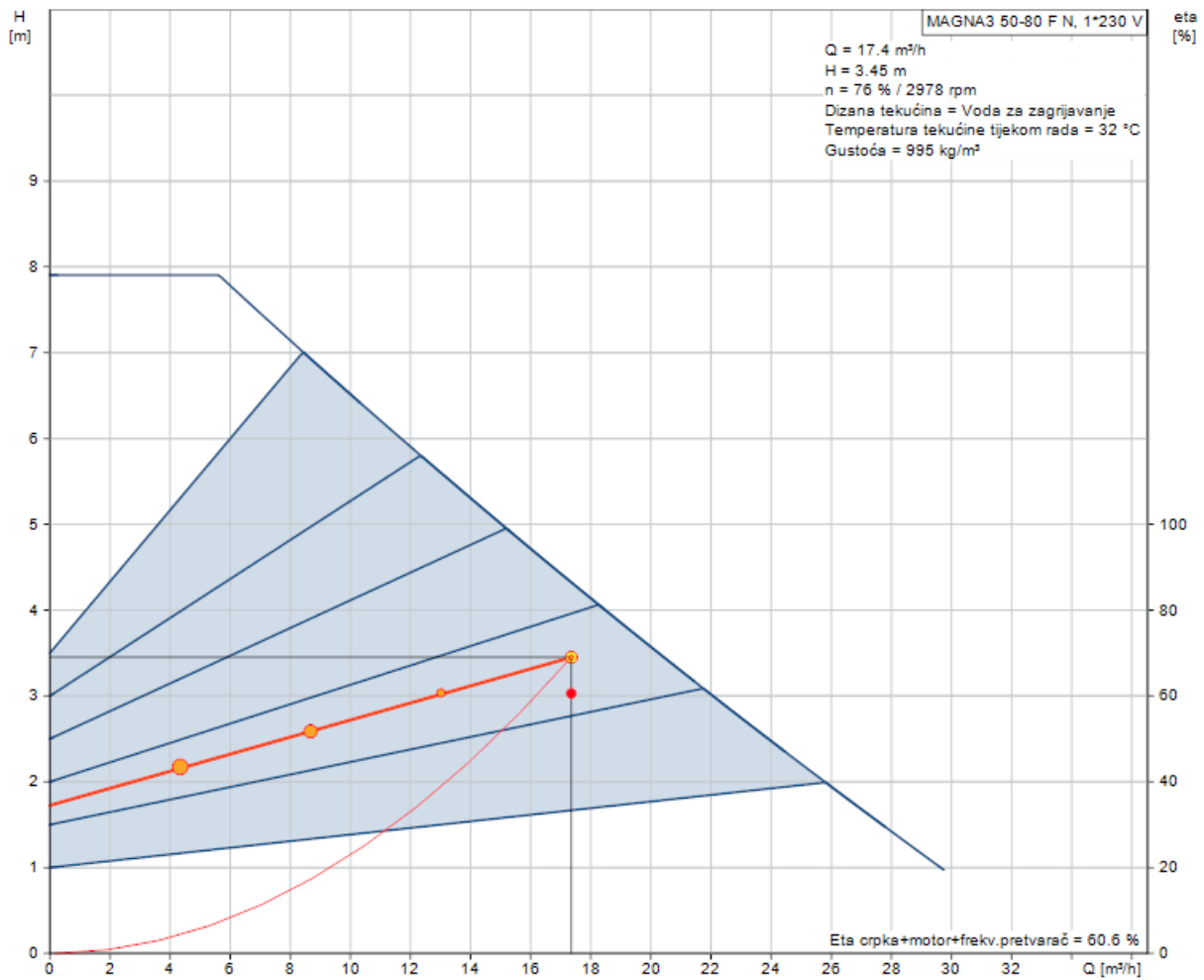
$$- H = 3,45 \text{ m}$$

Dimenzioniranje pumpe provodi se pomoću web aplikacije proizvođača *Grundfos*, a ulazni podaci su:

- visina dobave pumpe:  $H=3,45 \text{ m}$   
- volumni protok ogrjevnog medija:  $q_{v,PG}=17,37 \text{ m}^3/\text{h}$



Na temelju ulaznih podataka odabrana je pumpa tipa „MAGNA3 50-80F“, a projektna radna točka prikazana je na slici 13.



Slika 13. Radna točka pumpe u sustavu podnog grijanja [11]

## 5. DIMENZIONIRANJE SUSTAVA MEHANIČKE VENTILACIJE

### 5.1. Osnovne karakteristike sustava

Ventilacijsko opterećenje prostora sastoji se od infiltracije vanjskog zraka kroz otvore na ovojnici zgrade te vanjskog zraka dovedenog sustavom mehaničke ventilacije. Infiltracija predstavlja nenamjerno prodiranje zraka u prostor, dok se sustavom mehaničke ventilacije namjerno dovodi vanjski zrak iz nekog od sljedećih razloga:

- potreba za disanjem ljudi i životinja,
- regulacija koncentracije zagađivača u prostoru,
- uklanjanje topline i vlage iz prostora.

Odgovarajuća temperatura zraka može se postići primjenom toplovodnog, vrelovodnog ili parnog grijača. Međutim, za prostor zatvorenog plivališta regulacija temperature nije dovoljna. Zbog ishlapljivanja vode s površine bazena, ishlapljivanja štetnih spojeva te potrebe svježeg zraka za disanje sustav mehaničke ventilacije neizostavan je dio u projektiranju zatvorenog plivališta. Mehanička ventilacija prostora omogućuje regulaciju temperature i vlažnosti zraka, regulaciju koncentracije zagađivača u zraku te dobavu svježeg zraka potrebnog za disanje.

Količina svježeg zraka kojeg je potrebno dovesti u prostor može se odrediti prema nekoliko kriterija:

- ventilacijski zahtjev prema broju osoba,
- ventilacijski zahtjev prema dopuštenoj koncentraciji zagađivača u zraku,
- ventilacijski zahtjev prema broju izmjena zraka,
- ventilacijski zahtjev prema toplinskom opterećenju,
- ventilacijski zahtjev prema potrebi za odvlaživanjem.

Dimenzioniranje sustava ventilacije prema dopuštenoj koncentraciji zagađivača karakteristično je za tunele, garaže i druge zgrade s povišenom emisijom štetnih tvari. S druge strane dimenzioniranje sustava ventilacije prema broju izmjena zraka rezultira predimenzioniranošću sustava što u konačnici rezultira visokim pogonskim troškovima.

Ventilacijski zahtjevi za prateće prostore poput ureda, dvorane, itd. često se određuju prema količini svježeg zraka potrebnog za disanje ljudi. Tako se prema ASHRAE Standard 62.1 preporuča dobava svježeg zraka od 30 do 60 m<sup>3</sup>/h i osobi.

Određivanje količine svježeg zraka za odvlaživanje prostorije s bazenom nešto je složenije. Sustavom mehaničke ventilacije potrebno je dovesti odgovarajuću količinu svježeg zraka kako bi se vlažnost zraka u prostoriji održala unutar dopuštenih granica. S druge strane, sustavom odsisne ventilacije potrebno je odvesti štetne hlapljive spojeve koji se koriste za tretiranje vode. Uz proračun potrebne količine svježeg zraka, na kvalitetu ventiliranja prostora zatvorenog plivališta znatno utječe i položaj kanala i otvora. Kako bi se spriječila kondenzacija vodene pare, vanjske plohe potrebno je kontinuirano „ispirati“ dobavnim zrakom. Stoga se za dobavu zraka često koriste sapnice velikog dometa usmjerene prema vanjskim plohama. Drugo rješenje je ispiranje ploha pomoću specijalnih linijskih difuzora koji se ugrađuju u pod blizu stijenke. Uz sprječavanje kondenzacije, sustavom mehaničke ventilacije potrebno je osigurati dovoljnu količinu zraka potrebnu za disanje ljudi. Ukoliko u prostoru bazena postoje tribine, određena količina zraka mora se dobiti prema gledalištu. Sustav odsisne ventilacije ima ulogu ukloniti zagađivače iz prostora, a među njima najviše se ističu hlapljivi spojevi korišteni za tretiranje vode. Otvori za odsis zraka najčešće se postavljaju iznad samog bazena, a mogu bit smješteni i ispod sjedalice na tribinama.

## 5.2. Dobava svježeg zraka u prostoriju

Sustavom mehaničke ventilacije kondicioniraju se sve prostorije u zgrade, izuzev skladišta. Zbog specifičnog opterećenja, prostore s bazenom potrebno je ventilirati odvojenim sustavom mehaničke ventilacije. Također prostorije s bazenima znatno se razlikuju u potrebnoj količini svježeg zraka zbog različitih površina bazena. Radi lakše regulacije, svaka od prostorija s bazenom ventilirat će se odvojenim sustavom. Na temelju opisanog, kondicioniranje zgrade vrši se pomoću tri odvojena ventilacijska sustava.

### Ventilacija pratećih prostora

Potrebna količina svježeg zraka u prateće prostore određena je prema ventilacijskom zahtjevu s obzirom na broj osoba u prostoru. Sustav mehaničke ventilacije pratećih objekata dimenzionira se uz dobavu zraka od 35 m<sup>3</sup>/h i osobi, dok se dobava zraka u hodnike i stepeništa projektira s 0,3 izmjene zraka na sat. Ukoliko prostorija graniči sa sanitarnim čvorom ili tuševima iz kojih se obavlja samo odsis zraka, tad se prostorija projektira s većom dobavom kako bi se ostvarilo strujanje prema prostoriji u potlaku i tako smanjila infiltracija. Primjer takve prostorije je hodnik u prizemlju s oznakom „13“ koji graniči s tuševima i dva sanitarna čvora.

Radi kompenzacije odvedenog zraka, u hodnik se dobavlja veća količina svježeg zraka od količine potrebne za disanje. U tablici 12 navedene su prostorije koje se ventiliraju s istom ventilacijskom jedinicom te projektne vrijednosti dobavnog i povratnog zraka.

**Tablica 12. Projektne vrijednosti dobavnog i povratnog zraka za prateće prostore**

Oznaka	Naziv	V <sub>su,i</sub>	V <sub>ex,i</sub>
-	-	m <sup>3</sup> /h	m <sup>3</sup> /h
1	Rehabilitacija	70	65
2	Rehabilitacija	70	65
3	Rehabilitacija	70	65
4	Rehabilitacija	70	65
5	Rehabilitacija-dvorana	280	280
6	Hodnik	70	90
7	Stepenište	60	60
10	Garderoba	105	105
11	Svlačionica	70	70
12	Svlačionica	70	70
13	Hodnik	350	0
15	Teretana	350	350
20	Radionica	120	120
21	Hodnik	60	0
22	Spremište	0	40
23	Spremište	0	60
24	Stepenište	40	0
26	Ured	70	65
27	Ambulanta	35	0
28	Ured	70	65
29	Cafe bar	210	210
30	Hodnik	150	150
31	Stepenište	75	75
32	Ured	70	65
37	Hodnik	150	90
38	Svlačionica	350	50
39	Svlačionica	350	50
40	Ured	35	30
41	Ured	35	30
43	Hodnik	120	0
44	Stepenište	50	50
46	Dvorana	520	520
48	Hodnik	100	0
49	Ured	70	65
50	Ured	70	65

51	Ured	70	65
52	Ured	70	65
53	Ured	70	65
54	Ured	70	65
55	Hodnik	150	0
56	Stepenište	75	75
57	Stepenište	100	100
<b>UKUPNO [m<sup>3</sup>/h]</b>		<b>4990</b>	<b>3520</b>

U projektним uvjetima ukupno se sustavom mehaničke ventilacije dovede 4990 m<sup>3</sup>/h, dok se istom ventilacijskom jedinicom odvede 3520 m<sup>3</sup>/h.

### Ventilacija prostorija s bazenom

Količina svježeg zraka za prostorije s bazenom određena je u poglavlju 3.3.1. Prostorije s bazenom potrebno je držati u blagom potlaku kako bi se spriječilo strujanje zraka prema susjednim prostorijama. Za održavanje potlaka u prostoru volumni protok odvedenog zraka mora biti veći od volumnog protoka dovedenog zraka. Prema inženjerskoj praksi preporuča se volumni protok odvedenog zraka 3-5% veći od volumnog protoka dovedenog zraka. Tako se sustav mehaničke ventilacije prostorija s bazenom dimenzionira s protocima navedenim u tablici 13.

**Tablica 13. Projektne vrijednosti dobavnog i povratnog zraka za prostorije s bazenom**

Prostorija	$\dot{V}_{su,i}$ m <sup>3</sup> /h	$\dot{V}_{ex,i}$ m <sup>3</sup> /h
Veliki bazen i tribine	<b>14100</b>	<b>14550</b>
Mali bazen	<b>1600</b>	<b>1700</b>

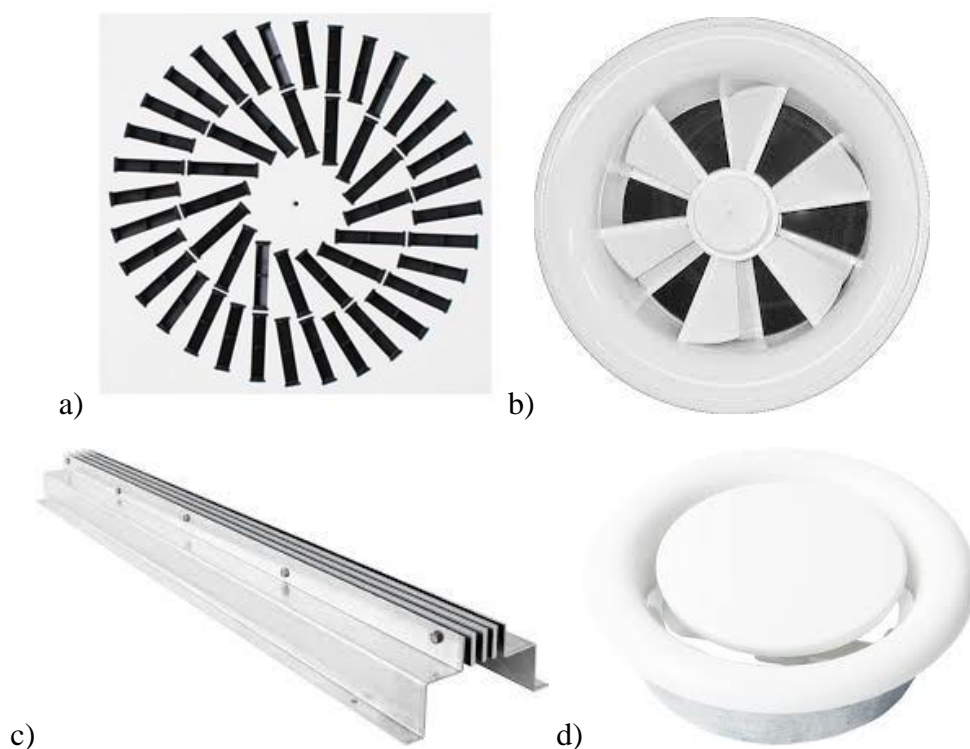
### 5.3. Odabir komponenti sustava

#### Otvori za dobavu i odsis zraka

Za pravilnu distribuciju zraka u prostoru potrebno je odabrati istrujne difuzore. Difuzor ima velik utjecaj na strujanje zraka u zoni boravka stoga pogrešan odabir može narušiti osjećaj toplinske ugodnosti. Također kod sustava toplozračnog grijanja potrebno je obratiti pozornost

na izbor difuzora za dobavu zraka. Topli zrak zbog manje gustoće teži zadržavanju ispod stropa stoga se pri ugradnji stropnih difuzora mora odabrati tip prikladan za sustave toplozračnog grijanja. Ukoliko je difuzor dobro odabran zrak na izlazu imat će dovoljnu brzinu za prodiranje u zonu boravka.

Neki od pratećih prostora imaju jako male dobave svježeg zraka stoga je potrebno odabrati prikladan difuzor za male projektne protoke. Pomoću web aplikacije tvrtke *Klimaoprema* za prateće prostore odabran je difuzor oznake „DEV-K“ (slika 14-a) pogodan za ugradnju u prostorije do 4 m visine.

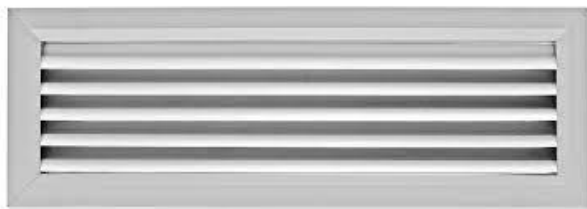


**Slika 14. Difuzori za dobavu zraka**

Dobava svježeg zraka u prostoriju s bazenom ostvaruje se pomoću dva tipa difuzora. Iznad tribina dobava svježeg zraka ostvaruje se pomoću istrujnih otvora tipa „DKZ“ (slika 14-b) pogodnih za ugradnju u prostorije s visinom od 3 do 15 metara. Istrujni otvori ugrađuju se zajedno sa priključnom kutijom.

Ispiranje staklenih stijena u prostoriji s velikim bazenom ostvaruje se pomoću specijalnih podnih linijskih difuzora tipa „PDI“ koji se ugrađuju najviše 30 cm od plohe koju trebaju ispirati. Ovi difuzori razlikuju se prema broju otvora i razmaku između njih. Broj otvora kreće se od 1 do 4 uz razmak između lamela 6, 8, 10, 12 ili 15 mm. Primjer podnog istrujnog difuzora s 4 otvora prikazan je na slici 14-c.

Odvođenje zraka iz prostora ostvaruje se pomoću ventilacijski rešetki tipa „OAS“. Dimenzija rešetke ovisi o količini zraka kojeg je potrebno odvesti. U pratećim prostorima ventilacijske rešetke ugrađuju se podstropno u bočni zid, dok se u prostorijama s bazenom nalaze iznad same površine bazena. Na slici 15 prikazana je ventilacijska rešetka korištena za odvođenje zraka iz prostora.



**Slika 15. Ventilacijska rešetka za odvođenje zraka**

Iz sanitarnih čvorova zrak se odvodi pomoću zasebnih sustava odsisne ventilacije, a kao otvori za odsis koriste se „ZOV“ ventili prikazani na slici 14-d.

### **Regulator varijabilnog protoka**

Regulator varijabilnog protoka je uređaj koji se ugrađuje na kanal dobavnog zraka, a sastoji se od elektromotornog pogona, zaklopke, upravljačke jedinice, osjetnika tlaka i pretvornika diferencijalnog tlaka. Promjenom položaja zaklopke regulira se količina zraka koja se dovodi u prostor sustavom ventilacije. Funkcija regulatora je održavanje količine dovedenog zraka unutar unaprijed postavljenog intervala. Položaj zaklopke, a samim time i količina dovedenog zraka regulira se prema ulaznom signalu.

U pratećim prostorima položaj zaklopke regulira se pomoću osjetnika ugljičnog dioksida, dok se u bazenskim prostorima regulacija ostvaruje pomoću osjetnika vlažnosti. Za regulaciju protoka koristi se proizvod tvrtke *Klimaoprema* oznake „RVP-C“, prikazan na slici 16. Uz ugrađeni regulator varijabilnog protoka, u svaku zonu potrebno je ugraditi osjetnik te kontroler za upravljanje regulatorom.



Slika 16. Regulator varijabilnog protoka

#### 5.4. Dimenzioniranje kanala i hidraulički proračun

Za odabir ventilacijske jedinice potrebno je dimenzionirati kanale za ventilaciju. Prema ranije navedenom, cijela zgrada ventilira se s tri odvojena sustava tlačne i odsisne ventilacije. Prostori sanitarnih čvorova i tuševa izvode se s odvojenim sustavom odsisne ventilacije. Tako se u cijeloj zgradi nalazi 14 odvojenih sustava ventilacije.

Zbog manjeg pada tlaka i propuštanja primijenjeni su kanali kružnog poprečnog presjeka, a u slučaju prevelikog protoka i nedostatka prostora za smještaj ugrađeni su kanali pravokutnog poprečnog presjeka. U prostorima gdje nije predviđen trajni boravak ljudi, kanali su dimenzionirani s brzinama strujanja do 5 m/s, dok se u ograncima prema prostorijama za boravak ljudi dimenzioniranje provelo s brzinama strujanja do 3 m/s.

Kanali za ventilaciju zatvorenog plivališta dimenzionirani su s nešto većim brzinama strujanja zbog velikih protoka. Prostorije s bazenom imaju dovoljno velike izvore buke (bućkanje vode, plivanje,...) stoga dimenzioniranje kanala uz veće brzine strujanja ne predstavlja problem u smislu narušavanja toplinske ugodnosti zbog buke.

Matematički izrazi korišteni u proračunu pada tlaka su:

- ekvivalentni promjer kanala pravokutno poprečnog presjeka:

$$d_{eq} = \frac{1,3 \cdot (h \cdot w)^{0,625}}{(h + w)^{0,25}} \quad (44)$$

- relativna hrapavost:

$$\varepsilon = \frac{k}{d} \quad (45)$$



- Reynoldsov broj:

$$Re = \frac{w \cdot d}{\nu} \quad (46)$$

- faktor trenja prema Zigrangu i Sylvesteru [12]:

$$\lambda = \left\{ -2 \cdot \log \left[ \frac{\varepsilon}{3,7} - \frac{5,02}{Re} \cdot \log \left( \frac{\varepsilon}{3,7} - \frac{5,02}{Re} \cdot \log \left( \frac{\varepsilon}{3,7} + \frac{13}{Re} \right) \right) \right] \right\}^{-2} \quad (47)$$

- pad tlaka uslijed trenja:

$$R = \frac{\lambda}{d} \cdot \frac{\rho_a \cdot w^2}{2} \quad (48)$$

- pad tlaka uslijed lokalnih otpora:

gdje je:

- h – visina kanala pravokutnog poprečnog presjeka, [m]
- w – širina kanala pravokutnog poprečnog presjeka, [m]
- k – visina hrapavosti stijenke ( $k = 9 \cdot 10^{-5}$ ) [m]
- d – promjer cijevi / ekvivalentni promjer, [m]
- $\nu$  – dinamička viskoznost ( $\nu = 1,51 \cdot 10^{-5}$ ) [ $m^2/s$ ]
- $\rho_a$  – gustoća zraka, ( $\rho_a = 1,2$ ) [ $kg/m^3$ ]

### Dimenzioniranje kanala za ventilaciju pratećih prostora

Ventilacijska jedinica smještena je u prostoriju glavnog razvodnog ormara. Zbog velikog protoka glavni razvodni kanal u podrumu ima pravokutni poprečni presjek. Kanali za dobavu i odsis zraka na prizemlju i katu povezani su s jednom vertikalom. Najveći pad tlaka u sustavu tlačne ventilacije ostvaruje se u razvodu kanala prema prostoriji „46“. Ukupan eksterni pad tlaka do istrujnog otvora u navedenoj prostoriji iznosi 178 Pa, a proračun je prikazan u tablici 14.

**Tablica 14. Pad tlaka u sustavu tlačne ventilacije pratećih prostora**

Dionica	L	$V_{su}$	w	h	$d_{eq}$	$d_U$	w	R	R·L	$\Sigma\zeta$	Z	$\Delta p$
-	m	$m^3/h$	mm	mm	mm	mm	m/s	Pa/m	Pa	-	Pa	Pa
1	2,5	4990	525	450	531	-	5,9	0,65	1,6	0,7	13,4	15
2	7,2	4770	525	450	531	-	5,6	0,60	4,3	0,6	10,4	15
3	6,9	4620	525	450	531	-	5,4	0,57	3,9	0	0,0	4
4	2,5	4270	525	450	531	-	5,0	0,49	1,2	0	0,0	1
5	6	3135	450	450	492	-	4,3	0,40	2,4	0,5	5,5	8
6	4,5	1770	-	-	-	400	3,1	0,28	1,3	1,3	7,6	9

7	3	1160	-	-	-	315	4,1	0,65	1,9	0,3	3,1	5
8	5,8	1090	-	-	-	315	3,9	0,58	3,3	0,2	1,8	5
9	2,7	1015	-	-	-	315	3,6	0,51	1,4	0,2	1,6	3
10	6	665	-	-	-	250	3,8	0,72	4,3	0,2	1,7	6
11	5,2	590	-	-	-	250	3,3	0,58	3,0	0,2	1,3	4
12	10,8	240	-	-	-	160	3,3	1,00	10,8	0,2	1,3	12
13	7	170	-	-	-	125	3,8	1,78	12,5	0,7	6,2	19
14	3	50	-	-	-	100	1,8	0,58	1,7	2,8	5,3	7
Pad tlaka na difuzoru „DEV-K“ [Pa]												15
Pad tlaka na usisnom kanalu [Pa]												20
Pad tlaka na usisnoj mrežici [Pa]												30
<b>Ukupni pad tlaka [Pa]</b>												<b>178</b>

Kritična dionica u sustavu odsisne ventilacije je razvod kanala prema prostoriji s oznakom „57“.

Ukupni eksterni pad tlaka sustava odsisne ventilacije prikazan je u tablici 15 i iznosi 217 Pa.

**Tablica 15. Pad tlaka u sustavu odsisne ventilacije pratećih prostora**

Dionica	L	V <sub>ex</sub>	w	h	d <sub>eq</sub>	d <sub>U</sub>	w	R	R·L	Σζ	Z	Δp
-	m	m <sup>3</sup> /h	mm	mm	mm	mm	m/s	Pa/m	Pa	-	Pa	Pa
1	2,5	3520	525	350	466	-	5,3	0,64	1,6	0,3	5,1	7
2	10	3300	525	350	466	-	5,0	0,57	5,7	1,15	17,2	23
3	2,8	3125	525	350	466	-	4,7	0,51	1,4	0,1	1,3	3
4	10	2015	400	350	409	-	4,0	0,44	4,4	2,1	20,1	25
5	9,5	1085	-	-	-	315	3,9	0,57	5,4	1,65	14,8	20
6	4,3	490	-	-	-	200	4,3	1,23	5,3	0,95	10,7	16
7	2,3	425	-	-	-	200	3,8	0,95	2,2	0,35	3,0	5
8	4,8	360	-	-	-	200	3,2	0,70	3,4	0,35	2,1	5
9	4,8	295	-	-	-	160	4,1	1,45	7,0	0,68	6,8	14
10	9,5	230	-	-	-	160	3,2	0,92	8,8	0,85	5,1	14
11	4,8	165	-	-	-	125	3,7	1,69	8,1	0,83	6,9	15
12	4,2	100	-	-	-	125	2,3	0,68	2,9	2,33	7,2	10
Pad tlaka na rešetki „OAS“ [Pa]												10
Pad tlaka na ispušnom kanalu [Pa]												20
Pad tlaka na zaštitnoj mrežici [Pa]												30
<b>Ukupni pad tlaka [Pa]</b>												<b>217</b>

### Dimenzioniranje kanala za ventilaciju prostorija s bazenom

Prostorija s velikim bazenom ventilira se odvojenim sustavom tlačne i odsisne ventilacije. Ventilacijske jedinice smještene su u prostorijama kompenzacije i glavnog razvodnog ormara,

a kanali su kružnog poprečnog presjeka. Kanali za dobavu zraka provedeni su uz strop podruma radi ispiranja staklenih stijena te iznad tribina radi dobave svježeg zraka za disanje. Kanali odsisne ventilacije smješteni su iznad površine bazena radi uklanjanja štetnih hlapljivih spojeva i odvođenja viška vlage.

Najveći pad tlaka u sustavu tlačne ventilacije postiže se do posljednjeg najudaljenijeg istrujnog otvora za ispiranje staklene stijene. Ukupni eksterni pad tlaka sustava tlačne ventilacije iznosi 187 Pa, a proračun je prikazan u tablici 16.

U sustavu odsisne ventilacije najveći pad tlaka postiže se od najudaljenije usisne rešetke do klimatizacijske jedinice. Ukupni eksterni pad tlaka sustava odsisne ventilacije iznosi 214 Pa, a proračun je prikazan u tablici 17.

**Tablica 16. Pad tlaka u sustavu tlačne ventilacije velikog bazena**

Dionica	L	V <sub>su</sub>	d <sub>U</sub>	w	R	R·L	Σζ	Z	Δp
-	m	m <sup>3</sup> /h	mm	m/s	Pa/m	Pa	-	Pa	Pa
1	5	14100	800	7,8	0,68	3,4	0,26	9,5	13
2	8,1	8295	630	7,4	0,82	6,6	0,65	21,3	28
3	3,4	7770	630	6,9	0,72	2,5	0,00	0,0	2
4	3,4	7245	630	6,5	0,64	2,2	0,00	0,0	2
5	9	6720	630	6,0	0,55	5,0	0,00	0,0	5
6	4,8	5880	630	5,2	0,43	2,1	0,00	0,0	2
7	4,8	5040	630	4,5	0,32	1,6	0,00	0,0	2
8	4,8	4200	500	5,9	0,72	3,5	0,05	1,1	5
9	4,8	3360	500	4,8	0,48	2,3	0,00	0,0	2
10	4,8	2520	400	5,6	0,84	4,0	0,05	0,9	5
11	4,8	1680	400	3,7	0,40	1,9	0,00	0,0	2
12	4,8	840	315	3,0	0,36	1,7	0,05	0,3	2
13	0,8	52,5	80	2,9	1,87	1,5	4,1	20,7	22
Pad tlaka na difuzoru „PDI“ [Pa]									20
Pad tlaka na usisnom kanalu [Pa]									25
Pad tlaka na zaštitnoj mrežici [Pa]									50
<b>Ukupni pad tlaka [Pa]</b>									<b>187</b>

**Tablica 17. Pad tlaka u sustavu odsisne ventilacije velikog bazena**

Dionica	L	V <sub>ex</sub>	d <sub>U</sub>	w	R	R·L	Σζ	Z	Δp
-	m	m <sup>3</sup> /h	mm	m/s	Pa/m	Pa	-	Pa	Pa
1	21	14550	800	8,0	0,72	15,1	0,39	15,1	30
2	11,5	7275	630	6,5	0,64	7,4	1,25	31,5	39
3	7	5820	630	5,2	0,42	3,0	0,56	9,0	12

4	7	4365	630	3,9	0,25	1,7	1,41	12,8	15
5	7	2910	500	4,1	0,37	2,6	1,34	13,6	16
6	7	1455	400	3,2	0,30	2,1	0,85	5,3	7
Pad tlaka na rešetki „ODS“ [Pa]									20
Pad tlaka na usisnom kanalu [Pa]									25
Pad tlaka na zaštitnoj mrežici [Pa]									50
<b>Ukupni pad tlaka [Pa]</b>									<b>214</b>

Istom metodom provedeno je dimenzioniranje kanala za ventilaciju prostorije s malim bazenom. Ventilacijska jedinica smještena je u prostoriji glavnog razvodnog ormara, a kanali su kružnog poprečnog presjeka. Eksterni pad tlaka u sustavu tlačne ventilacije iznosi 96 Pa, a u sustavu odsisne ventilacije iznosi 88 Pa. Proračun kritične dionice tlačne i odsisne ventilacije prikazan je u tablici 18 ,odnosno tablici 19.

**Tablica 18. Pad tlaka u sustavu tlačne ventilacije malog bazena**

Dionica	L	V <sub>su</sub>	d <sub>U</sub>	w	R	R·L	Σζ	Z	Δp
-	m	m <sup>3</sup> /h	mm	m/s	Pa/m	Pa	-	Pa	Pa
1	7	1580	315	5,6	1,14	8,0	0,54	10,3	18
2	4	1000	315	3,6	0,49	2,0	0,10	0,8	3
3	4	500	250	2,8	0,43	1,7	0,10	0,5	2
4	0,5	500	250	2,8	0,43	0,2	2	9,6	10
Pad tlaka na difuzoru „DEV-K“ [Pa]									15
Pad tlaka na usisnom kanalu [Pa]									20
Pad tlaka na zaštitnoj mrežici [Pa]									28
<b>Ukupni pad tlaka [Pa]</b>									<b>96</b>

**Tablica 19. Pad tlaka u sustavu odsisne ventilacije malog bazena**

Dionica	L	V <sub>su</sub>	d <sub>U</sub>	w	R	R·L	Σζ	Z	Δp
-	m	m <sup>3</sup> /h	mm	m/s	Pa/m	Pa	-	Pa	Pa
1	14	1630	315	5,8	1,21	17,0	0,26	5,3	22
2	2,3	815	250	4,6	1,05	2,4	0,00	0,0	2
3	0,5	815	250	4,6	1,05	0,5	0,85	10,8	11
Pad tlaka na difuzoru „DEV-K“ [Pa]									18
Pad tlaka na usisnom kanalu [Pa]									20
Pad tlaka na zaštitnoj mrežici [Pa]									15
<b>Ukupni pad tlaka [Pa]</b>									<b>88</b>

## Sanitarni čvorovi i tuševi

Dimenzioniranje kanala odsisne ventilacije za prostorije sanitarnih čvorova i tuševa provedeno je istom metodom kao i dimenzioniranje ostalih sustava mehaničke ventilacije. Pad tlaka u sustavu pokriva se ugradnjom kanalnog ventilatora proizvođača *Dospel*, tipa „EURO“. Kanalni ventilatori korišteni za odvođenje zraka uz sanitarnih čvorova i tuševa navedeni su u tablici 20, a primjer je prikazan na slici 17.

**Tablica 20. Karakteristike ventilatora sanitarnih čvorova i tuševa**

Tip ventilatora	Dimenzije priključka [mm]	Volumni protok [m <sup>3</sup> /h]
EURO 1	100	100
EURO 2	120	150
EURO 3	150	280



**Slika 17. Ventilator *Dospel EURO***

U sustave odsisne ventilacije potrebno je ugraditi i nepovratne zaklopke kako bi se spriječilo strujanje zraka u neželjenom smjeru kad ventilacija ne radi.

### 5.5. Odabir ventilacijske jedinice

Sustavom mehaničke ventilacije potrebno je pokriti toplinsko opterećenje uslijed dobave svježeg zraka potrebnog za disanje te toplinsko opterećenje koje se ne može pokriti sustavom podnog grijanja. Kao i kod sustava podnog grijanja, izvor toplinske energije je geotermalna voda. Sustav se dimenzionira uz pretpostavku hlađenja geotermalne vode za 6 °C. Tri su odvojena sustava tlačno-odsisne ventilacije stoga su ugrađene i tri odvojene ventilacijske jedinice.

### 5.5.1. Dimenzioniranje ventilacijske jedinice za prateće prostore

Za ispravan odabir ventilacijske jedinice potrebno je poznavati proces pripreme zraka. Na temelju procesa pripreme zraka dimenzioniraju se komponente ventilacijske jedinice potrebne za dovodjenje zraka u željeno toplinsko stanje prije ubacivanja u prostor. Volumni protok dobavnog zraka od 4990 m<sup>3</sup>/h i protok povratnog zraka od 3520 m<sup>3</sup>/h predstavljaju minimalne potrebne vrijednosti. Odabir ventilacijske jedinice provest će se za protok dobavnog zraka od 5000 m<sup>3</sup>/h i volumni protok povratnog zraka od 3500 m<sup>3</sup>/h.

#### Stanje zraka pri ubacivanju u prostor

Dimenzioniranje ventilacijske jedinice provodi se na temelju projektnih zimskih uvjeta. U većini pratećih prostora unutarnja projektna temperatura iznosi 20 °C. Zbog unutarnjih izvora topline poput rasvjete i ljudi, sustav mehaničke ventilacije dimenzionira se s temperaturom dobavnog zraka od 19 °C. U svlačionicama velikog bazena projektna temperatura iznosi 24 °C, a toplinsko opterećenje uslijed razlike temperature ubacivanja i unutarnje projektne temperature pokriva se sustavom podnog grijanja.

Ulazni podaci za određivanje procesa pripreme zraka su:

- |  |  |
|--|--|
| – unutarnja projektna temperatura:                       | $\vartheta_P = 20 \text{ °C}$              |
| – unutarnja relativna vlažnosti:                         | $\varphi_P = 50 \text{ %}$                 |
| – apsolutna vlažnost unutarnjeg zraka:                   | $x_P = 7,25 \text{ g/kg}$                  |
| – vanjska projektna temperatura:                         | $\vartheta_E = -12,8 \text{ °C}$           |
| – vanjska projektna relativna vlažnost:                  | $\varphi_E = 80 \text{ %}$                 |
| – apsolutna vlažnost vanjskog zraka:                     | $x_E = 0,98 \text{ g/kg}$                  |
| – protok dobavnog zraka:                                 | $\dot{V}_{su} = 4990 \text{ m}^3/\text{h}$ |
| – protok odvedenog zraka:                                | $\dot{V}_{ex} = 3520 \text{ m}^3/\text{h}$ |
| – temperatura ubacivanja zraka:                          | $\vartheta_U = 19 \text{ °C}$              |
| – latentno toplinsko opterećenje po osobi [13]:          | $\Phi_L^* = 45 \text{ W/osobi}$            |
| – broj osoba u pratećim prostorima:                      | $N = 96$                                   |
| – specifična toplota isparavanja vode:                   | $r_0 = 2500 \text{ kJ/kg}\cdot\text{K}$    |
| – specifični toplinski kapacitet pregrijane vodene pare: | $c_{pz} = 1,93 \text{ kJ/kg}\cdot\text{K}$ |

Apsolutna vlažnost zraka koji se ubacuju određuje se prema sljedećem izrazu:

$$x_U = x_P - \Delta x \quad (49)$$

$$x_U = x_P - \frac{\Phi_L}{\rho_a \cdot \dot{V}_{su} \cdot r} \quad (50)$$

$$\Phi_L = N \cdot \Phi_L^* \quad (51)$$

Uvrštavanjem ulaznih podataka dobije se potrebno stanje zraka koji se ubacuje u prostor:

$$\Phi_L = 45 \cdot 96 = 4320 \text{ W}$$

$$x_U = 7,25 - \frac{4320}{1,2 \cdot \frac{5000}{3600} \cdot 2500 \cdot 10^3} \cdot 1000$$

$$x_P = 6,21 \text{ g/kg}$$

Ventilacijska jedinica dimenzionira se za rad sa 100 % vanjskim zrakom, a osnovne komponente za obradu zraka su: uređaj za povrat topline u obliku pločastog rekuperatora, vodeni ovlaživač te dogrijač zraka nakon ovlaživača.

### Izmjena topline na rekuperatoru

Za povrat topline sa struje povratnog zraka koristi se pločasti izmjenjivač topline. Odabrana ventilacijska jedinica ima ugrađen pločasti rekuperator sa stupnjem povrata topline na strani dobavnog zraka od 70 %. Izmijenjeni toplinski tok na rekuperatoru iznosi 37,38 kW. Temperatura struje dobavnog zraka nakon izlaska iz rekuperatora određuje se iz sljedećeg izraza:

$$\Phi_R = \dot{V}_{su} \cdot \rho_a \cdot (h_R - h_E) \quad (52)$$

$$h_E = 1,005 \cdot (-12,8) + 0,00098 \cdot (2500 + 1,93 \cdot (-12,8))$$

$$h_E = -10,44 \text{ kJ/kg}$$

$$h_R = \frac{\Phi_R}{\dot{V}_{su} \cdot \rho_a} + h_E$$

$$h_R = \frac{37,38}{\frac{4990}{3600} \cdot 1,2} - 10,44$$

$$h_R = 12,03 \text{ kJ/kg}$$

$$h_R = 1,005 \cdot \vartheta_R + 0,00098 \cdot (2500 + 1,93 \cdot \vartheta_R)$$

$$\vartheta_R = 9,5 \text{ °C}$$

Stanje dobavnog zraka na izlazu iz rekuperatora određeno je sljedećim veličinama:

- $x_R = 0,98 \text{ g/kg}$
- $\vartheta_R = 9,5 \text{ }^\circ\text{C}$

### Dimenzioniranje ovlaživača zraka

Hladna struja vanjskog zraka ima visoku relativnu vlažnost, ali nisku apsolutnu vlažnost. Zagrijavanjem vanjskog zraka na temperaturu ubacivanja, zrak postaje suh i nepovoljan za disanje. Iz tog razloga nakon grijača nalazi se uređaj za ovlaživanje zraka. Prilikom ovlaživanja s vodom brzina strujanja zraka mora biti manja od 4 m/s.

Apsolutna vlažnost vanjskog zraka za zimske projektne uvjete računa se prema jednadžbama (27) i (29). Apsolutna vlažnost zraka prije ubacivanja u prostor određena je prema jednadžbi (49). U zimskim projektним uvjetima zrak na izlazu iz rekuperatora nema dovoljno visoku temperaturu da može primiti traženu količinu vode i postići željenu apsolutnu vlažnost pri ubacivanju. Iz tog razloga u slučaju zimskim projektних uvjeta, zrak pri ubacivanju u prostor bit će nešto niže apsolutne vlažnosti od potrebne. Uz pretpostavku ovlaživanja vodom do zasićenosti zraka od 90 %, zrak na izlazu iz ovlaživača imat će sljedeće stanje:

- $x_O = 4 \text{ g/kg}$
- $\vartheta_O = 2 \text{ }^\circ\text{C}$

Količina vode koju je potrebno ubaciti u struju dobavnog zraka računa se prema sljedećem izrazu:

$$q_{m,w-o} = \dot{V}_{su} \cdot \rho_a \cdot (x_O - x_R) \quad (53)$$

$$q_{m,w-o} = 4990 \cdot 1,2 \cdot \frac{(4 - 0,98)}{1000}$$

$$q_{m,w-o} = 18,1 \text{ kg/h}$$

### Dimenzioniranje grijača

Zbog hlađenja struje zraka uslijed ovlaživanja vodom, potrebno je dogrijavanje na temperaturu ubacivanja. Toplinski učinak izmjenjivača topline određuje se prema sljedećem izrazu:

$$\Phi_G = \dot{V}_{su} \cdot \rho_a \cdot (h_U - h_O) \quad (54)$$

$$h_U = 1,005 \cdot 19 + 0,004 \cdot (2500 + 1,93 \cdot 19)$$

$$h_U = 29,25 \text{ kJ/kg}$$



$$\Phi_G = \frac{4990}{3600} \cdot 1,2 \cdot (29,25 - 12,03)$$

$$\Phi_G = 28,64 \text{ kW}$$

Maseni protok ogrjevnog medija računa se prema sljedećem izrazu:

$$\Phi_G = g_{m,G} \cdot c_w \cdot (\vartheta_{21} - \vartheta_{22}) \quad (55)$$

$$g_{m,G} = \frac{\Phi_G}{c_w \cdot (\vartheta_{21} - \vartheta_{22})}$$

$$g_{m,G} = \frac{28,64}{4,18 \cdot (56 - 50)} \cdot 3600$$

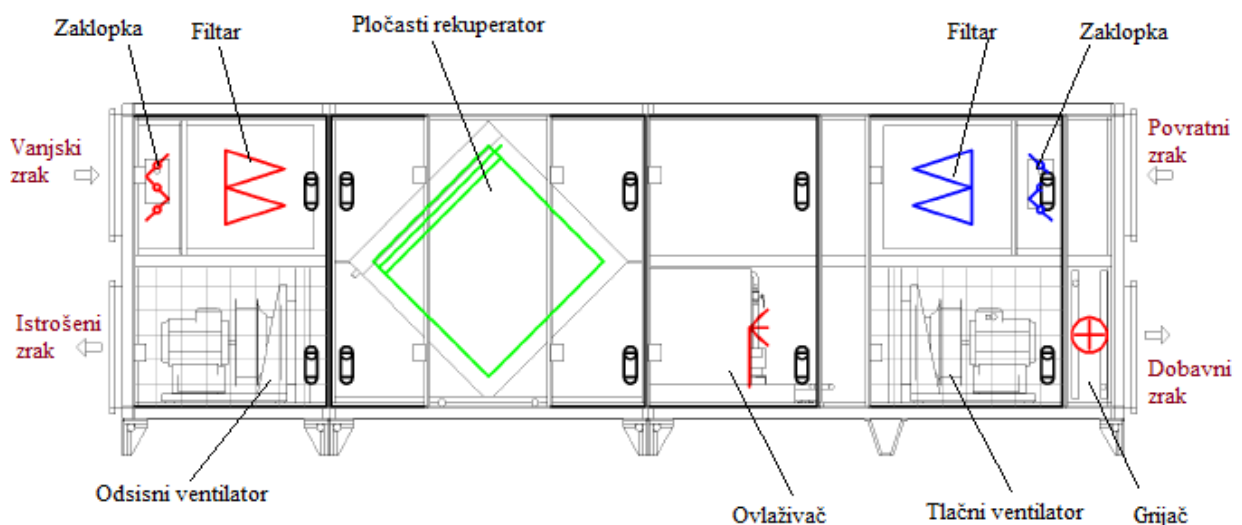
$$g_{m,G} = 4111 \text{ kg/h}$$

### Odabir ventilacijske jedinice

Na temelju provedenog proračuna i pomoću programa *SystemairCAD* odabrana je ventilacijska jedinica *Geniox 12 DRL*. Položaj proračunatih komponenti u ventilacijskoj jedinici prikazan je na slici 18.

Osnovne karakteristike odabrane ventilacijske jedinice su:

- Vanjske dimenzije (visina x širina x dužina): 1632 x 1482 x 4754 mm
- Eksterni pad tlačnog sustava ventilacije: 178 Pa
- Eksterni pad tlaka odsisnog sustava ventilacije: 217 Pa
- Temperaturni režim ogrjevnog medija: 56 / 50 °C



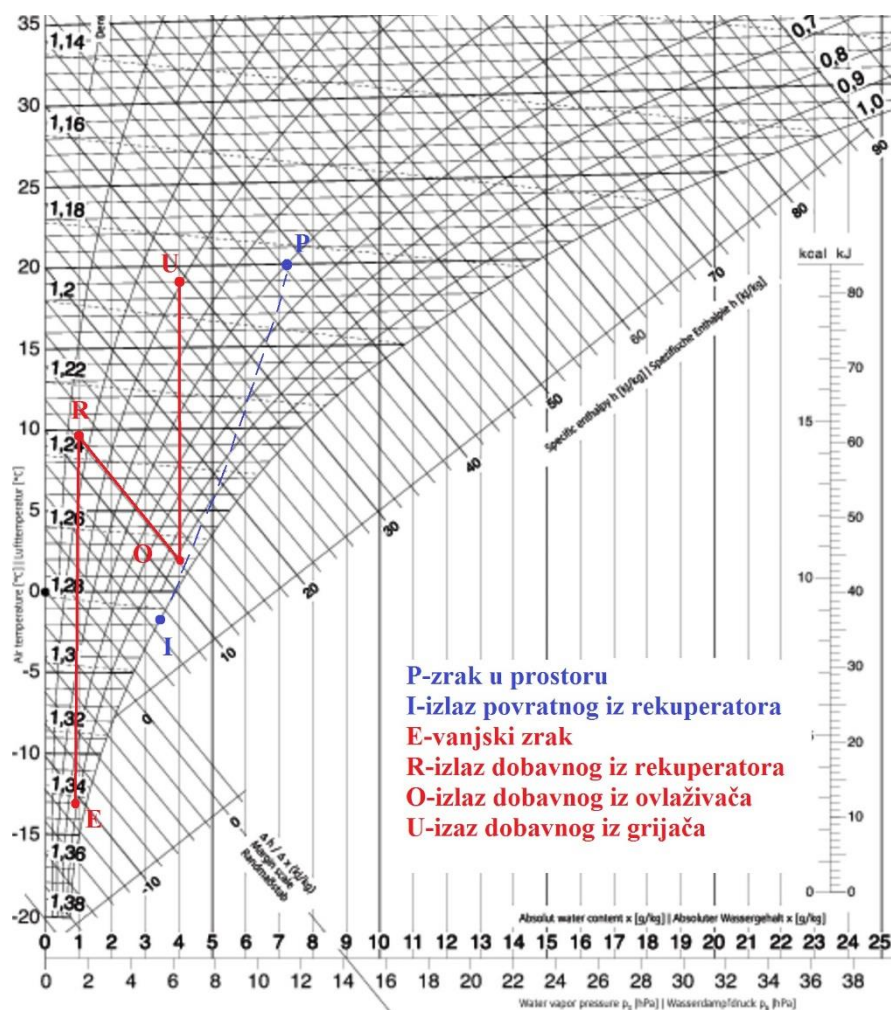
Slika 18. Položaj komponenti u ventilacijskoj jedinici za prateće prostore

Detaljne karakteristike odabranih komponenti navedene su u tablici 21.

**Tablica 21. Tehničke karakteristike ventilacijske jedinice za prateće prostore**

Komponenta	Tehničke karakteristike
Filtar (dobava / odsis)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Tip: vrećasti filtari</li> <li>- Klasa filtra: F7 – ePM1 60%</li> <li>- Pad tlaka : 71/189 Pa</li> </ul>
Pločasti izmjenjivač topline	<ul style="list-style-type: none"> <li>- protok dobavnog zraka: 4990 m<sup>3</sup>/h</li> <li>- protok povratnog zraka: 3520 m<sup>3</sup>/h</li> <li>- učinak izmjenjivača: 37,38 kW</li> <li>- pad tlaka na strani dobavnog zraka: 220 Pa</li> <li>- pad tlaka na strani povratnog zraka: 117 Pa</li> <li>- temperaturni režim dobavnog zraka (ulaz/izlaz): -12,8/9,5 °C</li> <li>- temperaturni režim povratnog zraka (ulaz/izlaz): 20/-1,5 °C</li> <li>- efikasnost izmjene topline: 70 %</li> </ul>
Ovlaživač	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Pad tlaka na strani zraka: 15 Pa</li> <li>- Učinkovitost: 90 %</li> <li>- Količina ishlapljene vode: 18,1 kg/h</li> </ul>
Grijač	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Tip: orebreni izmjenjivač s Al lamelama</li> <li>- Protok zraka: 4990 m<sup>3</sup>/h</li> <li>- Pad tlaka na strani zraka: 22 Pa</li> <li>- Temperatura zraka (ulaz/izlaz): 2/19 °C</li> <li>- Kapacitet grijača: 28,64 kW</li> <li>- Protok ogrjevnog medija: 4111 kg/h</li> <li>- Temperaturni režim ogrjevnog medija (Ulaz/izlaz): 56 / 50 °C</li> <li>- Pad tlaka na strani ogrjevnog medija: 25 kPa</li> </ul>

Proces pripreme zraka prikazan je na slici 19. Ventilacijska jedinica radi sa 100 % vanjskog i usisava zrak stanja „E“. Nakon prolaska kroz filtari, zrak se zagrijava na rekuperatoru do stanja R pri čemu se hladi povratni zrak. Sa stanjem R, zrak se dovodi do ovlaživača gdje se povećava apsolutna vlažnost zraka i dolazi do hlađenja. Na izlazu iz ovlaživača zrak ima stanje O. Sa stanjem O ulazi u grijač i dogrijava se do stanja ubacivanja..

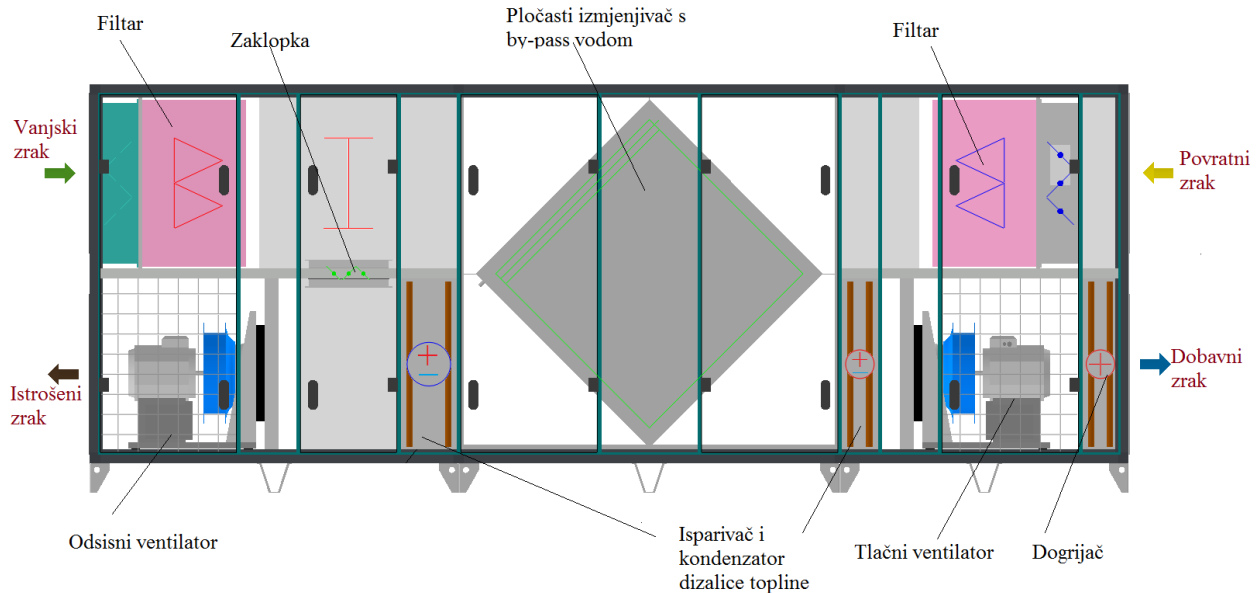


Slika 19. Proces pripreme zraka za ventilaciju pratećih prostora

### 5.5.2. Dimenzioniranje ventilacijske jedinice prostorije s velikim bazenom

Za ventilaciju bazenskog prostora, dimenzioniranje količine dobavnog zraka provedeno je prema normi VDI 2089. Maksimalna količina dobavnog zraka određuje se prema srednjoj vrijednosti apsolutne vlažnosti najtoplijeg mjeseca u godini, kako je opisano u poglavlju 3.3.1. Iz tog razloga dimenzioniranje komponenti ventilacijske jedinice provest će se za zimski i ljetni period. U punom opterećenju pretpostavlja se 120 ljudi u prostoru s bazenom što uz dobavu svježeg zraka od  $35 \text{ m}^3/\text{h}$  i osobi iznosi  $4200 \text{ m}^3/\text{h}$ . Izračunati iznos dobave svježeg zraka predstavlja higijenski minimum koji je potrebno dovesti prostoriji s velikim bazenom. Drugi kriterij za određivanje volumnog protoka zraka je potrebna količina dobavnog zraka za odvlaživanje prostora. Odvlaživanje prostora sa 100 % vanjskog zraka rezultira velikim pogonskim troškovima za obradom zraka stoga se najčešće primjenjuju ventilacijske jedinice sa sustavom odvlaživanja i zaklopkama za miješanje svježeg i povratnog zraka.

Za potrebe kondicioniranja zraka u prostoriji s velikim bazenom koristi se ventilacijska jedinica sa sustavom povrata topline u obliku pločastog izmjenjivača te dizalicom topline radi odvlaživanja i dogrijavanja zraka. Shema ventilacijske jedinice s rasporedom komponenti prikazana je na slici 20.



Slika 20. Položaj komponenti u ventilacijskoj jedinici za bazenske prostore

### Zimski period

Sustavom mehaničke ventilacije potrebno je pokriti toplinsko opterećenje uslijed transmisije i infiltracije koje se nije uspjelo pokriti sustavom podnog grijanja. U prostoriji velikog bazena ugrađeno je 38 petlji podnog grijanja čime se dobije 14997 W ogrjevnog učinka. Gubici uslijed transmisije i infiltracije iznose 60952 W. Na temelju toga određuje se dodatno toplinsko osjetno opterećenje koje se mora nadomjestiti sustavom toplozračnog grijanja:

$$\Phi_S = \Phi_{H,45} - \Phi_{PG,45} \quad (56)$$

$$\Phi_S = 60952 - 14997$$

$$\Phi_S = 45955 \text{ W}$$

Latentno toplinsko opterećenje određuje se prema sljedećem izrazu:

$$\Phi_L = \dot{M}_w \cdot (r_0 + c_{pZ} \cdot (\vartheta_P - \vartheta_E)) \quad (57)$$

$$\Phi_L = \frac{88,4}{3600} \cdot (2500 + 1,93 \cdot (28 + 12,8))$$

$$\Phi_L = 63320 \text{ W}$$

Na temelju volumnog protoka vanjskog zraka može se odrediti potrebni maseni protok:

$$\dot{m}_e = \frac{V_{ex} \cdot \rho_a}{3600} = \frac{4200 \cdot 1,33}{3600} = 1,55 \text{ kg/s}$$

Maseni protok dobavnog zraka računa se uz temperaturu ubacivanja od 45 °C:

$$\Phi_S = \dot{m}_{su} \cdot c_p \cdot (\vartheta_U - \vartheta_P)$$

$$\dot{m}_{su} = \frac{45955}{1005 \cdot (45 - 28)}$$

$$\dot{m}_{su} = 2,69 \text{ kg/s}$$

Asolutna vlažnost dobavnog zraka za pokrivanje latentnog toplinskog opterećenja iznosi:

$$x_U = x_P - \frac{\dot{M}_w}{\dot{m}_{su}}$$

$$x_U = 14,2 - \frac{88,4}{3600 \cdot 2,69} \quad (58)$$

$$x_U = 5,1 \text{ g/kg}$$

Maseni protok recirkulacijskog zraka iznosi:

$$\dot{m}_{su} = \dot{m}_e + \dot{m}_{rec}$$

$$\dot{m}_{rec} = \dot{m}_{su} - \dot{m}_e = 2,69 - 1,55$$

$$\dot{m}_{rec} = 1,14 \text{ kg/s}$$

Određivanje učinka pojedinih komponenti ventilacijske jedinice provedeno je prema postupku opisanom u 5.5.1. Pomoću provedenog proračuna odabrana je ventilacijska jedinica sa sljedećim karakteristikama:

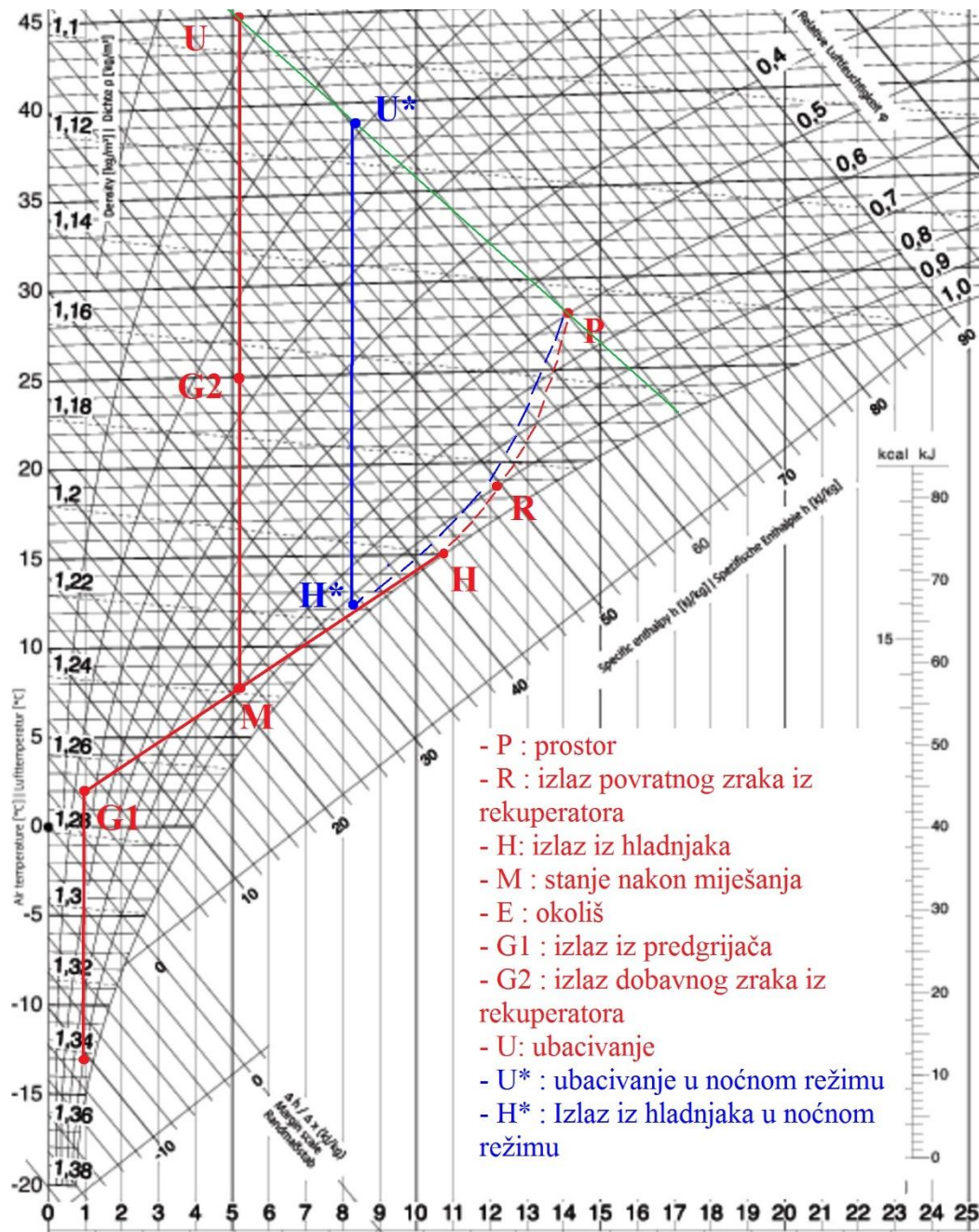
Komponenta	Tehničke karakteristike
Filtar (dobava / odsis)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Tip: vrećasti filtari</li> <li>- Klasa filtra: F7 – ePM1 60%</li> <li>- Pad tlaka : 73 / 75 Pa</li> </ul>
Predgrijač	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Tip: orebreni izmjenjivač s Al lamelama</li> <li>- Protok zraka: 4630 m<sup>3</sup>/h</li> <li>- Pad tlaka na strani zraka: 12 Pa</li> <li>- Temperatura zraka (ulaz/izlaz): -12,8 / 2 °C</li> <li>- Kapacitet grijača: 23,0 kW</li> <li>- Protok ogrjevnog medija: 3300 kg/h</li> <li>- Temperaturni režim ogrjevnog medija (Ulaz/izlaz): 56 / 50 °C</li> <li>- Pad tlaka na strani ogrjevnog medija: 12,6 kPa</li> </ul>
Pločasti izmjenjivač topline	<ul style="list-style-type: none"> <li>- protok dobavnog zraka: 8035 m<sup>3</sup>/h</li> <li>- protok povratnog zraka: 8425 m<sup>3</sup>/h</li> <li>- učinak izmjenjivača: 47,5 kW</li> <li>- pad tlaka na strani dobavnog zraka: 272 Pa</li> <li>- pad tlaka na strani povratnog zraka: 259 Pa</li> </ul>

---

	<ul style="list-style-type: none"><li>- temperaturni režim dobavnog zraka (ulaz/izlaz): 7,5 / 25 °C</li><li>- temperaturni režim povratnog zraka (ulaz/izlaz): 28 / 18.8 °C</li><li>- efikasnost izmjene topline: 85 %</li></ul>
Hladnjak (odvlaživač)	<ul style="list-style-type: none"><li>- Kapacitet hladnjaka: 8,1 kW</li><li>- Pad tlaka na strani zraka: 50 Pa</li><li>- Temperaturni režim rashladnog medija (Ulaz/izlaz): 6 / 12 °C</li><li>- Pad tlaka na strani rashladnog medija: 36 kPa</li></ul>
Grijač	<ul style="list-style-type: none"><li>- Tip: orebreni izmjenjivač s Al lamelama</li><li>- Protok zraka: 8035 m<sup>3</sup>/h</li><li>- Pad tlaka na strani zraka: 52 Pa</li><li>- Temperatura zraka (ulaz/izlaz): 25 / 45 °C</li><li>- Kapacitet grijača: 53,7 kW</li><li>- Protok ogrjevnog medija: 7710 kg/h</li><li>- Temperaturni režim ogrjevnog medija (Ulaz/izlaz): 56 / 50 °C</li><li>- Pad tlaka na strani ogrjevnog medija: 14,4 kPa</li></ul>

---

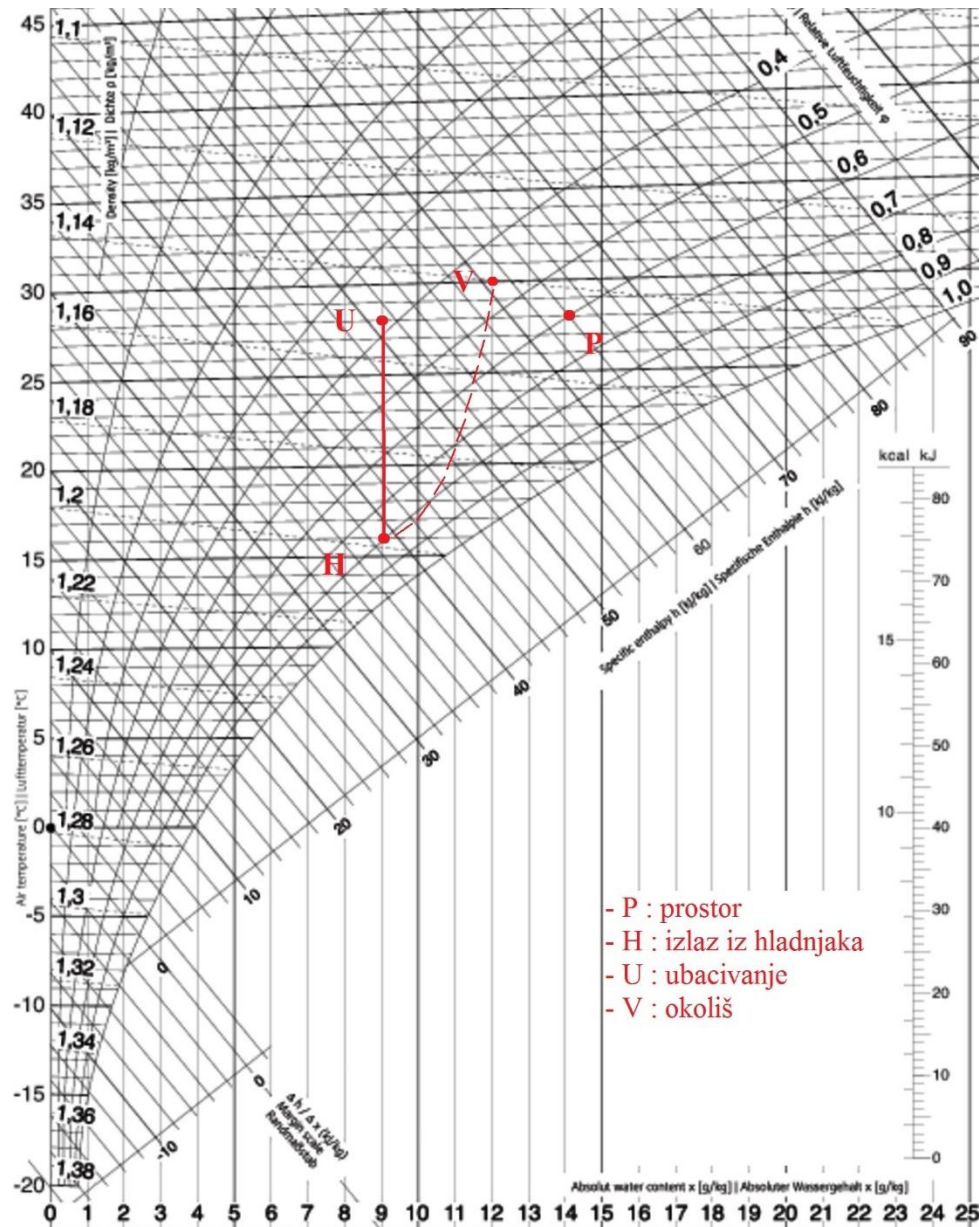
U noćnom režimu tijekom zimskog perioda sustav radi sa 100 % recirkulacijskog zraka pri čemu se zrak odvlažuje na hladnjaku do apsolutne vlažnosti pogodne za stanje ubacivanja. Tijekom noćnog rada, povećava se apsolutna vlažnost dobavnog zraka kako bi se uštedjelo na rashladnom učinku potrebnom za odvlaživanje zraka. Proces obrade zraka u zimskom režimu rada prikazan je na slici 21.



Slika 21. Proces pripreme zraka za ventilaciju bazenskih prostora-zima

U ljetnom režimu rada, susta radi sa 100 % vanjskim zrakom koji se prethodno odvlaži na hladnjaku, a zatim dogrije do potrebne temperature. Uz pretpostavku da nema gubitaka osjetne topline, zrak se dogrijava do temperature u prostoru. Proces pripreme zraka u ljetnom režimu rada prikazan je na slici 22.





Slika 22. Proces pripreme zraka za ventilaciju bazenskih prostora-ljeto

Na temelju opisanog, za ventilaciju prostorije s velikim bazenom odabrana je ventilacijska jedinica proizvođača Dantherm tipa *DanX XWPRS 9* s maksimalnim volumni protok dobavnog zraka od 15500 m<sup>3</sup>/h.

### 5.5.3. Dimenzioniranje ventilacijske jedinice prostorije s malim bazenom

Prostorija s malim bazenom ventilira se s odvojenim sustavom mehaničke ventilacije. Odabir jedinice provest će se uz rad sa 100 % vanjskim zrakom. Sustavom podnog grijanja



pokrije se ukupno 1358 W toplinskog opterećenja od potrebnih 3460 W. Na temelju navedenog, sustavom toplozračnog grijanja potrebno je pokriti dodatnih:

$$\Phi_S = \Phi_{H,XY} - \Phi_{PG,XY} \quad (59)$$

$$\Phi_S = 3460 - 1358$$

$$\Phi_S = 2102 \text{ W}$$

Latentno toplinsko opterećenje određuje se prema sljedećem izrazu:

$$\Phi_L = \dot{M}_w \cdot (r_0 + c_{pz} \cdot (\vartheta_P - \vartheta_E)) \quad (60)$$

$$\Phi_L = \frac{9,9}{3600} \cdot (2500 + 1,93 \cdot (28 + 12,8))$$

$$\Phi_L = 7090 \text{ W}$$

Asolutna vlažnost dobavnog zraka za pokrivanje latentnog toplinskog opterećenja iznosi:

$$- x_U = x_E = 0,98 \text{ g/kg}$$

$$\dot{m}_{su} = \frac{\dot{M}_w}{x_P - x_U}$$

$$\dot{m}_{su} = \frac{9,9}{3600 \cdot (14,2 - 0,98)}$$

$$\dot{m}_{su} = 0,208 \text{ kg/s}$$

Temperatura dobavnog zraka iznosi:

$$\Phi_S = \dot{m}_{su} \cdot c_p (\vartheta_U - \vartheta_P)$$

$$\vartheta_U = \vartheta_P + \frac{\Phi_S}{\dot{m}_{su} \cdot c_p}$$

$$\vartheta_U = 28 + \frac{2102}{0,208 \cdot 1005}$$

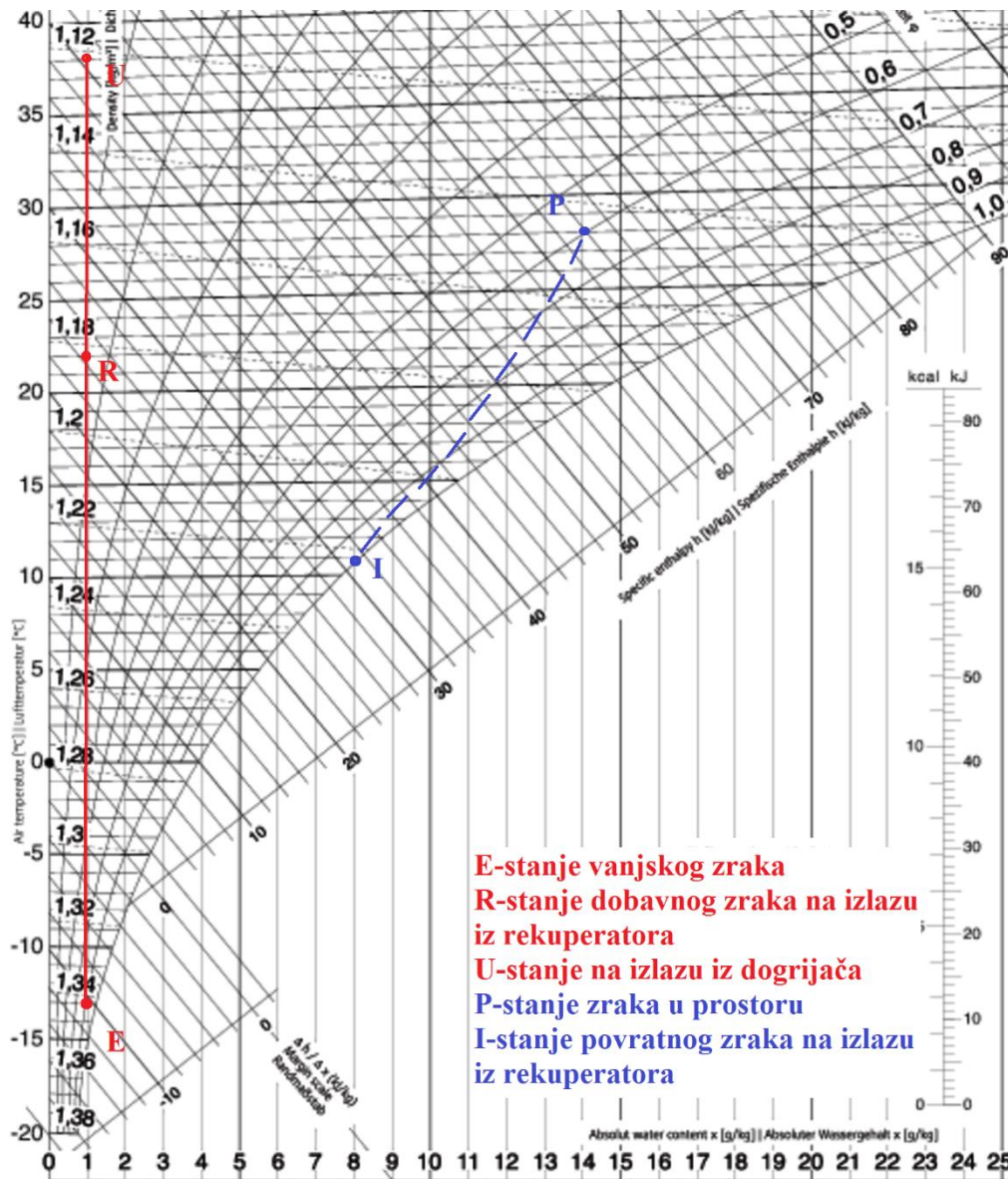
$$\vartheta_U = 38,05 \text{ }^\circ\text{C}$$

Karakteristike komponenti ventilacijske jedinice u zimskom režimu rada su:

Komponenta	Tehničke karakteristike
Filtar (dobava / odsis)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Tip: vrećasti filtari</li> <li>- Klasa filtra: F7 – ePM1 60%</li> <li>- Pad tlaka : 73 / 75 Pa</li> </ul>
Pločasti izmjenjivač toplina	<ul style="list-style-type: none"> <li>- protok dobavnog zraka: 560 m<sup>3</sup>/h</li> <li>- protok povratnog zraka: 590 m<sup>3</sup>/h</li> <li>- učinak izmjenjivača: 7,5 kW</li> <li>- temperaturni režim dobavnog zraka (ulaz/izlaz): -12,8 / 22,3 °C</li> <li>- temperaturni režim povratnog zraka (ulaz/izlaz): 28 / 10,7 °C</li> </ul>

- Grijač
- Tip: orebreni izmjenjivač s Al lamelama
  - Temperatura zraka (ulaz/izlaz): 22,3 / 38 °C
  - Kapacitet grijača: 3,3 kW

U ljetnom režimu jedinica radi također sa 100 % vanjskog zraka. Proces pripreme prikazan je na slici 23. Na temelju dimenzioniranih komponenti te volumnog protoka zraka odabire se jedinica proizvođača *Dantherm*, tip *DanX XD2* s maksimalnim volumnim protokom dobavnog zraka od 1750 m<sup>3</sup>/h.



Slika 23. Proces pripreme zraka za ventilaciju malog bazena-zima

## 6. DIMENZIONIRANJE SUSTAVA POTROŠNE TOPLE VODE

### 6.1. Dimenzioniranje akumulacijskog spremnika

Priprema potrošne tople vode vrši se centralno za cijelu zgradu. Kao izvor topline koristi se voda sekundarnog kruga s temperaturnim režimom 56 / 50 °C. Radi sprječavanja razvoja mikroorganizama, sustav se dimenzionira s temperaturom potrošne tople vode od 60 °C. Kao dodatni izvor topline za dogrijavanje vode koristi se električni grijač. U proračunu je zanemarena potrošnja tople vode u sanitarnim čvorovima jer se većina tople vode koristi u tuševima.

Dimenzioniranje spremnika provodi se uz sljedeće pretpostavke:

- Potrošnja tople vode po osobi:  $V'=60$  L/osoba
- Broj korisnika zatvorenog plivališta u danu:  $n=130$
- Temperatura vode iz mreže:  $\vartheta_{svj}=14$  °C
- Temperatura vode na izlazu iz spremnika:  $\vartheta_{PTV2}=60$  °C
- Temperatura vode na mjestu potrošnje:  $\vartheta_{PTV3}=45$  °C
- Period rada bazena: 12 h/dan
- Faktor mrtvog prostora u spremniku:  $b=1,1$

Potrebna toplinska energija za zagrijavanje potrošne tople vode koja se potroši tijekom rada bazena:

$$Q_{PTV} = V' \cdot n \cdot \rho_w \cdot c_w \cdot (\vartheta_{PTV,3} - \vartheta_{svj}) \quad (61)$$

$$Q_{PTV} = \frac{60 \cdot 130 \cdot 998 \cdot 4,18 \cdot (45 - 14)}{1000 \cdot 3600}$$

$$Q_{PTV} = 280 \text{ kWh/dan}$$

Potrošnja toplinske energije za zagrijavanje potrošne tople vode tijekom perioda korištenja iznosi:

$$Q_{PTV}^* = \frac{Q_{PTV}}{12} = 84059 \text{ kJ/h}$$

Spremnik za akumulaciju tople vode dimenzionira se za pokrivanje potrošnje tople vode od 3 sata:

$$V_{s,min} = \frac{C_s \cdot b}{c_w \cdot (\vartheta_{PTV,2} - \vartheta_{PTV,1})} \quad (62)$$

$$C_s = 3 \cdot Q_{PTV}^*$$

$$C_s = 3 \cdot 84059$$

$$C_s = 252176 \text{ kJ}$$

$$V_{s,min} = \frac{252176 \cdot 1,1}{4,18 \cdot (60 - 14)}$$

$$V_{s,min} = 1475 \text{ L}$$

Na temelju provedenog proračuna odabire se spremnik volumena 1500 L tipa *BOSCH AS 1500 DUO* s dva izmjenjivača topline. Donji izmjenjivač spaja se na ogrjevni medij dok je gornji izmjenjivač električni. Odabrani spremnik prikazan je na slici 24.



**Slika 24.** Spremnik potrošne tople vode *Bosch AS 1500 Duo*

Tehničke karakteristike odabranog spremnika su:

- Debljina izolacije (PU): 100 mm

- Površina gornjeg izmjenjivača: 2,3 m<sup>2</sup>
- Volumen gornjeg izmjenjivača: 20,5 L
- Površina donjeg izmjenjivača: 3,47 m<sup>2</sup>
- Volumen donjeg izmjenjivača: 31,4 L
- Snaga izmjenjivača u protočnom režimu ( 50 / 60 °C ) : 51 kW
- Gubitak topline uz  $\Delta T=45$  K: 6,5 kW/dan
- Radni tlak na strani potrošne tople vode: 8 bar
- Radni tlak izmjenjivača : 6 bar

Potreban učinak izmjenjivača topline određuje se prema vremenu potrebnom za zagrijavanje tople vode. Ukoliko se pretpostavi da izmjenjivač topline mora puni spremnik moći zagrijati za 8 sati, potreban učinak određuje se prema sljedećem izrazu:

$$\Phi_{PTV} = \frac{Q_{PTV}}{8}$$

$$\Phi_{PTV} = 35 \text{ kW}$$

U uređaj je instaliran električni grijač kapaciteta 5 kW što znači da izmjenjivač topline s ogrjevnim medijem mora imati učinak od 30 kW. Prema tome, maseni protok ogrjevnog medija kroz izmjenjivač iznosi:

$$\Phi_{PTV,s} = q_{m,PTV-s} \cdot c_w \cdot (\vartheta_{21} - \vartheta_{22})$$

$$q_{m,PTV-s} = \frac{30}{4,18 \cdot (56 - 50)}$$

$$q_{m,PTV-s} = 1,169 \frac{\text{kg}}{\text{s}} = 4210 \text{ kg/h}$$

Pad podacima proizvođača pad tlaka za izračunati protok iznosi 9,3 kPa.

## 7. DIMENZIONIRANJE SUSTAVA ZA ZAGRIJAVANJE BAZENSKJE VODE

Zagrijavanje bazenske vode vrši se pomoću odvojenog pločastog izmjenjivača topline, a kao izvor topline koristi se voda sekundarnog kruga s temperaturnim režimom 56/50 °C. Oba bazena u zgradi zagrijavaju se pomoću istog sustava, a karakteristike bazena potrebne za daljnji proračun navedene su u tablici 22.

**Tablica 22. Geometrijske karakteristike bazena**

-	Mali bazen	Veliki bazen
Dimenzije (LxBxH) [m]	9,2x3,4x1,1	25x16x3,2
Volumen [m <sup>3</sup> ]	34	1280
Površina oplošja [m <sup>2</sup> ]	60	660
Ishlapljena voda [kg/h]	9,9	88,4

Izmjenjivač topline dimenzionira se prema potrebnom toplinskom učinku za zagrijavanje bazenske vode u određenom periodu. Za potrebe proračuna izmjenjivač topline dimenzionira se prema toplinskom učinku potrebnom za zagrijavanje bazenske vode u 72 sata. Voda u bazenu zagrijava se s vremenom što znači da temperatura bazenske vode na ulazu u izmjenjivač postupno raste.

Učinak izmjenjivača topline određuje se prema sljedećem izrazu:

$$\Phi_b = q_{m,b} \cdot c_w \cdot (\vartheta_{b2} - \vartheta_{b1}) \quad (63)$$

Ukupni volumen bazena iznosi 720 m<sup>3</sup> što uz vrijeme zagrijavanja od 72 sata rezultira volumnim protokom bazenske vode od 10 m<sup>3</sup>/h. Ulazni podaci za proračun su:

- temperatura vode sekundarnog kruga na ulazu u izmjenjivač:  $\vartheta_{21}=56$  °C
- temperatura vode sekundarnog kruga na izlazu iz izmjenjivača:  $\vartheta_{22}=50$  °C
- temperatura vode bazenskog kruga na izlazu iz izmjenjivača:  $\vartheta_{b2}=26$  °C
- temperatura vode bazenskog kruga na ulazu u izmjenjivač:  $\vartheta_{b1}=14$  °C
- temperatura svježe vode:  $\vartheta_{svj}=14$  °C
- specifični toplinski kapacitet vode:  $c_w=4,18$  kJ/kgK

Uvrštavanjem ulaznih podataka u jednadžbu (63) dobije se potreban učinak izmjenjivača topline od 139,4 kW.

Za odabir izmjenjivača topline korišten je računalni program *Danfoss Hexact v5.1.24*. Na temelju opisanog odabran je pločasti lemljeni izmjenjivač oznake XB70L-1-50. Karakteristike navedenog izmjenjivača su:

---

Tip izmjenjivača: **XB70L-1-50**

Svojstva	Sustav bazenskog kruga	Sekundarni krug
Temperatura na ulazu u izmjenjivač [°C]	14	56
Temperatura na izlazu iz izmjenjivača [°C]	26	50
Maseni protok [kg/h]	10005	10005
Ukupni pad tlaka [kPa]	8,5	8,5
Dimenzije priključka	DN65	DN100

---

## 8. TEHNIČKI OPIS TERMOTEHNIČKIH SUSTAVA

Za pokrivanje toplinskog opterećenja zgrade koristi se geotermalni izvor odgovarajućeg kapaciteta s temperaturom vode od 60 °C. Geotermalni izvor smješten je u blizini zgrade, a voda se dovodi prema izmjenjivaču topline pomoću kojeg se zagrijava voda u sekundarnom krugu. Temperatura povratne geotermalne vode iznosi 54 °C. Izmjenjivač topline smješten je u strojarnici koja se nalazi u podrumu zgrade. Sekundarni krug predstavlja dio sustava s tretiranom toplom vodom koji se zagrijava pomoću geotermalne vode i dalje distribuira prema trošilima. Dimenzioniranje sustava provedeno je s temperaturnim režimom sekundarnog kruga 56/50 °C. Voda sekundarnog kruga vodi se pomoću cijevnog razvoda prema grijačima zraka u ventilacijskim jedinicama, grijaču u spremniku tople vode, grijaču za zagrijavanje bazenske vode te grijaču za zagrijavanje vode u krugu podnog grijanja. Volumni protok vode u sekundarnom krugu iznosi 40,3 m<sup>3</sup>/h.

### 8.1. Sustav podnog grijanja

Sustav podnog grijanja predstavlja zasebni krug vode i od ostatka sustava odvojen je izmjenjivačem topline. Izmjenjivač topline smješten je u strojarnici koja se nalazi u podrumu zgrade, a kao izvor topline koristi se voda sekundarnog kruga s temperaturnim režimom 56/50 °C. Sustav podnog grijanja projektiran je s temperaturnim režimom 38/32 °C, a gdje postoji veće toplinsko opterećenje temperaturni režim u petlji iznosi 38/34 °C. Za dimenzioniranje sustava toplinsko opterećenje određeno je pomoću norme EN12831:2003 pri čemu je sustav podnog grijanja dimenzioniran za pokrivanje toplinskih gubitaka uslijed transmisivne izmjene topline te infiltracije. Ukupno toplinsko opterećenje iznosi 141 kW, a ogrjevnost instaliranog sustava podnog grijanja iznosi 90 kW. Ostatak toplinskog opterećenja pokriva se sustavom mehaničke ventilacije. U vršnom opterećenju protok ogrjevnog medija u sustavu podnog grijanja iznosi 17,4 m<sup>3</sup>/h. Na temelju toga odabran je pločasti lemljeni izmjenjivač topline Danfoss XB70L-1-50 s ogrjevnim učinkom 120 kW. Dimenzija cijevnog priključka sekundarnog kruga iznosi DN 100, dok je priključak kruga podnog grijanja DN 65. Protok vode kroz izmjenjivač na strani sekundarnog kruga jednak je protoku vode u krugu podnog grijanja. Za cirkulaciju vode između izmjenjivača topline i razdjelnih ormarića koriste se srednje teške bešavne cijevi standardnih dimenzija. Cijevi polazne i povratne ogrjevnice vode prema razdjelnim ormarićima vode se u podu dok se vertikale ugrađuju u zid. U podrumu zgrade nalazi se 6 razdjelnih ormarića s različitim brojem petlji. Od podruma prema prizemlju ukupno je 6



vertikalnih vodova kojima se opskrbljuje 10 razdjelnih ormarića. Prema katu zgrade provedena su tri vertikalna voda kojima se opskrbljuju 4 razdjelna ormarića. Razdjelni ormarići ugrađuju se podžbukno, a koriste se *UPONOR UFH 1,2* ili *3*, ovisno o broju petlji. Unutar razdjelnog ormarića nalaze se *UPONOR Vario S* čelični razdjeljivač i sabirnik vode za petlje podnog grijanja. Prije razdjeljivača i sabirnika ugrađuje se kuglasti ventil. Na razdjeljivaču se nalaze spojevi petlji s instaliranim ventilima te inspekcijskim prozorima sa skalom 0-4 L/s za podešavanje protoka u pojedinoj petlji u svrhu balansiranja krugova. Spojevi na sabirniku opremljeni su *UPONOR Vario S Termopogon ST* koji je zatvoren u stanju mirovanja. Za regulaciju rada termopogona potrebno je osigurati električno napajanje s naponom 24 V. Regulacija termopogona odvija se pomoću upravljačke jedinice, a ulazni signal daje termometar smješten u prostoriji. Petlje podnog grijanja izvode se s polietilenskim cijevima PE-Xa s EVOH slojem za difuziju kisika, a dimenzije cijevi su  $\phi 17 \times 2$  mm. Na 20 razdjelnih ormarića ukupno je spojena 161 petlja podnog grijanja. Pad tlaka u krugu podnog grijanja pokriva se pomoću pumpe smještene na povratni vod kruga podnog grijanja u strojarnici. Najveći pad tlaka u kritičnoj dionici iznosi 33,63 kPa, a projektni protok ogrjevnog medija 17,4 m<sup>3</sup>/h. Na temelju toga odabrana je pumpa proizvođača *Grundfos MAGNA3 50-80F*. Uz navedenu opremu, u sustav je potrebno ugraditi odgovarajuću armaturu uključujući zaporne ventile, nepovratne ventile, filtre i druge komponente koje omogućuju kvalitetan rad sustava uz mogućnost izvrštavanja pojedinih komponenti iz sustava.

## 8.2. Sustav mehaničke ventilacije

Ventilacija zgrade vrši se pomoću tri odvojena sustava tlačno-odsisne ventilacije te jedanaest odvojenih sustava odsisne ventilacije. Prateći prostori ventiliraju se s odvojenim sustavom mehaničke ventilacije, dok se zbog velike razlike u opterećenju za ventilaciju prostorija s malim i velikim bazenom koriste dva dodatna odvojena sustava ventilacije. Proračun potrebnog volumnog protoka zraka za odvlaživanje bazenskih prostora određen je prema normi VDI 2089. Sanitarni čvorovi i tuševi ventiliraju se s odvojenim sustavima odsisne ventilacije.

Prostor s velikim bazenom ventilira se pomoću ventilacijske jedinice proizvođača *Dantherm*, tipa *DanX XWPRS 9* s maksimalnim volumnim protokom dobavnog zraka od 15500 m<sup>3</sup>/h. Ventilacijska jedinica smještena je u prostoriju kompenzacije, ispod samog bazena, koja se nalazi u podrumu zgrade. Projektni volumni protok dobavnog zraka iznosi 14100 m<sup>3</sup>/h, dok

je sustav odsisne ventilacije dimenzioniran s protokom 3% većim od volumnog protoka dobavnog zraka i iznosi 14550 m<sup>3</sup>/h. Ventilacijska jedinica ima ugrađen sustav povrata topline u obliku pločastog rekuperatora, grijač zraka te dva izmjenjivača topline smještena u struju istrošenog i dobavnog zraka, od kojih se ovisno o vanjskim uvjetima, jedan koristi za odvlaživanje zraka dok je drugi izvršten iz pogona. Oba izmjenjivača topline spojena su na ugrađenu dizalicu topline pri čemu se toplina za kondenzaciju radne tvari koristi za zagrijavanje bazenske vode. Kao izvor topline za grijač zraka koristi se voda sekundarnog kruga s temperaturnim režimom 56/50 °C. Kanali za odvođenje istrošenog zraka i dovođenje vanjskog zraka poprečnog su presjeka, a izvode se podstropno kroz strojarnicu prema vanjskom okolišu. Završeci kanala opremljeni su zaštitnim rešetkama i mrežicom radi sprječavanja ulaska nečistoća. Usis vanjskog i ispuh istrošenog zraka izvode se u različitim smjerovima kako bi se spriječilo usisavanje istrošenog zraka. U bazenski prostor zrak se dobavlja pomoću kanala kružnog poprečnog presjeka od kojih se jedan koristi za dobavu zrak na tribine, a drugi za ispiranje staklenih stijena radi sprječavanja kondenzacije. Kanal za ispiranje staklenih stijena smješten je podstropno u podrumu pri čemu se s glavnog razvodnog kanala izvodi 166 fleksibilnih cijevi promjera  $\varnothing 80$  mm koje se vode prema linijskim difuzorima. Za dobavu zraka uz staklene stijene koriste se linijski difuzori proizvođača *Klimaoprema*, tipa *PDI-2-8* s dva istrujna otvora ukupne duljine 41 m i volumnim protokom dobavnog zraka od 8300 m<sup>3</sup>/h. Istrujni otvori ugrađuju se 15 cm udaljeni od staklene stijene. Dobava zraka na tribine izvodi se pomoću jedne vertikale i podstropno smještenog razvodnog kanala, a za distribuciju zraka koristi se devet difuzora tipa *DKZ-315-R-K*, proizvođača *Klimaoprema*. Za odvođenje zraka koristi se deset rešetki tipa *OAB-1-625x425* proizvođača *Klimaoprema*. Rešetke za usis zraka raspoređenje su na dva kanala kružnog poprečnog presjeka koji se ugrađuju podstropno. Dva kanala za odvođenje zraka spajaju se podstropno u jedan kanal koji se dalje pomoću vertikale vode prema ventilacijskoj jedinici smještenoj u podrumu. Sustavom ventilacije upravlja se pomoću osjetnika vlažnosti ugrađenog u prostoriju iznad bazena. U zimskom režimu sustav radi s miješanjem vanjskog i povratnog zraka uz minimalni udio vanjskog zraka od 4200 m<sup>3</sup>/h. Pomiješani zrak u odgovarajućem omjeru vodi se prema pločastom izmjenjivaču topline gdje se zagrijava sa strujom povratnog zraka, dogrijava na dogrijaču do odgovarajućeg stanja i ubacuje u prostor. U ljetnom režimu rada sustav radi sa 100 % vanjskim zrakom koji se prethodno odvlaži na isparivaču, a zatim dogrije do odgovarajućeg stanja i ubacuje u prostor.

Ventilacija prostorije s malim bazenom izvodi se odvojeno od sustava ventilacije velikog bazena zbog velike razlike u opterećenju. Prostor s malim bazenom ventilira se pomoću

ventilacijske jedinice proizvođača *Dantherm*, tipa *DanX XD2* s maksimalnim protokom dobavnog zraka od 1750 m<sup>3</sup>/h. Ventilacijska jedinica smještena je u prostoriju glavnog razvodnog ormara koja se nalazi u podrumu zgrade. Kanali za odvođenje istrošenog zraka i dovođenje vanjskog zraka poprečnog su presjeka i izvode se direktno prema vanjskom okolišu. Položaj i orijentacija otvora na kanalima mora biti takva da se spriječi usisavanje istrošenog zraka. Otvori kanala opremljeni su zaštitnim rešetkama i mrežicama radi sprječavanja ulaska nečistoća. Ventilacijska jedinica sastoji se od pločastog rekuperatora te grijača. Grijač se sastoji od bakrenih cijevi s aluminijskim lamelama, a kao izvor topline koristi se voda iz sekundarnog kruga s temperaturnim režimom 56/50 °C. Kanali za dovod zraka izvode se podstropno, a zrak se u prostor dobavlja pomoću tri istrujna difuzora tipa *DEV-K-400/16*, proizvođača *Klimaoprema*. Odvođenje zraka iz prostorije odvija se pomoću dvije odsisne rešetke tipa *OAB-1-625x325*, smještene iznad površine bazena. Sustavom mehaničke ventilacije upravlja se pomoću osjetnika vlažnosti smještenog u prostoriju s bazenom. U zimskom režimu sustav radi s miješanjem povratnog i vanjskog zraka uz minimalni udio vanjskog zraka od 50 % za zadovoljavanje higijenskog minimuma. Pomiješani zrak prolazi kroz rekuperator topline gdje se zagrijava, a do potrebnog stanja ubacivanja dogrijava se pomoću grijača. U ljetnom režimu rada sustav radi sa 100 % vanjskim zrakom.

Ventilacija pratećih prostora provodi se pomoću odvojenog sustava mehaničke ventilacije s ventilacijskom jedinicom *Geniox 14DRL*. Maksimalni volumni protok dobavnog zraka iznosi 5500 m<sup>3</sup>/h. Ventilacijska jedinica smještena je u prostoriju glavnog razvodnog ormara koja se nalazi u podrumu zgrade. Kanali za odvođenje istrošenog i dovođenje vanjskog zraka pravokutnog su presjeka i izvode se podstropno prema vanjskom okolišu. Kanali za dobavu i odsis zraka kružnog su poprečnog presjeka izuzev glavnog razvodnog kanala koji je pravokutnog poprečnog presjeka. Sustav mehaničke ventilacije pratećih prostora radi sa 100 % vanjskim zrakom uz projektnu vrijednost volumnog protoka dobavnog zraka iznosi 4990 m<sup>3</sup>/h, a povratnog zraka 3520 m<sup>3</sup>/h. Prema prizemlju i katu provedena je po jedna vertikalna tlačna i odsisna ventilacija s pravokutnim poprečnim presjekom kanala. Dobava zraka u prostor ostvaruje se pomoću difuzora za dobavu zraka tipa *DEV-K* sa stropnom ugradnjom, a za odsis istrošenog zraka koriste se rešetke tipa *OAB-1* različitih dimenzija. Regulacija volumnog protoka dobavnog zraka odvija se pomoću *RVP-C* regulacijskih ventila koji se ugrađuju u kanal dobavnog zraka na ulazu u prostoriju. Regulacija položaja zaklopke u ventilu odvija se pomoću CO<sub>2</sub> osjetnika koji se nalazi u prostoriji.

Sanitarni čvorovi i tuševi ventiliraju se s odvojenim sustavom odsisne ventilacije. U zgradi se nalazi sedam odvojenih sanitarnih čvorova te četiri prostorije s tuševima što rezultira ugradnjom jedanaest sustava odsisne ventilacije. Za odvođenje zraka iz prostora koriste se ventili tipa *ZOV*, proizvođača *Klimaoprema* koji se u sanitarne čvorove i tuševe ugrađuju u svaku odvojenu kabinu. Tuševi u sklopu svlačionica u prizemlju nemaju odvojene kabine stoga se odvođenje zraka izvodi pomoću tri ventila. Kanali za odvođenje zraka kružnog su poprečnog presjeka i izvode se skriveno iznad spuštenog stropa. Strujanje zraka ostvaruje se pomoću kanalnih ventilatora tipa *Dospel EURO*, a dimenzije odabranih ventilatora određene su prema potrebnom volumnom protoku i padu tlaka u sustavu. Između ventilatora i otvora za ispuh istrošenog zraka ugrađuje se nepovratna zaklopka tipa *ZPC*, proizvođača *Klimaoprema*. Na otvor za ispuh istrošenog zraka potrebno je ugraditi protukišnu vanjsku rešetku odgovarajućeg promjera radi sprječavanja ulaska vode i nečistoća. Uključivanje ventilatora u sustav odsisne ventilacije povezano je s uključivanjem svjetla u prostoriji pri čemu se elektromotor ventilatora mora zaštititi od pregrijavanja uslijed čestog uključivanja i isključivanja.

### 8.3. Sustav pripreme potrošne tople vode

Sustav pripreme potrošne tople vode izvodi se centralno s akumulacijskim spremnikom pri čemu se kao izvor topline koristi voda sekundarnog kruga s temperaturnim režimo 56/50 °C i električni grijač. Spremnik potrošne tople vode smješten je u strojarnicu koja se nalazi u podrumu zgrade. Volumen spremnika iznosi 1500 L, a temperatura vode na izlazu iznosi 60 °C. Nadopuna spremnika provodi se pomoću cijevnog priključka na mrežu pitke vode s temperaturom 14 °C. U spremniku se nalaze dva izmjenjivača topline od kojih je spiralni izmjenjivač topline spojen na sekundarni krug ogrjevnice vode, dok se električni grijač ugrađuje u gornji dio spremnika i služi za dogrijavanje vode do potrebno 60 °C. Potrebni kapacitet cijevnog grijača iznosi 30 kW, a električnog grijača 5 kW. Zagrijana voda distribuira se prema trošilima uz miješanje s hladnom vodom prije ispust. U periodu ne korištenja zgrade električni grijač se isključuje dok se cijevnim izmjenjivačem voda održava na odgovarajućoj temperaturi kako bi se spriječilo preveliko hlađenje vode.

### 8.4. Sustav zagrijavanja bazenske vode

Za zagrijavanje vode u velikom i malom bazenu koristi se odvojeni izmjenjivač topline spojen na krug obrade bazenske vode. Izmjenjivač topline smješten je u strojarnici koja se nalazi u podrumu zgrade, a kao ogrjevnj medij koristi se voda sekundarnog kruga s temperaturnim režimom 56/50 °C. Na temelju volumena bazena i perioda zagrijavanja bazenske vode odabran je izmjenjivač topline *Danfoss XB70L-1-50* uz projektni ogrjevni učinak od 70 kW. Pad tlaka na strani bazenske vode i sekundarnog kruga iznosi 8,5 kPa, a dimenzije priključaka su DN 50. Protok ogrjevnog medija kroz izmjenjivač topline regulira se na temelju temperature ulaza bazenske vode u izmjenjivač.

## 9. ZAKLJUČAK

Ovim radom provedeno je dimenzioniranje sustava podnog grijanja i mehaničke ventilacije zgrade s dva bazena i pratećim prostorima ukupne korisne površine 3800 m<sup>2</sup> smještene na području grada Zagreba. Veliki bazen površine 400 m<sup>2</sup> smješten je u prizemlju, dok je mali bazen površine 32 m<sup>2</sup> smješten u podrumu zgrade. Projektno toplinsko opterećenje provedeno je prema normi EN 12831:2003, dok se potreban protok zraka za odvlaživanje bazenskih prostora odredio prema normi VDI 2089.

U pratećim prostorima sustav podnog grijanja dimenzioniran je za pokrivanje toplinskog opterećenja uslijed transmisijskih gubitaka, infiltracije vanjskog zraka u zgrade te uslijed pada temperature pri prekidu rada sustava grijanja. Toplinska izolacija vanjske ovojnice i ugradnja kvalitetnih prozora rezultira niskim gubicima topline uslijed transmisije i infiltracije. To dovodi do velikog udjela toplinskog opterećenja zbog prekida rada sustava grijanja u ukupnom toplinskom opterećenju. Iako je proračun proveden u skladu s Normom, velik udio toplinskog opterećenja uslijed prekida rada ukazuje na mogućnost predimenzioniranosti sustava podnog grijanja. Zbog nedovoljne detaljnosti arhitektonskih podloga nije moguće pretpostaviti u koje dijelove prostorije dolazi namještaj ili neki drugi element koji smanjuje površinu za izmjenu topline. Iz tog razloga petlje podnog grijanja dimenzionirane su za pokrivanje cijele prostorije, a zbog niskog toplinskog opterećenja pojedinih prostorija to dovodi do predimenzioniranosti sustava čak i uz najveći razmak među cijevima. Rezultat predimenzioniranosti je malen maseni protok ogrjevnog medija kroz petlju što dovodi do otežane regulacije rada. Uz otežanu regulaciju, velike razlike u protocima ogrjevnog medija kroz petlje rezultiraju velikim razlikama u padu tlaka između petlji što može dovesti do otežanog balansiranja sustava. Kao primjer problema u balansiranju sustava mogu se navesti petlje P.1 i P.3 spojene na razdjelni ormarić R.O.: -1.3. Projektni pad tlaka kroz petlju P.1 iznosi 3 mbar dok kroz petlju P.3 iznosi 131 mbar. Ovakve petlje teško je hidraulički balansirati. U bazenskim prostorima petlje su dimenzionirane za maksimalni ogrjevni učinak, a dio toplinskog opterećenja koji se ne može pokriti sustavom podnog grijanja pokrije se sustavom mehaničke ventilacije. Ukupno je sustavom podnog grijanja instalirano 90 kW ogrjevnog učinka od potrebnih 141 kW.

Sustavi mehaničke ventilacije dimenzionirani su za dobavu svježeg zraka potrebnog za disanje ljudi, dok se u bazenskim prostorima dimenzioniranje provelo prema ventilacijskom zahtjevu za odvlaživanjem. Dimenzioniranje mehaničke ventilacije pratećih prostora provedeno je prema pretpostavci broja osoba uz dovodenje vanjskog zraka od 35 m<sup>3</sup>/h i osobi. Broj osoba u

pratećim prostorima teško je pretpostaviti stoga je dimenzioniranje provedeno uz pretpostavke iz literature. U zgradi postoji velik broj malih prostorija s niskim projektnim vrijednostima dobavnog zraka što dovodi do problema otežane regulacije rada sustava. Ventilacijske jedinice zatvorenih bazena dimenzionirane su prema zahtjevu za odvlaživanjem pri čemu udio vanjskog zraka u struji dobavnog zraka mora biti dovoljan za ostvarivanje higijenskog minimuma. Prema normi VDI 2089, volumni protok dobavnog zraka računa se prema srednjoj vlažnosti najtoplijeg mjeseca u godini. Takav način proračuna rezultira predimenzioniranošću sustava u zimskom režimu rada kada vanjski zrak ima nisku relativnu vlažnost što rezultira manjom potrebnom količinom dobavnog zraka za odvlaživanje.

U ovom radu nije provedena energetska analiza niti usporedba troškova primijene različitih sustava. Ostavlja se prostora za dimenzioniranje sustava ventilacije zatvorenih bazena s korištenjem drugih ventilacijskih jedinica. Tako na primjer, zanimljivo bi bilo vidjeti usporedbu pogonskih troškova odabrane ventilacijske jedinice i jedinice s manjim volumnim protokom dobavnog zraka koja u sebi ima odvlaživač većeg kapaciteta. Odvlaživanjem povratnog i vanjskog zraka u ljetnim mjesecima rezultiralo bi manjom potrebnom dobavnom zraka čime bi se uštedjelo na radu ventilatora. S druge strane, ventilacijska jedinica u zimi radila bi sa sličnim protokom dobavnog zraka što bi olakšalo dimenzioniranje i odabir prikladne ventilacijske jedinice.

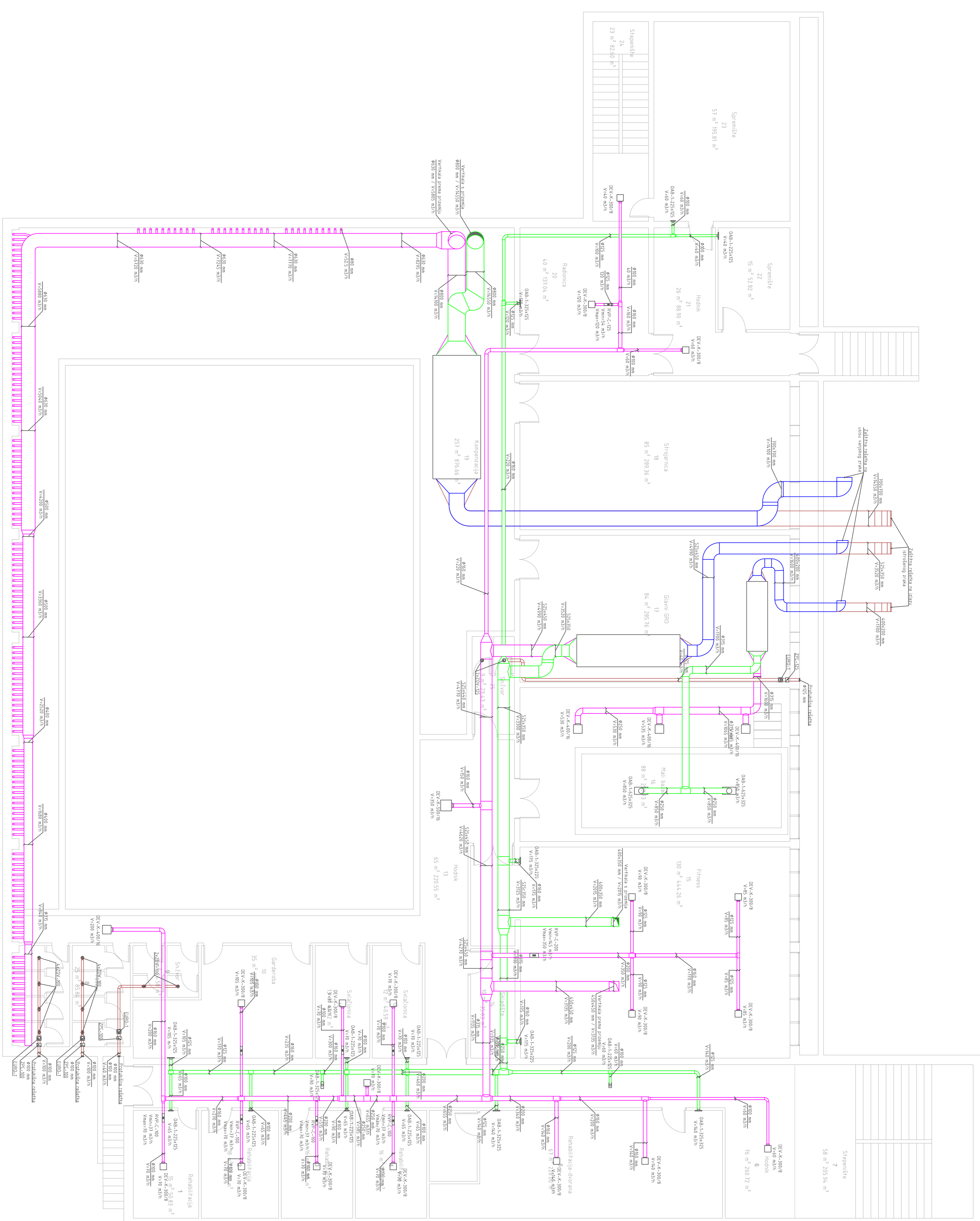
## LITERATURA

- [1] *EN 12831 : Heating systems in buildings - Method for calculatin of design heat load*, 2003.
- [2] *Prilog E : Tablični prikaz meteoroloških veličina, položaja i visina za klimatski mjerodavne meteorološke postaje.*
- [3] »Recknagel, Sprenger: Priručnik za grijanje i klimatizaciju, IRO građevinska knjiga, Beograd, 1982.«.
- [4] *VDI 2089: Building Services in swimming baths indoor pools-Part 1, siječanj 2010..*
- [5] »<https://eko-modul.hr/podno-grijanje/>,« [Mrežno].
- [6] [https://www.proline-systems.com/catalog/en/shop/heating\\_cooling/drywall\\_construction/?page=1](https://www.proline-systems.com/catalog/en/shop/heating_cooling/drywall_construction/?page=1). [Mrežno].
- [7] »Uponor Product Catalogue, Sigurnisni sustavi isporuke pitke vode i energetske učinkovitosti površinskog grijanja i hlađenja, 2016.«.
- [8] »Sustav podnog grijanja-tehnički priručnik, Pipelife, svibanj 2007«.
- [9] »Labudović B., Paić Z., Vuk R.: Priručnik za grijanje, Energetika marketing, Zagreb, rujanj 2005.«.
- [10] »Jauschowitz R.: Herz sustavi toplovodnog grijanja-hidraulika, Herz Armaturen Fes.m.b.H., Beč, 2004«.
- [11] <https://hr.grundfos.com/>.
- [12] »Ruševljan M.: Skripta iz kolegija "Cjevovodi", Sveučilište u Zagrebu, 2011.«.
- [13] »Galaso, I.: Određivanje toplinskog opterećenja prostorije, Sveučilište u Zagrebu, 1992.«.



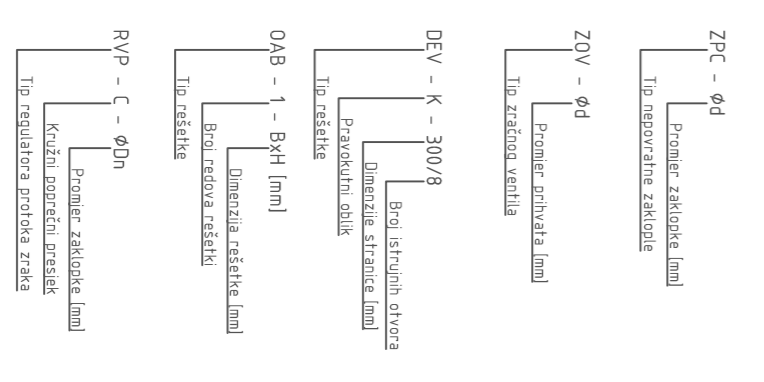
## **PRILOG**

1. CD-R Disc
2. Tehnička dokumentacija



**LEGENDA:**

- Kanal za porovni zrak
- Kanal za dovodni zrak
- Kanal za vanjski zrak











- Napomena:**
- sve cijevi u petljama su dimenzija  $\varnothing 17 \times 2$  mm
  - podzidna ugradnja razdjelnih ormarica
- Oznake petlji podnog grijanja:**
- "R.O." - spoj na razdjelnu ormaricu
  - "P-No" - površinska petlja broj "No" [m<sup>2</sup>]
  - "Dp" - pad tlaka u petlji uključujući i regulacijski ventil [mbar]
  - "T-razmak cijevi [cm]
  - "L-1d" - dužina cijevi u petlji [m]
- Oznaka razdjelnog ormarica:**
- R.O. "Oznaka ormarica"
  - "Protzračak i tip ormarica"
  - Vanjske dimenzije [xkxhB mm]
  - broj priključnih petlji
  - instalirani izvorni učinak [kW]
- Petlja petlje podnog grijanja  
- - - - - Povrat petlje podnog grijanja

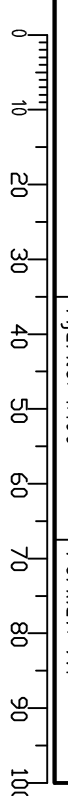
Design by  
**CAD.LGO**

Datum	Ime i prezime	Podpis
Projektirao	Ivan Sotić	
Razradio	Ivan Sotić	
Crtao	Ivan Sotić	
Prigledao		

Objekt: **Tlocrt podnoga**  
 Raspored petlji podnog grijanja

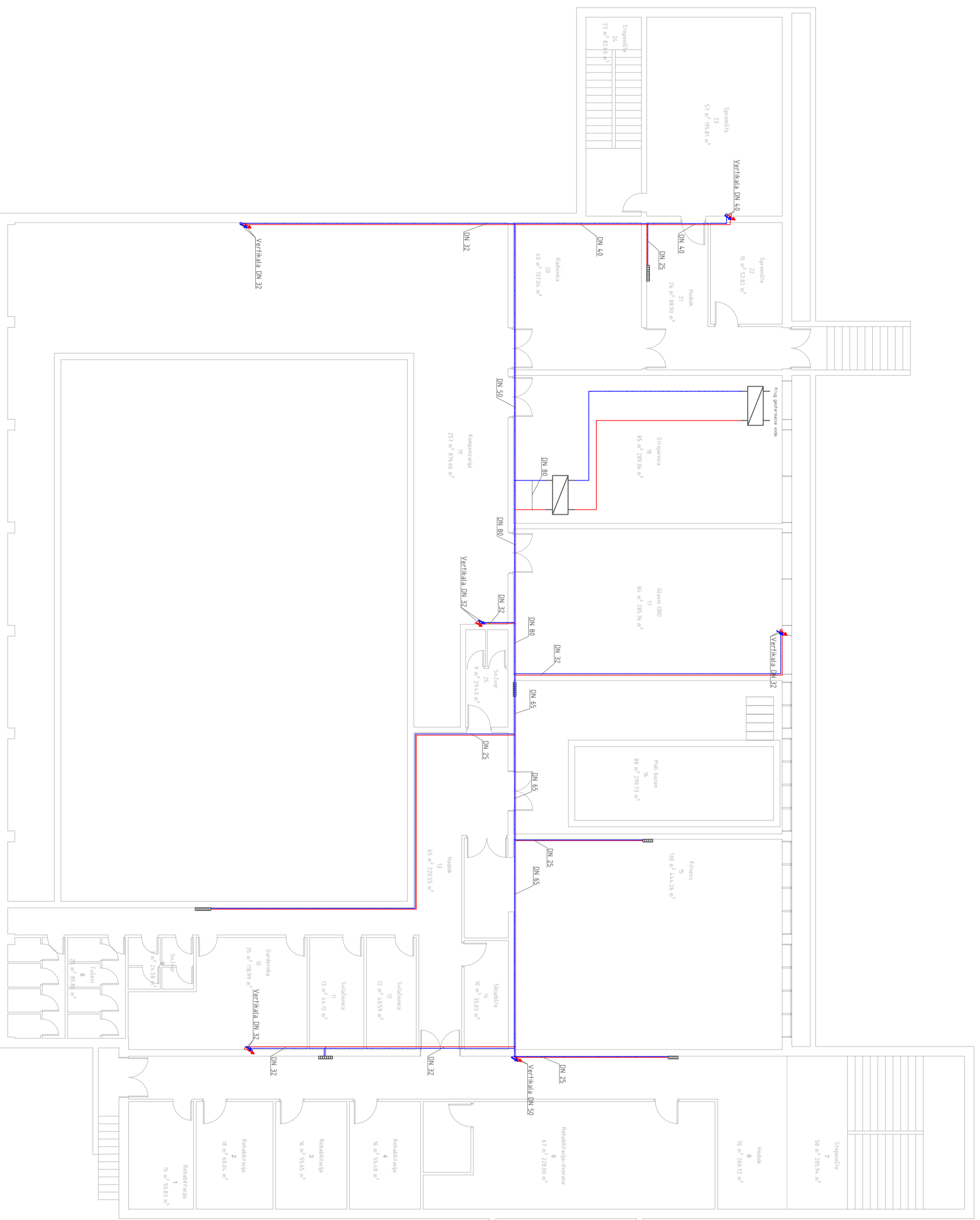
Broj crteža: **8-1-2019**  
 Mjerilo: 1:100  
 Format: A1

**FSB Zagreb**





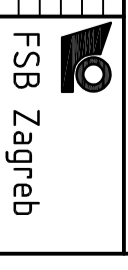




— Plozni cevovod  
 — Povratni cevovod

Design by  
 PAULab

Projekcija	11.1.2019	Ime i prezime	Poljs
Projektant	IVAN SODIĆ		
Projektant	IVAN SODIĆ		
Projektant	IVAN SODIĆ		
Objekt	Tločni podizma- Raspored cijevi	Broj crteže	11-1-2019
		Mjerilo	Format: A2

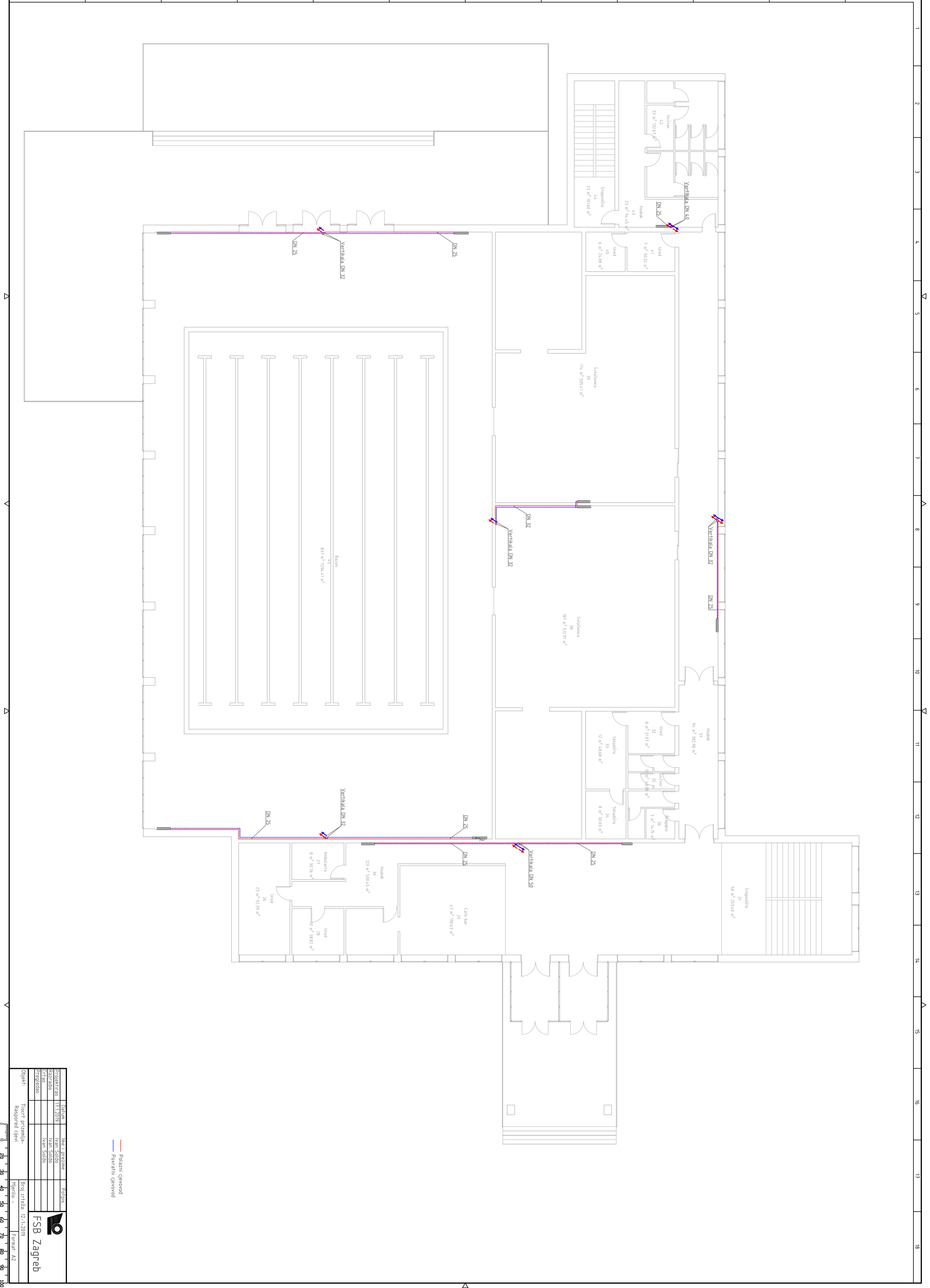


100 90 80 70 60 50 40 30 20 10

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18

A B C D E F G H I J K L





— Palazni gijevod  
— Povratni gijevod

Projekat:	me i prezime	Polis
Projektant:	IVAN SODIĆ	
Projektant:	IVAN SODIĆ	
Projektant:	IVAN SODIĆ	
Objekt:	Tvorit prizemlje - Raspored cijevi	Broj crteže: 12-1-2019
		Mjerilo: -

