

Projekt hlađenja zgrade podatkovnog centra

Tenčić, Matej

Master's thesis / Diplomski rad

2020

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

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:235:349968>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-03-13**

Repository / Repozitorij:

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



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

DIPLOMSKI RAD

Matej Tenčić

Zagreb, 2020.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

DIPLOMSKI RAD

Mentor:

Dr. sc. Marino Grozdek, dipl. ing

Student:

Matej Tenčić

Zagreb, 2020.

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

Zahvaljujem se mentoru prof. dr. sc. Marinu Grozdeku na stručnim savjetima i uloženom vremenu prilikom izrade rada.

Zahvaljujem se Ivanu Horvatu, mag. ing. mech na korisnim savjetima.

Zahvaljujem se obitelji i prijateljima na podršci tijekom čitavog školovanja.

Matej Tenčić



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: **Matej Tenčić** Mat. br.: 0035199047

Naslov rada na hrvatskom jeziku: **Projekt hlađenja zgrade podatkovnog centra**

Naslov rada na engleskom jeziku: **Design of an air conditioning system for data center building**

Opis zadatka:

Za potrebe hlađenja zgrade podatkovnog centra u okolici Grada Zagreba potrebno je izraditi projektno rješenje sustava hlađenja podatkovnih dvorana, telekomunikacijskih prostorija te UPS prostorija u skladu s „Tier III“ zahtjevima prema važećem standardu „Telecommunications Infrastructure Standard for Data Centers“, TIA-942-A.

Rad treba sadržavati:

1. Tehnički opis odabranog rješenja.
2. Proračun toplinskog opterećenja i pada tlaka.
3. Proračun i odabir osnovnih komponenata sustava.
4. Shemu spajanja i automatske regulacije sustava.
5. Dispozicijski crtež strojarnice i ostale relevantne opreme, distribucijskih cjevovoda od strojarnice do potrošača.
6. Troškovnik opreme i radova.

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

Napomena: Svi potrebni podaci i parametri za izradu projekta bit će dogovoreni s mentorom.

Zadatak zadan:
14. studenoga 2019.

Datum predaje rada:
16. siječnja 2020.

Predviđeni datum obrane:
20. – 24.1.2020.

Zadatak zadao:

Izv. prof. dr.sc. Marino Grozdek

Predsjednica Povjerenstva:

Prof. dr. sc. Tanja Jurčević Lulić

SADRŽAJ

SADRŽAJ	I
POPIS SLIKA	II
POPIS TABLICA.....	III
POPIS TEHNIČKE DOKUMENTACIJE	IV
POPIS OZNAKA	V
SAŽETAK.....	VII
SUMMARY	VIII
1. UVOD.....	1
2. TEHNIČKI OPIS ODABRANOG RJEŠENJA.....	4
3. PRORAČUN RASHLADNOG OPTEREĆENJA	27
4. PRORAČUN I ODABIR OSNOVNIH KOMPONENTI SUSTAVA	36
5. TROŠKOVNIK OPREME I RADOVA.....	58
6. ZAKLJUČAK.....	62
LITERATURA.....	63
PRILOZI.....	64

POPIS SLIKA

Slika 1. Raspodjela potrošnje energije data centra [2]	1
Slika 2. NSA data centar, Utah, SAD [3]	2
Slika 3. Tipične prostorije data centra [4]	3
Slika 4. Rack (IT ormar/kabinet) sa serverima [4]	6
Slika 5. Tipičan server [4]	6
Slika 6. Hladnjak procesora [5]	7
Slika 7. Disipacija topline servera [5]	7
Slika 8. Baterijski UPS-ovi [4]	9
Slika 9. Ovisnost vijeka trajanja baterije o temperaturi [4]	10
Slika 10. Hijerarhijski položaj PDU jedinica [4]	10
Slika 11. Transformator [4]	11
Slika 12. Grafički prikaz kategorija zrakom hlađenog data centra [1]	13
Slika 13. CRAH i CRAC jedinice [6]	15
Slika 14. Komponente <i>downflow</i> CRAH jedinice [15]	15
Slika 15. Shematski prikaz klima komore data centra [6]	16
Slika 16. VUF distribucija zraka [7]	16
Slika 17. Strujanje zraka kroz IT opremu [1]	17
Slika 18. Topli i hladni prolaz [1]	17
Slika 19. VOH distribucija zraka [7]	18
Slika 20. CFD simulacija prostorije data centra [8]	19
Slika 21. Tekuće hlađenje data centra [1]	20
Slika 22. Krug rashladne vode [5]	21
Slika 23. Shema „besplatnog hlađenja“ (<i>water side free cooling</i>) [2]	22
Slika 24. Odabrano rješenje sustava	26
Slika 25. Tlocrt prizemlja data centra	27
Slika 26. Tlocrt 2.kata data centra	27
Slika 27. Udjeli osjetnog rashladnog opterećenja	35
Slika 28. Spajanje CRAH jedinice [15]	37
Slika 29. ICS Cool Energy AT-FC-WG/SS 4120 [16]	38
Slika 30. Shema rashladnika kapljevine s integriranim <i>free coolingom</i> [16]	39
Slika 31. SWEP B649 [17]	40
Slika 32. Dimenzije izmjenjivača SWEP B649 [17]	40
Slika 33. <i>Reflex Storatherm</i> HF 2000/R [18]	41
Slika 34. <i>Grundfos</i> NB 100-250/247 EUP AF2ABAQE [20]	44
Slika 35. Radna krivulja pumpe NB 100-250/247 EUP [20]	45
Slika 36. Radna krivulja pumpe NB 150-250/230 EUP AF1ABAQE [20]	46
Slika 37. <i>Grundfos</i> NBE 125-200/226 EUP AF2ABAQE [20]	48
Slika 38. Radna krivulja pumpe NBE 125-200/226 EUP AF2ABAQE [20]	48
Slika 39. <i>Grundfos</i> MAGNA3 80-100 F [20]	49
Slika 40. Radna krivulja pumpe <i>Grundfos</i> MAGNA3 80-100 F [20]	50
Slika 41. <i>Grundfos</i> TPE 150-170/4 A-F-A-BQQE [20]	51
Slika 42. Radna krivulja pumpe <i>Grundfos</i> TPE 150-170/4 A-F-A-BQQE [20]	52
Slika 43. <i>Grundfos</i> NBE 150-250/230 EUP AF1ABAQE [20]	54
Slika 44. Radna krivulja pumpe <i>Grundfos</i> NBE 150-250/230 EUP AF1ABAQE [20]	55
Slika 45. Ekspanzijska posuda <i>Flamco</i> Flexcon M [22]	57

POPIS TABLICA

Tablica 1. Oprema data centra [4].....	4
Tablica 2. Karakteristike UPS jedinica [4].....	8
Tablica 3. Baterijske tehnologije kod UPS-a [4].....	9
Tablica 4. Kategorije zrakom hlađenog data centra [1]	12
Tablica 5. Kategorije vodom hlađenog data centra [1]	14
Tablica 6. <i>Tier III</i> zahtjevi za strojarske instalacije [9].....	24
Tablica 7. Popis prostorija i opreme.....	28
Tablica 8. Osjetno rashladno opterećenje data centra	34
Tablica 9. Rashladno opterećenje opreme data centra	34
Tablica 10. Latentno rashladno opterećenje data centra	35
Tablica 11. Kapaciteti CRAH jedinica.....	36
Tablica 12. Instalirani modeli CRAH jedinica.....	37
Tablica 13. Kapacitet rashladnog sustava	38
Tablica 14. Cjevovod etilen-glikola strojarnica-prizemlje.....	44
Tablica 15. Cjevovod etilen-glikola strojarnica-krov	45
Tablica 16. Cjevovod etilen-glikola u strojarnici.....	46
Tablica 17. Cjevovod rashladne vode strojarnica-data prostor prizemlje	47
Tablica 18. Cjevovod rashladne vode strojarnica-UPS prostor prizemlje	49
Tablica 19. Cjevovod rashladne vode strojarnica-data prostor 2.kat	51
Tablica 20. Cjevovod rashladne vode strojarnica-UPS i telekom prostor desno 2.kat	53
Tablica 21. Cjevovod rashladne vode strojarnica-UPS i telekom prostor lijevo 2.kat	53
Tablica 22. Cjevovod rashladne vode u strojarnici	54
Tablica 23. Troškovnik opreme i radova	58

POPIS TEHNIČKE DOKUMENTACIJE

- 01-20-01 Shema spajanja i automatske regulacije
- 01-20-02 Dispozicija cjevovoda - podrum
- 01-20-03 Dispozicija cjevovoda - prizemlje
- 01-20-04 Dispozicija cjevovoda – 2.kat A
- 01-20-05 Dispozicija cjevovoda – 2.kat B
- 01-20-06 Dispozicija cjevovoda – krov
- 01-20-07 Dispozicija strojarnice

POPIS OZNAKA

Oznaka	Jedinica	Opis
Φ_{vanj}	kW	Rashladno opterećenje kroz vanjsku ovojniciu
k	W/(m ² K)	Koeficijent prolaza topline
A	m ²	Površina
$\Delta\vartheta_{KOR}$	°C	Korigirana temperaturna razlika
$\Delta\vartheta_{LM}$	°C	Korekcija prema geografskoj širini i mjesecu
K	-	Faktor korekcije K
ϑ_P	°C	Temperatura prostorije
ϑ_S	°C	Srednja vanjska temperatura
f	-	Faktor spuštenog stropa s ventilacijom
$\Delta\vartheta_{CLTD}$	°C	Temperaturna razlika rashladnog opterećenja
ϑ_{lj}	°C	Ljetna projektna temperatura
$\Delta\vartheta_{SD}$	°C	Srednji dnevni raspon temperatura
S	-	Faktor S
Φ_{un}	kW	Rashladno opterećenje kroz unutarnju ovojniciu
Φ_{trans}	kW	Transmisijsko rashladno opterećenje
Φ_{rasvj}	kW	Rashladno opterećenje rasvjete
Φ_{ljudi_os}	kW	Rashladno osjetno opterećenje ljudi
Φ_{ljudi_lat}	kW	Rashladno latentno opterećenje ljudi
N_{osoba}	-	Broj osoba
Φ_{oprema}	kW	Rashladno opterećenje opreme
Φ_{IT}	kW	Rashladno opterećenje IT opreme
Φ_{UPS}	kW	Rashladno opterećenje UPS sustava
Φ_{pow}	kW	Rashladno opterećenje distribucije električne energije
$P_{sustava}$	kW	Snaga sustava električne energije
P_{IT}	kW	Ukupna snaga IT sustava
Φ_{tel}	kW	Rashladno opterećenje telekomunikacijske opreme
Φ_{vent_os}	kW	Rashladno osjetno opterećenje ventilacije
ρ	kg/m ³	Gustoća
c_p	J/(kg K)	Specifični toplinski kapacitet
ϑ_V	°C	Temperatura vanjskog zraka
n	h ⁻¹	Broj izmjena zraka prostorije
Φ_{vent_lat}	kW	Rashladno latentno opterećenje ventilacije
r	J/kg	Toplina isparavanja vode
V	m ³ /h	Volumni protok zraka
x_V	kg/kg	Apsolutna vlažnost vanjskog zraka
x_P	kg/kg	Apsolutna vlažnost zraka prostorije
Φ_{os_uk}	kW	Ukupno osjetno rashladno opterećenje

Φ_{lat_uk}	kW	Ukupno latentno rashladno opterećenje
$\Phi_{CRAH_potrebno}$	kW	Potrebni kapacitet CRAH jedinica
n_{CRAH}	-	Broj instaliranih CRAH jedinica
Φ_{CRAH}	kW	Kataloški rashladni kapacitet CRAH jedinice
$\Phi_{chiller}$	kW	Kataloški rashladni kapacitet rashladnika kapljevine
$n_{chiller}$	-	Broj instaliranih rashladnika kapljevine
$\Phi_{chiller_inst}$	kW	Instalirani ukupni kapacitet rashladnika kapljevine
q_m	kg/s	Maseni protok
T_{pol}	°C	Polazna temperatura
T_{pov}	°C	Povratna temperatura
w	m/s	Brzina strujanja
d_u	mm	Unutarnji promjer cijevi
k	mm	Apsolutna hrapavost
ε	-	Relativna hrapavost
Re	-	Reynoldsov broj
η	Pa s	Dinamička viskoznost
λ	-	Faktor trenja
R	Pa/m	Jedinični pad tlaka
$R \cdot L$	Pa	Pad tlaka trenja
ζ	-	Faktor lokalnog otpora
Z	Pa	Pad tlaka lokalnih otpora
V_A	L	Ukupni volumen fluida u sustavu
V_e	L	Volumen širenja
n	-	Faktor širenja
p_e	bar	Projektni krajnji tlak
p_0	bar	Primarni tlak ekspanzijske posude
V_V	L	Dodatni volumen
$V_{n,min}$	L	Minimalni volumen ekspanzijske posude
$V_{exp,prim}$	L	Volumen odabrane ekspanzijske posude

SAŽETAK

Tema ovog rada je hlađenja zgrade podatkovnog (data) centra u okolici Grada Zagreba. Projektom je obuhvaćeno hlađenje podatkovnih dvorana, telekomunikacijskih prostorija te UPS (*Uninterruptible power supplies*) prostorija prema *Tier III* zahtjevima važećeg standarda TIA-942-A. U prvom dijelu rada opisane su karakteristike data centra, oprema data centra, preporučeni uvjeti u prostorima data centra te načini hlađenja. Zatim je proračunato rashladno opterećenje hlađenih prostorija. Kao rješenje odabrane su CRAH (*Computer room air-handling*) jedinice kroz koje struji rashladna voda te hlade zrak u prostoriji s IT opremom. CRAH jedinice povezane su cjevovodom s izmjenjivačima topline u strojarnici, a izmjenjivači topline povezani su cjevovodom s rashladnicima kapljevine (*chillerima*) koji hlade etilen-glikol. U svrhu uštede energije, sustav hlađenja može raditi u načinu „besplatnog hlađenja“ (*free cooling*) kada to omogućuju niske vanjske temperature zraka. Proračunate su i odabrane osnovne komponente sustava: izmjenjivači topline, rashladnici kapljevine i ekspanzijske posude. Dimenzionirane su cijevi i proračunat je pad tlaka. Na kraju rada prikazan je troškovnik opreme i radova. U prilogu se nalazi shema spajanja i automatske regulacije te dispozicijski crtež strojarnice i ostale relevantne opreme, distribucijskih cjevovoda od strojarnice do potrošača.

Ključne riječi:

Podatkovni (data) centar, server, *Tier III*, CRAH jedinica, sustav hlađenja, *free cooling*

SUMMARY

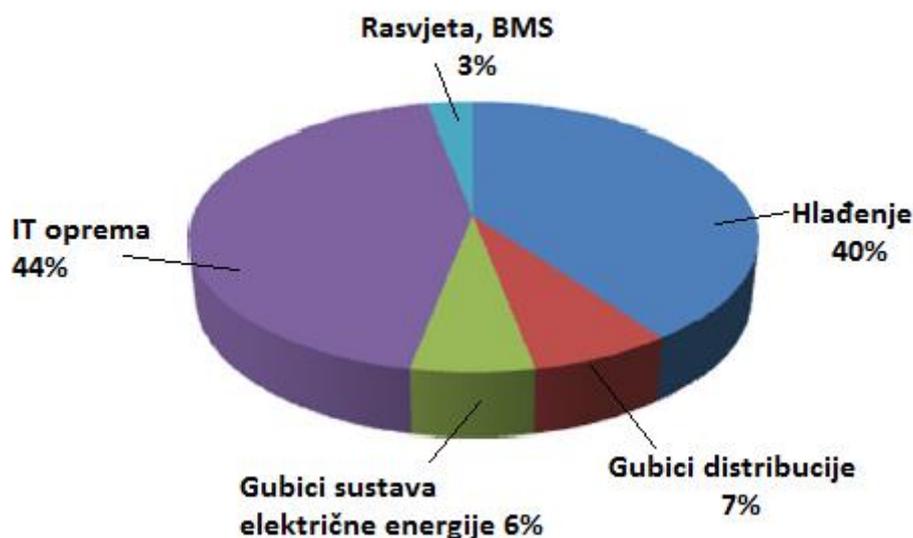
This thesis covers the design of an air conditioning system for data center building near Zagreb, Croatia. Design of heating, ventilation and air conditioning of whole building is not part of this paper, this paper covers air conditioning of data rooms, telecom rooms and UPS (*Uninterruptible power supplies*) rooms according to *Tier III* requirements of standard TIA-942-A. In the first part there is a description of data center, data center equipment, recommended environmental conditions and types of cooling. Data center is cooled by CRAH (*Computer room air-handling*) units which use cooling coil with chilled water to cool air in the IT space. CRAH units are connected with heat exchangers in mechanical room, and heat exchangers are connected with chillers which cool the ethylene glycol. In purpose of energy savings, cooling sytem can work in free cooling mode, when there are low outside air temperatures. In the second part cooling load of rooms is calculated which is basis for choosing CRAH units, heat exchangers, chillers and expansion vessels. In the last part of paper is a equipment and installation cost estimate. Regulation scheme, pipeline drawings and disposition display of mechanical room are given.

Key words:

Data center, server, *Tier III*, CRAH unit, cooling system, free cooling

1. UVOD

Podatkovni (data) centar je zgrada ili prostor unutar zgrade čija je namjena skladištenje računalnih sustava i sličnih komponenti, poput telekomunikacijske opreme i opreme za pohranu podataka. Data centri se uvelike razlikuju od ostalih zgrada: većinu prostora zauzima računalna oprema, opterećenje dana centra je volatilno i tranzijentno zbog toga što se promjene u softveru mogu događati na različite načine poput daljinskog dodavanja i osvježavanja softvera, vijek trajanja računalne opreme i opreme za hlađenje se često razlikuju te gustoća rashladnog opterećenja je 10 puta veća nego kod tipičnih zgrada [1].



Slika 1. Raspodjela potrošnje energije data centra [2]

Data centri su veliki potrošači električne energije. U 2018. u svijetu je potrošeno 20 000 TWh električne energije; od toga 2000 je potrošeno u ICT sektoru, a 200 TWh je potrošeno od strane data centara. Troškovi hlađenja mogu biti 25-40% od ukupnih energetske troškova data centra [2]. Jedan od najvećih data centara na svijetu je data centar od *National Security Agency* (NSA) čija je izgradnja stajala 1,5 milijardi dolara te se u njemu obrađuje komunikacija na mobitelima i društvenim mrežama [3].



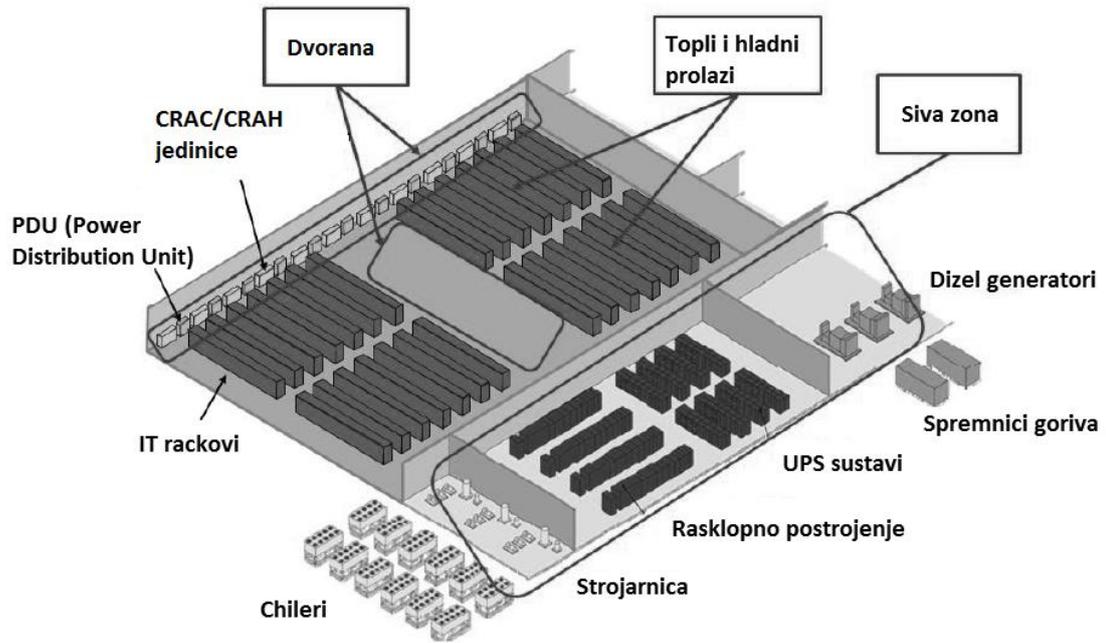
Slika 2. NSA data centar, Utah, SAD [3]

Telekomunikacijska industrija se okreće bežičnoj (wireless) tehnologiji, umjesto klasičnih žičanih veza. Zbog toga što je vijek trajanja opreme kratak, investicijski troškovi data centra su visoki i postoji uzlet *cloud computinga* (pružanje IT infrastrukture poput prostora za pohranu podataka ili usluge softvera putem Interneta), trend je da tvrtke nemaju svoj data centar, nego iznajmljuju prostor u tuđem data centru. Zahtjevi data centra su prostor, električna energija, hlađenje i umrežavanje.

Tipične prostorije u data centru su dvorana, topli prolazi, hladni prolazi i sive zone (Slika 3.). *Rack* je ormar u kojem je smještena IT oprema (serveri). Hladni prolazi su prostor između prednjih površina dva reda IT ormara. Prednja površina ormara je gdje IT oprema dobiva hladni zrak. Hladni zrak se distribuira ispod dignutog poda. Perforirane ploče na podu ispred IT ormara usmjeravaju zrak prema gore na lice svakog ormara. Topli prolazi su prostor između dva reda ormara okrenutim stražnjim stranama jedan prema drugome gdje istrošen zrak iz oba ormara dolazi u zajednički prolaz. Tu se nalaze i najveće temperature podatkovnog centra.

Dvorane su multifunkcionalni prostori podatkovnim centara koji ne sadrže ni hladne ni tople prolaze. Temperature dvorane mogu biti slične temperaturama hladnih prolaza, toplih prolaza ili temperaturi između ovisno o strategiji razmještaja prolaza. Manji volumen rashladnog zraka dolazi u dvorane jer oprema u dvoranama generira manje topline nego IT oprema.

U sivim zonama nalazi se pomoćna IT oprema. Temperatura je ista ili veća od temperatura hladnih prolaza i dvorane. U sive zone dolazi manji volumen zraka u odnosu na dvorane/prolaze jer pomoćna IT oprema generira manje topline od IT opreme i ima veću toleranciju na promjene okolišnih uvjeta.



Slika 3. Tipične prostorije data centra [4]

2. TEHNIČKI OPIS ODABRANOG RJEŠENJA

2.1. Oprema u data centru

U data centrima se nalazi IT oprema (serveri, oprema za pohranu podataka, telekomunikacijska oprema), oprema sustava za opskrbu električnom energijom (razvodne kutije, transformatori, generatori, UPS jedinice, PDU jedinice, rasklopna postrojenja, kablovi..) te oprema za hlađenje (CRAC/CRAH jedinice, cjevovodi, izmjenjivači topline, kanali...). Oprema se razlikuje po vijeku trajanja i lokaciji (Tablica 1.).

Tablica 1. Oprema data centra [4]

Vrsta opreme	Dijeli li prostor s IT opremom?	Lokacija	Vijek trajanja
Generators	NE	Posebna prostorija	20+ godina
Electrical Switch Gear	Ponekad	Dvorana ili siva zona	20+ godina
Transformers	Ponekad	Dvorana ili siva zona	20+ godina
UPS – Rack mount	DA	Dvorana ili hladni prolaz	4 to 8 godina
UPS - floor standing	DA	Dvorana, hladni prolaz ili siva zona	10 to 20 godina
UPS – Central Enterprise - 3,000+ KVA	Ponekad	Dvorana ili siva zona	15 to 20 godina
Flooded Vented Wet Cell Battery Strings	NE	Siva zona – posebna prostorija	15 to 20 godina
Sealed batteries	Ponekad	Dvorana, hladni prolaz ili siva zona	3 to 10 godina
Flywheel UPS	Ponekad	Dvorana, hladni prolaz ili siva zona	15 to 20 godina
Panelboard	Ponekad	Dvorana ili siva zona	20+ godina
Static Transfer Switch	Ponekad	Dvorana, hladni, topli prolaz ili siva zona	20 to 25 godina
Computer Room PDU	Ponekad	Dvorana, hladni, topli prolaz ili siva zona	8 to 20 godina
Remote Power Panel (RPP)	DA	Dvorana, hladni, topli prolaz ili siva zona	8 to 20 godina
Rack PDU	DA	Topli prolaz	8 to 12 godina
Rack ATS	DA	Topli ili hladni prolaz	8 to 12 godina
Power Cable (individual cables)	DA	Topli, hladni prolaz, dvorana ili ispod poda	8 to 20 godina

Power Bus Way (copper bus bar, plug modules into to tap power)	DA	Topli, hladni prolaz, dvorana ili ispod poda	8 to 20 godina
Structured Cabling	Ponekad	Topli, hladni prolaz, dvorana ili ispod poda	Varira
Servers	DA	Hladni prolaz	3 to 8 godina
Storage Arrays	DA	Hladni prolaz	5 to 8 godina
Networking	DA	Hladni prolaz	5 to 10 godina

Vidljivo je da većina električne opreme ima dulji vijek trajanja od IT opreme. Većina električne opreme se hladi prirodnom konvekcijom (osim UPS modula i nekih transformatora), a IT oprema se hladi prisilnim strujanjem zraka pomoću unutarnjih ventilatora promjenjive brzine. Specifikacije električne opreme se razlikuju od specifikacija IT opreme, tako da osiguravanje kompatibilnosti između te dvije vrste opreme nije uvijek jednostavan zadatak usporedbe temperature ambijenta, relativne vlažnosti i temperature rosišta. Oba tipa opreme moraju biti kompatibilna s fizičkim prostorom u kojem se nalaze. Generalno gledajući, električna oprema ima blaže zahtjeve od IT opreme.

2.1.1. IT oprema

Oprema data centra su serveri, telekomunikacijska oprema (*routeri*) i oprema za pohranu podataka. Većina opreme data centra postavlja se u *rackove* (kabinete/ IT ormare) (Slika 4.). Visina IT ormara se izražava u jedinicama U (*units*), a tipična visina ormara je 42 U. 1 U iznosi 44,45 mm visine unutar ormara. Tipični ormar je širok 485 do 600 mm, ovisno o njegovoj konstrukciji [1]. Serveri koji se stavljaju u ormare su većinom širine cijelog ormara (Slika 5.), a visine variraju (1U, 2U, 4U,...).



Slika 4. Rack (IT ormar/kabinet) sa serverima [4]

Serveri se dijele na *General purpose volume* servere koji su visine 1U i 2U te se koriste za široku primjenu. Druga vrsta je *Cloud volume* visine 1U i 2U te imaju karakteristike za specifična radna opterećenja. Treća vrsta je *Special-purpose* čije karakteristike i dimenzije variraju ovisno o primjeni. *Blade* serveri imaju multi-U okvir koji podržava više individualnih servera na jednoj električnoj pločici.



Slika 5. Tipičan server [4]

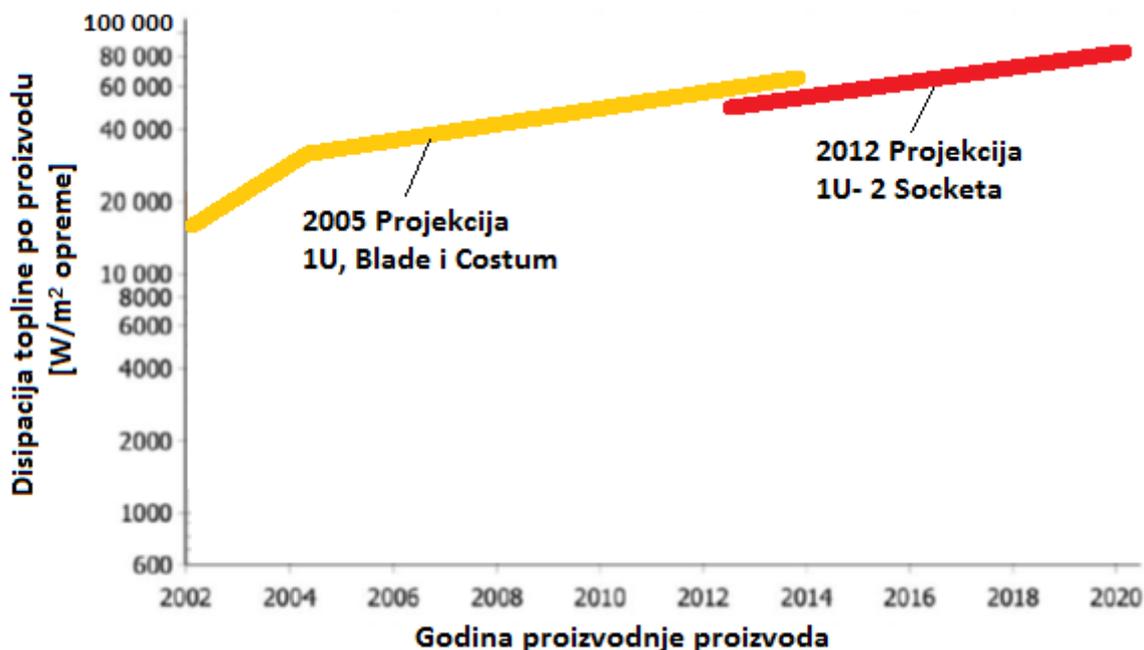
2.1.2. Komponente servera

Većina servera se sastoji od procesora, memorije, *chipseta*, ulaznih/izlaznih jedinica, hard diskova, periferije, naponskih regulatora i napajanja. S obzirom na primjenu, susreću se RAID kontroleri, server management kontroleri, s kondenzatorima i otpornicima. Komponente su smještene na matičnoj ploči. Najviše topline u serveru generira procesor, koji može imati komponente koje ravnomjernije distribuiraju nastalu toplinu (hladnjak procesora) (Slika 6.).



Slika 6. Hladnjak procesora [5]

S obzirom na trendove proizvodnji hardvera, sve više procesorske snage se koncentrira u manji volumen (Mooreov zakon), što donosi poteškoće u hlađenju servera. Izrađene su projekcije disipacije topline za servere do 2020. (Slika 7.) .



Slika 7. Disipacija topline servera [5]

2.1.3. Oprema za opskrbu električnom energijom

Bitna oprema data centra su UPS jedinice (*Uninterruptible Power Supplies*). Uloga UPS-a je opskrba električnom energijom u slučaju da glavni izvor električne energije ne radi. UPS može biti u obliku baterija (trajanje minimalno 15 minuta), zamašnjaka (trajanje 15-30 sekundi) i super-kondenzatora (trajanje manje od minute) koji se razlikuju po tome koliko dugo mogu pružiti električnu energiju. Prema toplinskoj kompatibilnosti, UPS sustavi mogu biti podijeljeni na 3 kategorije: monolitni UPS sustavi/veliki zamašnjački sustavi, distribuirani UPS i BBU (*small battery backup*). Zamašnjaci (0-40°C) mogu tolerirati puno veći temperaturni raspon od baterija (15-25°C) (Tablica 2.).

Prva kategorija je smještena u posebni prostor gdje ne utječe strujanje zraka od IT opreme. Distribuirani UPS su uobičajeno kompatibilni s IT opremom pa su smješteni u istom prostoru s IT opremom. Treća kategorija (BBU) se nalazi u IT opremi (na zadnjem kraju). Tehnologija baterija je olovna ili litij-ionska (Slika 8.).

Tablica 2. Karakteristike UPS jedinica [4]

Karakteristika	Olovna baterija	Super kondenzator	Elektrolitički kondenzator
Vrijeme punjenja	1 - 5 h	0.3 - 30 s	10-3 - 10-6 s
Vrijeme pražnjenja	0.3 - 3 h	0.3 - 30 s	10-3 - 10-6 s
Gustoća energije (Wh/kg)	10 – 100	1 – 10	<0.1
Gustoća snage (W/kg)	<1000	<10 000	<100 000
Broj ciklusa	1000	>500 000	>500 000
Efikasnost punjenja/pražnjenja	0.7 – 0.85	0.85 - 0.98	>0.95
Raspon temperature	15 do 25°C	-40 do 70°C	-40 do 105°C
Vijek trajanja	3 do 20 godina	Za 70°C 1000 h	za 105°C 1000 h

Alternativa baterijama su super-kondenzatori. Najpoznatiji su električni dvoslojni kondenzatori koji imaju velik broj ciklusa s brzim punjenjem, veću gustoću snage, manji su i lakši od baterija, ekološki su, imaju manje troškove održavanja međutim rade na nižim naponima, postoji opasnost od kratkog spoja, potrebno je osigurati niske temperature kod transporta (ne više od 35°C) i osjetljivi su na vlažnost zraka.

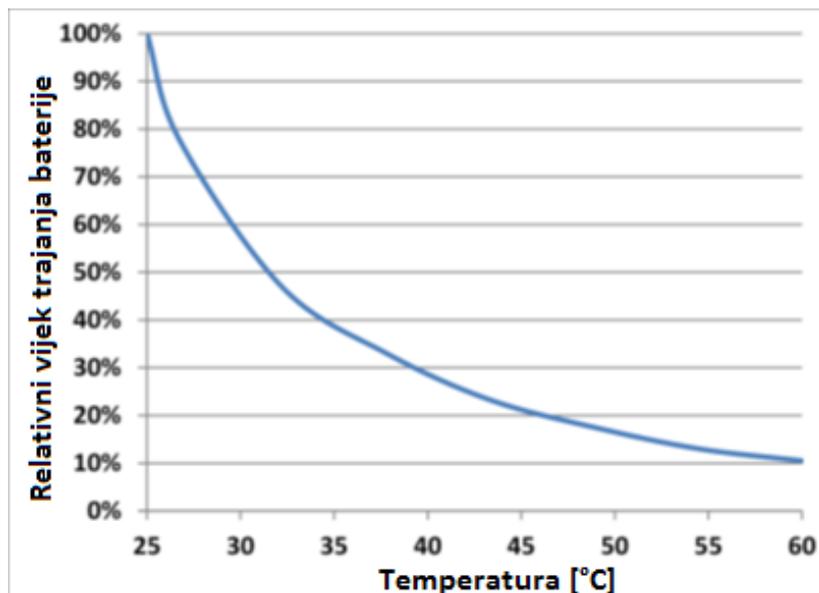


Slika 8. Baterijski UPS-ovi [4]

Dvije najraširenije tehnologije baterija kod UPS sustava su potopljene olovne baterije (*Flooded Vented Wet Cell Lead Acid*) i VRLA olovne baterije (*Valve Regulated Lead Acid*). Litij-ionske baterije još nisu rasprostranjene, ali se očekuje njihov rast na tržištu (Tablica 3.). Posebnu pozornost treba obratiti na dozvoljen raspon temperature jer se bateriji smanjuje životni vijek povećanjem temperature (Slika 9.).

Tablica 3. Baterijske tehnologije kod UPS-a [4]

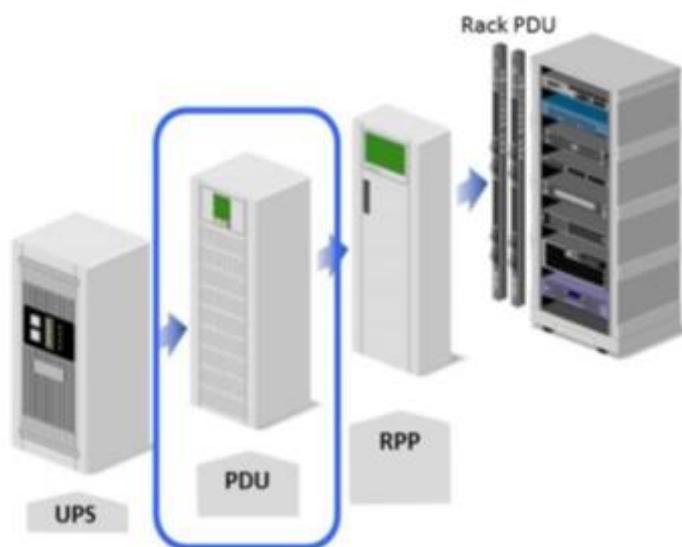
	Potopljena olovna baterija	VRLA olovna baterija	Litij-ionska baterija
Raspon temperature	15 do 25°C	15 do 25°C	-40 do 60°C
Preporučeni vijek trajanja	15 do 20 godina	3 do 10 godina	6 do 20 godina



Slika 9. Ovisnost vijeka trajanja baterije o temperaturi [4]

PDU (*Power Distribution Unit*) služi za distribuciju izmjenične struje ormarima IT opreme te se nalazi u prostoru s IT opremom (Slika 10.). Ima unutarnje transformatore koji spuštaju napon na prikladnu razinu za IT opremu. Većina PDU-a se hladi prirodnom konvekcijom. Prikladne temperature su 0-40°C i relativna vlažnost 10-95%. Potrebno je zabrtviti rupe u podu gdje prolaze kablovi da se spriječi gubitak hladnog zraka.

RPP (*Remote Power Panel*) je distribucijski panel koji ima sve karakteristike kao i PDU jedinice, ali nema transformator. Dozvoljene su temperature 0-40°C i relativna vlažnost 0-95%.



Slika 10. Hijerarhijski položaj PDU jedinica [4]

Transformatori pretvaraju električnu struju zadanog napona u izmjeničnu struju višeg ili nižeg napona (Slika 11.). Koriste se između srednjeg i niskog napona razvodne kutije i u UPS i PDU uređajima. Postoje toplinski gubici transformatora. Transformatori su ograničeni maksimalnom temperaturom transformatorskih zavojnica (koja je funkcija temperature prostora i temperaturnog porasta zbog disipacije električne energije).



Slika 11. Transformator [4]

2.2. Uvjeti temperature i vlažnosti u data centru

2.2.1. Zrakom hlađena oprema

Dulji boravak opreme data centra u uvjetima izvan preporučenih nepovoljno djeluje na opremu. Previsoka temperatura smanjuje pouzdanost i vijek trajanja opreme dok previsoka vlažnost povećava učestalost kvarova opreme. Preniska vlažnost pogoduje elektrostatičkom pražnjenju koje može oštetiti opremu, a preniska temperatura nepotrebno povećava troškove hlađenja. Da bi se to izbjeglo, napravljene su kategorije data centra s obzirom na postignute uvjete (Tablica 4.).

Kategorija A1 je tipična server soba s usko kontroliranom temperaturom prostora, temperaturom rosišta i relativnom vlažnosti. Uređaji prikladni za ovu kategoriju su poslovni serveri i oprema za pohranu podataka.

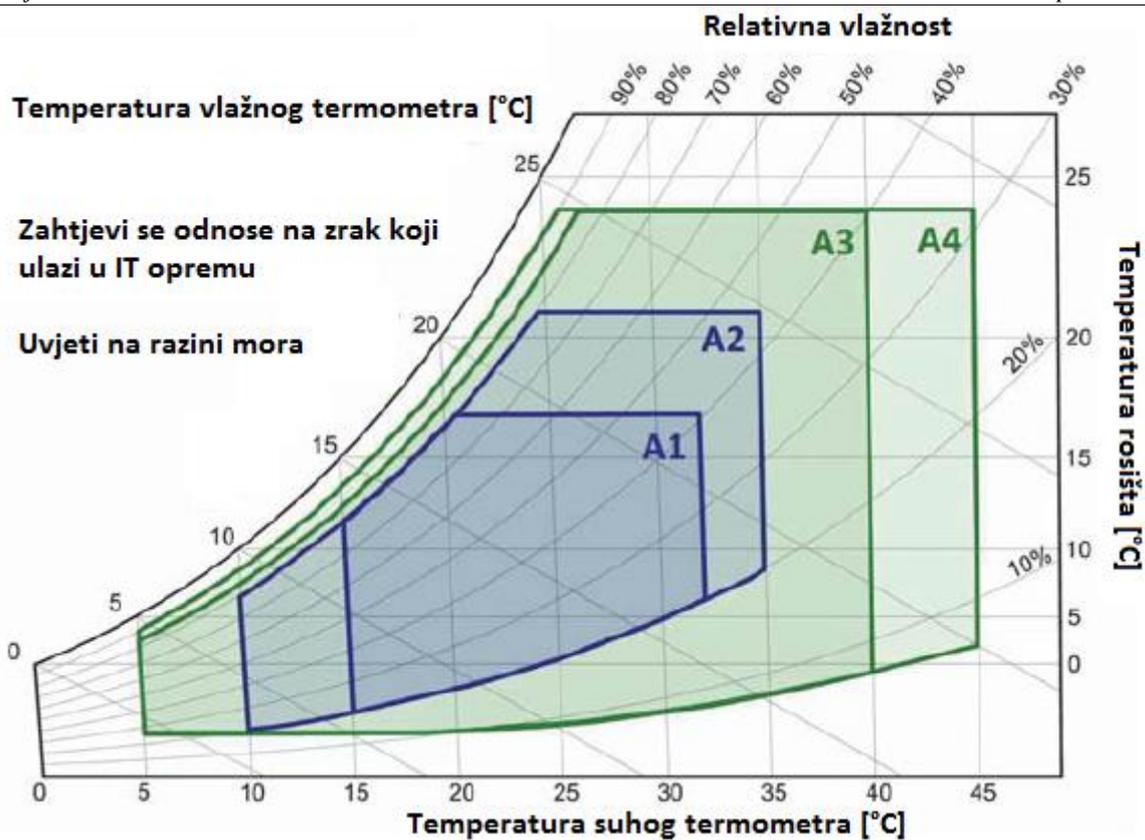
Kategorije A2/A3/A4 imaju kontrolu okolišnih uvjeta rosišta, temperature i vlažnosti. Uređaji prikladni za ovu kategoriju su volumni serveri, oprema za pohranu podataka, osobna računala i radne stanice. Kategorija A2 ima najstrože uvjete dok kategorija A4 ima najblaže uvjete (Slika 12.).

Kategorija B je postignuta u uredu, domu ili transportnom sredstvu gdje se kontrolira samo temperatura prostora. Uređaji prikladni za ovu kategoriju su osobna računala, radne stanice, laptopi i printeri.

Kategorija C je postignuta u prodajnim, industrijskim i tvorničkim okruženjima s zaštitom od vremenskih uvjeta. Uređaji prikladni za ovu kategoriju kontroleri i računala sa zaštitom od ekstremnih uvjeta.

Tablica 4. Kategorije zrakom hlađenog data centra [1]

Kategorija	Temperatura suhog termometra [°C]	Maksimalna temperatura rosišta [°C]	Vlažnost
Preporučeno			
A1-A4	18-27		5,5°C DP do 60% RH i 15°C DP
Dopušteno			
A1	15-32	17	20-80% RH
A2	10-35	21	20-80% RH
A3	5-40	24	-12°C DP i 8-85% RH
A4	5-45	24	-12°C DP i 8-90% RH



Slika 12. Grafički prikaz kategorija zrakom hlađenog data centra [1]

2.2.2. Vodom hlađena oprema

Kategorije W1/W2 su postignute u data centru hlađenom rashladnikom kapljevine (*chillerom*) i rashladnim toranjem, uz moguće korištenje „ekonomajzera“ ovisno o lokaciji data centra. Kategorija W3 je postignuta u data centrima koji većinom mogu raditi bez rashladnika kapljevine. Kategorija W4 je postignuta u data centrima koji rade bez rashladnika kapljevine. Kategorija W5 je postignuta u data centrima koji rade bez rashladnika kapljevine i otpadnu toplinu koriste za grijanje okolnih zgrada (Tablica 5.).

Tablica 5. Kategorije vodom hlađenog data centra [1]

Kategorija	Glava rashladna oprema	Pomoćna rashladna oprema	Polazna temperatura vode [°C]
W1	<i>Chiller</i> /rashladni toranj	-	2-17
W2	<i>Chiller</i> /rashladni toranj	„Ekonomajzer“ na vodenoj strani	2-27
W3	Rashladni toranj	-	2-32
W4	„Ekonomajzer“ na vodenoj strani	-	2-45
W5	Sustav grijanja zgrade	Rashladni toranj	>45

2.3. Zračno hlađenje data centra

Postoji više sustava zračnog hlađenja koji se mogu implementirati u data centar. CRAH (*computer room air-handling*) jedinice („klima-ormar“) i CRAC (*computer room air-conditioning*) jedinice su najčešće korišteno rješenje u data centrima (Slika 13.). CRAH jedinice koriste rashladnu vodu za hlađenje zraka dok CRAC jedinice koriste ljevokretni proces s kompresorom te su dostupne u nekoliko izvedbi poput zrakom hlađene direktne ekspanzije (DX), vodom hlađene direktne ekspanzije i glikolom hlađene direktne ekspanzije.



Slika 13. CRAH i CRAC jedinice [6]

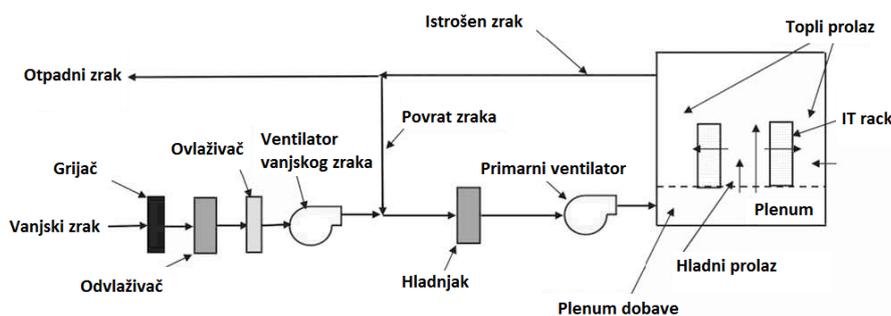


Slika 14. Komponente *downflow* CRAH jedinice [15]

CRAC i CRAH jedinice dostupne su u *downflow* ili *upflow* izvedbama; *downflow* izvedba se koristi kod dovoda zraka ispod poda te ima ulaz istrošenog zraka na vrhu (Slika 14.), dok *upflow* izvedba ima obrnut smjer strujanja. CRAH jedinice se obično nalaze u prostoriji s IT ormarima, ali mogu biti instalirane i u susjednim prostorijama te se u tom slučaju zrak dovodi kanalima do prostorije s IT opremom. Neovisno o smještaju jedinica, potrebno je postaviti senzore vlage i temperature na prikladna mjesta što će omogućiti kontroliranje kvalitete ulaznog zraka u IT opremu.

U sklopu CRAH jedinice mogu se nalaziti parni, infracrveni i ultrazvučni ovlaživač. Može se koristiti grijač u svrhu sušenja kad je zrak previše ohlađen zbog odvlaživanja. Grijeti se može električnim grijačem, vrućom vodom ili parom. Također se može koristiti pregrijana pare iz ljevokretnog procesa [7].

Drugi sustav zračnog hlađenja je centralizirani sustav dobave zraka (klima komora - AHU) koji se tradicionalno koristi u telekomunikacijskim data centrima. Klima komora takvog sustava je smještena na krovu ili u susjedstvu prostorije s IT opremom (Slika 15.).

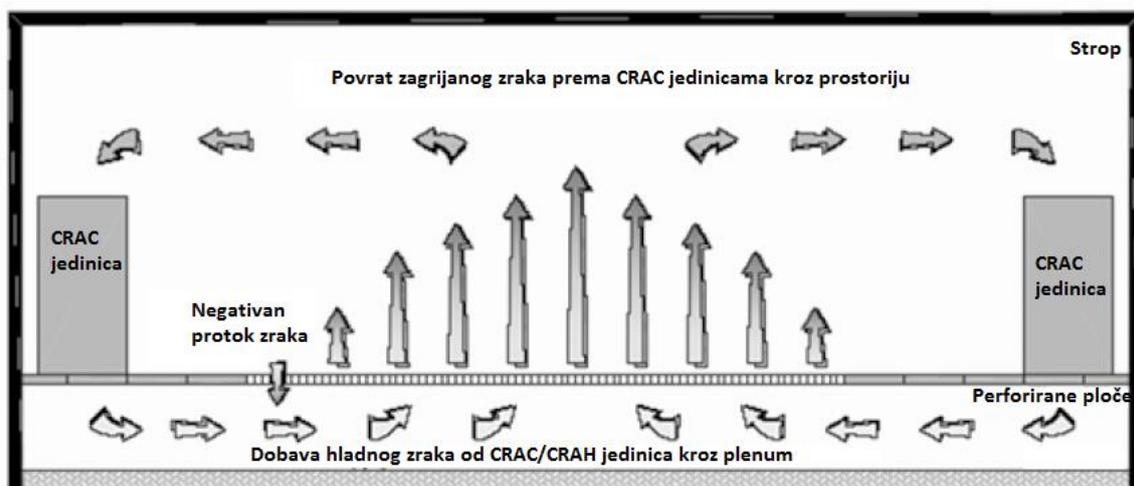


Slika 15. Shematski prikaz klima komore data centra [6]

Sustavi zračnog hlađenja koriste ventilatore s promjenjivom brzinom vrtnje koja se može regulirati prema tlaku ispod poda, diferencijalnom tlaku, temperaturi dobavnog zraka i temperaturi istrošenog zraka.

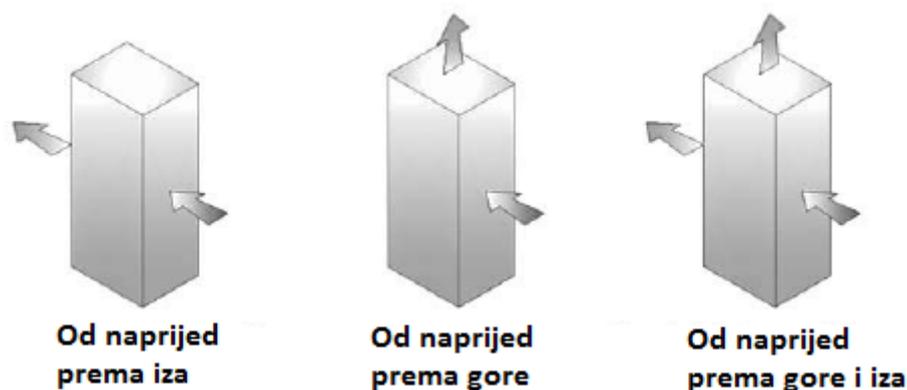
2.3.1. Distribucija zraka

Dobava zraka ispod poda (*Vertical Underfloor* - VUF) je rješenje koje koristi prostor ispod dignutog poda kao veliki plenum (Slika 16.). Pod je dignut 45 do 60 cm [1]. Ova varijanta u teoriji omogućuje jednak tlak zraka u cijeloj prostoriji. Međutim ako se ispod poda nalaze kablovi, cijevi i žice, to može poremetiti dobavu zraka. Zrak se hladi u CRAC/CRAH jedinicama te struji ispod poda do hladnog prolaza (Slika 18.) gdje su instalirane perforirane ploče koje omogućuju dotok zraka do IT opreme. Nakon što zrak prođe kroz IT opremu i zagrije se, vraća se natrag do CRAC/CRAH jedinica kroz prostoriju ili posebnim kanalima iznad IT opreme.



Slika 16. VUF distribucija zraka [7]

Najčešće strujanje zraka kroz IT opremu je od naprijed prema iza, a ostali načini strujanja koriste se kod starije telekomunikacijske opreme (Slika 17.).



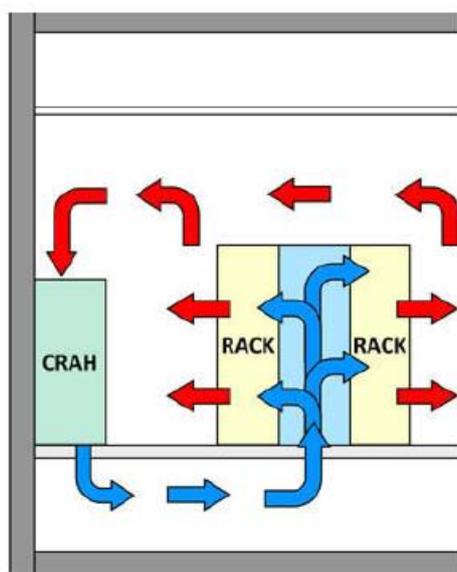
Slika 17. Strujanje zraka kroz IT opremu [1]

Prednosti VUF sustava:

- Fleksibilnost jer se distribucija zraka može mijenjati različitim postavljanjem perforiranih ploča
- Najčešće je korišten u data centrima pa je najpoznatiji inženjerima
- Kompatibilnost s redundantnim projektiranjem strojarских instalacija
- Dignuti pod omogućuje dodatni prostor u kojem se mogu nalaziti kablovi i cijevi

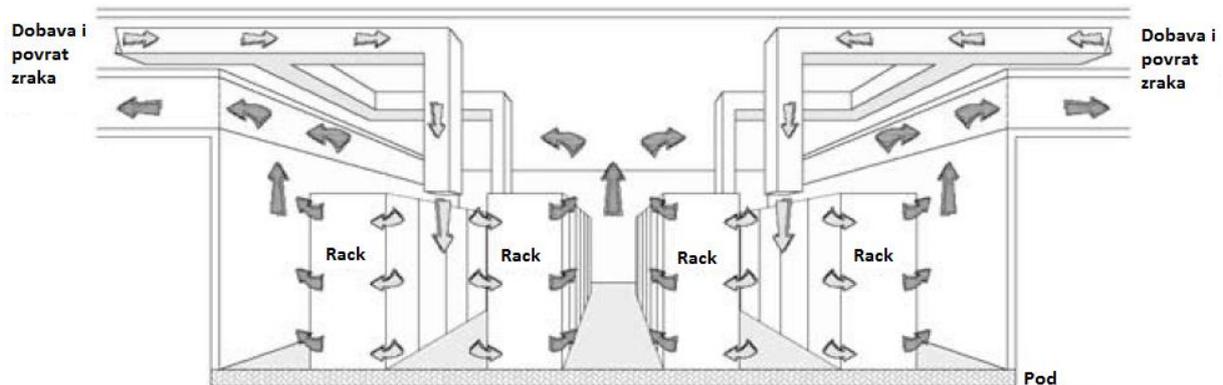
Mane VUF sustava:

- Poteškoće s čišćenjem prostora ispod dignutog poda
- Smetnje strujanju zraka zbog kablova i cijevi ispod dignutog poda
- Teško je postići jednaku raspodjelu tlaka ispod dignutog poda odnosno željeni protok kroz perforirane ploče
- Mogućnost odlaganja neželjenih ili opasnih materijala ispod dignutog poda
- U slučaju da nije postignut dovoljan protok, moguće je postizanje nejednolike temperature u hladnim prolazima



Slika 18. Topli i hladni prolaz [1]

Dobava zraka iznad opreme (*Vertical Overhead – VOH*) zahtijeva kanale koji omogućuju dovoljnu dobavu zraka da se u svakom hladnom prolazu postignu željeni uvjeti. Zrak se priprema u centraliziranim sustavima za dobavu zraka (AHU) ili CRAC jedinicama te struji kanalima do difuzora nakon kojih ulazi u IT opremu. Nakon prolaska kroz IT opremu, zagrijan zrak odlazi u povratne kanale gdje struji do CRAC/AHU jedinice (Slika 19.).



Slika 19. VOH distribucija zraka [7]

Prednosti VOH sustava:

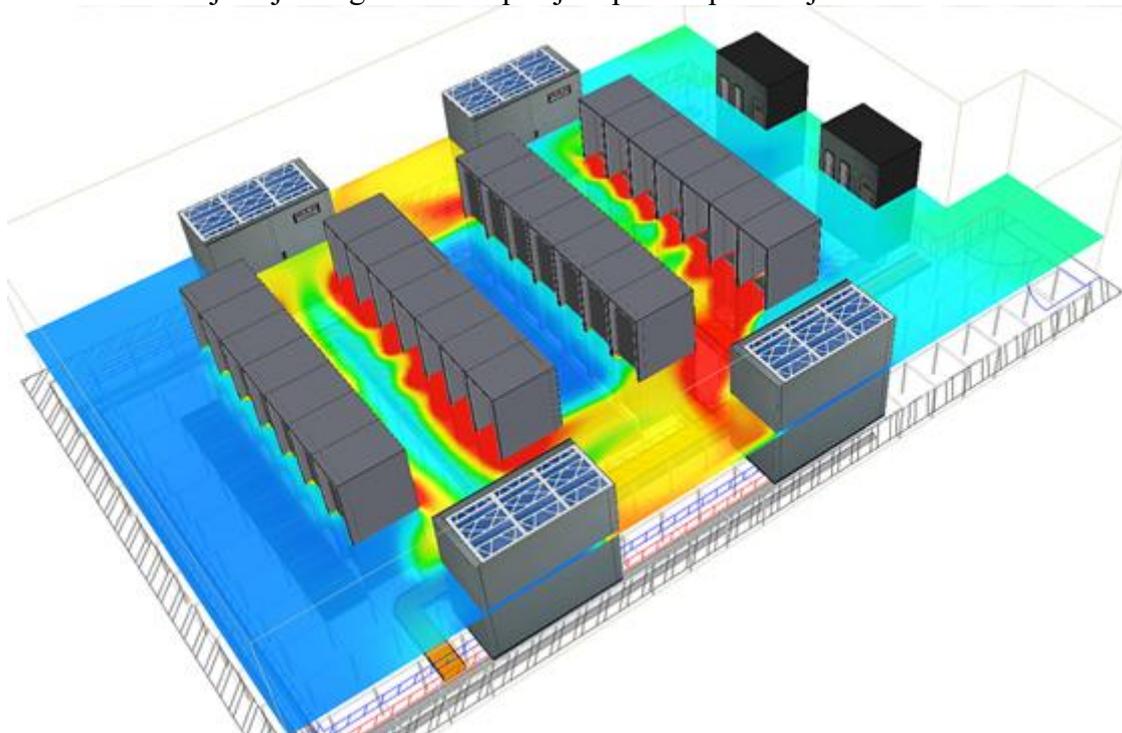
- Kanali mogu biti balansirani što omogućava dobavu zraka samo tamo gdje je potreban
- Velike klima komore (AHU) su efikasnije nego CRAC/CRAH jedinice te omogućuju lakšu implementaciju „ekonomajzera“
- VOH sustav omogućava bolju temperaturnu raspodjelu na ulazima u IT opremu

Mane VOH sustava:

- Potrebno je osigurati dovoljno prostora za kanale
- Balansiranje kanalnog sustava je kompliciranije od postavljanje perforiranih ploča kod VUF sustava
- Brzine strujanja zraka su veće nego kod VUF sustava, što može uzrokovati lošiji komfor osoba koje borave u prostoru

Miješanje zraka se događa kada topli zrak nakon izlaza iz IT opreme dolazi do ulaza zraka u IT opremu, čime se povećava temperatura ulaznog zraka u IT opremu te kada hladan zrak zaobilazi opremu i miješa se s toplim zrakom na izlazu iz IT opreme, čime snižava temperaturu povratnog zraka. Potrebno je spriječiti miješanje zraka jer smanjuje rashladni kapacitet CRAC/CRAH jedinica i snižava energetska efikasnost sustava.

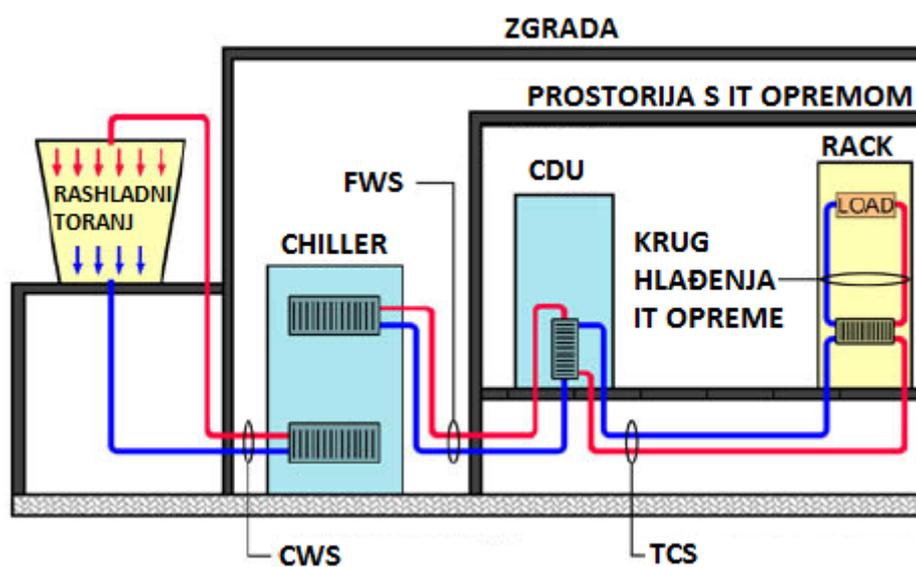
CFD simulacije su koristan alat za predviđanje strujanja zraka u prostoriji. Potrebno je napraviti 3D model prostorije s IT opremom te postaviti ventilatore i kanale, te bilo koje elemente koji bi mogli utjecanje na strujanje zraka. S obzirom da na početku projekta nisu poznati detaljni podaci o IT opremi, potrebno je pretpostaviti te podatke, što unosi određenu grešku u rezultate simulacije. Unatoč tome, simulacija može poslužiti za testiranje različitih načina hlađenja, za usporedbu različitog smještaja IT opreme, rashladne opreme i električne opreme i određivanje najveće gustoće disipacije topline u prostorije.



Slika 20. CFD simulacija prostorije data centra [8]

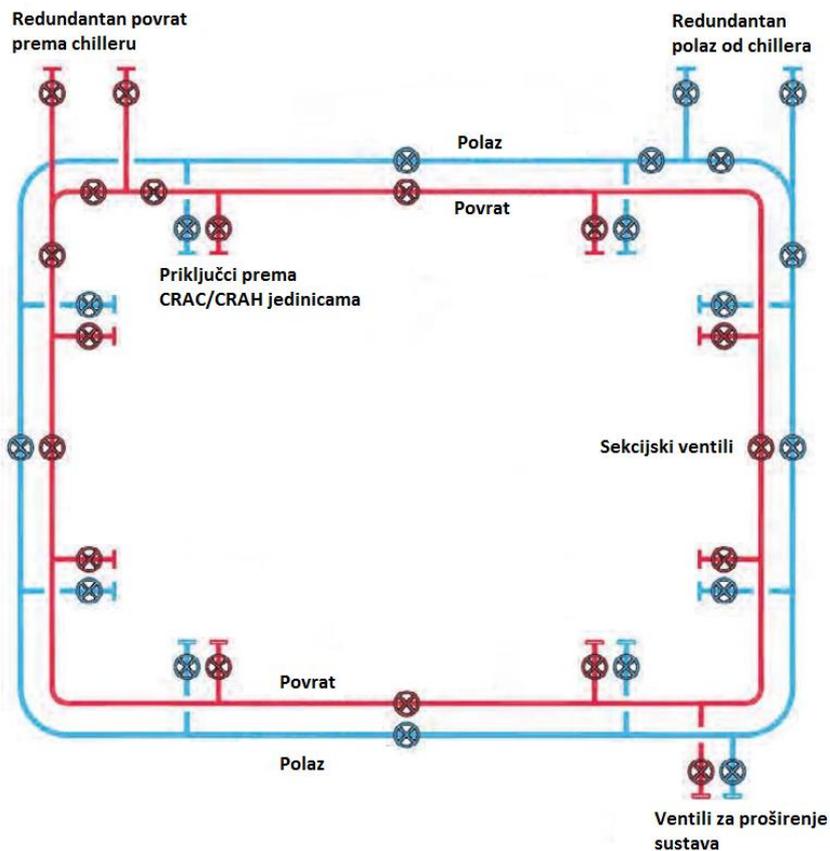
2.4. Tekuće hlađenje

Sustav modularnih soba je najčešći sustav tekućeg hlađenja kod kojeg se tekućina dovodi do izmjenjivača toplote (*cooling distribution unit* - CDU) smještenog u prostoriji s IT opremom ili susjednoj prostoriji (Slika 21.). CDU je cjevovodom povezan s IT opremom (*technology cooling system* - TCS). Osim TCS cjevovoda postoji i FWS (*facilities water system*) i CWS (*condenser water system*) cjevovod. Rashladna tekućina može biti rashladna voda, deionizirana voda ili radna tvar. U većini slučajeva tekuće hlađenje je kombinirano s zračnim hlađenjem. Direktno tekuće hlađenje komponenti je sustav kod kojeg se rashladni medij dovodi direktno do IT opreme. Ovakvi sustavi se koriste kod superračunala te imaju ograničenu komercijalnu primjenu. Kod sustava hlađenja u kupki IT ormar je potpuno uronjen u kupku, a rashladni medij prenosi toplinu na izmjenjivač toplote.



Slika 21. Tekuće hlađenje data centra [1]

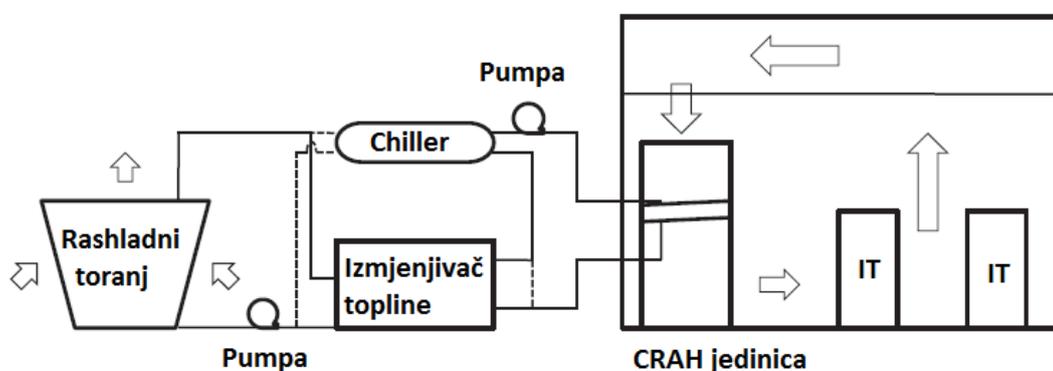
Kod projektiranja hlađenja data centra koji koristi rashladnu vodu za hlađenje, potrebno je cjevovode izvesti na način da omogućuju proširenje ili dodavanje nove opreme bez prestanka rada rashladnog sustava (Slika 22.). Cjevovod je kružni te se na njega spajaju 2 povratne cijevi i 2 polazne cijevi rashladne vode, tako da u slučaju puknuća cjevovoda na jednom dijelu, rashladna voda može doći do CRAC/CRAH jedinica s druge strane kružnog cjevovoda.



Slika 22. Krug rashladne vode [5]

2.5. Free cooling

Free cooling („ekonomajzerski ciklus“) je korištenje vanjskog zraka niske temperature za hlađenje vode (Slika 23.). Tijekom *free cooling* načina rada ne radi kompresor rashladnika kapljevine pa se time šteti električna energija. Na mnogo lokacija rashladni sustav može raditi u *free cooling* načinu rada gotovo 50% sati u godini, a da postigne preporučeni raspon temperature prostora 18-27°C prema [1]. Postoji više načina implementacije *free coolinga*: na strani zraka, na vodenoj strani i *heat pipe*. *Free cooling* na vodenoj strani koristi dodatan krug rashladne vode da ohladi rashladnu vodu data centra. Kad budu postignuti određeni vanjski uvjeti, pale se pompe u sekundarnom krugu i zaobilazi se rad rashladnika kapljevine. Moguć je također rad u djelomičnom opterećenju kad su izmjenjivač topline i rashladnik kapljevine spojeni serijski. Ovakvi sustavi implementirani su u većim data centrima te donose značajne uštede energije.



Slika 23. Shema „besplatnog hlađenja“ (*water side free cooling*) [2]

2.6. TIA-942-A standard

Prema standardu za minimalne zahtjeve telekomunikacijskih i data centara [9], kojeg izdaje *Telecommunications Industry Association*, moraju se zadovoljiti određeni uvjeti u projektiranju telekomunikacijske opreme, arhitektonskom projektiranju, projektiranju električnih instalacija te u projektiranju strojarских instalacija. Postoje 4 kategorije (*Tier*) u koje data centar može pripadati: *Tier I* je osnovna kategorija, *Tier II* ima redundantne komponente, *Tier III* posjeduje određenu održivost dok *Tier IV* je otporan na kvarove.

- *Tier I* strojarских instalacija

Sustav grijanja, hlađenja i klimatizacije ima jednu ili više rashladnih jedinica koje imaju dovoljan rashladni kapacitet za održavanje potrebne temperature i relativne vlažnosti prostora. Ne postoje redundantne jedinice. Puknuće ili popravak cjevovoda uzrokuje djelomično ili potpuno zaustavljanje rada rashladnog sustava.

- *Tier II* strojarских instalacija

Sustav grijanja, hlađenja i klimatizacije ima više rashladnih jedinica koje imaju dovoljan rashladni kapacitet za održavanje potrebne temperature i relativne vlažnosti prostora te postoji jedna redundantna jedinica (N+1). Puknuće ili popravak cjevovoda uzrokuje djelomično ili potpuno zaustavljanje rada rashladnog sustava. Sustav treba biti projektiran tako da omogućuje rad u svakom satu u godini. HVAC oprema treba biti opremljena rezervnim generatorom.

- *Tier III* strojarskih instalacija

Sustav grijanja, hlađenja i klimatizacije ima više rashladnih jedinica koje imaju dovoljan rashladni kapacitet za održavanje potrebne temperature i relativne vlažnosti prostora, te ima dovoljan broj redundantnih jedinica u slučaju kvara/održavanja jedne razvodne kutije. Ako postoji sustav za odbacivanje topline (rashladni toranj), potrebno je projektirati komponente sustava da zadrže tražene uvjete u slučaju kvara/održavanja jedne razvodne kutije. To se može postići priključivanjem dva izvora električne energije k svakoj rashladnoj jedinici ili podjelom rashladnih jedinica između više izvora električne energije. Cjevovodi moraju biti dupli, na način da kvar ili servis dijela cjevovoda neće narušiti rad rashladnog sustava. Sve CRAC/CRAH jedinice trebaju biti povezane s rezervnim generatorom. Rashladna oprema treba imati N+1, N+2, 2N ili 2(N+1) redundanciju, koja će omogućiti da servis jednog dijela opreme neće narušiti rad rashladnog sustava. Ako se koristi rashladna voda, svaki pod-krug cjevovoda treba imati pumpe neovisno o glavnom rashladnom krugu cjevovoda te cjevovodi trebaju biti izolirani. S obzirom da ovaj projekt treba biti projektiran u skladu s *Tier III* zahtjevima, potrebno je ispuniti sve zahtjeve u nastavku (Tablica 6.).

Tablica 6. *Tier III* zahtjevi za strojarske instalacije [9]

Strojarske instalacije	<i>Tier III</i> zahtjevi
OPĆENITO	
Redundantnost strojarske opreme (rashladne jedinice, hladnjaci, pumpe, rashladni tornjevi, kondenzatori)	N+1 redundancija. Privremeni gubitak električne energije neće uzrokovati nestanak hlađenja, ali može uzrokovati porast temperature, ali u dozvoljenom rasponu
Prolaz cijevi vodovoda ili odvodnje kroz prostore data centra	Nije dozvoljeno
Pretlak u prostorijama s IT opremom i pomoćnim prostorijama prema u odnosu na vanjski okoliš i ostale prostorije	Da
Sifoni u prostorijama s IT opremom za kondenzat, vodu ovlaživača i ispušni sustav	Da
Strojarske instalacije povezane s generatorom	Da
VODENO HLAĐENJE	
Unutarnje rashladne jedinice	Broj rashladnih jedinica dovoljan u slučaju gubitka jednog izvora električne energije
Regulacija vlažnosti za prostoriju s IT opremom	Da
Napajanje strojarskih instalacija	Više priključaka električnom energijom na AC opremu
ODBACIVANJE TOPLINE	
Cjevovod	Paralelni cjevovod kondenzatorske vode
Cjevovod rashladne vode	Dupli cjevovod s izolacijskim ventilima
Cjevovod kondenzatorske vode	Paralelni cjevovod kondenzatorske vode
SUSTAV RASHLADNE VODE	
Regulacija vlažnosti za prostoriju s IT opremom	Da
Napajanje strojarskih instalacija	Više priključaka električnom energijom na AC opremu

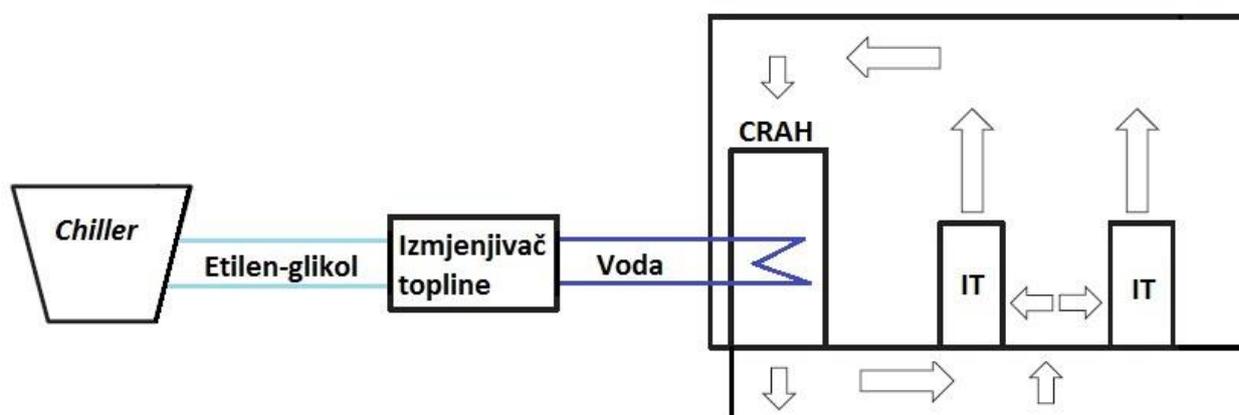
ZRAČNO HLADENJE	
Regulacija vlažnosti za prostoriju s IT opremom	Da
Napajanje strojarских instalacija	Više priključaka električnom energijom na AC opremu
KONTROLA HVAC SUSTAVA	
HVAC kontrolni sustav	Kvar na kontrolnom sustavu neće narušiti hlađenje IT opreme
Napajanje HVAC kontrolnog sustava	Redundantne UPS jedinice
CJEVOVODI (ZA ODBACIVANJE TOPLINE)	
Nadoknada vode	Dva izvora vode ili 1 izvor + 1 spremnik
Pumpe i cjevovodi spremnika	Više pumpi i polaznih cjevovoda
SUSTAV TEKUĆEG GORIVA	
Spremnici goriva	Više spremnika
Pumpe i cjevovodi spremnika	Više pumpi i polaznih cjevovoda
PROTUPOŽARNI SUSTAV	
Sustav detekcije požara	Da
Sprinkler sustav	Da
Plinsko gašenje požara	Da (prema NFPA 2001)
Sustav ranog otkrivanja dima	Da
Detektor zabrtvljenosti cjevovoda	Da

- *Tier IV* strojarских instalacija

Sustav grijanja, hlađenja i klimatizacije ima više rashladnih jedinica koje imaju dovoljan rashladni kapacitet za održavanje potrebne temperature i relativne vlažnosti prostora, te ima dovoljan broj redundantnih jedinica u slučaju kvara/održavanja jedne razvodne kutije. Ako postoji sustav za odbacivanje topline (rashladni toranj), potrebno je projektirati komponente sustava da zadrže tražene uvjete u slučaju kvara/održavanja jedne razvodne kutije. To se može postići priključivanjem dva izvora električne energije k svakoj rashladnoj jedinici ili podjelom rashladnih jedinica između više izvora električne energije. Cjevovodi moraju biti dupli, na način da kvar ili servis dijela cjevovoda neće narušiti rad rashladnog sustava.

2.7. Odabir rješenja sustava

S obzirom na prednosti i mane različitih sustava hlađenja i zahtjeve projektnog zadatka, odabran je rashladni sustav koji koristi CRAH jedinice (Slika 24.). Način distribucije zraka u hladne prolaze je ispod poda kroz perforirane ploče (VUF sustav). Stanje zraka na ulazu u IT opremu kontrolira se osjetnicima temperature i vlage. Nakon prolaska zraka kroz IT opremu, zrak struji do CRAH jedinica gdje se hladi. U CRAH jedinici se nalazi hladnjak kroz koji struji rashladna voda i ventilatori koji usmjeravaju zrak u plenum poda. Hladnjak je povezan cjevovodom do strojarnice, gdje se nalazi izmjenjivač topline. Druga struja izmjenjivača je etilen-glikol, koji struji cjevovodom do rashladnika kapljevine koji su smješteni na krovu i s istočne strane prizemlja data centra. Rashladnici kapljevine imaju mogućnost *free cooling* načina rada.

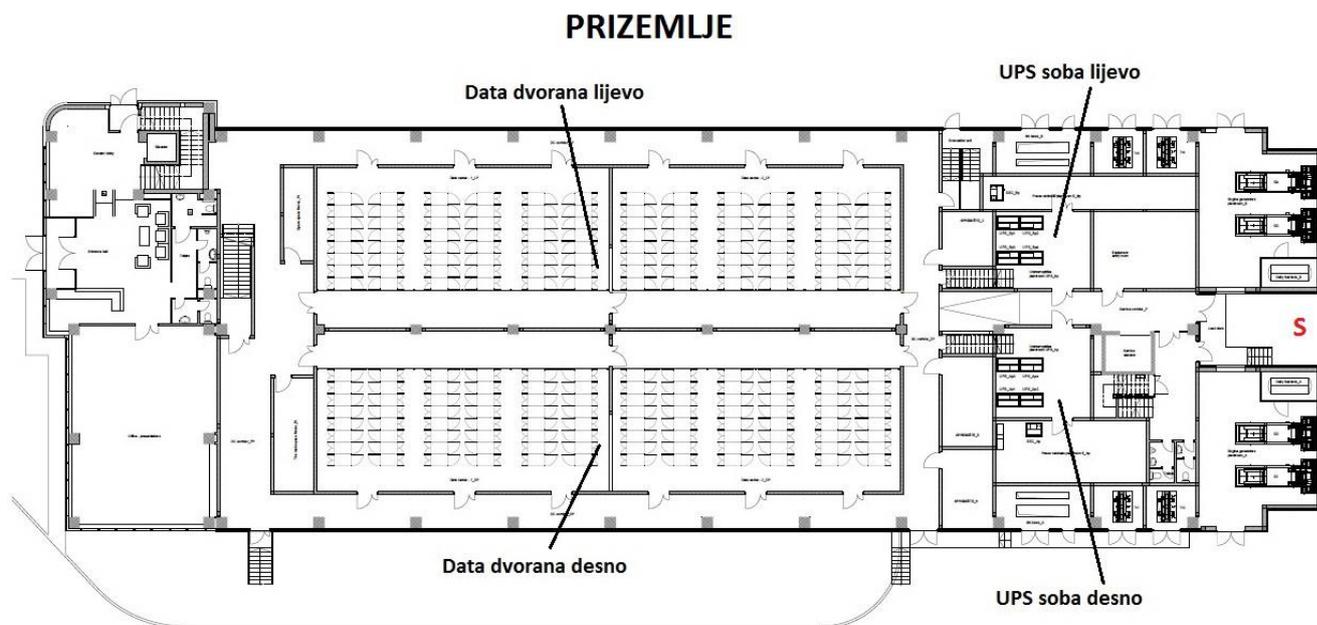


Slika 24. Odabrano rješenje sustava

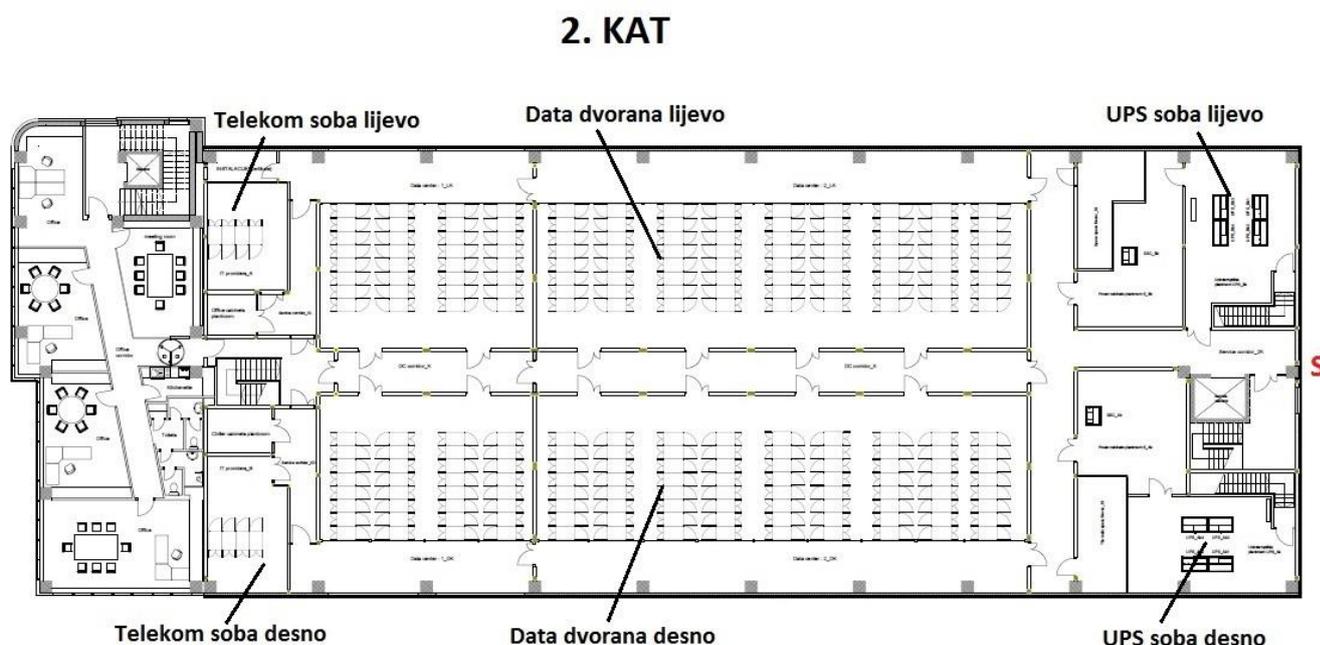
3. PRORAČUN RASHLADNOG OPTEREĆENJA

3.1. Promatrani objekt

Data centar se nalazi u okolici Grada Zagreba. Prostorije data centra koje su predmet ovog projekta su podatkovne dvorane, UPS prostorije i telekomunikacijske prostorije. Data centar se sastoji od podruma, prizemlja, 1.kata, 2.kata i krova. U prizemlju (Slika 25.) se nalaze dvije podatkovne dvorane i dvije UPS prostorije, dok se na 2. katu (Slika 26.) nalaze dvije podatkovne dvorane, dvije UPS prostorije i dvije telekomunikacijske prostorije.



Slika 25. Tlocrt prizemlja data centra



Slika 26. Tlocrt 2.kata data centra

Projektna temperatura svih prostorija je 22°C, a projektna relativna vlažnost 50% što odgovara ASHRAE A1 kategoriji zračno hlađenog data centra (15-32°C i 20-80% relativne vlažnosti). Tražene uvjete potrebno je postići na ulazu u IT ormara. U nastavku je prikazan popis prostorija s IT, UPS i telekom opremom (Tablica 7.).

Tablica 7. Popis prostorija i opreme

Broj prostorije	Naziv prostorije	Površina prostorije [m²]	Broj IT ormara	Broj UPS jedinica	Broj telekom ormara
1	P_Data_dvorana_desno	300	96		
2	P_Data_dvorana_lijevano	300	96		
3	P_UPS_soba_desno	31,68		4	
4	P_UPS_soba_lijevano	27,54		4	
5	2_Data_dvorana_desno	350	104		
6	2_Data_dvorana_lijevano	350	104		
7	2_UPS_soba_desno	47,33		4	
8	2_UPS_soba_lijevano	51,42		4	
9	2_Telekom_soba_desno	32,31			4
10	2_Telekom_soba_lijevano	27			4
	Ukupno	1517,28	400	16	8

3.2. Proračun rashladnog opterećenja

Proračun rashladnog opterećenja provodi se prema [10], s obzirom da postoji prolaz topline kroz krov, vanjske zidove, unutarnje zidove, pod i strop. Rashladno opterećenje rasvjete, ljudi i opreme provodi se prema [11], s obzirom da se radi o specifičnoj zgradi sa specifičnim rashladnim opterećenjem.

Rashladno opterećenje uslijed dobitaka kroz krov i vanjske zidove (vanjsku ovojnici) računa se prema:

$$\Phi_{vanj} = k \cdot A \cdot \Delta\vartheta_{KOR} \text{ [W]} \quad (1)$$

Gdje su:

k – koeficijent prolaza topline krova/zida [W/(m²K)]

A – površina krova/zida [m²]

$\Delta\vartheta_{KOR}$ – korekcija temperaturne razlike rashladnog opterećenja [°C]

Odabrane vrijednosti:

$k_{krov} = 0,68 \text{ W/(m}^2\text{K)}$

$k_{zid} = 1,56 \text{ W/(m}^2\text{K)}$

$\Delta\vartheta_{KOR}$ se računa prema:

$$\Delta\vartheta_{KOR} = [(\Delta\vartheta_{CLTD} + \Delta\vartheta_{LM}) \cdot K + (25,5 - \vartheta_P) + (\vartheta_S - 29,4)] \cdot f \text{ [}^\circ\text{C]} \quad (2)$$

Gdje su:

$\Delta\vartheta_{LM}$ korekcija prema geografskoj širini i mjesecu, očitava se iz tablice [°C]

K – faktor korekcije s obzirom na boju [-]

ϑ_P – temperatura prostorije [°C]

ϑ_S – srednja vanjska temperatura [°C]

f – faktor spuštenog stropa s ventilacijom [-]

$\Delta\vartheta_{CLTD}$ – temperaturna razlika rashladnog opterećenja i očitava se iz tablica za svaki sat u danu, ovisno o strani svijeta [°C]

Odabrane vrijednosti:

$\Delta\vartheta_{LM_krov} = 0,125^\circ\text{C}$

$\Delta\vartheta_{LM_sjever} = 0^\circ\text{C}$

$\Delta\vartheta_{LM_istok} = 0,375^\circ\text{C}$

$\Delta\vartheta_{LM_jug} = 1,775^\circ\text{C}$

$\Delta\vartheta_{LM_zapad} = 0,375^\circ\text{C}$

$K = 1$

$f = 1$

Srednja vanjska temperatura ϑ_s računa se prema:

$$\vartheta_s = \vartheta_{lj} - S \cdot \Delta\vartheta_{SD} \quad [^\circ\text{C}] \quad (3)$$

Gdje su:

ϑ_{lj} - ljetna projektna temperatura [$^\circ\text{C}$]

$\Delta\vartheta_{SD}$ – srednji dnevni raspon temperatura [$^\circ\text{C}$]

S – faktor koji se očitava iz tablice za svaki sat u danu [-]

Odabrane vrijednosti:

$\vartheta_{lj} = 30,7^\circ\text{C}$

$\Delta\vartheta_{SD} = 10,1^\circ\text{C}$

Rashladno opterećenje prostorije uslijed provođenja topline kroz unutarnje zidove, pod i strop (unutarnju ovojnicu) računa se prema:

$$\Phi_{un} = k \cdot A \cdot \Delta\vartheta \quad [\text{W}] \quad (4)$$

Gdje su:

k – koeficijent prolaza topline [$\text{W}/(\text{m}^2\text{K})$]

A – površina [m^2]

$\Delta\vartheta$ –temperaturna razlika prema okolnim prostorima [$^\circ\text{C}$]

Odabrane vrijednosti:

$k_{un_zid} = 0,4 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$

$k_{pod} = 0,6 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$

$k_{strop} = 0,6 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$

Rashladno opterećenje zbog prolaza topline i zračenja Sunca kroz prozor ne postoji, zbog toga što prostorije s IT opremom, UPS prostorije i telekomunikacijske prostorije nemaju prozore, iz razloga da se smanji ukupno rashladno opterećenje.

Ukupno transmisijsko rashladno opterećenje se izračuna tako da se zbroji prolaz topline kroz krov, vanjske zidove, unutarnje zidove, pod i strop za svaki sat u danu, te se uzima vrijednost od najkritičnijeg sata:

$$\Phi_{trans} = \sum \Phi_{vanj} + \sum \Phi_{un} \quad [\text{W}] \quad (5)$$

Rashladno opterećenje uslijed rasvjete računa se prema iskustvenoj formuli:

$$\Phi_{rasvj} = 21,53 \cdot A \text{ [W]} \quad (6)$$

Gdje je:

A – površina prostorije [m^2]

Rashladno osjetno opterećenje uslijed ljudi računa se prema formuli:

$$\Phi_{ljudi_os} = 100 \cdot N_{osoba} \text{ [W]} \quad (7)$$

Rashladno latentno opterećenje uslijed ljudi računa se prema formuli:

$$\Phi_{ljudi_lat} = 70 \cdot N_{osoba} \text{ [W]} \quad (8)$$

Gdje je:

N_{osoba} – broj osoba u prostoriji; u promatranim prostorijama ne borave ljudi, osim u slučaju popravaka opreme, tako da je usvojeno $N_{osoba} = 1$

Rashladno opterećenje uslijed opreme računa se prema formuli:

$$\Phi_{oprema} = \Phi_{IT} + \Phi_{UPS} + \Phi_{tel} + \Phi_{pow} \text{ [W]} \quad (9)$$

Rashladno opterećenje IT opreme računa se zbrajanjem disipacija topline IT ormara prema:

$$\Phi_{IT} = \sum \Phi_{IT_ormar} \text{ [W]} \quad (10)$$

Rashladno opterećenje IT opreme može se izraziti u W/m^2 ili $kW/rack$ [1]. Potonji oblik izražavanja opterećenja je precizniji, međutim na početku projekta moguć je slučaj da nema dovoljno informacija o količini IT ormara. Potrebno je u dokumentaciji proizvođača pronaći podatak o disipaciji topline servera [13], jer snaga servera je maksimalna snaga koju server može povući i ne odražava stvarnu snagu koju server koristi tijekom rada. Disipacija topline jednog 1U servera kreće se od 300 W do 750 W [5]. Za disipaciju topline servera često se koristi mjerna jedinica BTU/h (*British Thermal Unit/h*) gdje je 1 BTU/h = 0,293 W. Za proračun je odabran server disipacije topline 500 W te je smješteno 16 servera u jednom IT ormaru (*rack-u*), što znači da jedan IT ormar odaje prostoru 8 kW topline što odgovara uobičajenim vrijednostima u praksi [14].

Rashladno opterećenje UPS jedinica računa se prema:

$$\Phi_{UPS} = \left(0,04 \cdot P_{sustava} \cdot \frac{A}{A_{uk_UPS}} \right) + \left(0,06 \cdot P_{IT} \cdot \frac{A}{A_{uk_UPS}} \right) \text{ [W]} \quad (11)$$

Rashladno opterećenje opreme za distribuciju električne energije računa se prema:

$$\Phi_{pow} = \left(0,01 \cdot P_{sustava} \cdot \frac{A}{A_{uk}} \right) + \left(0,02 \cdot P_{IT} \cdot \frac{A}{A_{uk}} \right) \text{ [W]} \quad (12)$$

Gdje su:

$P_{sustava}$ = snaga sustava električne energije [W]

P_{IT} = ukupna snaga IT sustava, dobiva se zbrajanjem snaga svih IT ormara [W]

A = površina prostorije [m^2]

A_{uk} = ukupna površina prostorija [m^2]
 $P_{sustava}$ = 4 000 000 W , prema [12]
 P_{IT} = 400 rack · 8000 W/rack = 3 200 000 W

Rashladno opterećenje uslijed telekomunikacijske opreme računa se zbrajanjem disipacija topline telekomunikacijskih ormara, te se uzima 8 kW disipacije topline po ormaru:

$$\Phi_{tel} = \sum \Phi_{tel_ormar} \quad [W] \quad (13)$$

Rashladno osjetno opterećenje uslijed ventilacije računa se prema formuli:

$$\Phi_{vent_os} = \rho \cdot V \cdot c_p \cdot (\vartheta_V - \vartheta_P) \quad [W] \quad (14)$$

Volumni protok zraka računa se prema izrazu:

$$V = \frac{V_{prostorije}}{n} \quad [m^3/h] \quad (15)$$

Gdje su:

ρ = gustoća zraka [kg/m^3]
 V = volumni protok zraka koji se unosi u prostoriju [m^3/h]
 $V_{prostorije}$ = volumen prostorije [m^3]
 n = broj izmjena zraka prostorije, data centri imaju 0-1,5 izmjena zraka na sat prema [7] [h^{-1}]
 c_p = specifični toplinski kapacitet zraka [$Wh/kg \text{ K}$]
 ϑ_V = temperatura vanjskog zraka [$^{\circ}C$]
 ϑ_P = temperatura prostorije [$^{\circ}C$]

Odabrane vrijednosti:

$\rho = 1,14 \text{ kg/m}^3$
 $n = 1 \text{ h}^{-1}$
 $c_p = 0,2794 \text{ Wh/kg K}$
 $\vartheta_V = 35^{\circ}C$

Rashladno latentno opterećenje uslijed ventilacije računa se prema formuli:

$$\Phi_{vent_lat} = \rho \cdot V \cdot r \cdot (x_V - x_P) \quad [W] \quad (16)$$

Gdje su:

ρ = gustoća zraka [kg/m^3]
 V = volumni protok zraka koji se unosi u prostoriju [m^3/h]
 r = toplina isparavanja vode [Wh/kg]
 x_V = apsolutna vlažnost vanjskog zraka [kg/kg]
 x_P = apsolutna vlažnost zraka prostorije [kg/kg]

Odabrane vrijednosti:

$r = 694,45 \text{ Wh/kg}$
 $x_V = 0,0118 \text{ kg/kg}$ za $32^{\circ}C$ i 40% relativne vlažnosti
 $x_P = 0,009 \text{ kg/kg}$ za $22^{\circ}C$ i 50% relativne vlažnosti

Ukupno osjetno rashladno opterećenje računa se prema:

$$\Phi_{os_uk} = \Phi_{trans} + \Phi_{rasvj} + \Phi_{ljudi_os} + \Phi_{oprema} + \Phi_{vent_os} \quad [W] \quad (17)$$

Ukupno latentno rashladno opterećenje računa se prema:

$$\Phi_{lat_uk} = \Phi_{ljudi_lat} + \Phi_{vent_lat} \quad [W] \quad (18)$$

3.3. Rezultati proračuna rashladnog opterećenja

Proračun rashladnog opterećenja proveden je u Excelu. U nastavku (Tablica 8.) su prikazani rezultati proračuna osjetnog rashladnog opterećenja. Vidljivo je da najveći dio nosi oprema data centra s 3760 kW rashladnog opterećenja. Ukupno osjetno rashladno opterećenje iznosi **3854 kW**.

Tablica 8. Osjetno rashladno opterećenje data centra

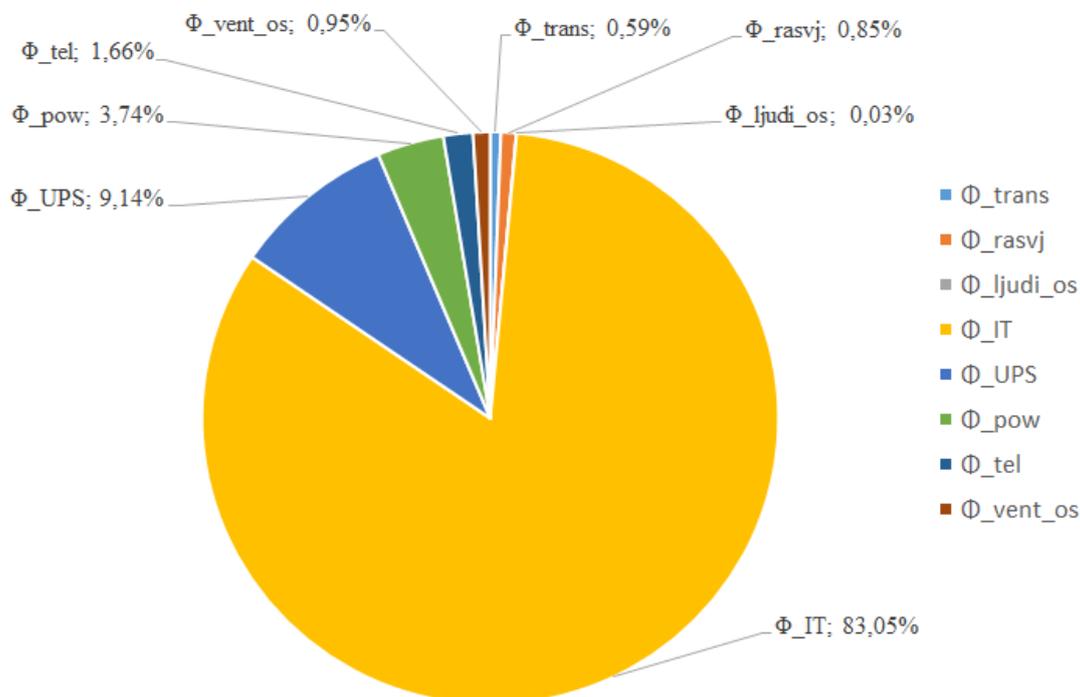
BROJ PROSTORIJE	Φ_{TRANS}	Φ_{RASVJ}	Φ_{LJUDI_OS}	Φ_{OPREMA}	Φ_{VENT_OS}	$\Sigma\Phi_{OS_UK}$
	kW	kW	kW	kW	kW	kW
1	0,00	6,46	0,10	796,47	7,64	810,67
2	0,00	6,46	0,10	796,47	7,64	810,67
3	0,00	0,68	0,10	73,60	0,51	74,89
4	0,00	0,59	0,10	63,98	0,44	65,11
5	7,83	7,54	0,10	865,22	8,91	889,60
6	7,83	7,54	0,10	865,22	8,91	889,60
7	2,72	1,02	0,10	109,96	0,75	114,55
8	2,51	1,11	0,10	119,46	0,82	123,99
9	1,39	0,70	0,10	35,07	0,55	37,81
10	0,60	0,58	0,10	34,56	0,46	36,31
UKUPNO	22,90	32,67	1,00	3760,00	36,64	3854

U nastavku (Tablica 9.) dan je detaljan prikaz rashladnog opterećenja opreme koji se sastoji od opterećenja IT ormara, opterećenja UPS jedinica, opterećenja telekomunikacijskih jedinica i opterećenja sustava za distribuciju električne energije. Vidljivo je da najveći dio nosi rashladno opterećenje IT ormara (*rackovi*) s **3200 kW** rashladnog opterećenja.

Tablica 9. Rashladno opterećenje opreme data centra

BROJ PROSTORIJE	Φ_{IT}	Φ_{UPS}	Φ_{TEL}	Φ_{POW}	$\Sigma\Phi_{OPREMA}$
	kW	kW	kW	kW	kW
1	768,00	0,00	0,00	28,47	796,47
2	768,00	0,00	0,00	28,47	796,47
3	0,00	70,59	0,00	3,01	73,60
4	0,00	61,37	0,00	2,61	63,98
5	832,00	0,00	0,00	33,22	865,22
6	832,00	0,00	0,00	33,22	865,22
7	0,00	105,46	0,00	4,49	109,96
8	0,00	114,58	0,00	4,88	119,46
9	0,00	0,00	32,00	3,07	35,07
10	0,00	0,00	32,00	2,56	34,56
UKUPNO	3200,00	352,00	64,00	144,00	3760,00

Iz navedenih podataka vidljivo je da ukupnim osjetnim rashladnim opterećenje dominira rashladno opterećenje IT ormara s **83%** (Slika 27.).



Slika 27. Udjeli osjetnog rashladnog opterećenja

U nastavku (Tablica 10.) je dan prikaz latentnog rashladnog opterećenja data centra iz kojeg je vidljivo da ukupno latentno rashladno opterećenje iznosi 41 kW. Latentno rashladno opterećenje bitno je za odabir komponenti klima-komore.

Tablica 10. Latentno rashladno opterećenje data centra

BROJ PROSTORIJE	Φ_{LJUDI_LAT}	Φ_{VENT_LAT}	$\Sigma\Phi_{LAT_UK}$
	kW	kW	kW
1	0,07	8,33	8,40
2	0,07	8,33	8,40
3	0,07	0,55	0,62
4	0,07	0,48	0,55
5	0,07	9,71	9,78
6	0,07	9,71	9,78
7	0,07	0,82	0,89
8	0,07	0,89	0,96
9	0,07	0,60	0,67
10	0,07	0,50	0,57
UKUPNO	0,70	39,93	41

4. PRORAČUN I ODABIR OSNOVNIH KOMPONENTI SUSTAVA

Prema standardu TIA-942-A kategorije *Tier III* data centra [9], potrebno je da rashladni sustav ima N+1 redundanciju, što znači da uz broj CRAH jedinica koje pokrivaju izračunato rashladno opterećenje prostorije potrebno imati još jednu dodatnu CRAH jedincu u svakoj prostoriji. Ista analogija vrijedi i za rashladnik kapljevine. Cjevovodi moraju biti dvostruki da u slučaju kvara, servisa ili popravka sustav hlađenja može nastaviti raditi neometano. Potrebno je instalirati osjetnike temperature i relativne vlažnosti u hladne prolaze te ih povezati sa sustavom regulacije, da se osiguraju traženi uvjeti i temperature prema ASHRAE-ovim kategorijama data centra.

4.1. Odabir CRAH jedinica

S obzirom na izračunato rashladno opterećenje prostorija, dimenzioniraju se CRAH jedinice svake prostorije (Tablica 11.). Potreban rashladni kapacitet CRAH jedinice računa se prema izrazu u nastavku, zbog toga što se rashladno osjetno opterećenje uslijed ventilacije pokriva hladnjakom koji se nalazi u dobavnom kanalu klima-komore:

$$\Phi_{CRAH_potrebno} = \Phi_{os_uk} - \Phi_{vent_os} \quad [W] \quad (19)$$

Odabran proizvođač CRAH jedinica je *Airedale* [15]. Potrebno je napomenuti da se u trgovačkom žargonu i CRAH i CRAC jedinice označavaju s CRAC. Odabrane su jedinice s 112,7 kW, 105,3 kW, 42,3 kW i 21,7 kW. Zbog N+1 redundancije, broj potrebnih jedinica u prostoriji računa se prema:

$$n_{CRAH} = (\Phi_{CRAH_potrebno} / \Phi_{CRAH}) + 1 \quad [W] \quad (20)$$

Gdje su:

Φ_{CRAH} = kataloški rashladni kapacitet CRAH jedinice [kW]

n_{CRAH} = broj instaliranih CRAH jedinica [-]

Ukupni instalirani kapacitet CRAH jedinica iznosi **4647 kW**.

Tablica 11. Kapaciteti CRAH jedinica

BROJ PROSTORIJE	$\Sigma\Phi_{OS_UK}$	Φ_{VENT_OS}	$\Phi_{CRAH_POTREBNO}$	Φ_{CRAH}	N_{CRAH}	Φ_{CRAH_UK}
	kW	kW	kW	kW	-	kW
1	810,67	7,64	803,03	105,3	9	947,7
2	810,67	7,64	803,03	105,3	9	947,7
3	74,89	0,51	74,38	42,3	3	126,9
4	65,11	0,44	64,67	42,3	3	126,9
5	889,60	8,91	880,69	112,7	9	1014,3
6	889,60	8,91	880,69	112,7	9	1014,3
7	114,55	0,75	113,80	42,3	4	169,2
8	123,99	0,82	123,17	42,3	4	169,2
9	37,81	0,55	37,26	21,7	3	65,1
10	36,31	0,46	35,85	21,7	3	65,1
UKUPNO	3854	36,64	3817		56	4647

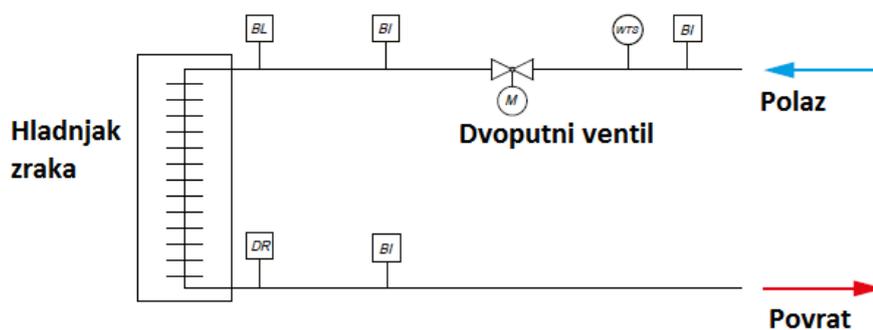
Odabrane CRAH jedinice (Tablica 12.) su *downflow* izvedbe te imaju frekventno upravljane ventilatore. Također sadrže i električne grijače koji zagrijavaju zrak koji prethodno kondenzira na stijenci hladnjaka. Za rashladne sustave s frekventno upravljanim pumpama koristi se dvoputni ventil u polaznom cjevovodu rashladne vode (Slika 28.).

Tablica 12. Instalirani modeli CRAH jedinica

BROJ PROSTORIJE	Φ_{CRAH}	N_{CRAH}	MODEL
	kW	kW	
1	105,3	9	SD18D110-CH00-0
2	105,3	9	SD18D110-CH00-0
3	42,3	3	SR09D040-C000-0
4	42,3	3	SR09D040-C000-0
5	112,7	9	SD18D115-CL00-0
6	112,7	9	SD18D115-CL00-0
7	42,3	4	SR09D040-C000-0
8	42,3	4	SR09D040-C000-0
9	21,7	3	SN09D020-C000-0
10	21,7	3	SN09D020-C000-0
UKUPNO		56	

Podaci o u katalogu pretpostavljaju povratnu temperaturu zraka 24°C, relativnu vlažnost 45% te rashladnu vodu režima 8/13°C.

Potrebno je odabrati temperaturni režim rashladne vode tako da se zadovolji rashladni kapacitet CRAH jedinica, ali i da se izbjegne nepotrebna kondenzacija vlage. S obzirom da je rashladno opterećenje data centra dominantno osjetno, temperature vode mogu biti relativno visoke (15°C). S druge strane, korištenje niže temperature vode omogućuje manji protok vode, što smanjuje troškove električne energije pumpe. Preniske temperature vode mogu dovesti do smanjenja temperature stijenke hladnjaka ispod temperature rosišta, što može imati za posljedicu nepotrebno trošenje energije za odvlaživanje/ovlaživanje.



Slika 28. Spajanje CRAH jedinice [15]

4.2. Odabir rashladnika kapljevine

Ukupni rashladni kapacitet CRAH jedinica iznosi 4647 kW (N+1 redundancija). Međutim rashladnici kapljevine trebaju pokriti rashladno opterećenje sustava, a ne instalirani kapacitet CRAH jedinica. Prema tome rashladni kapacitet rashladnika kapljevine treba biti 3854 kW. S obzirom da je prema *Tier III* kategoriji potrebno zadovoljiti N+1 redundanciju rashladnog sustava, znači da je na ukupni broj rashladnika kapljevine potrebno dodati još jedan rashladnik kapljevine. Odabran proizvođač rashladnika kapljevine je *ICS Cool Energy* (Slika 29.). Odabran je model AT-FC-WG/SS 4120 rashladnog kapaciteta 351 kW [16]. Potrebno je ukupno 12 rashladnika kapljevine da bi se postigla N+1 redundancija sustava (Tablica 13.). Ukupni instalirani kapacitet rashladnika kapljevine iznosi **4212 kW**.

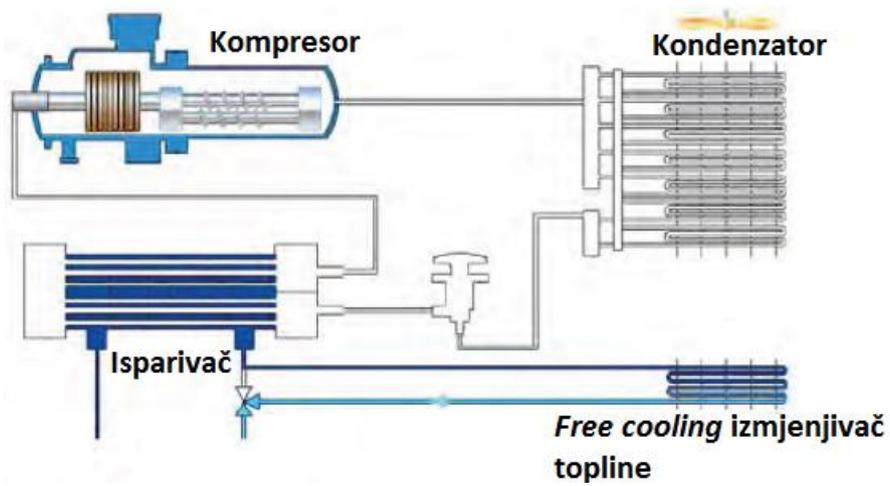
Tablica 13. Kapacitet rashladnog sustava

Ukupno osjetno rashladno opterećenje	$\Sigma\Phi_{os_uk}$	kW	3854
Kataloški kapacitet rashladnika kapljevine	$\Phi_{chiller}$	kW	351
Broj instaliranih rashladnika kapljevine	$n_{chiller}$	-	12
Instalirani kapacitet „chillera“	$\Phi_{chiller_inst}$	kW	4212



Slika 29. ICS Cool Energy AT-FC-WG/SS 4120 [16]

Odabrani rashladnik kapljevine u sebi ima ugrađen izmjenjivač topline koji omogućuje *free cooling* način rada u razdobljima kad to omogućuju vremenski uvjeti (Slika 30.).



Slika 30. Shema rashladnika kapljevine s integriranim *free coolingom* [16]

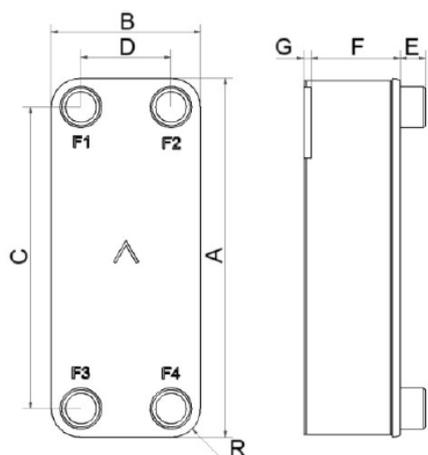
4.3. Odabir izmjenjivača topline

Prema temperaturnom režimu primarnog kruga (6,5/11°C) i temperaturnog režima sekundarnog kruga (8/13°C) te potrebnom rashladnom kapacitetu (4212 kW) odabran je izmjenjivač topline SWEP B649 (Slika 31.) kojim se rashladni kapacitet primarnog kruga predaje sekundarnom krugu.



Slika 31. SWEP B649 [17]

Izmjenjivač ima 420 ploča, a maksimalni protok je 350 m³/h (Slika 32.). U strojarnici su instalirana 2 izmjenjivača.



#	MM	IN
A	1232	48.5
B	537	21.14
C	995	39.17
D	300	11.81
F	45.08+2.09*(NoP)	1.77+0.08*(NoP)
G	0	0
R	118.50	4.67
E_1	54.10	2.13

Slika 32. Dimenzije izmjenjivača SWEP B649 [17]

4.4. Odabir akumulacijskog spremnika

Da bi se postigla veća ekonomičnost sustava, odabran je akumulacijski spremnik *Reflex Storatherm HF 2000/R* s izolacijom zapremnine 2031 L (Slika 33.). U strojarnici su instalirana 2 akumulacijska spremnika spremnika.



Slika 33. *Reflex Storatherm HF 2000/R* [18]

4.5. Pad tlaka

4.5.1. Postupak dimenzioniranja cjevovoda i proračun pada tlaka

Sustav se podijeli na dijelove tako da su protoci u tim dijelovima cjevovoda konstantni. Ti dijelovi cjevovoda nazivaju se dionice. Kod dvocijevnog grijanja/hlađenja polazni i povratni cjevovod imaju isti protok. Nakon svakog spoja ili grananja slijedi nova dionica budući da se protok dijeli. Iz crteža cjevovoda potrebno je izmjeriti duljinu dionice (zbroj duljina polazne i povratne cijevi) te odrediti rashladni učinak svake dionice. Nakon toga se računa maseni protok prema:

$$q_m = \frac{\Phi_{hl}}{c_p \cdot (T_{pov} - T_{pol})} \quad [\text{kg/s}] \quad (21)$$

Nakon toga se određuje nazivni promjer cijevi dionice. Slijedi računanje brzine u cijevi prema:

$$w = \frac{q_m}{\rho \cdot A} = \frac{q_m}{\rho \cdot \frac{d_u^2 \cdot \pi}{4}} \quad [\text{m/s}] \quad (22)$$

Potrebno je izračunati relativnu hrapavost stijenke koja je omjer apsolutne hrapavosti k i promjera cjevovoda. Pretpostavljeno je da apsolutna hrapavost iznosi 0,05 mm:

$$\varepsilon = \frac{k}{d_u} \quad [-] \quad (23)$$

Potrebno je izračunati Reynoldsov broj:

$$Re = \frac{\rho \cdot w \cdot d_u}{\eta} \quad [-] \quad (24)$$

Potrebno je izračunati faktor trenja koji se može izračunati „Colebrokeovom jednačbom“. Međutim u njoj faktor trenja nije izražen eksplicitno, pa je potrebna iteracija. Da se izbjegne iteracija koristi se zamjenska formula *Zigranga* i *Sylvestera* [19]:

$$\lambda = \left(-2 \cdot \log \left(\frac{\varepsilon}{3,7} - \frac{5,02}{Re} \cdot \log \left(\frac{\varepsilon}{3,77} - \frac{5,02}{Re} \log \left(\frac{\varepsilon}{3,77} + \frac{13}{Re} \right) \right) \right) \right)^{-2} \quad [-] \quad (25)$$

Cjevovod se dimenzionira da jedinični pad tlaka bude 40-100 Pa/m. Za prostore u kojima nema ljudi (poput strojarnice) može biti 40-200 Pa/m. Sad je moguće izračunati jedinični pad tlaka prema:

$$R = \frac{\lambda}{d_u} \cdot \frac{\rho \cdot w^2}{2} \quad [\text{Pa/m}] \quad (26)$$

Pad tlaka trenja računa se prema:

$$\Delta p_\lambda = R \cdot L \quad [\text{Pa}] \quad (27)$$

Suma faktora lokalnog otpora računaju zbrajanjem svih faktora lokalnog otpora koji se nalaze u toj dionici. Potrebno je obratiti pozornost na to kojoj dionici pripada faktor lokalnog otpora. Ako „stanemo“ na račvu i ako se fluid ulijeva u promatranu dionicu, onda faktor lokalnog otpora pripada promatranoj dionici.

$$\sum \zeta = \zeta_1 + \zeta_2 + \dots \quad [-] \quad (28)$$

Pad tlaka lokalnih otpora računa se prema:

$$\Delta p_{lok} = Z = \left(\sum \zeta \right) \cdot \frac{\rho \cdot w^2}{2} \quad [\text{Pa}] \quad (29)$$

Ukupni pad tlaka zbroj je pada tlaka trenja i pada tlaka lokalnih otpora:

$$\Delta p_{uk} = R \cdot L + Z \quad [\text{Pa}] \quad (30)$$

Ukupni pad tlaka je zbroj svih padova tlaka od pumpe od kritične CRAH jedinice i ponovno natrag do pumpe. Nakon se toga iz kataloga cirkulacijski pumpi bira odgovarajuća pumpa za svaki krug koja će moći postići traženu radnu točku (ulazni podaci su volumni protok i pad tlaka).

4.5.2. Primarni krug hlađenja (etilen-glikol)

Primarni krug povezuje rashladnike kapljevine koji se nalaze u prizemlju i na krovu s izmjenjivačima topline koji se nalaze u strojarnici. Proračun se provodi kako bi se odabrale odgovarajuće dimenzije cijevi za koje se zatim računa pad tlaka. Preko ukupnog pada tlaka i protoka odabire se cirkulacijska pumpa iz kataloga (Tablica 14.).

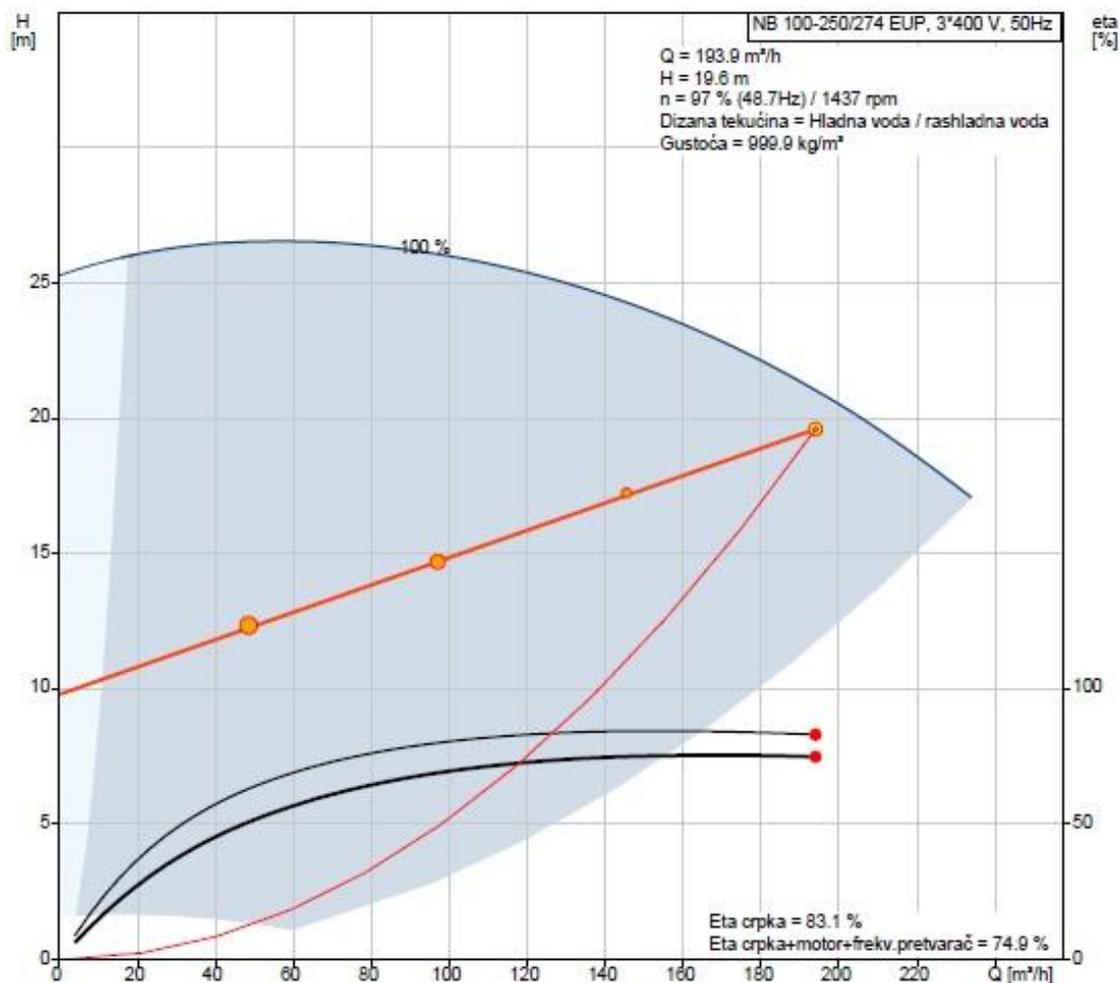
Tablica 14. Cjevovod etilen-glikola strojarnica-prizemlje

D	L	Q	q _m	DN	d _u	w	ε	Re	λ	R	RL	Σζ	Z	RL+Z
-	m	kW	kg/s	mm	mm	m/s	-	-	-	Pa/m	Pa	-	Pa	Pa
1	45,74	1053	62,67	DN200	207,3	1,767	0,000241	1,26E+08	0,01	113,00	5168,49	13	21330,57	26499,06
2	6,24	702	41,78	DN200	207,3	1,178	0,000241	8,38E+07	0,01	50,23	313,46	0,5	364,63	678,09
3	8,44	351	20,89	DN150	150	1,125	0,000333	5,79E+07	0,02	67,79	572,13	5,5	3657,73	4229,86
												Pad tlaka na chilleru	164 000	
												Suma	195 410	

Ukupan pad tlaka je 195,41 kPa, a protok je 214,73 m³/h. Odabire se pumpa proizvođača *Grundfos* NBE 100-250/274 EUP AF2ABAQE (Slika 34.). U nastavku je prikazana radna krivulja pumpe (Slika 35.).



Slika 34. Grundfos NB 100-250/247 EUP AF2ABAQE [20]



Slika 35. Radna krivulja pumpe NB 100-250/247 EUP [20]

Tablica 15. Cjevovod etilen-glikola strojarnica-krov

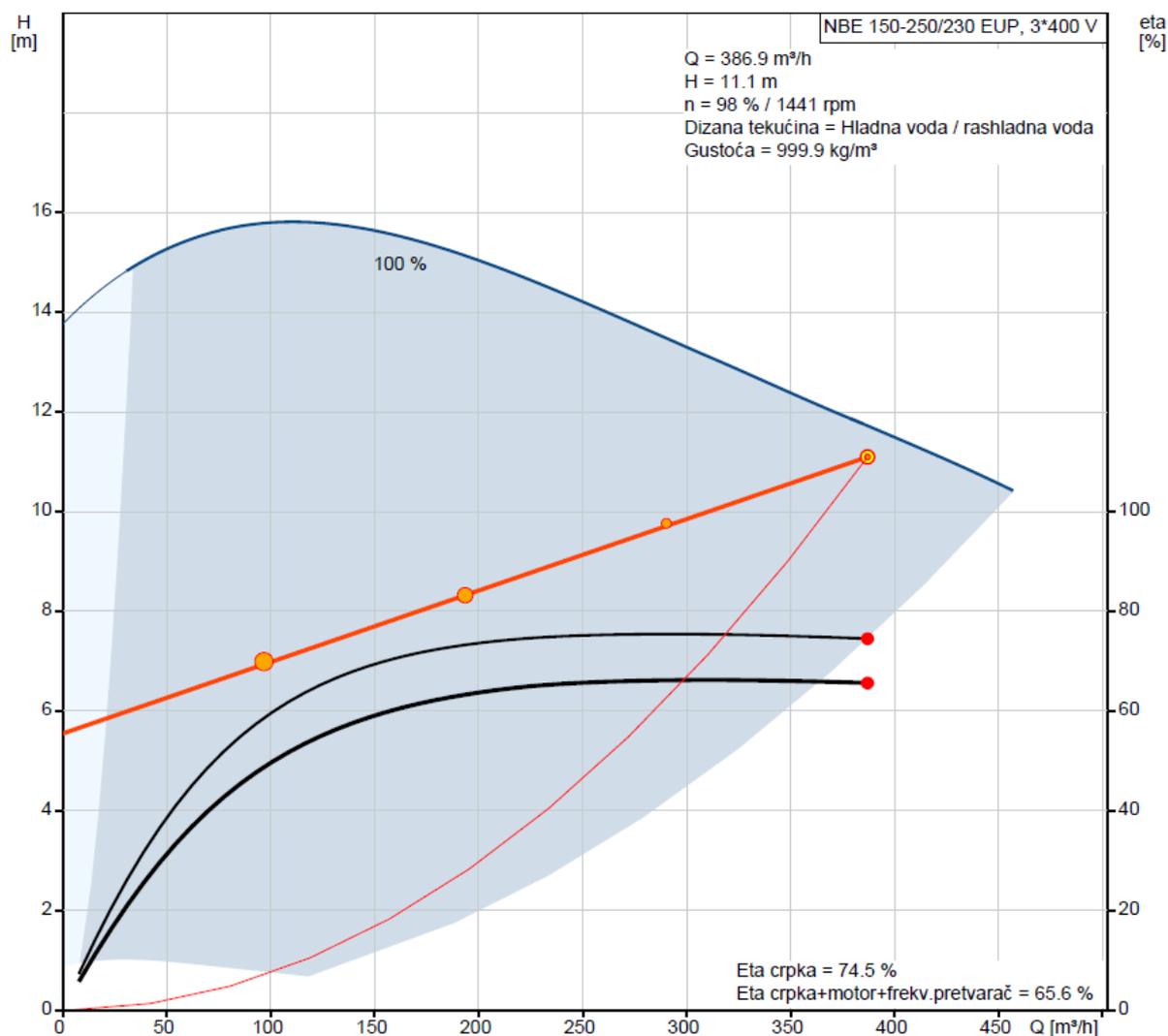
D	L	Q	q _m	DN	d _u	w	ε	Re	λ	R	RL	Σζ	Z	RL+Z
-	m	kW	kg/s	mm	mm	m/s	-	-	-	Pa/m	Pa	-	Pa	Pa
1	128,80	1053	62,67	DN200	207,3	1,767	0,000241	1,26E+08	0,01	113,00	14554,04	13	21330,57	35884,61
2	5,20	702	41,78	DN200	207,3	1,178	0,000241	8,38E+07	0,01	50,23	261,22	0,5	364,63	625,84
3	7,68	351	20,89	DN150	150	1,125	0,000333	5,79E+07	0,02	67,79	520,61	5,5	3657,73	4178,34
													Pad tlaka na chilleru	164 000
													Suma	204 690

Ukupan pad tlaka je 204,69 kPa, a protok je 214,73 m³/h (Tablica 15.). Odabire se pumpa proizvođača *Grundfos* NB 100-250/247 EUP AF2ABAQE.

Tablica 16. Cjevovod etilen-glikola u strojarnici

D	L	Q	q _m	DN	d _u	w	ε	Re	λ	R	RL	Σζ	Z	RL+Z
-	m	kW	kg/s	mm	mm	m/s	-	-	-	Pa/m	Pa	-	Pa	Pa
1	32,60	2106	125,34	DN250	263,4	2,189	0,00019	1,98E+08	0,01	129,92	4235,44	13,5	33992,80	38228,24
													Pad tlaka na izmjenjivaču	80 000
													Suma	118 230

Ukupan pad tlaka je 118,23 kPa, a protok je 429,47 m³/h (Tablica 16). odabire se pumpa proizvođača *Grundfos* NBE 150-250/230 EUP AF1ABAQE. U nastavku je prikazana radna krivulja pumpe (Slika 36.).



Slika 36. Radna krivulja pumpe NB 150-250/230 EUP AF1ABAQE [20]

4.5.3. Sekundarni krug hlađenja (rashladna voda)

Sekundarni krug hlađenja povezuje strojarnicu s CRAH jedinicama koje se nalaze u prostorijama data centra. S obzirom da prema TIA-942-A Tier III standardu cjevovod rashladne vode mora biti kružni [9], da se u slučaju puknuća cjevovoda na jednom dijelu omogućiti dolazak rashladne vode do CRAH jedinica s druge strane, cijeli kružni cjevovod se dimenzionira za najgori slučaj.

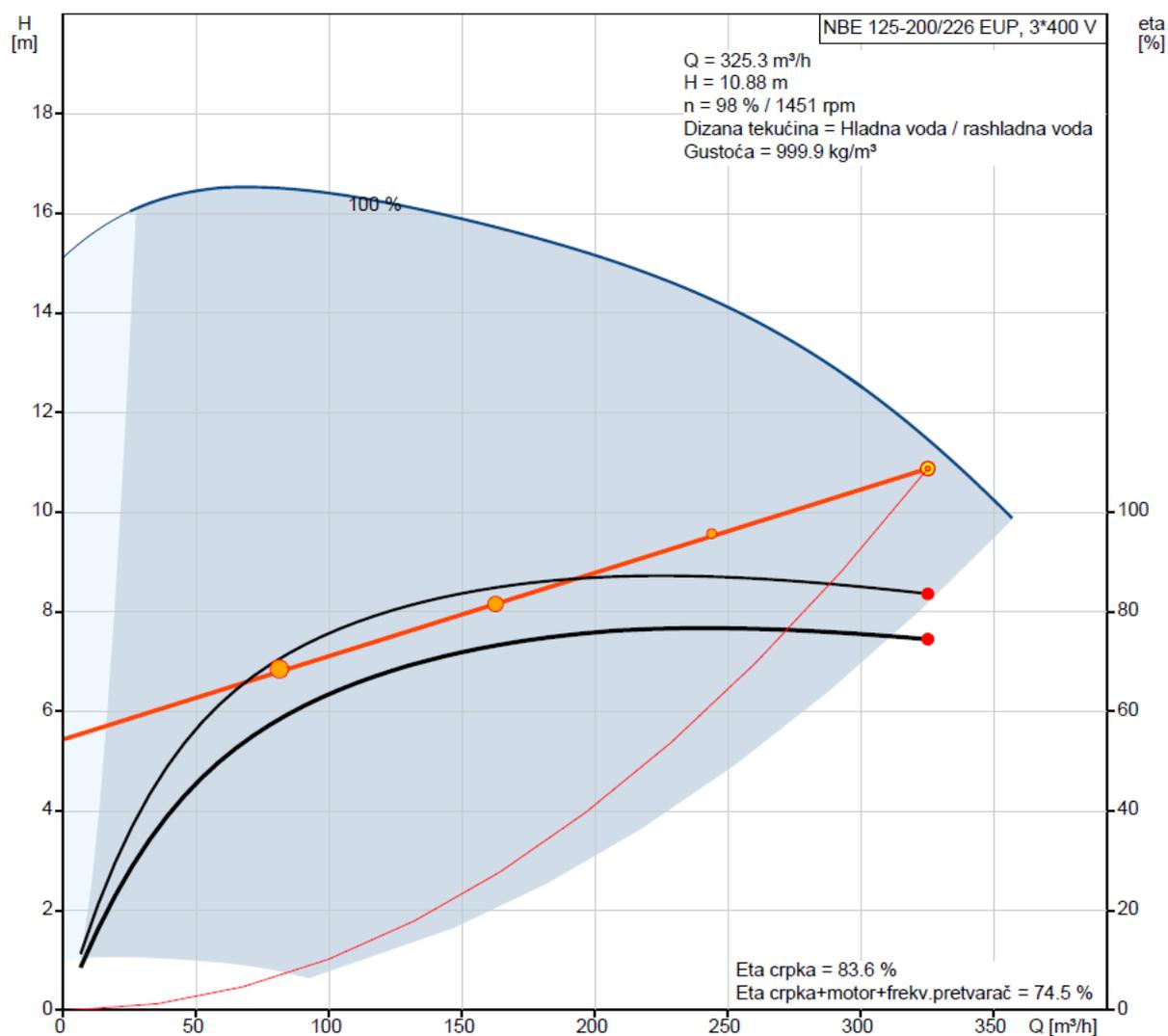
Tablica 17. Cjevovod rashladne vode strojarnica-data prostor prizemlje

D	L	Q	q _m	DN	d _u	w	ε	Re	λ	R	RL	Σζ	Z	RL+Z
-	m	kW	kg/s	mm	mm	m/s	-	-	-	Pa/m	Pa	-	Pa	Pa
1	18,72	1895,4	90,36	DN250	263,4	1,659	0,00019	3,39E+08	0,01	70,96	1328,71	11	15130,75	16459,45
2	9,38	1790,1	85,34	DN250	263,4	1,567	0,00019	3,20E+08	0,01	63,30	593,72	0,5	613,47	1207,18
3	4,96	1684,8	80,32	DN250	263,4	1,475	0,00019	3,02E+08	0,01	56,07	278,10	0,5	543,42	821,52
4	7,20	1579,5	75,30	DN250	263,4	1,382	0,00019	2,83E+08	0,01	49,28	354,82	0,5	477,61	832,43
5	4,96	1474,2	70,28	DN250	263,4	1,290	0,00019	2,64E+08	0,01	42,93	212,93	0,5	416,05	628,99
6	9,18	1368,9	65,26	DN250	263,4	1,198	0,00019	2,45E+08	0,01	37,02	339,82	0,5	358,74	698,56
7	10,14	1263,6	60,24	DN250	263,4	1,106	0,00019	2,26E+08	0,01	31,54	319,84	0,5	305,67	625,51
8	4,96	1158,3	55,22	DN250	263,4	1,014	0,00019	2,07E+08	0,01	26,50	131,46	0,5	256,85	388,31
9	8,96	1053	50,20	DN250	263,4	0,922	0,00019	1,88E+08	0,01	21,91	196,28	0,5	212,27	408,55
10	7,72	947,7	45,18	DN250	263,4	0,829	0,00019	1,70E+08	0,01	17,74	136,91	5	1719,40	1856,31
11	8,96	842,4	40,16	DN250	263,4	0,737	0,00019	1,51E+08	0,01	14,02	125,63	0,5	135,85	261,48
12	4,96	737,1	35,14	DN250	263,4	0,645	0,00019	1,32E+08	0,01	10,74	53,25	0,5	104,01	157,26
13	10,14	631,8	30,12	DN250	263,4	0,553	0,00019	1,13E+08	0,01	7,89	79,99	0,5	76,42	156,41
14	9,18	526,5	25,10	DN250	263,4	0,461	0,00019	9,42E+07	0,01	5,48	50,30	0,5	53,07	103,36
15	4,96	421,2	20,08	DN250	263,4	0,369	0,00019	7,54E+07	0,01	3,51	17,40	0,5	33,96	51,36
16	7,20	315,9	15,06	DN250	263,4	0,276	0,00019	5,65E+07	0,01	1,97	14,21	0,5	19,10	33,31
17	4,96	210,6	10,04	DN250	263,4	0,184	0,00019	3,77E+07	0,01	0,88	4,35	0,5	8,49	12,84
18	18,60	105,3	5,02	DN80	82,5	0,939	0,000606	6,02E+07	0,02	93,32	1735,69	5,5	2426,23	4161,92
													Pad tlaka na CRAH	80 000
													Suma	108 860

Ukupan pad tlaka je 108,86 kPa, a protok je 325,43 m³/h (Tablica 17.). Odabire se pumpa proizvođača *Grundfos* NBE 125-200/226 EUP AF2ABAQE (Slika 37.). U nastavku je prikazana radna krivulja pumpe (Slika 38.).



Slika 37. Grundfos NBE 125-200/226 EUP AF2ABAQE [20]



Slika 38. Radna krivulja pumpe NBE 125-200/226 EUP AF2ABAQE [20]

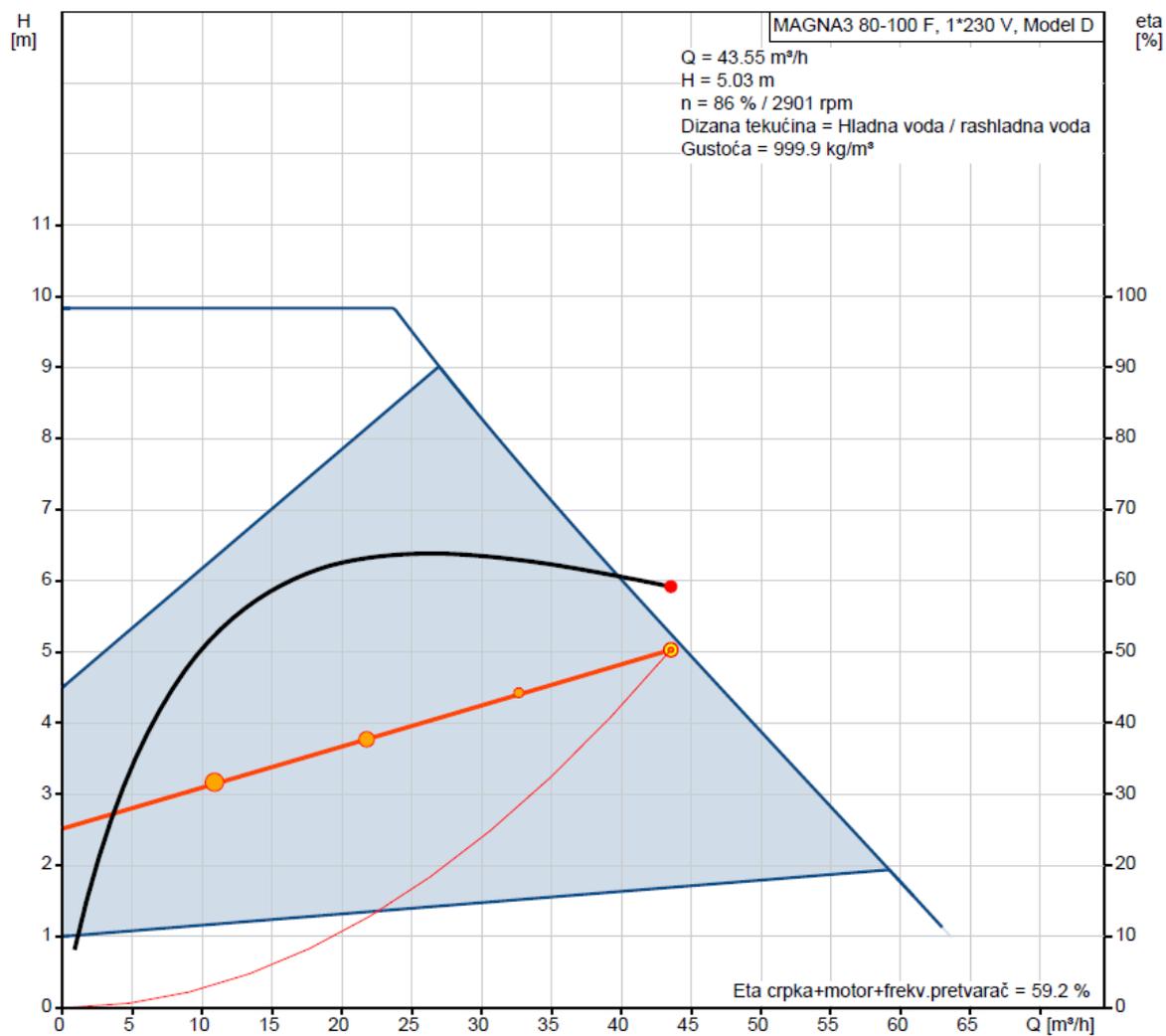
Tablica 18. Cjevovod rashladne vode strojarnica-UPS prostor prizemlje

D	L	Q	q _m	DN	d _u	w	ε	Re	λ	R	RL	Σζ	Z	RL+Z
-	m	kW	kg/s	mm	mm	m/s	-	-	-	Pa/m	Pa	-	Pa	Pa
1	142,13	253,8	12,10	DN125	125	0,986	0,0004	9,57E+07	0,02	61,85	8790,88	19,5	9482,15	18273,02
2	3,00	211,5	10,08	DN125	125	0,822	0,0004	7,98E+07	0,02	42,96	128,87	0,5	168,84	297,71
3	3,00	169,2	8,07	DN125	125	0,658	0,0004	6,38E+07	0,02	27,50	82,49	0,5	108,06	190,54
4	9,70	126,9	6,05	DN125	125	0,493	0,0004	4,79E+07	0,02	15,47	150,05	0,5	60,78	210,84
5	3,00	84,6	4,03	DN125	125	0,329	0,0004	3,19E+07	0,02	6,88	20,63	0,5	27,01	47,65
6	3,40	42,3	2,02	DN60	64	0,627	0,000781	3,12E+07	0,02	56,88	193,38	5,5	1081,07	1274,44
												Pad tlaka na CRAH	30 000	
												Suma	50 290	

Ukupan pad tlaka je 50,29 kPa, a protok je 43,58 m³/h (Tablica 18.). Odabire se pumpa proizvođača *Grundfos* MAGNA3 80-100 F (Slika 39.). U nastavku je prikazana radna krivulja pumpe (Slika 40.).



Slika 39. Grundfos MAGNA3 80-100 F [20]



Slika 40. Radna krivulja pumpe Grundfos MAGNA3 80-100 F [20]

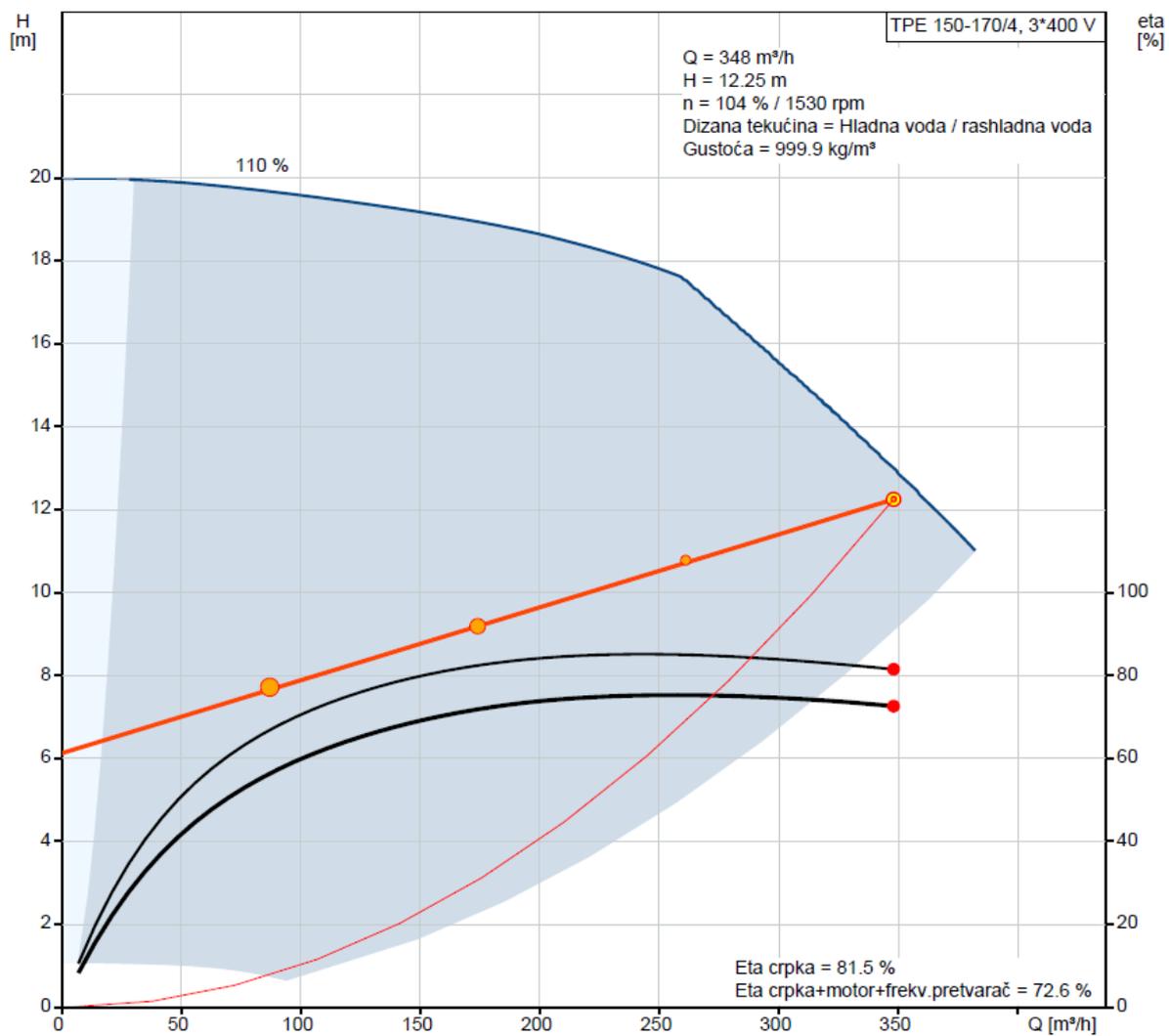
Tablica 19. Cjevovod rashladne vode strojarnica-data prostor 2.kat

D	L	Q	q _m	DN	d _u	w	ε	Re	λ	R	RL	Σζ	Z	RL+Z
-	m	kW	kg/s	mm	mm	m/s	-	-	-	Pa/m	Pa	-	Pa	Pa
1	73,20	2028,6	96,71	DN250	263,4	1,776	0,00019	3,63E+08	0,01	81,28	5949,93	14,5	22846,87	28796,80
2	4,56	1915,9	91,34	DN250	263,4	1,677	0,00019	3,43E+08	0,01	72,50	330,62	0,5	702,72	1033,34
3	7,46	1803,2	85,97	DN250	263,4	1,578	0,00019	3,23E+08	0,01	64,23	479,12	0,5	622,48	1101,60
4	12,12	1690,5	80,59	DN250	263,4	1,480	0,00019	3,03E+08	0,01	56,45	684,17	0,5	547,10	1231,27
5	4,80	1577,8	75,22	DN250	263,4	1,381	0,00019	2,82E+08	0,01	49,17	236,04	0,5	476,58	712,62
6	10,02	1465,1	69,85	DN250	263,4	1,282	0,00019	2,62E+08	0,01	42,40	424,86	0,5	410,93	835,80
7	9,60	1352,4	64,48	DN250	263,4	1,184	0,00019	2,42E+08	0,01	36,13	346,85	0,5	350,14	696,99
8	4,90	1239,7	59,10	DN250	263,4	1,085	0,00019	2,22E+08	0,01	30,36	148,77	0,5	294,22	442,98
9	9,20	1127	53,73	DN250	263,4	0,986	0,00019	2,02E+08	0,01	25,09	230,85	0,5	243,16	474,00
10	11,12	1014,3	48,36	DN250	263,4	0,888	0,00019	1,82E+08	0,01	20,33	226,02	5	1969,56	2195,58
11	9,20	901,6	42,98	DN250	263,4	0,789	0,00019	1,61E+08	0,01	16,06	147,76	0,5	155,62	303,38
12	4,90	788,9	37,61	DN250	263,4	0,690	0,00019	1,41E+08	0,01	12,30	60,26	0,5	119,15	179,40
13	9,60	676,2	32,24	DN250	263,4	0,592	0,00019	1,21E+08	0,01	9,04	86,74	0,5	87,54	174,28
14	10,02	563,5	26,86	DN250	263,4	0,493	0,00019	1,01E+08	0,01	6,28	62,88	0,5	60,79	123,67
15	4,80	450,8	21,49	DN250	263,4	0,395	0,00019	8,07E+07	0,01	4,02	19,28	0,5	38,90	58,19
16	12,12	338,1	16,12	DN250	263,4	0,296	0,00019	6,05E+07	0,01	2,26	27,40	0,5	21,88	49,28
17	7,46	225,4	10,75	DN250	263,4	0,197	0,00019	4,03E+07	0,01	1,01	7,50	0,5	9,73	17,23
18	12,46	112,7	5,37	DN80	82,5	1,005	0,000606	6,44E+07	0,02	106,89	1331,85	5,5	2779,22	4111,08
													Pad tlaka na CRAH	80 000
													Suma	122 540

Ukupan pad tlaka je 122,54 kPa, a protok je 348,29 m³/h (Tablica 19.). Odabire se pumpa proizvođača *Grundfos* TPE 150-170/4 A-F-A-BQQE (Slika 41.). U nastavku je prikazana radna krivulja pumpe (Slika 42.).



Slika 41. Grundfos TPE 150-170/4 A-F-A-BQQE [20]



Slika 42. Radna krivulja pumpe Grundfos TPE 150-170/4 A-F-A-BQQE [20]

Tablica 20. Cjevovod rashladne vode strojarnica-UPS i telekom prostor desno 2.kat

D	L	Q	q _m	DN	d _u	w	ε	Re	λ	R	RL	Σζ	Z	RL+Z
-	m	kW	kg/s	mm	mm	m/s	-	-	-	Pa/m	Pa	-	Pa	Pa
1	40,02	234,3	11,17	DN125	125	0,911	0,0004	8,84E+07	0,02	52,71	2109,61	13	5387,37	7496,98
2	103,08	169,2	8,07	DN100	100,8	1,011	0,000496	7,91E+07	0,02	84,55	8715,54	2	1022,16	9737,69
3	3,00	126,9	6,05	DN100	100,8	0,758	0,000496	5,94E+07	0,02	47,57	142,70	0,5	143,74	286,44
4	3,00	84,6	4,03	DN100	100,8	0,506	0,000496	3,96E+07	0,02	21,15	63,44	0,5	63,88	127,32
5	3,30	42,3	2,02	DN60	64	0,627	0,000781	3,12E+07	0,02	56,88	187,69	5,5	1081,07	1268,76
													Pad tlaka na CRAH	30 000
													Suma	48 920

Ukupan pad tlaka je 48,92 kPa, a protok je 40,23 m³/h (Tablica 20.). Odabire se pumpa proizvođača *Grundfos* MAGNA3 80-100 F.

Tablica 21. Cjevovod rashladne vode strojarnica-UPS i telekom prostor lijevo 2.kat

D	L	Q	q _m	DN	d _u	w	ε	Re	λ	R	RL	Σζ	Z	RL+Z
-	m	kW	kg/s	mm	mm	m/s	-	-	-	Pa/m	Pa	-	Pa	Pa
1	60,02	234,3	11,17	DN125	125	0,911	0,0004	8,84E+07	0,02	52,71	3163,89	13	5387,37	8551,26
2	104,24	169,2	8,07	DN100	100,8	1,011	0,000496	7,91E+07	0,02	84,55	8813,62	2	1022,16	9835,77
3	3,24	126,9	6,05	DN100	100,8	0,758	0,000496	5,94E+07	0,02	47,57	154,12	0,5	143,74	297,86
4	3,34	84,6	4,03	DN100	100,8	0,506	0,000496	3,96E+07	0,02	21,15	70,63	0,5	63,88	134,51
5	10,00	42,3	2,02	DN60	64	0,627	0,000781	3,12E+07	0,02	56,88	568,76	7	1375,90	1944,66
													Pad tlaka na CRAH	30 000
													Suma	50 760

Ukupan pad tlaka je 50,76 kPa, a protok je 40,23 m³/h (Tablica 21.). Odabire se pumpa proizvođača *Grundfos* MAGNA3 80-100 F.

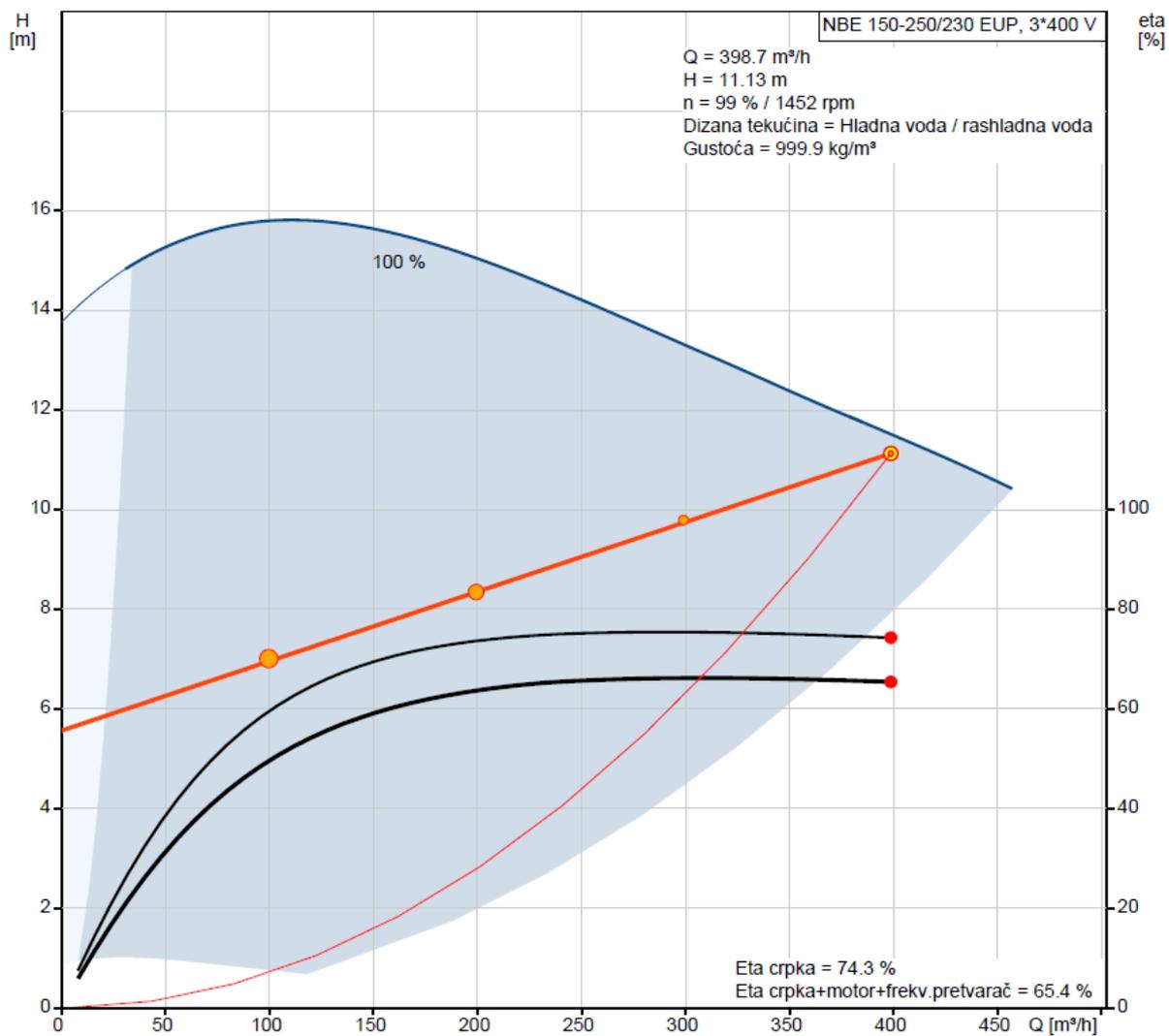
Tablica 22. Cjevovod rashladne vode u strojarnici

D	L	Q	q _m	DN	d _u	w	ε	Re	λ	R	RL	Σζ	Z	RL+Z
-	m	kW	kg/s	mm	mm	m/s	-	-	-	Pa/m	Pa	-	Pa	Pa
1	32,60	2323,2	110,76	DN250	263,4	2,033	0,00019	4,16E+08	0,01	106,60	3475,25	13,5	27897,99	31373,24
												Pad tlaka na izmjenjivaču	80 000	
												Suma	111 370	

Ukupan pad tlaka je 111,37 kPa, a protok je 398,88 m³/h (Tablica 22). Odabire se pumpa proizvođača *Grundfos* NBE 150-250/230 EUP AF1ABAQE (Slika 43.). U nastavku je prikazana radna krivulja pumpe (Slika 44.).



Slika 43. Grundfos NBE 150-250/230 EUP AF1ABAQE [20]



Slika 44. Radna krivulja pumpe Grundfos NBE 150-250/230 EUP AF1ABAQE [20]

4.6. Odabir ekspanzijske posude

4.6.1. Ekspanzijska posuda primarnog kruga (etilen-glikol)

Uslijed promjene temperature fluida dolazi i do promjene gustoće (volumena fluida). Da se sustav zaštititi od manjka ogrjevnog medija ili pucanja cjevovoda zbog prevelikog volumena fluida potrebno je instalirati ekspanzijsku posudu u sustav [21].

Ukupni volumen etilen-glikola u sustavu:

$$V_A = V_{cjevovod} + V_{chilleri} + V_{izmjenjivači} \quad [\text{L}] \quad (31)$$

$$V_A = 8339 + 360 + 200 = 8899 \text{ L} \quad (32)$$

Volumen širenja:

$$V_e = \frac{n \cdot V_A}{100} = \frac{0,37 \cdot 8899}{100} = 33 \text{ L} \quad (33)$$

Projektirani krajnji tlak:

$$p_e = 2,5 \text{ bar} \quad (34)$$

Primarni tlak ekspanzijske posude:

$$p_0 = \frac{h_{sys} + h_{dod}}{10} = \frac{18 + 3}{10} = 2,1 \text{ bar} \quad (35)$$

Dodatni volumen iznosi oko 0,5% volumena fluida u instalaciji (minimalno 3 L):

$$V_V = \max\left(\left(\frac{0,5}{100} \cdot V_A\right), 3\right) = 44,5 \text{ L} \quad (36)$$

Minimalni volumen ekspanzijske posude:

$$V_{n,min} = (V_e + V_V) \cdot \frac{p_e + 1}{p_e - p_0} = (33 + 44,5) \cdot \frac{2,5 + 1}{2,5 - 2,1} = 678 \text{ L} \quad (37)$$

Volumen odabrane ekspanzijske posude:

$$V_{exp,prim} = 800 \text{ L} \quad (38)$$

Odabrana ekspanzijska posuda je *Flexcon* M 800 [22].

4.6.2. Ekspanzijska posuda sekundarnog kruga (voda)

Ukupni volumen vode u sustavu:

$$V_A = V_{cjevovod} + V_{CRAH} + V_{spremnici} + V_{izmjenjivači} \quad [L] \quad (39)$$

$$V_A = 25655 + 758 + 4062 + 200 = 30675 \quad L \quad (40)$$

Volumen širenja:

$$V_e = \frac{n \cdot V_A}{100} = \frac{0,37 \cdot 30675}{100} = 113,5 \quad L \quad (41)$$

Projektni krajnji tlak:

$$p_e = 2,5 \quad \text{bar} \quad (42)$$

Primarni tlak ekspanzijske posude:

$$p_0 = \frac{h_{sys} + h_{dod}}{10} = \frac{15 + 3}{10} = 1,8 \quad \text{bar} \quad (43)$$

Dodatni volumen iznosi oko 0,5% volumena vode u instalaciji (minimalno 3 L):

$$V_V = \max\left(\left(\frac{0,5}{100} \cdot V_A\right), 3\right) = 153,4 \quad L \quad (44)$$

Minimalni volumen ekspanzijske posude:

$$V_{n,min} = (V_e + V_V) \cdot \frac{p_e + 1}{p_e - p_0} = (113,5 + 153,4) \cdot \frac{2,5 + 1}{2,5 - 1,8} = 1335 \quad L \quad (45)$$

Volumen odabrane ekspanzijske posude:

$$V_{exp,sek} = 1600 \quad L \quad (46)$$

Odabrana ekspanzijska posuda je *Flexcon M 1600* [22] (Slika 45.).



Slika 45. Ekspanzijska posuda *Flamco Flexcon M* [22]

5. TROŠKOVNIK OPREME I RADOVA

U nastavku je prikazan troškovnik opreme i radova (Tablica 23.). Konačna cijena je procijenjena na **6 500 000 kn.**

Tablica 23. Troškovnik opreme i radova

OPREMA	JEDINIČNA CIJENA kn	KOMADA	UKUPNO kn
Dobava i montaža rashladnika kapljevine ICS Cool Energy AT-FC-WG/SS 4120 351 kW	375000	12	4500000
Dobava i montaža ekspanzijske posude Flexcon M 1600 1600 L	15000	1	15000
Dobava i montaža ekspanzijske posude Flexcon M 800 800 L	7500	1	7500
Dobava i montaža spremnika rashladne vode Reflex Storatherm HF 2000/R 2031 L	11250	2	22500
Dobava i montaža pločastog izmjenjivača topline SWEP B649 2106 kW	37500	2	75000
Dobava i montaža razdjelnika s 12 priključaka Maring	6000	1	6000
Dobava i montaža razdjelnika s 12 priključaka Maring	6000	1	6000
Dobava i montaža sabirnika s 6 priključaka Maring	6000	1	6000
Dobava i montaža sabirnika s 6 priključaka Maring	6000	1	6000
Dobava i montaža CRAH jedinice Airedale SD18D115-CL00-0 112,7 kW	18000	18	324000
Dobava i montaža CRAH jedinice	16250	18	292500

Airedale SD18D110-CH00-0				
105,3 kW				
Dobava i montaža CRAH jedinice	10000	14	140000	
Airedale SR09D040-C000-0				
42,3 kW				
Dobava i montaža CRAH jedinice	5000	6	30000	
Airedale SN09D020-C000-0				
21,7 kW				
Čelične bešavne cijevi				
DN20 m	90	2	180	
DN50 m	112,5	15	1687,5	
DN60 m	142,5	30	4275	
DN65 m	150	30	4500	
DN80 m	157,5	57	8977,5	
DN100 m	180	229	41220	
DN125 m	195	270	52650	
DN150 m	202,5	20	4050	
DN200 m	225	186	41850	
DN250 m	262,5	407	106837,5	
Zaporni ventili				
IMI-Hydronic				
DN20	90	4	360	
DN50	375	20	7500	
DN60	450	8	3600	
DN65	600	8	4800	
DN80	1275	36	45900	
DN100	1312,5	8	10500	
DN125	1350	16	21600	
DN150	1875	24	45000	
DN200	2250	8	18000	
DN250	2625	40	105000	
STAF balans ventili				
IMI-Hydronic				
DN100	3000	6	18000	
DN150	3750	4	15000	
DN200	4500	4	18000	
Nepovratni ventili				
IMI-Hydronic				
DN125	1500	6	9000	
DN200	2250	4	9000	

DN250		2625	8	21000
Hvatač nečistoća				
IMI-Hydronic				
DN125		750	6	4500
DN200		1500	4	6000
DN250		1650	4	6600
Dvoputni elektronički ventil				
IMI-Hydronic				
DN50		750	6	4500
DN60		1500	14	21000
DN80		2250	36	81000
Osjetnici temperature				
IMI-Hydronic				
		150	66	9900
Osjetnici tlaka				
IMI-Hydronic				
		150	10	1500
Dobava i montaža cirkulacijske pumpe				
Grundfos				
NBE 125-200/226 EUP AF2ABAQE				
m ³ /h	325,43			
m	10,89			
		11250,00	2	22500
Dobava i montaža cirkulacijske pumpe				
Grundfos				
MAGNA3 80-100 F				
m ³ /h	43,58			
m	5,03			
		3750	2	7500
Dobava i montaža cirkulacijske pumpe				
Grundfos				
TPE 150-170/4 A-F-A-BQQE				
m ³ /h	348,29			
m	12,25			
		9000	2	18000
Dobava i montaža cirkulacijske pumpe				
Grundfos				
MAGNA3 80-100 F				
m ³ /h	40,23			
m	4,89			
		3750	2	7500
Dobava i montaža cirkulacijske pumpe				
Grundfos				
		3750	2	7500

MAGNA3 80-100 F			
m ³ /h	40,23		
m	5,08		
Dobava i montaža cirkulacijske pumpe Grundfos	15000	2	30000
NBE 150-250/230 EUP AF1ABAQE			
m ³ /h	398,88		
m	11,14		
Dobava i montaža cirkulacijske pumpe Grundfos	11250	2	22500
NBE 100-250/274 EUP AF2ABAQE			
m ³ /h	214,73		
m	19,54		
Dobava i montaža cirkulacijske pumpe Grundfos	11250	2	22500
NBE 100-250/274 EUP AF2ABAQE			
m ³ /h	214,73		
m	20,47		
Dobava i montaža cirkulacijske pumpe Grundfos	15000	2	30000
NBE 150-250/230 EUP AF1ABAQE			
m ³ /h	429,47		
m	11,82		
Upravljački ormar Scheider Electric	52500	1	52500
Puštanje u pogon	22500	1	22500
Tlačna proba	15000	1	15000
	UKUPNO		6 441 988 kn

6. ZAKLJUČAK

Ovim radom dano je projektno rješenje hlađenja podatkovnih dvorana (400 IT ormara), telekomunikacijskih prostorija (8 telekom ormara) te UPS (16 UPS jedinica) prostorija ukupne površine 1518 m² prema *Tier III* zahtjevima važećeg standardu TIA-942-A data centra u okolici Grada Zagreba.

Rashladno opterećenje data centra iznosi 3854 kW od čega 83% nosi rashladno opterećenje IT ormara. Kao rješenje odabrane su CRAH (*Computer room air-handling*) jedinice koje sadržavaju hladnjak rashladne vode režima 8/13°C te hlade zrak. Hladan zrak struji ispod dignutog poda te kroz perforirane ploče ulazi u hladne prolaze te na kraju ulazi u IT opremu. Zagrijani zrak nakon izlaska iz IT opreme u topli prolaz struji prema CRAH jedinici. Na ulazu u IT opremu instalirani su osjetnici temperature i relativne vlažnosti te su povezani s CRAH jedinicama kako bi se osigurali željeni uvjeti na ulazu u IT opremu (22°C i 50% relativne vlažnosti). Instalirani kapacitet CRAH jedinica iznosi 4647 kW te je postignuta N+1 redundancija. CRAH jedinice su povezane kružnim cjevovodom s izmjenjivačima topline u strojarnici, a izmjenjivači topline povezani su cjevovodom s rashladnicima kapljevine (*chillerima*) koji hlade etilen-glikol.

Instalirano je 12 rashladnika kapljevine da se zadovolji N+1 redundancija te je ukupni instalirani kapacitet rashladnika kapljevine 4212 kW. U svrhu uštede energije, rashladnik kapljevine može raditi u načinu „besplatnog hlađenja“ (*free cooling*) kada to omogućuju niske vanjske temperature zraka.

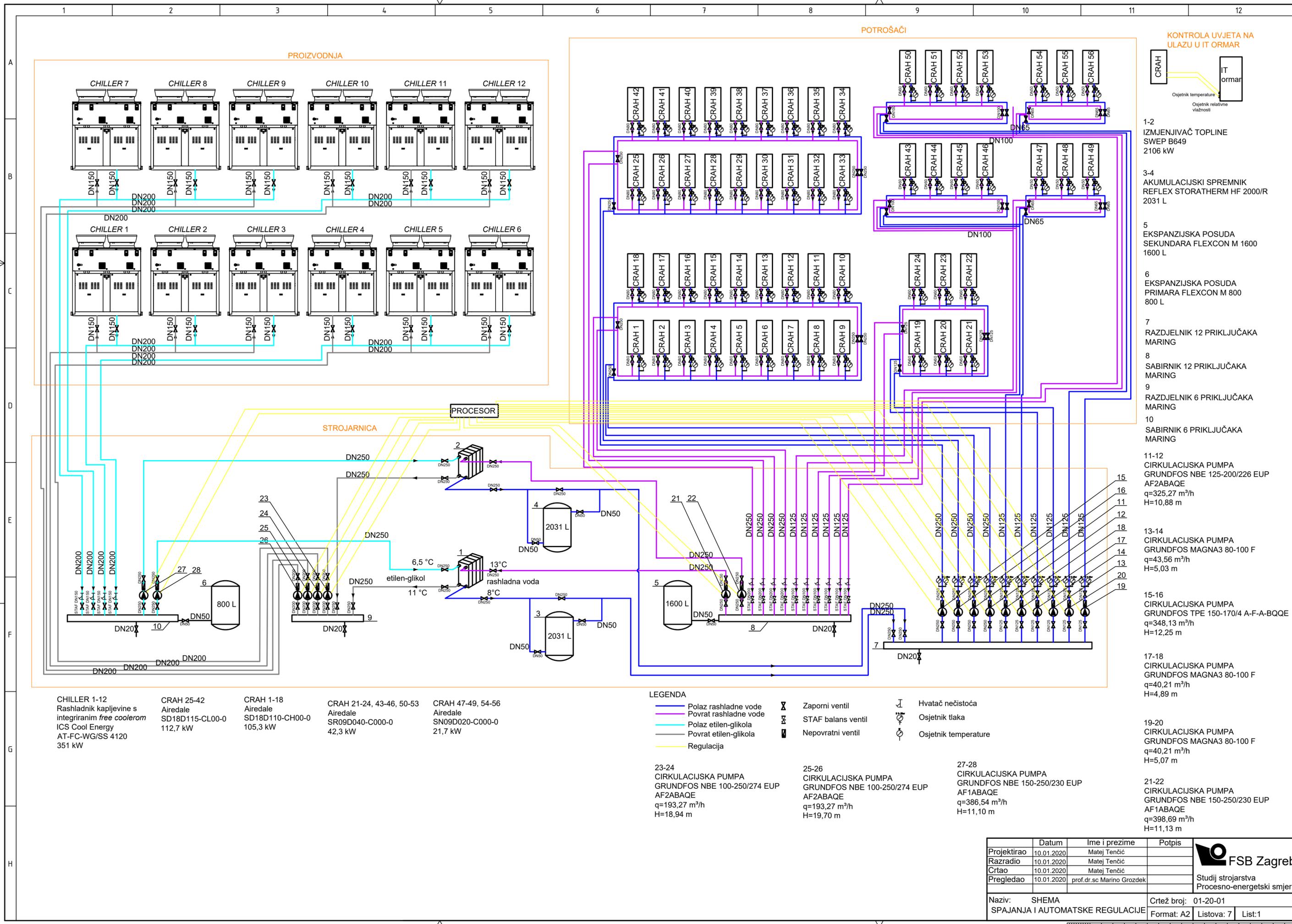
Dimenzionirane su čelične cijevi primarnog i sekundarnog kruga te je proračunat pad tlaka i odabrane su cirkulacijske pumpe. Odabrani su izmjenjivači topline, akumulacijski spremnici te ekspanzijske posude. Kako bi se sustav cijelo vrijeme držao u optimalnim uvjetima definirana je automatska regulacija. Troškovi opreme i radova su procijenjeni na 6,5 milijuna kuna.

LITERATURA

- [1] ASHRAE, *HVAC Applications*, Data Centers and Telecommunication Facilities, 2015.
- [2] H.Zhang, S.Shao, H. Xu, H.Zou, C.Tian: *Free coling of data centers: A review*, 2014.
- [3] <https://www.cb nuggets.com/blog/technology/data/the-6-largest-data-centers-in-the-world>, pristupljeno 16.12.2019.
- [4] ASHRAE TC9.9, *Data Center Power Equipment Thermal Guidelines and Best Practices*, 2016.
- [5] ASHRAE, *Datacom Equipment Power Trends and Cooling Applications*, 2012.
- [6] ASHRAE, *Best Practices for Datacom Facility Energy Efficiency*, 2009.
- [7] ASHRAE, *Design Considerations for Datacom Equipment Centers*, 2009.
- [8] <https://twitter.com/dcimdatacenter/status/592336222023974913>, pristupljeno 16.12.2019
- [9] Telecommunications Industry Association, *TIA-942-A*, 2012.
- [10] Galaso, I.: *Određivanje toplinskog opterećenja prostorije*, Zagreb, 1992.
- [11] Rasmussen, N.: *Calculating Total Cooling Requirements for Data Centers*, Schneider Electric, 2011.
- [12] <http://podatkovnicentarkriz.hr/en/tehnicke-karakteristike/>, pristupljeno 16.12.2019.
- [13] <https://www.intel.com/content/www/us/en/support/articles/000006784/server-products.html>, pristupljeno 16.12.2019.
- [14] https://schroff.nvent.com/wcsstore/AuroraStorefrontAssetStore/User%20Downloads/Literature%20Requests/schroff_whitepaper_003_efficiency_comparison_heat_dissipation_in_data_centres_e.pdf, pristupljeno 16.12.2019.
- [15] Tehnička dokumentacija Airedale SmartCool™ CW 11-233 kW
- [16] Tehnička dokumentacija ICS Cool Energy: Free Cooling Technology
- [17] <https://www.swep.net/products/>, pristupljeno 5.1.2020.
- [18] <https://www.reflex-winkelmann.com/en/products/storage-water-heaters-heat-exchangers/storatherm-potable-water-and-hot-water-storage-tank/storatherm-heat/storatherm-heat/>, pristupljeno 5.1.2020.
- [19] Ruševljan, M.: *Cjevovodi*, Zagreb, 2011.
- [20] <https://product-selection.grundfos.com/front-page.html?custid=GCR&qcid=766087159>, pristupljeno 5.1.2020.
- [21] Balen, I.: *Grijanje – podloge za predavanja*, FSB Zagreb, 2017.
- [22] <https://flamcogroup.com/ex-en/catalog/groups/view>, pristupljeno 5.1.2020.

PRILOZI

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



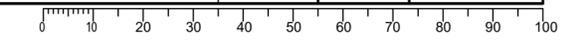
- CHILLER 1-12
Rashladnik kapljevine s integriranim free coolerom
ICS Cool Energy
AT-FC-WG/SS 4120
351 kW
- CRAH 25-42
Airedale
SD18D115-CL00-0
112,7 kW
- CRAH 1-18
Airedale
SD18D110-CH00-0
105,3 kW
- CRAH 21-24, 43-46, 50-53
Airedale
SR09D040-C000-0
42,3 kW
- CRAH 47-49, 54-56
Airedale
SN09D020-C000-0
21,7 kW

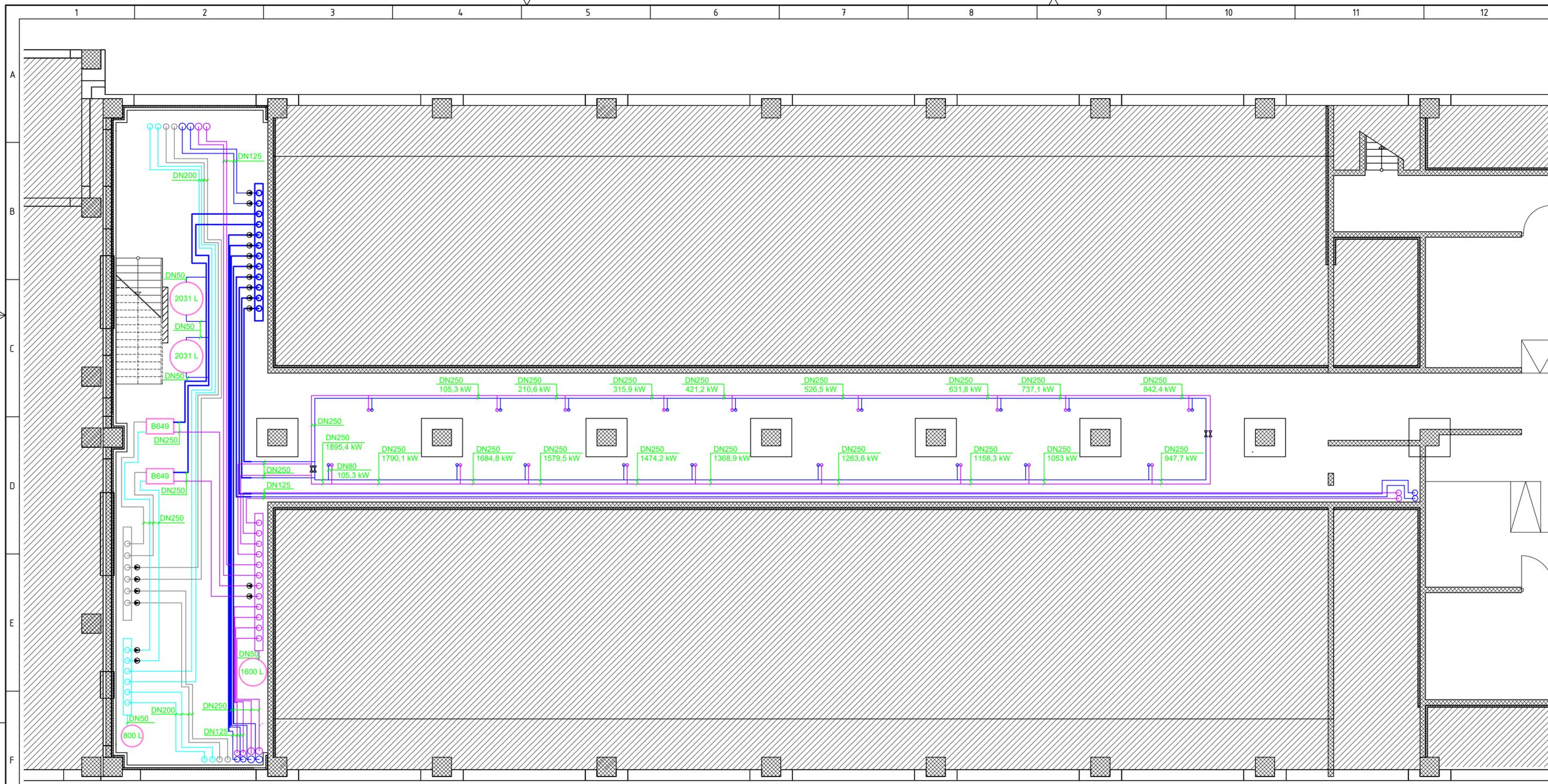
- LEGENDA**
- Polaz rashladne vode
 - Povrat rashladne vode
 - Polaz etilen-glikola
 - Povrat etilen-glikola
 - Regulacija
 - Zaporni ventil
 - STAF balans ventil
 - Nepovratni ventil
 - Hvatač nečistoća
 - Osjetnik tlaka
 - Osjetnik temperature

- 23-24
CIRKULACIJSKA PUMPA
GRUNDFOS NBE 100-250/274 EUP
AF2ABAE
q=193,27 m³/h
H=18,94 m
- 25-26
CIRKULACIJSKA PUMPA
GRUNDFOS NBE 100-250/274 EUP
AF2ABAE
q=193,27 m³/h
H=19,70 m
- 27-28
CIRKULACIJSKA PUMPA
GRUNDFOS NBE 150-250/230 EUP
AF1ABAE
q=386,54 m³/h
H=11,10 m
- 1-2
IZMJENJIVAČ TOPLINE
SWEP B649
2106 kW
- 3-4
AKUMULACIJSKI SPREMNIK
REFLEX STORATHERM HF 2000/R
2031 L
- 5
EKSPANZIJSKA POSUDA
SEKUNDARA FLEXCON M 1600
1600 L
- 6
EKSPANZIJSKA POSUDA
PRIMARA FLEXCON M 800
800 L
- 7
RAZDJELNIK 12 PRIKLJUČAKA
MARING
- 8
SABIRNIK 12 PRIKLJUČAKA
MARING
- 9
RAZDJELNIK 6 PRIKLJUČAKA
MARING
- 10
SABIRNIK 6 PRIKLJUČAKA
MARING
- 11-12
CIRKULACIJSKA PUMPA
GRUNDFOS NBE 125-200/226 EUP
AF2ABAE
q=325,27 m³/h
H=10,88 m
- 13-14
CIRKULACIJSKA PUMPA
GRUNDFOS MAGNA3 80-100 F
q=43,56 m³/h
H=5,03 m
- 15-16
CIRKULACIJSKA PUMPA
GRUNDFOS TPE 150-170/4 A-F-A-BQOE
q=348,13 m³/h
H=12,25 m
- 17-18
CIRKULACIJSKA PUMPA
GRUNDFOS MAGNA3 80-100 F
q=40,21 m³/h
H=4,89 m
- 19-20
CIRKULACIJSKA PUMPA
GRUNDFOS MAGNA3 80-100 F
q=40,21 m³/h
H=5,07 m
- 21-22
CIRKULACIJSKA PUMPA
GRUNDFOS NBE 150-250/230 EUP
AF1ABAE
q=398,69 m³/h
H=11,13 m



Projektirao	Datum	Ime i prezime	Potpis
Razradio			
Crtao			
Pregledao			
Naziv: SHEMA SPAJANJA I AUTOMATSKE REGULACIJE		Crtež broj: 01-20-01	Format: A2 Listova: 7 List: 1

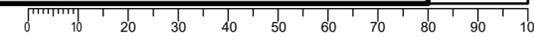


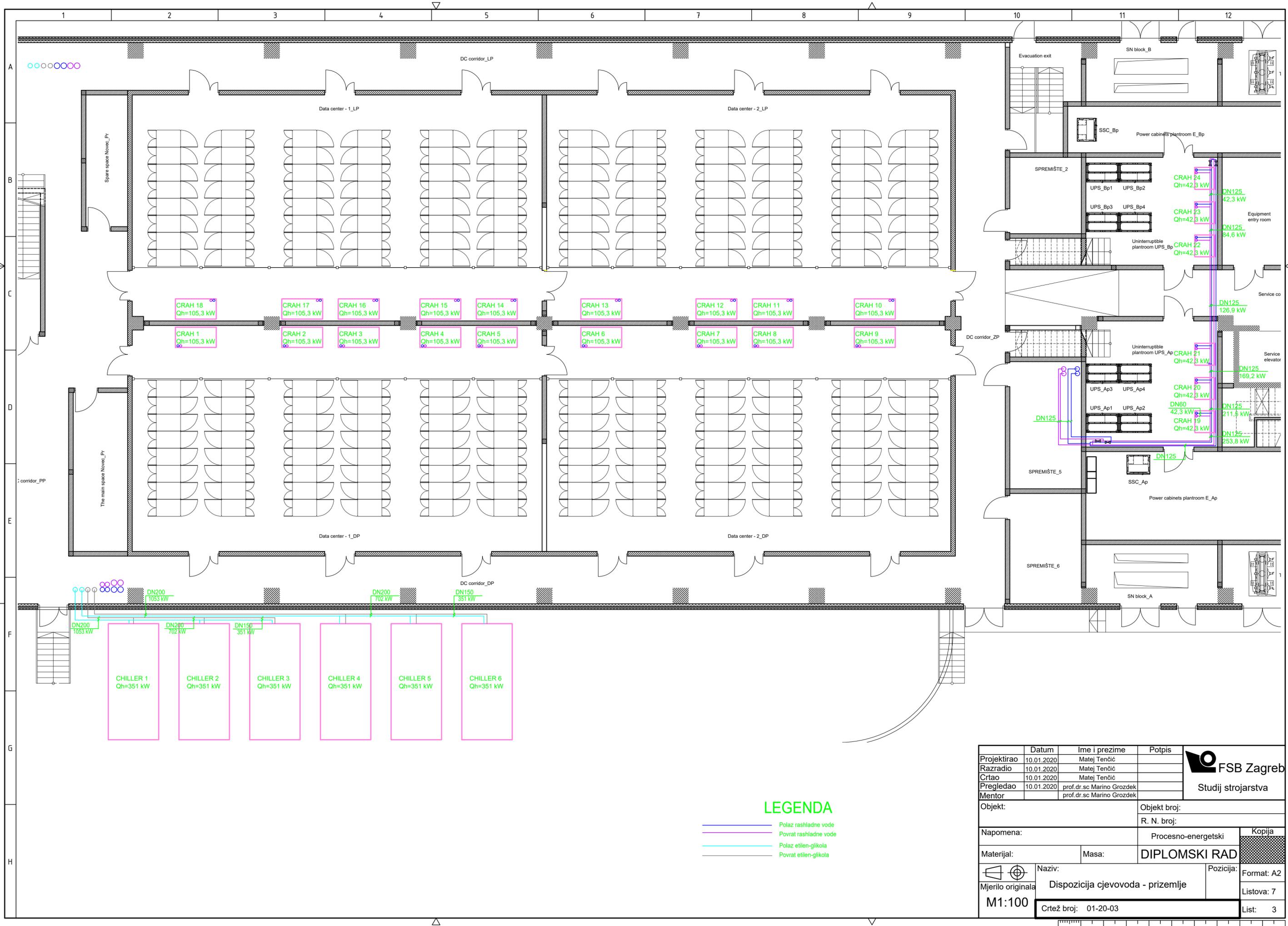


LEGENDA

- Polaz rashladne vode
- Povrat rashladne vode
- Polaz etilen-glikola
- Povrat etilen-glikola

Projektirao	Datum	Ime i prezime	Potpis	 FSB Zagreb Studij strojarstva
Razradio	10.01.2020	Matej Tenčić		
Crtao	10.01.2020	Matej Tenčić		
Pregledao	10.01.2020	prof.dr.sc Marino Grozdek		
Mentor		prof.dr.sc Marino Grozdek		
Objekt:		Objekt broj:		
		R. N. broj:		
Napomena:			Procesno-energetski	Kopija
Materijal:		Masa:	DIPLOMSKI RAD	
Mjerilo originala		Naziv: Dispozicija cjevovoda - podrum		Pozicija: Format: A2
M1:100		Crtež broj: 01-20-02		Listova: 7
				List: 2

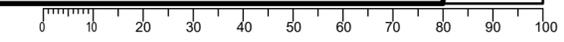


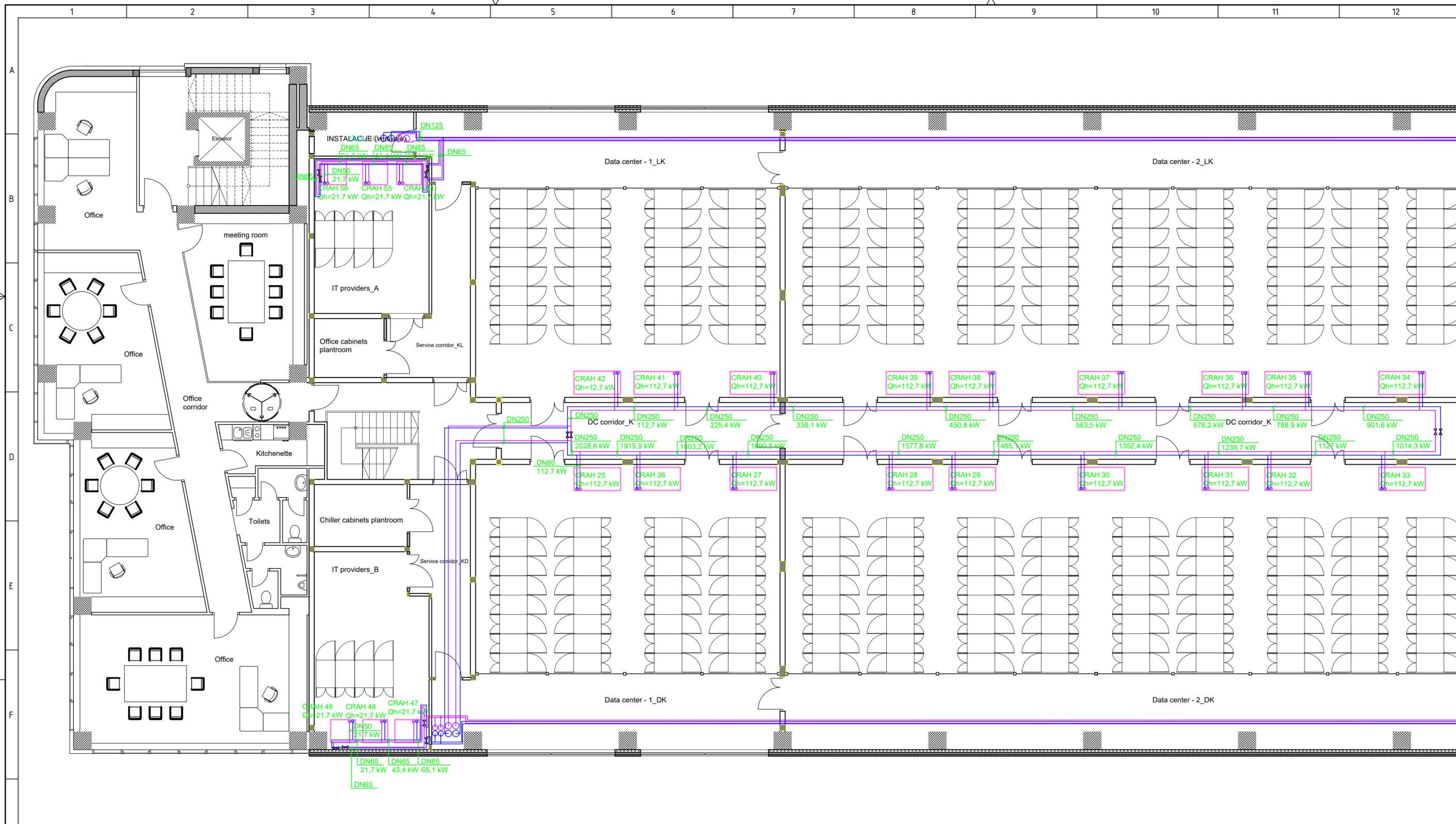


LEGENDA

- Polaz rashladne vode
- Povrat rashladne vode
- Polaz etilen-glikola
- Povrat etilen-glikola

Projektiarao	Datum	Ime i prezime	Potpis	 FSB Zagreb Studij strojarstva
Razradio	10.01.2020	Matej Tenčić		
Crtao	10.01.2020	Matej Tenčić		
Pregledao	10.01.2020	prof.dr.sc Marino Grozdek		
Mentor		prof.dr.sc Marino Grozdek		
Objekt:		Objekt broj:		
		R. N. broj:		
Napomena:		Procesno-energetski		Kopija
Materijal:		Masa:		DIPLOMSKI RAD
Mjerilo originala		Naziv:		Format: A2
M1:100		Dispozicija cjevovoda - prizemlje		Listova: 7
		Crtež broj: 01-20-03		List: 3

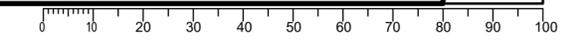


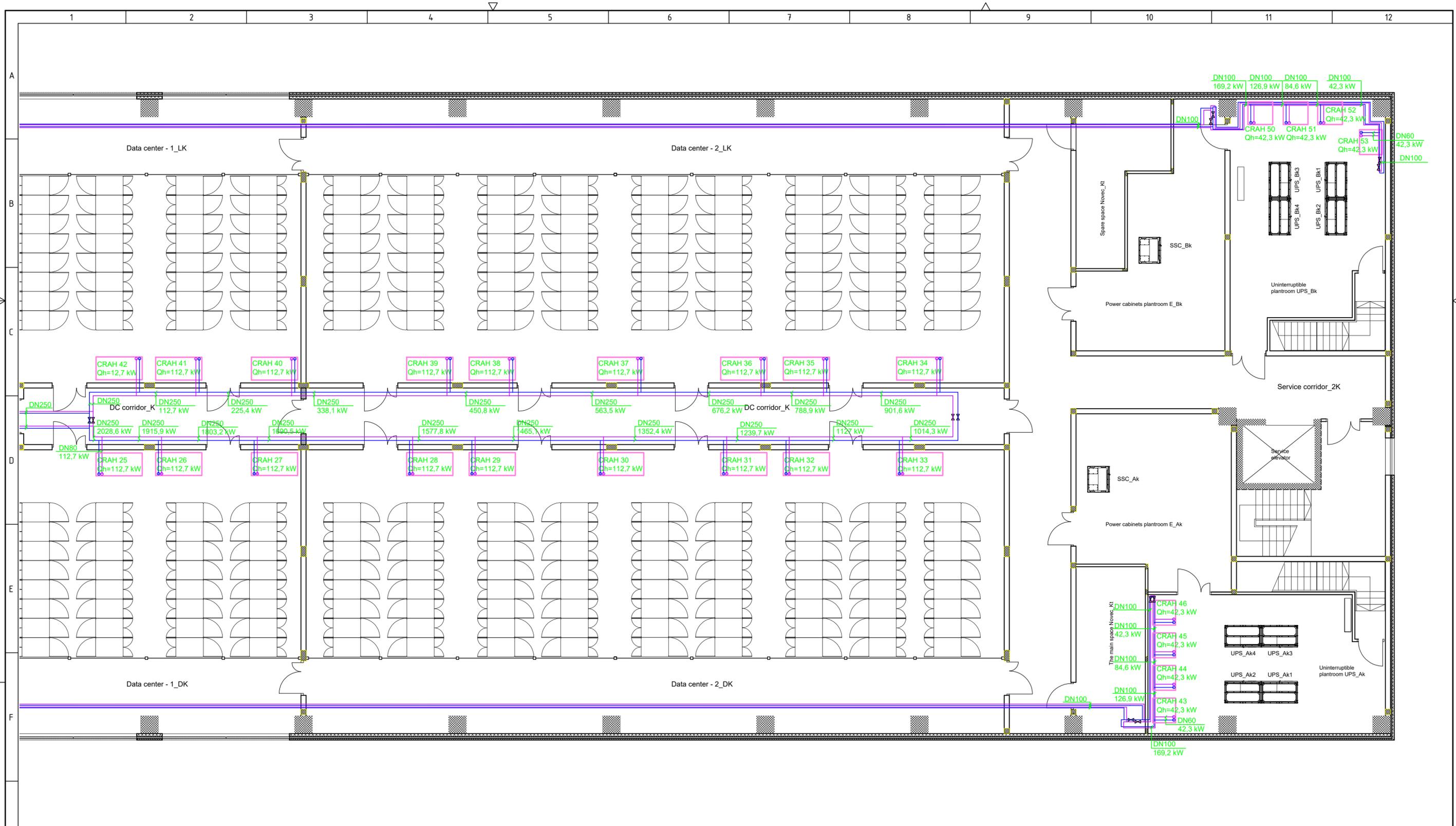


LEGENDA

- Polaz rashladne vode
- Povrat rashladne vode
- Polaz etilen-glikola
- Povrat etilen-glikola

Projektiarao	Datum	Ime i prezime	Potpis	 FSB Zagreb Studij strojarstva
Razradio	10.01.2020	Matej Tenčić		
Crtao	10.01.2020	Matej Tenčić		
Pregledao	10.01.2020	prof.dr.sc Marino Grozdek		
Mentor		prof.dr.sc Marino Grozdek		
Objekt:		Objekt broj:		
		R. N. broj:		
Napomena:			Procesno-energetski	Kopija
Materijal:		Masa:	DIPLOMSKI RAD	
Mjerilo originala		Naziv: Dispozicija cjevovoda - 2.kat A		Pozicija: Format: A2
M1:100		Crtež broj: 01-20-04		Listova: 7
				List: 4

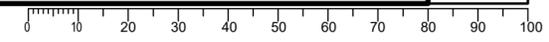


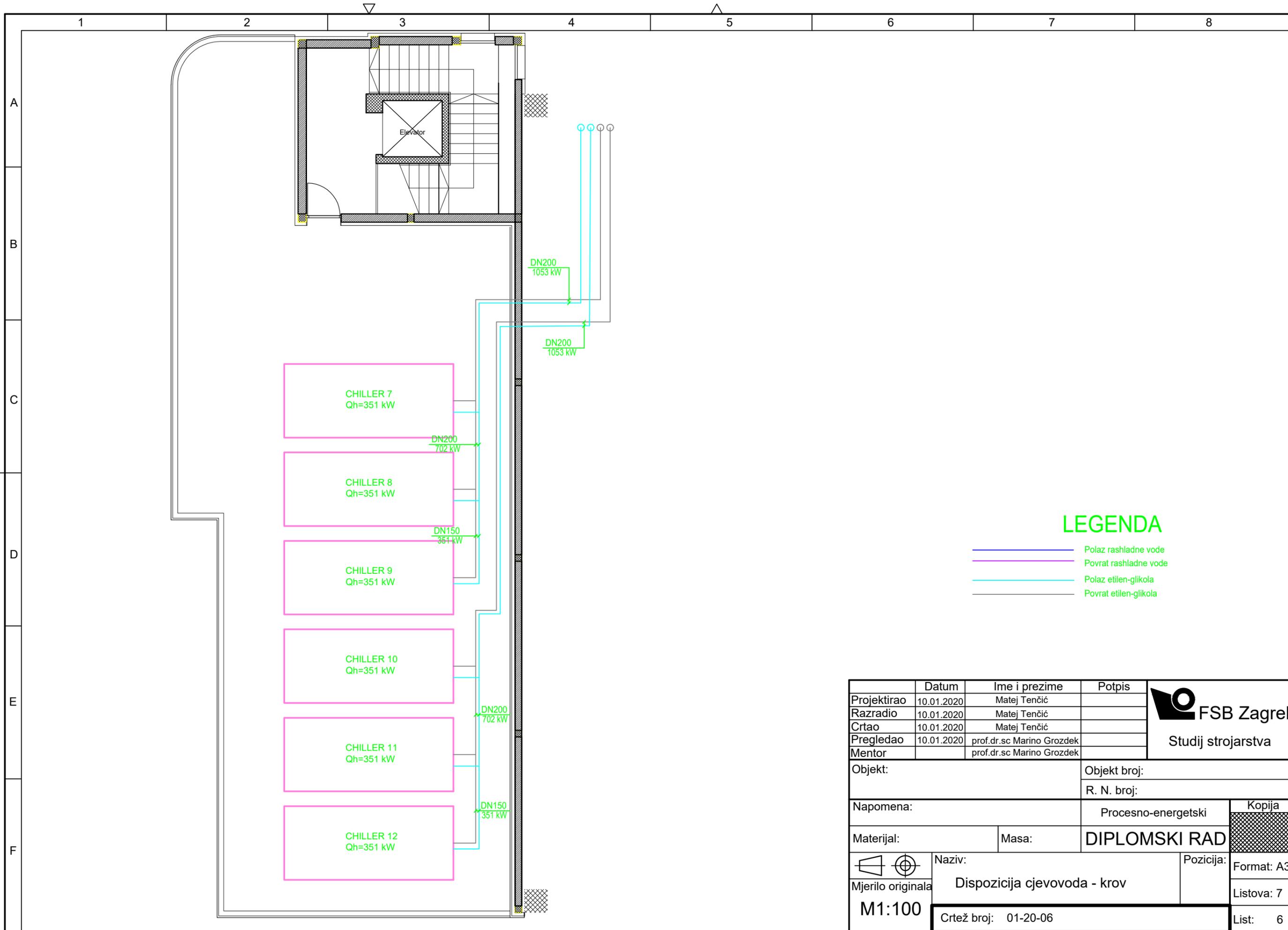


LEGENDA

- Polaz rashladne vode
- Povrat rashladne vode
- Polaz etilen-glikola
- Povrat etilen-glikola

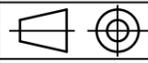
Projekтираo	Datum	Ime i prezime	Potpis	 FSB Zagreb Studij strojarstva
Razradio	10.01.2020	Matej Tenčić		
Crtao	10.01.2020	Matej Tenčić		
Pregledao	10.01.2020	prof.dr.sc Marino Grozdek		
Mentor		prof.dr.sc Marino Grozdek		
Objekt:		Objekt broj:		
		R. N. broj:		
Napomena:			Procesno-energetski	Kopija
Materijal:		Masa:	DIPLOMSKI RAD	
Mjerilo originala		Naziv:	Dispozicija cjevovoda - 2.kat B	Pozicija: Format: A2
M1:100		Crtež broj: 01-20-05		Listova: 7
				List: 5

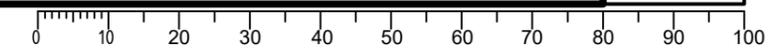


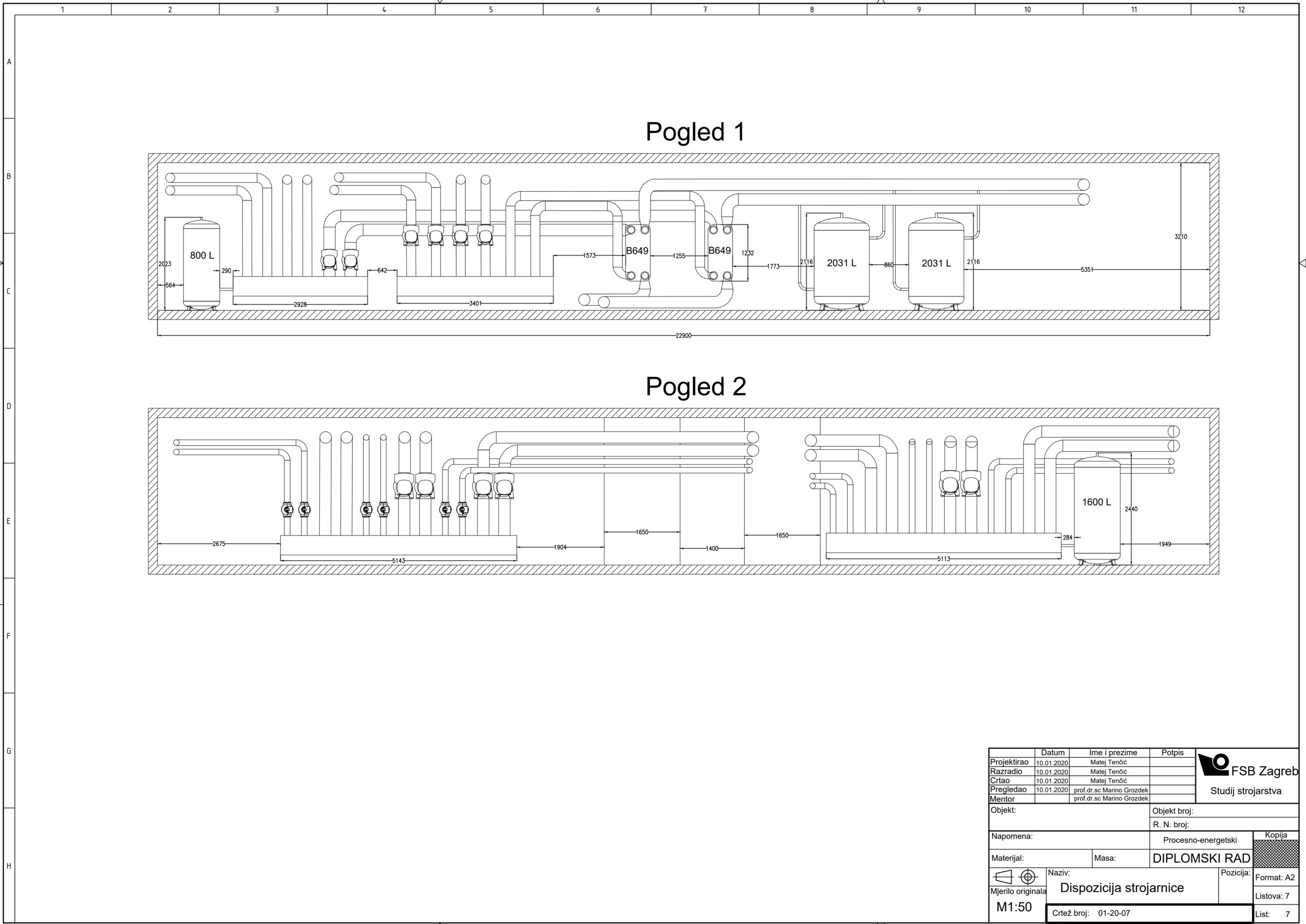


LEGENDA

- Polaz rashladne vode
- Povrat rashladne vode
- Polaz etilen-glikola
- Povrat etilen-glikola

Projektirao	Datum	Ime i prezime	Potpis	 FSB Zagreb Studij strojarstva
Razradio	10.01.2020	Matej Tenčić		
Crtao	10.01.2020	Matej Tenčić		
Pregledao	10.01.2020	prof.dr.sc Marino Grozdek		
Mentor		prof.dr.sc Marino Grozdek		
Objekt:		Objekt broj:		
		R. N. broj:		
Napomena:		Procesno-energetski	Kopija	
Materijal:		Masa:	DIPLOMSKI RAD	
	Naziv:		Pozicija:	Format: A3
Mjerilo originala	Dispozicija cjevovoda - krov			Listova: 7
M1:100	Crtež broj: 01-20-06			List: 6





Projektor	Datum	Ime i prezime	Potpis
Razradio	10.01.2020	Matej Tenčić	
Crtao	10.01.2020	Matej Tenčić	
Pregledao	10.01.2020	prof.dr.sc Marino Grozdek	
Mentor		prof.dr.sc Marino Grozdek	

Objekt: _____ Objekt broj: _____
R. N. broj: _____

Napomena: _____ Procesno-energetski _____ Kopija _____

Materijal: _____ Masa: _____ **DIPLOMSKI RAD** _____

Mjerilo originala: Naziv: **Dispozicija strojarnice** Pozicija: _____
M1:50 Crtež broj: 01-20-07

