

# Postizanje i održavanje higijenskih uvjeta u instalacijama pitke vode

---

Hunjet, Inja

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://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:235:925533>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-03-12**

*Repository / Repozitorij:*

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



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

# **DIPLOMSKI RAD**

**Inja Hunjet**

Zagreb, 2019.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

# **DIPLOMSKI RAD**

Mentor:

Dr. sc. Davor Ljubas, dipl. ing.

Student:

Inja Hunjet

Zagreb, 2019.

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

Zahvaljujem mentoru dr. sc. Davoru Ljubasu, dipl. ing. na korisnim savjetima i pomoći tijekom izrade ovog rada.

Zahvala Dinku Ljolji, mag. ing. mech. i tvrtki Opus Optimus d.o.o. na pomoći oko praktičnog dijela izrade rada.

Inja Hunjet



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: **Inja Hunjet** Mat. br.:0035189418

Naslov rada na hrvatskom jeziku: **Postizanje i održavanje higijenskih uvjeta u instalacijama pitke vode**

Naslov rada na engleskom jeziku: **Achieving and maintaining hygienic conditions in drinking water installations**

Opis zadatka:

U instalacijama pitke vode u objektima mogu se razviti fizikalne, kemijske i mikrobiološke opasnosti. Zato je potrebno već u fazi projektiranja poznavati te opasnosti i u postupku projektiranja provoditi postupke kojima će se postići higijenski uvjeti za distribuciju vode do krajnjih potrošača. Spomenute opasnosti mogu se razvrstati u tri osnovne grupe:

- A - rast i razvoj patogenih mikroorganizama (npr. *Legionella pneumophila*, *Pseudomonas aeruginosa*)
- B - nepovoljni fizikalno-kemijski parametri (temperatura, tlak, otopljene ili suspendirane tvari čiji sastav djeluje nepovoljno na ljude, buka)
- C - opasnosti pri uporabi vode – uglavnom tijekom konzumacije vode, ali i drugim prijenosnim putovima kao što su apsorpcija kroz kožu i udisanje vodenog aerosola.

U ovome radu potrebno je:

- proučiti propise, norme i stručne preporuke iz Hrvatske, ali i iz inozemstva, koje se odnose na rješavanje navedenih opasnosti i kojima će se postići higijenski uvjeti u vodnim instalacijama te dati njihov sažeti prikaz
- proučiti i navesti metode i tehnička rješenja kojima se već u projektnoj fazi može boriti protiv nastajanja navedenih opasnosti s najvećim naglaskom na opasnost mikrobioloških zagađenja u sustavima vodnih instalacija u objektima
- na primjeru jednog stvarnog objekta u kojemu će boraviti ljudi prikazati moguću primjenu tehnoloških postupaka i različitih projektnih rješenja koji se koriste kao preventivne mjere ili kao naknadne mjere inaktivacije patogenih mikroorganizama u postojećim sustavima kondicioniranja vode. Pri tome je potrebno koristiti se i specijaliziranim softverom te izraditi potrebne tehničke crteže koji će primjereno pojasniti primjenu navedenih tehnoloških postupaka.

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

Zadatak zadan:  
14. studenoga 2019.

Datum predaje rada:  
16. siječnja 2020.

Predviđeni datum obrane:  
20. – 24. 1. 2020.

Zadatak zadao:

  
Prof. dr. sc. Davor Ljubas

Predsjednica Povjerenstva:

  
Prof. dr. sc. Tanja Jurčević Lulić

## SADRŽAJ

SADRŽAJ .....	1
POPIS SLIKA .....	4
POPIS TABLICA.....	6
POPIS TEHNIČKE DOKUMENTACIJE .....	7
POPIS OZNAKA .....	8
SAŽETAK.....	10
SUMMARY .....	11
1. UVOD.....	12
2. KVALITETA VODE.....	14
2.1. Fizikalno-kemijska kvaliteta vode .....	14
2.2. Biofilm .....	15
2.3. Hranjive tvari .....	16
2.4. Održavanje kvalitete vode.....	17
2.4.1. Temperatura .....	18
2.4.2. Izmjena vode .....	18
2.4.3. Brzina.....	19
2.5. Biostabilnost vodoopskrbnog sustava.....	20
3. MIKROORGANIZMI U VODI .....	21
3.1. Heterotrofne bakterije .....	21
3.2. Bakterije roda <i>Legionella</i> .....	21
3.2.1. Vrste legionela .....	22
3.2.2. Faktori razmnožavanja legionela .....	23
3.2.3. Stvaranje aerosola .....	25
3.2.4. Osjetljivost pojedinca.....	25
3.2.4.1. Broj udisanih molekula.....	25
3.2.5. Prijenos legionele.....	26
3.3. Atipične mikobakterije.....	26
3.4. <i>Pseudomonas aeruginosa</i> .....	26
3.5. Koliformne bakterije .....	27
4. PROJEKTIRANJE SUSTAVA PITKE VODE .....	28

4.1.	Određivanje promjera cijevi potrošne tople vode i hladne pitke vode .....	29
4.1.1.	Raspoloživa razlika tlaka .....	29
4.1.2.	Izračunavanje protoka .....	31
4.1.3.	Metoda protoka .....	33
4.1.4.	Oprema.....	34
4.2.	Recirkulacija tople vode.....	34
4.2.1.	Načini projektiranja .....	40
4.2.2.	Pravilo 3 litre.....	41
4.2.3.	Metode projektiranja recirkulacijskih sustava .....	41
4.2.3.1.	Kratka metoda.....	42
4.3.	Materijali instalacija.....	43
4.3.1.	Korozija i kamenac .....	44
4.3.1.1.	Pocinčane čelične cijevi .....	45
4.3.1.2.	Bakrene cijevi .....	46
4.3.1.3.	Cijevi od nehrđajućeg čelika.....	46
4.3.1.4.	Plastične cijevi .....	46
4.3.1.5.	Sredstva za zaštitu od korozije.....	47
4.4.	Izolacija cijevi .....	47
5.	DEKONTAMINACIJA SUSTAVA OD PATOGENIH MIKROORGANIZAMA .....	49
5.1.	Uklanjanje cijevi sa stagnacijom.....	49
5.2.	Dezinfekcija .....	50
5.2.1.	Neregulirani sustavi .....	51
5.2.2.	Sustavi regulirani termostatskim ventilima.....	53
5.2.3.	Verifikacija temperature dezinfekcije.....	54
5.2.4.	Konfiguracija koja podržava termičku dezinfekciju.....	55
5.3.	Povećanje temperature u postojećim sustavima opskrbe tople vode .....	55
5.3.1.	Pregled sustava.....	56
5.3.1.1.	Mjerenja temperature .....	57
5.3.1.2.	Mjerenje protoka.....	57
5.3.1.3.	Mjerenja razlike tlaka .....	58
5.3.2.	Dijagnostika .....	58
5.3.2.1.	Sustav pripreme potrošne tople vode.....	58
5.3.2.2.	Neodgovarajući protok recirkulacije.....	59

6. PRIMJER RJEŠENJA ZA HOTELSKU ZGRADU .....	62
6.1. Razrada zadatka .....	64
6.2. Proračun .....	66
6.3. Simulacija.....	70
7. ZAKLJUČAK.....	75
LITERATURA.....	76
PRILOZI.....	79



**POPIS SLIKA**

Slika 1.	Međuovisnost održavanja kvalitete pitke vode, izrađeno prema [8].....	17
Slika 2.	Prijenos Legionele, izrađeno prema [13] .....	21
Slika 3.	Podjela Legionele pneumophilie, izrađeno prema [14].....	23
Slika 4.	Razmnožavanje Legionele u ovisnosti o temperaturi, izrađeno prema [14] .....	24
Slika 5.	Prikaz oznaka vodoopskrbnog sustava, izrađeno prema [20] .....	30
Slika 6.	Definiranje projektnog protoka na potrošaču $Q_R$ , izrađeno prema [20] .....	32
Slika 7.	Distribucija protoka i temperaturni profil u nereguliranom sustavu projektiranom prema DIN 1988-3, izrađeno prema [20] .....	36
Slika 8.	Distribucija protoka i temperaturni profil u nereguliranom sustavu projektiranom prema DIN 1988-3 sa snažnijom crpkom, izrađeno prema [20] .....	37
Slika 9.	Distribucija protoka i temperaturni profil u reguliranom sustavu projektiranom prema DIN 1988-3, izrađeno prema [20] .....	38
Slika 10.	Distribucija protoka i temperaturni profil u reguliranom sustavu projektiranom prema Radnom listu W 553, izrađeno prema [20] .....	40
Slika 11.	Pravilo 3 litre .....	41
Slika 12.	Ograničenja korištenja kratke metode projektiranja recirkulacijskog sustava .....	43
Slika 13.	Odvodne cijevi u blizini razvodnika (lijevo – ispravno spajanje, desno – neispravno spajanje), izrađeno prema [20].....	49
Slika 14.	Uništavanje bakterija legionela u funkciji temperature i duljine izlaganja, izrađeno prema [13] .....	51
Slika 15.	Termička dezinfekcija nereguliranog sustava, izrađeno prema [20].....	52
Slika 16.	Termička dezinfekcija nereguliranog sustava s ispuštanjem vode, izrađeno prema [20] .....	53
Slika 17.	Termička dezinfekcija u sustavu reguliranom Multi-Therm regulacijskim ventilom, izrađeno prema [20] .....	54
Slika 18.	Spremnik vode i rad crpke tijekom termičke dezinfekcije, izrađeno prema [20] .	55
Slika 19.	Preferirana mjesta mjerenja temperature, izrađeno prema [20] .....	57
Slika 20.	Poboljšanje hidrauličkih uvjeta paralelnim postavljanjem glavnog razvoda, izrađeno prema [20].....	61
Slika 21.	Sučelje računalnog programa Dendrit .....	63

Slika 22.	Određivanje vršnog protoka prema namjeni građevine .....	64
Slika 23.	Priključak građevine .....	65
Slika 24.	Distribucijska linija .....	65
Slika 25.	Sitni razvod.....	65
Slika 26.	Kritična dionica tople vode – označena crvenom bojom .....	66
Slika 27.	Dijagram tlaka za kritičnu dionicu tople vode .....	68
Slika 28.	Kritična dionica hladne vode – označena zelenom bojom .....	68
Slika 29.	Zagrijavanje vode: Sustav za pripremu tople vode – temperatura: 60 °C .....	71
Slika 30.	Krivulja crpke .....	72
Slika 31.	Krivulja temperature za dionicu 117 .....	73
Slika 32.	Pad tlaka na dionici 117 .....	73
Slika 34.	Karakteristika 141 OG automatskog balansnog ventila za regulaciju cirkulacije (Multitherm), 50 °C do 65 °C, AG, DN 20.....	74

**POPIS TABLICA**

Tablica 1. Granične vrijednosti za odabrane kemijske parametre pitke vode u skladu s EU direktivom 98/83/EC, izrađeno prema [8].....	15
Tablica 2. Brzine po vodovima preuzeto iz [6] .....	19
Tablica 3. Standardne vrijednosti za minimalni tlak $p_{\min I}$ i projektni protok $Q_R$ na izljevnom mjestu, izrađeno prema [20] .....	33
Tablica 4. Dopušteni protoci u sustavu opskrbe vodom, izrađena prema [20] .....	34
Tablica 5. Promjeri cijevi prema DVGW Radnom listu W 553 i DIN 1988-3 za građevinu od 48 stanova prema [20] .....	38
Tablica 6. Kriterij za odabir uobičajenih materijala cijevi s obzirom na svojstva vode, izrađeno prema [8].....	44
Tablica 7. Minimalna debljina izolacije za cijevi tople vode prema DIN 1988-200, izrađeno prema [8] .....	48
Tablica 8. Smjernice za debljinu izolacije cijevi hladne pitke vode prema DIN 1988-200, izrađeno prema [8].....	48
Tablica 9. Pad tlaka za kritičnu dionicu tople vode hotela.....	66
Tablica 10. Pad tlaka za kritičnu dionicu hladne pitke vode hotela.....	69

## **POPIS TEHNIČKE DOKUMENTACIJE**

- Prilog 1 Dio razvoda pitke vode u zgradi hotela
- Prilog 2 Brzine protoka kroz sustav
- Prilog 3 Materijali cijevi razvoda
- Prilog 4 Vrijeme potrebno za postizanje tražene temperature na izljevnom mjestu
- Prilog 5 Temperature hladne pitke vode
- Prilog 6 Temperature tople vode

## POPIS OZNAKA

Oznaka	Jedinica	Opis
$p_{\min P}$	Pa	Minimalan tlak opskrbe na priključku
$p_{\min I}$	Pa	Potreban tlak kod izljevnog mjestu
$\Delta p_{Ap}$	Pa	Suma padova tlaka u uređajima
$\Delta p_{MS}$	Pa	Pad tlaka u mjernom sustavu
$\Delta p_{OV}$	Pa	Pad tlaka u sustavu za omekšavanje vode
$\Delta p_G$	Pa	Pad tlaka u razvodnoj grani i ograncima
$\Delta p_{geo}$	Pa	Pad tlaka zbog razlike geodetskih visina između priključka i izljevnog mjesta
$\Delta p_v$	Pa	Pad tlaka u vodomjeru
$\sum(l \cdot R)$	Pa	Suma padova tlaka uslijed linijskih gubitaka
$\sum Z$	Pa	Suma padova tlaka uslijed ostalih lokalnih gubitaka
$\Delta p_F$	Pa	Raspoloživa razlika tlaka za svladavanje linijskih i lokalnih gubitaka
$l$	m	Duljina dionice
$a$	%	Procijenjeni gubici tlaka
$\Delta p_{FIL}$	Pa	Pad tlaka u filteru
$Q_{S,povr}$	m <sup>3</sup> /h	Vršni protok povremene potrošnje
$Q_K$	m <sup>3</sup> /h	Kontinuirana potrošnja
$R_F$	Pa/m	Uprosječen pad tlaka
$Q_{max}$	m <sup>3</sup> /h	Maksimalni protok kod izljevnog mjesta
$p_{max I}$	Pa	Maksimalni tlak kod izljevnog mjesta
$p_{min I}$	Pa	Minimalni tlak kod izljevnog mjesta
$Q_R$	m <sup>3</sup> /h	Projektni protok kod izljevnog mjesta
$\Delta p_{ur}$	Pa	Razlika tlaka određena od strane proizvođača uređaja pri protoku $Q_{ur}$
$Q_n$	m <sup>3</sup> /h	Nazivni protok koji odgovara kontinuiranoj potrošnji $Q_D$
$Q_{min}$	m <sup>3</sup> /h	Minimalni protok kod izljevnog mjesta
$Q_c$	m <sup>3</sup> /h	Protok crpke
$V_{Cirk}$	m <sup>3</sup>	Volumen vode u sustavu recirkulacije
$Q_G$	m <sup>3</sup> /h	Protok kroz cijevne ogranke
$n_G$	-	Broj cijevnih ogranaka
$\Delta p_p$	Pa	Procijenjena razlika tlaka crpke
$\Delta p_{RV}$	Pa	Pad tlaka u nepovratnim ventilima
$\sum[q_w \cdot l_{uk}]$	W	Suma toplinskih gubitaka po površini svih cijevi tople vode i cijevi recirkulacije
$\rho$	kg/m <sup>3</sup>	Gustoća vode

$c$	Wh/kgK	Specifični toplinski kapacitet vode
$\Delta\vartheta_W$	°C	Dozvoljeni pad temperature
$h_{\text{geo}}$	m	Geodetska visina
$\sum\Delta p_{\text{Ruck}}$	Pa	Suma padova tlaka u nepovratnim ventilima
$p_I$	Pa	Tlak kod izljevnoeg mjesta
$V_{\text{nCirk}}$	m <sup>3</sup>	Necirkulacijski volumen
$\Delta t_{\text{izlaz}}$	s	Izlazno vrijeme necirkulirajuće tople vode

## **SAŽETAK**

U ovom radu se kroz propise, norme i stručne preporuke predlažu zadovoljavajući uvjeti higijene vodoopskrbnog sustava. Osim pravilnog projektiranja instalacija pitke vode, ponuđene su i mogućnosti održavanja njihove higijene. Dodatno, obrađeni su utjecaji na kvalitetu vode i opisani su mikroorganizmi koji se razmnožavaju uslijed navedenih utjecaja.

Rješenja za instalacije prikazana su na primjeru stvarnog objekta u računalnom programu Dendrit. Proveden je hidraulički proračun pada tlaka. Analizom sustava dobivene su i prikazane zadovoljavajuće temperature vode, odgovarajući protoci, pregled materijala sustava i vrijeme potrebno za postizanje tražene temperature vode na izljevnom mjestu. Provedena je i termička simulacija u svrhu provjere smanjenja temperatura vode u recirkulacijskom sustavu.

Ključne riječi: instalacije pitke vode, legionela, kvaliteta vode, higijena

## **SUMMARY**

In this paper satisfactory hygiene conditions for the water supply system are proposed through guidances, specifications and recommendations. In addition to hygienic design of water installations, the thesis provides possibilities for maintaining hygiene. Additionally, impacts on water quality are discussed and microorganisms that can proliferate due to these impacts are described.

Installation solutions were implemented using the example of an actual object in Dendrit computer program. A pressure drop calculation was performed. The system analysis obtained satisfactory water temperatures, corresponding flow rates, an overview of the system materials and the time required to reach the required water temperature at the point-of-use fittings. A thermal simulation was performed to check temperature drop in the recirculation part of water system.

Key words: drinking water installations, *Legionella* bacteria, water quality, hygiene



## 1. UVOD

Dugo se smatralo da voda iz sustava vodoopskrbe nije opasna za zdravlje, međutim, posljednjih desetljeća došlo je do potpuno novih saznanja. Razna istraživanja su pokazala da se mikroorganizmi u instalacijama pitke vode mogu pod određenim uvjetima nekontrolirano razvijati i time ugroziti kvalitetu vode. Korištenjem kontaminirane vode postoji rizik od zaraze i to ne samo konzumacijom, već i apsorpcijom kroz kožu ili udisanjem vodenog aerosola. Jedna od najvećih opasnosti u današnjim instalacijama pitke vode je prisutnost bakterija legionela koje se mogu nalaziti u vodi u tzv. planktonskom (lebdećem) obliku ili u obliku biofilmova na unutarnjim stijenkama cijevi. Legionele su otkrivene 1976. godine u Philadelphiji nakon oboljenja američkih ratnih veterana (legionara) od upale pluća na skupu u hotelu Bellevue-Statford. Tada je od sveukupno 221. slučaja zaraze umrlo 34-ero ljudi. Nakon obavljene obdukcije, pronađeni su do tada nepoznati mikroorganizmi - patogene bakterije kasnije nazvane legionelama. Kasnije je utvrđeno da postoji više podvrsta bakterija roda *Legionella*, a među najopasnijima je podvrsta *Legionella pneumophila*. Sam prijevod riječi *L.pneumophila* znači „ona koja voli pluća“. Općenito, mnoge studije upozoravaju da su vodopskrbni sustavi značajni izvori zaraza, i to ne samo legionelama koje nalazimo u toploj vodi, već i drugim mikroorganizmima poput *Pseudomonas aeruginosa*. Također, dostupni podaci iz istraživanja pokazuju da se ukupni trend zaraza povećava [1]. Razvoju većeg broja mikroorganizama doprinosi kompleksnost vodoopskrbnog sustava, a globalnom urbanizacijom ljudska populacija sve je više izložena građevinama s kompleksnim sustavima. Među objektima velikog rizika nalaze se bolnice, starački domovi, studentski domovi, hoteli, škole i druge građevine koje imaju vrlo složene sustave razvoda instalacija pitke vode. U njima borave ljudi s često slabijim i/ili nerazvijenim imunološkim sustavom koji lakše obolijevaju. Iako se određenim tehničkim rješenjima smanjuju mogućnosti kontaminacije unutar razvoda instalacija pitke vode, mnoga istraživanja vodoopskrbnih sustava pokazuju značajna odstupanja od osnovnih higijenskih pravila. Važno je da svi uključeni u projektiranje, ugradnju, rad i održavanje sustava ispunjavaju aspekte higijene. Općenito, čimbenici koji pridonose problemu higijene sustava su sljedeći:

- Neprijmjerena veličina cijevi ili spremnika vode
- Upotreba neprikladnih materijala i/ili komponenata sustava
- Nepravilno korišteni dijelovi cjevovoda sa stagnacijom vode

- Uvjeti pogodni za stvaranje biofilma
- Nepridržavanje temperaturnih ograničenja
- Neispravna ili nestručno postavljena instalacija
- Neprimjereno ispitivanje propuštanja
- Npropisno puštanje sustava u rad
- Nepravilni rad sustava.

U ovom radu se obrađuju utjecaji na kvalitetu vode i mikroorganizmi koji se u instalacijama pojavljuju. Kroz smjernice, norme i preporuke iznose se mogućnosti, ali i problemi postizanja higijenskih uvjeta u projektiranju instalacija. Predlažu se i naknadne mjere u već postojećim sustavima. Po završetku teoretskog dijela, rješenja se provode na primjeru stvarnog objekta u računalnom programu Dendrit.

## 2. KVALITETA VODE

U Republici Hrvatskoj na snazi je *Pravilnik o parametrima sukladnosti, metodama analize, monitoringu i planovima sigurnosti vode za ljudsku potrošnju te načinu vođenja registra pravnih osoba koje obavljaju djelatnost javne vodoopskrbe*.

Pravilnikom se propisuju [2]:

- Parametri zdravstvene ispravnosti (mikrobiološki i kemijski), indikatorski parametri (mikrobiološki i kemijski) i parametri radioaktivnih tvari u vodi za ljudsku potrošnju
- Učestalost uzimanja uzoraka vode
- Metode i mjesta uzrokovanja
- Metode laboratorijskog ispitivanja
- Monitoring
- Način vođenja registra.

U Pravilniku, mikrobiološki parametri za koje su određene metode ispitivanja su *Escherichia coli*, Koliformne bakterije, *Enterococci*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Clostridium perfringens*, ali ne i bakterije legionele.

Osim navedenim Pravilnikom, zdravstvena ispravnost vode za ljudsku potrošnju u Republici Hrvatskoj regulirana je i *Zakonom o vodi za ljudsku potrošnju* (NN 056/2013, 064/2015, 104/2017, 115/2018) [3]. *Zakonom o vodi za ljudsku potrošnju* uređuje se zdravstvena ispravnost vode, nadležna tijela za provedbu Zakona, obaveze pravnih osoba, postupanja i izvještavanja u slučaju odstupanja parametara, kontrole, monitoring...

U radu su korišteni propisi, norme i smjernice iz Hrvatske, ali i iz inozemstva.

### 2.1. Fizikalno-kemijska kvaliteta vode

Pouzdana informacije o kvaliteti vode omogućuju da se uz pomoć smjernica odabere prigodan materijal za instalacije pitke vode. Pri tome se u obzir uzimaju i upute proizvođača o njihovim materijalima. Za metalne materijale, zahtjevi prema europskim smjernicama o procjeni vjerojatnosti korozije u sustavima distribucije i skladištenja vode dani u normama EN 12502-1 do EN 12502-4 [4]-[7] moraju biti ispunjeni.

Ovisno o radnim uvjetima i materijalima instalacija, povećanjem temperature voda može biti podvrgnuta kemijskim, fizikalnim i, ovisno o trajanju, mikrobiološkim promjenama.

Materijali korišteni za instalacije pitke vode imaju veliki utjecaj na kvalitetu vode. Voda pri dodiru s materijalima instalacija može otapati ili taložiti različite tvari na unutarnju površinu instalacija.

Kako bi se analizirao utjecaj metalnog materijala na kvalitetu vode, na izljevnom mjestu uzimaju se uzorci koncentracija olova, bakra, cinka i nikla (materijala za koje se očekuje da bi mogli biti u sastavu vode na temelju pretpostavke o sastavu primijenjenih materijala instalacija). Uzorci, osim o materijalima koji se koriste u vodovodnim instalacijama, ovise o konstrukciji, radnim uvjetima, starosti instalacija te o kemijskim i fizikalnim svojstvima vode. Tablica 1 prikazuje dopuštene granične koncentracije sljedećih kemijskih parametara u vodi.

**Tablica 1. Granične vrijednosti za odabrane kemijske parametre pitke vode u skladu s EU direktivom 98/83/EC, izrađeno prema [8].**

<b>Kemijski parametar</b>	<b>[mg/l]</b>
Olovo	0,01
Kadmij	0,005
Antimon	0,005
Bakar	2,0
Nikal	0,02
Željezo	0,2

Pri odabiru nemetalnog materijala, zahtjevi se promatraju s obzirom na plastični materijal u dodiru s pitkom vodom.

Osim toga, u skladu s EN 12502, materijal za instalacije pitke vode odabire se s namjerom da antikorozivne mjere neće biti potrebne. Za mjere sprječavanja kamenca odlučuje se s obzirom na kvalitetu vode, materijale instalacija i specificirane radne uvjete.

## **2.2. Biofilm**

Na površinama koje su često ili stalno u dodiru s vodom, nakon nekog vremena počne se stvarati sluzavi sloj. Taj sloj sadrži bakterije i vodu, i naziva se biofilm. Za razvitak biofilma na površini potrebni su mikroorganizmi, voda i hranjive tvari. Stvaranje biofilma unutar cjevovoda nastaje odmah nakon pojave bakterija koje koloniziraju unutarnju površinu cijevi vodovodnih instalacija. Kolonizacija površine popraćena je fazom nepovratne adhezije, stvaranju ekstracelularne polimerne supstance, rastom i akumulacijom biomase.

Mikroorganizmi su ugrađeni u ekstracelularnu polimernu supstancu (EPS) koju su sami proizveli čineći tako zajednicu mikroorganizama koja se drži za površinu cijevi. Ekstracelularna polimerna supstanca štiti ih od vanjskih bioloških, kemijskih i fizikalnih utjecaja. Zajedno s vodom, EPS otpušta hranjive tvari i druge supstance, ali i mikroorganizme za daljnju kolonizaciju površina. Između rasta i oslobađanja mikroorganizama, EPS se trudi postići novo ravnotežno stanje. Procjenjuje se da se 95% od ukupno svih mikroorganizama u instalacijama zgrade može pronaći u biofilmu [8]. Biofilm se razvija na novim materijalima kroz 1-2 tjedna. Ovisno o materijalu i temperaturi vode, nakon daljnjih 6-10 tjedana doseže svoje kvazistacionarno stanje. Kvaliteta i tip materijala značajno utječu na njegovu kolonizaciju. Prema [8], odabrani materijal daleko je najvažniji faktor u nastanku biofilma.

Postoje različiti sastavi i raznovrsnosti biofilma koji osim bakterija mogu sadržavati i patogene mikroorganizme. Kada se nalaze unutar biofilma, patogene poput legionela ili pseudomonasa teško je dovesti u kontakt s dezinfekcijskim sredstvima. One u zaštitnom sloju mogu nesmetano živjeti. Kada kroz slojeve s patogenim mikroorganizmima protječe voda, ona se može njima kontaminirati, patogeni tada prelaze u tzv. planktonski oblik i mogu ugrožavati zdravlje ljudi i širiti se dalje kroz sustav.

Promjene poput promjene temperature, opskrbe hranjivih tvari, pH vrijednosti, koncentracije otrovnih tvari (dezinfekcijska sredstva) ili promjena radnih uvjeta narušavaju stanje biofilma. Pritom biofilm prolazi kroz niz faza transformacija u kojima opet pokušava ostvariti stanje ravnoteže. Kako ne bi došlo do proliferacije (umnožavanja, odnosno naglog rasta) mikroorganizama koje biofilm potpomaže, potrebno je držati se mjera i smjernica za postizanje i održavanje higijene u instalacijama pitke vode. Iako se stvaranje biofilma uglavnom ne može u potpunosti spriječiti, njegov rast se može ograničavati.

### **2.3. Hranjive tvari**

Koncentracija i vrsta hranjivih tvari u vodi bitan su faktor u razmatranju kvalitete vode s obzirom da rast i razmnožavanje bakterija ovise o hranjivim tvarima. Potencijalni izvori hranjivih tvari u instalacijama pitke vode mogu biti:

- Pitka voda, tj. tvari koje dolaze s vodom još od izvorišta
- Organski i anorganski spojevi otpušteni iz materijala instalacija
- Tvari dodane vodi iz tehničkih razloga (naprimjer kao korozivna zaštita)
- Organska i anorganska kontaminacija izvana kroz propusna mjesta ili slučajno dospjela u sustav tijekom ugradnje, održavanja ili popravaka
- Živi i/ili mrtvi mikroorganizmi i/ili višestanični beskralješnjaci.

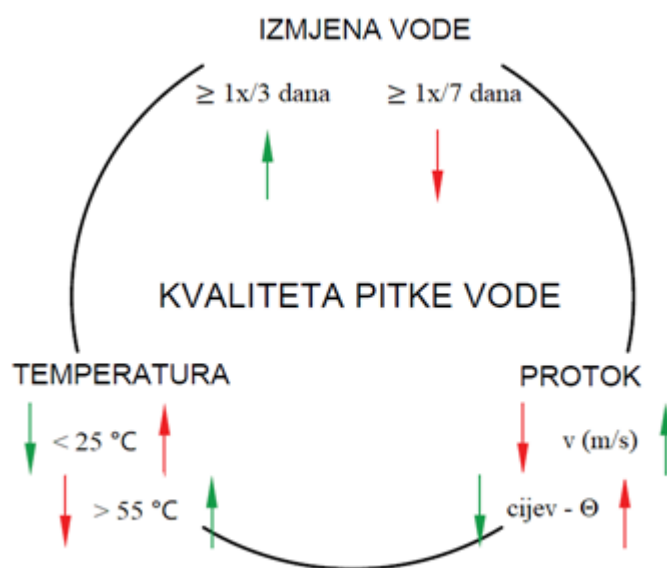
Iako izostanak određenih hranjivih tvari može ograničiti aktivnosti mikroba, flora instalacija pitke vode prilično je nezahtjevna. Heterotrofne bakterije su organizmi koji se nalaze u vodi, a za energiju i izvor ugljika koriste organske spojeve. Ovisno o zbroju parametara, rast mikroba podržavaju ukupni organski ugljik, otopljeni organski ugljik, biorazgradivi otopljeni organski ugljik i asimilirani (iskoristivi) organski ugljik. Biorazgradivi otopljeni ili asimilirani organski ugljik glavni su hranjivi izvori mikroorganizama u pitkoj vodi. Zahvaljujući lakoj prilagodbi slabo hranjivom vodenom okruženju, nezahtjevne heterotrofne bakterije mogu se razmnožavati kada su dostupni samo jedan izvor organskog ugljika i jedan izvor anorganskog dušika kao osnovni metaboliti [8]. Legionele pripadaju heterotrofnim bakterijama, međutim, one ipak imaju specifične potrebe za hranjivim tvarima. Kako bi rasle, osim škroba kao izvora ugljika, legionelama je potrebno i otopljeno željezo.

#### 2.4. Održavanje kvalitete vode

Osnovni zahtjevi koji se primjenjuju za instalacije pitke vode su sljedeći:

- Pouzdan rad sustava koji je siguran, održiv i energetski učinkovit
- Odgovarajuća opskrba (količina vode, kontrolirana temperatura i buka)
- Isporuka pitke vode propisane kvalitete
- Prikladni materijali cijevi.

Sustav je potrebno planirati kako bi se mogli provoditi uvjeti (Slika 1), čija se objašnjenja nalaze u nastavku.



Slika 1. Međuovisnost održavanja kvalitete pitke vode, izrađeno prema [8]

### **2.4.1. Temperatura**

Prema normama DIN 1988-200 [9] i VDI 6023 [10], maksimalna temperatura hladne pitke vode definirana je s 25 °C. Ispod te temperature pretpostavlja se da pri normalnoj potrošnji vode neće doći do kritičnog rasta mikroorganizama. Ipak, preporučuje se držati temperaturu hladne vode što je niže moguće. Potrebno je izbjeći raspon temperatura između 25 °C i 45 °C koji pogoduje razmnožavanju bakterija, posebno legionelama. Sustav recirkulacije tople vode treba održavati temperaturu vode iznad 55 °C po cijelom razvodu [8]. U tu svrhu potrebno je osigurati hidrauličko balansiranje između dionica. Prema EN 806-5 [11], sustavi potrošne tople vode s malim izmjenjivačem topline bez recirkulacije, s čestim protokom vode (s izmjenom kompletnog volumena  $\geq 1x / 7$  dana) mogu raditi s nižim temperaturama zagrijavanja vode ( $\geq 50$  °C).

Svaka potencijalna stagnacija vode po razvodu mora biti manja od 3 litre [8], tzv. Pravilo 3 litre. Ako se ta vrijednost prijeđe, potreban je sustav recirkulacije tople vode s temperaturnim režimom 60/55 °C [8][1]. Temperaturni režim 60/55 °C označava temperaturu tople vode od 60 °C na izlazu iz spremnika te temperaturu njezinog povratka u spremnik za zagrijavanje vode od 55 °C. Ipak, sustavi uvijek moraju biti projektirani za postizanje režima 60/55 °C, neovisno o radnoj temperaturi. Odnos tople vode i recirkulacije u režimu 60/55 °C predstavlja optimum izbalansiran između higijenskih zahtjeva i uštede energije. U sustavu treba biti moguće postići i temperaturu od 70 °C za povremene slučajeve termičke dezinfekcije sustava. Zahtijevaju se i mjere sprječavanja prijenosa topline korištenjem izolacije na cijevima. Osim toga, pozicije cijevi moraju biti na dovoljno udaljenim pozicijama. Ako su položene vodoravno i paralelno, savjetuje se da cijev hladne pitke vode bude smještena ispod cijevi tople vode [8].

### **2.4.2. Izmjena vode**

Izmjena vode je definirana kao potpuna promjena volumena vode koja se nalazi u određenoj dionici konzumacijom ili odvodnjom vode. Instalacije pitke vode trebale bi se planirati tako da se izmjenom vode održava higijena u sustavu. Potrebno je osigurati dovoljnu izmjenu vode iako se u obzir uzima i potencijalna ušteda vode i energije. Prema EN 806-5 [11], voda u instalacijama mora proći kroz svako trošilo barem jednom u sedam dana. Koriste se različiti načini spajanja trošila kako bi se osigurala potrebna izmjena vode, odnosno kako bi se izbjegle dionice bez protoka ili uređaji koji omogućuju stagnaciju vode. Mora se izbjeći i predimenzioniranje s obzirom da smanjuje maksimalno moguću izmjenu vode koja doprinosi pravilnom održavanju higijene sustava.

### 2.4.3. Brzina

Cijevi kao „spremnici vode“ utječu na hidrauliku cijelog distribucijskog sustava. Dimenzije cijevi imaju izravan utjecaj na dinamiku protjecanja vode, odnosno na izmjenu vode i njezinu brzinu. Cjevovod treba biti što jednostavniji i sa što manjim volumenom. Kod predimenzioniranog sustava postoji opasnost da će laminarni tok prolaziti kroz sredinu cijevi dok se pri stijenkama cijevi voda neće nužno kretati. Također, pri suviše malim brzinama, manjim od 0,5 m/s, stvara se taloženje na površinama koje utječe na higijenu u cijevima. S druge strane, pri brzinama većim od 3 m/s dolazi do buke u cjevovodu. Tablica 2 pokazuje preporučene brzine u cjevovodu.

**Tablica 2. Brzine po vodovima preuzeto iz [12]**

Vrsta voda	Brzina vode [m/s]
Priključak	1,0-2,5
Glavni razvod	1,0-2,0
Vertikale	1,0-2,0
Sitni razvod; grane i ogranci	1,0-2,5
Vertikale i sitni razvod u bolnicama, hotelima i sl.	0,5-0,7
Recirkulacija tople vode	0,2-0,4

Čak i pri lošijim uvjetima, kada nisu prisutne povoljne temperature i opskrba hranjivih tvari je nedovoljna, moguć je rast mikroba ako se bakterijama omogući dovoljno vremena. Vrijeme potrebno za rast nastaje kada je dinamika kretanja vode mala i/ili ako voda stagnira neko vrijeme u cijevima.

Kratki dijelovi s malim volumenom u kombinaciji s planiranom i prikladnom upotrebom instalacija smanjuju stagnaciju vode, a time i kontaminaciju sustava.

Dakle, u interesu je dimenzionirati cijevi što manjeg promjera i kombinirati ih s dijelovima i uređajima s niskim Zeta vrijednostima (niska Zeta vrijednost znači mali pad tlaka/minimalne vrijednosti otpora) [8]. Zeta vrijednosti su iznosi pada tlaka koje proizvođači daju u skladu sa normama i one predstavljaju pad tlaka svake integrirane komponente u sustavu cijevi. Iznosi pada tlaka direktno su povezane s oblikom, geometrijom, materijalom i konstrukcijom komponenti cjevovoda.

Opis načina dimenzioniranja sustava nalazi se u poglavlju 4.



## 2.5. Biostabilnost vodoopskrbnog sustava

Javna vodoopskrba ima za cilj proizvesti vodu dobre kvalitete (tj. u skladu s Pravilnikom) koju je kasnije potrebno održati u distribucijskom sustavu vode do trenutka potrošnje. Prekomjerni rast bakterija može dovesti do promjena u okusu vode, mirisu, zamućenosti, promjeni boje te razvitku patogena.

Biološka stabilnost (kontrolirani broj mikroorganizama) tijekom distribucije održava se dezinfekcijskim sredstvima, najčešće kloriranjem i/ili ograničavanjem hranjivih tvari. Međutim, dezinfekcija može imati i niz implikacija na biološki sustav. Kloriranjem se uništava značajan broj bakterija, ali ono otvara mogućnosti nepovoljnih posljedica. Dezinfekcija općenito čini znatan pad biomase u području koje obrada zahvaća, potencijalno omogućujući mikroorganizmima da zaokupe nizvodno područje. Osim toga, zaostali klor može izazvati neželjene promjene. Dezinfekcijska sredstva ne ciljaju samo bakterije već reagiraju i s prirodnim organskim tvarima (pri čemu mogu nastati štetni dezinfekcijski nusprodukti – trihalometani, kloriti, klorati i dr.), površinama cijevi i česticama u sustavu (pri čemu potencijalno oslobađaju organski ugljik). S obzirom da organski ugljik konzumiraju bakterije, on se smatra glavnim čimbenikom biološke nestabilnosti. Štoviše, raspad klora unutar razvoda negativno utječe na njegovu sposobnost sprječavanja rasta mikroba.

S prisutnošću hranjivih tvari, smanjenjem broja konkurentnih bakterija i ostatkom preostalog dezinficijensa, nastaje biološka nestabilnost u distribucijskom sustavu vode koja rezultira upravo rastom bakterija. Osim hranjivih sastojaka, niz dodatnih čimbenika može imati utjecaj na rast bakterija. Naprimjer, povećana temperatura vode može ubrzati raspadanje klora i time omogućiti intenzivan rast i razvoj mikroorganizama, dok promjene u hidrauličkim uvjetima mogu utjecati na opskrbu hranjivih tvari mikroorganizma u biofilmu i/ili dovesti do odvajanja bakterija s površina cijevi. Konačno, na biostabilnost utječe i kvaliteta materijala koja je u kontaktu s pitkom vodom, kao i prisutnost sedimenta i naslaga [8].

### 3. MIKROORGANIZMI U VODI

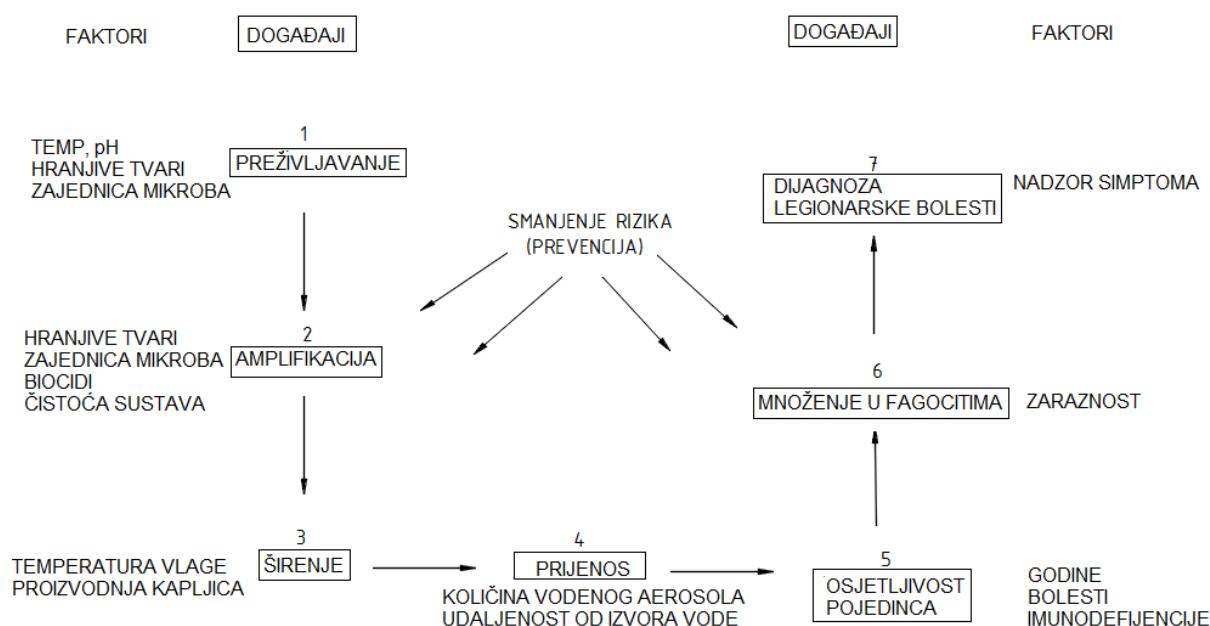
#### 3.1. Heterotrofne bakterije

Heterotrofne bakterije su bakterije koje za rast i razvoj koriste organske hranjive tvari. Takve bakterije prisutne su u svim vrstama voda. Godinama su korištene mnoge metode za utvrđivanje širokog raspona roda koje čine heterotrofne populacije u pitkoj vodi. Značajne varijable za bakterije su vrijeme i temperatura inkubacije. Rastu vodenih bakterija pogoduje niža temperatura inkubacije (20-28 °C) i dulje vrijeme (do 7 dana) [8].

#### 3.2. Bakterije roda *Legionella*

Svaka bolest uzrokovana bakterijama roda *Legionella* naziva se legioneloza. Blaži oblik legioneloze, pontijačna groznica, bolest je slična gripi koja ne rezultira smrtnim slučajem, a teži oblik koji rezultira smrću, naziva se legionarska bolest.

Bakterije legionele prisutne su u vodnom okolišu, u vlažnom tlu, tokovima rijeka, izvorima i jezerima. Iz okoliša dolaze do izvorišta gradskih vodovoda te distribucijom vode dospijevaju i do instalacija za pitku vodu u zgradama - spremnika vode i cijevi. Tamo se pri odgovarajućim uvjetima mogu nekontrolirano razmnožavati. Slika 2 prikazuje događaje s popraćenim faktorima od preživljavanja Legionela u sustavu do dijagnoze legionarske bolesti.



Slika 2. Prijenos Legionele, izrađeno prema [13]

Kada dođe do oboljenja od legionerske bolesti, bolest nastupa naglo, s visokom temperaturom, zimicom, glavoboljom i bolovima u mišićima. Uskoro se razvija suhi kašalj i mnogi oboljeli imaju poteškoće s disanjem. Kod oko jedne trećine ljudi razvije se povraćanje, a polovica ih je zbunjena ili deliriozna. Smrtnost oboljelih je oko 12% [14]. Iako svi izloženi vodenom aerosolu mogu oboljeti, izloženost bakterijama legionelama ne dovodi uvijek do zaraze. Rizik od infekcije legionelama ovisi o faktorima razmnožavanja, mogućnosti stvaranja aerosola, koncentraciji legionela u aerosolu te osjetljivosti osoba izloženih aerosolu na infekciju.

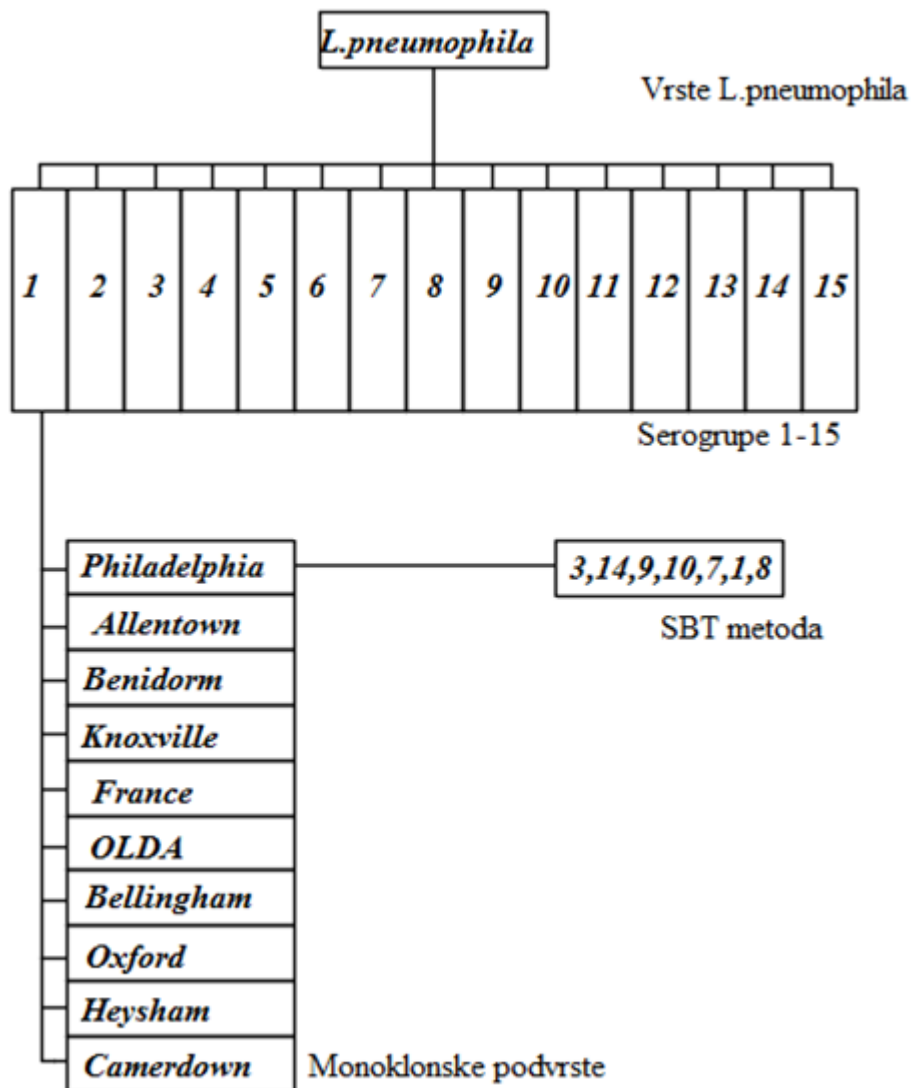
### 3.2.1. Vrste legionela

Legionela je veliki rod bakterija od kojih je otkriveno barem pedesetak vrsta [14]. *Legionela pneumophila* član je roda legionela, a zabilježeno je preko 15 njezinih serogrupa. *Legionela pneumophila* serogrupe 1 je najčešći organizam odgovoran za legionarsku bolest, no potvrđeno je da i druge serogrupe te najmanje 19 ostalih vrsta uzrokuje bolest kod ljudi.

*Legionela pneumophila* serogrupe 1 može se podijeliti u različite skupine koje prikazuje Slika 3.

Monoklonska antitijela specifična su antitijela laboratorijski proizvedena za detekciju antigena. Podvrste monoklonskih antitijela razvijena su za *Legionelu pneumophilu* serogrupe 1. Studije su pokazale da posebno jedno monoklonsko antitijelo (3/1) ističe svojstva najčešće povezana s legionarskom bolešću [14].

Postoji više metoda, a SBT metoda, zasnovana na sekvencijama sedam gena i razvijena u suradnji nekoliko europskih laboratorija, danas je u internacionalnoj upotrebi. Podaci o tipovima i njihovom podrijetlu čuvaju se te su dostupni širom svijeta. One omogućuju da se usporede uzorci s ostalim uzorcima iz drugih laboratorija i država.

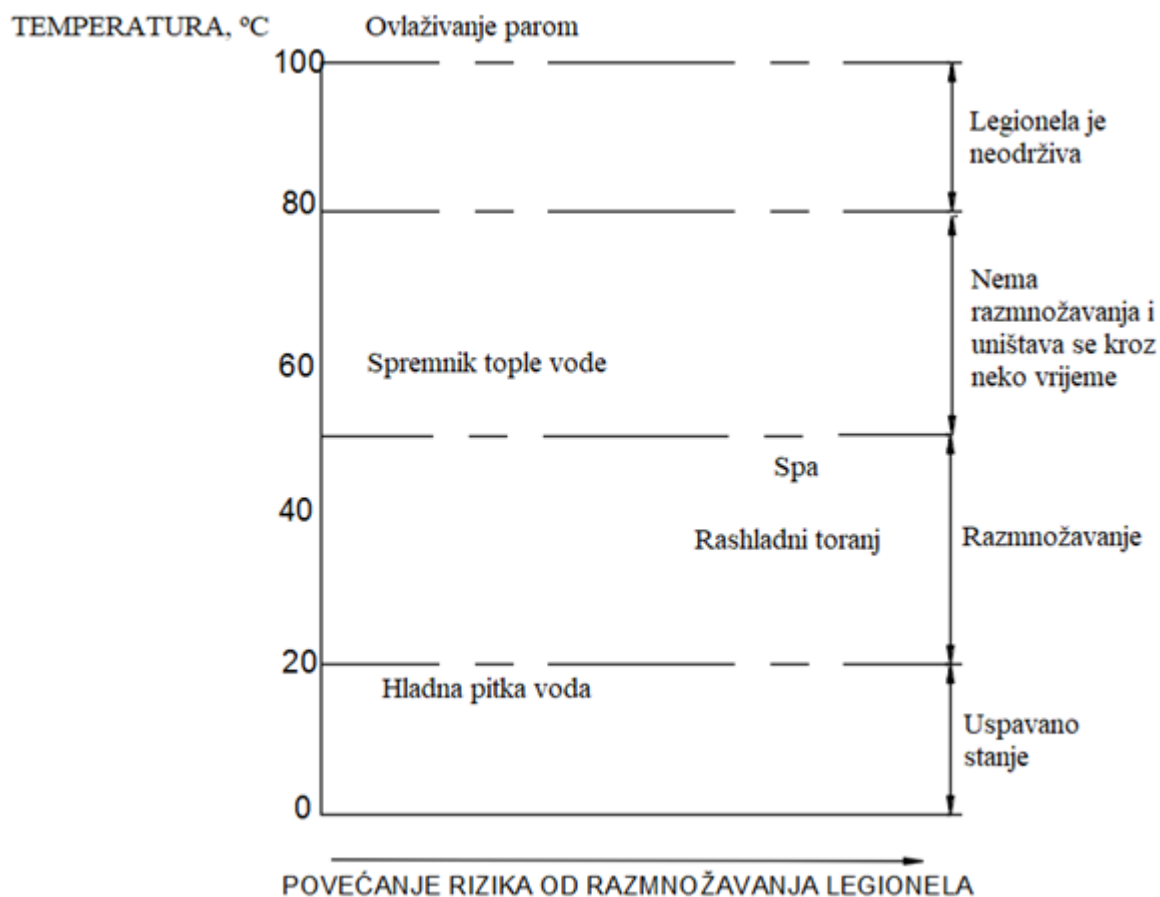


Slika 3. Podjela Legionele pneumophiliie, izrađeno prema [14]

### 3.2.2. Faktori razmnožavanja legionela

#### a. Temperatura vode

Temperatura vode je važan faktor koji uvjetuje nastanak i razmnožavanje bakterija legionela u sustavu pitke vode. Legionele u prirodi žive na temperaturama od 0 °C do 60 °C. U sustavu pitke vode mogu se pojaviti na temperaturama između 20 °C i 45 °C, a najpovoljnije temperature za razmnožavanje bakterija legionele su između 32 °C i 42 °C. Slika 4 prikazuje pojavu i razmnožavanje legionela u ovisnosti o temperaturi.



**Slika 4. Razmnožavanje Legionele u ovisnosti o temperaturi, izrađeno prema [14]**

Bakterije mogu preživjeti na višim temperaturama, ali vrijeme njihovog preživljavanja na 50 °C je nekoliko sati, pri 60 °C nekoliko minuta, a pri 70 °C organizam se ubija gotovo trenutačno. Ispod 37 °C smanjuje se razmnožavanje bakterija, a ispod 20 °C razmnožavanje se može smatrati beznačajnim. Međutim, organizmi mogu preživjeti u tzv. uspavanom stanju i na znatno nižim temperaturama od 20 °C i vratiti se aktivnom razmnožavanju kadgod se pojave povoljnije temperature.

#### b. Hranjive tvari

Suspendirane tvari u vodi čine hranjive tvari potrebne za rast bakterija legionela. Osim hranjivih tvari, legionelama je potrebna pomoć drugih organizama. One mogu preživjeti unutar protozoa (npr. amebe) koje podržavaju njihov rast te ih štite od nepovoljnih uvjeta iz okoliša. Dodatno, tu su i neke druge alge te bakterije koje podržavaju razmnožavanje legionela. Kao i većina drugih vodenih organizama, legionele rastu zajedno s drugim organizmima u biofilmu na površinama. Također, neki materijali kao što su prirodna guma ili određene vrste plastike mogu poslužiti kao nutritivni izvor unutar sistema.

### *c. Stagnacija vode*

Glavni faktor razvoja bakterija legionela je stagnacija vode pod čijim se uvjetima omogućuje dovoljno vremena za razmnožavanje. Nastaje u spremnicima i cjevovodima u kojima nema cirkulacije vode ili je brzina vode prilično mala. Okruženje pogodno za razmnožavanje legionela čine dijelovi instalacija koji se koriste diskontinuirano kao što su slijepi dijelovi cjevovoda.

#### **3.2.3. Stvaranje aerosola**

Kontaminirana voda predstavlja rizik od infekcije kada se raspršuje u zraku kao aerosol. Čestice ostaju u zraku, a kapljice promjera 5  $\mu\text{m}$  ili manje prodiru duboko u pluća. Veće kapljice mogu ispariti i postati manje, ali i dalje sadržavati početni broj organizama. Glavni mehanizmi proizvodnje aerosola su raspršivanje vode u zraku, protok vode koji udara u površinu ili mjehurić vode koji pukne na površini. Vodni sustavi stvaraju aerosole kada voda teče iz trošila (posebno tuševa) i dodiruje umivaonike, sudopere ili druge površine. Svi uređaji koji raspršuju vodu imaju potencijal stvaranja aerosola.

#### **3.2.4. Osjetljivost pojedinca**

Mnogi ljudi budu izloženi legionelama, ali njihov obrambeni sustav uspije zaštititi tijelo od nastanka bolesti. Iako potpuno zdravi pojedinci mogu razviti legionarsku bolest, postoji nekoliko čimbenika koji povećavaju osjetljivost [14]:

- Povećanje dobi, naročito nakon 50 godina starosti; djeca rijetko obolijevaju
- Spol: za muškarce je tri puta veća mogućnost oboljenja
- Konzumiranje cigareta
- Postojeće respiratorne bolesti koje čine pluća osjetljivijim na infekciju
- Bolesti poput raka, dijabetesa, bubrežnih bolesti

##### *3.2.4.1. Broj udisanih molekula*

Doza potrebna da bi se čovjek zarazio nije točno definirana. Kod osjetljivih pojedinaca može biti prilično mala – vjerojatno ne veća od desetak organizma. Međutim, kod zdravijih ljudi mora biti znatno veća. Rizik zaraze raste s brojem udisanih bakterija i osjetljivošću osobe. Postoje dva faktora koji određuju broj bakterija koje će čovjek udahnuti: koncentracija bakterija u zraku i duljina trajanja izlaganja [14]. Koncentracija u zraku ovisi o koncentraciji bakterija u vodi i količini vodenog aerosola te se smanjuje s povećanjem udaljenosti od izvora vode.

### 3.2.5. Prijenos legionele

Vrijeme inkubacije, odnosno vrijeme između izlaganja bakterijama legionele i razvoju prvih simptoma uobičajeno je između 2 do 10 dana, s medijanom na 6 do 7 dana. Duže vrijeme inkubacije u malom broju slučajeva je i do 16 dana, a rjeđe i do 22 dana [14]. Prijenos s čovjeka na čovjeka nije zabilježen. Istraživanje o epidemiji legionarske bolesti dovelo je do identifikacije različitih izvora infekcije i puteva prijenosa.

### 3.3. Atipične mikobakterije

Mikobakterije poput *M. gordonae*, *M. kansasii*, *M. xenopi* i *M. marinum* ubrajaju se u potencijalne patogene i nazivaju "netuberkulozne" ili "atipične" mikobakterije. Osim tla i okoliša, prirodno stanište im je topla voda. Uglavnom su u simbiozi s biofilmom, u kojem se mogu lako razmnožavati. Imaju relativno visoku otpornost na klor, kao i na druga dezinfekcijska sredstva. Vrste atipičnih mikobakterija pokazale su se prijenosne konzumiranjem vode za piće, posebno kod osoba oslabljenog imunološkog sustava, pacijenata na dijalizi ili HIV pozitivnih osoba. Značajan postotak bolesnika s AIDS-om razvija fatalnu infekciju uzrokovanu atipičnom mikobakterijom. Čak i ispiranjem usta kontaminiranom vodom može doći do prijenosa bakterije. Ipak, najznačajniji put prijenosa atipičnih mikobakterija je udisanje aerosola. Iako se radi na otkrivanju novih informacija, još je uvijek nesigurna procjena izvora infekcije, učinkovitost preventivnih mjera i važnost ovih mikobakterija. Mjere za smanjenje legionele smatraju se učinkovitima i kod atipičnih mikobakterija [8].

### 3.4. *Pseudomonas aeruginosa*

*Pseudomonas aeruginosa* sveprisutna je bakterija koja se u prirodi nalazi u vodi ili tlu. Sposobna je kolonizirati sva vlažna i mokra područja. Pojavljuje se kod odvodnih i površinskih voda, biljaka, voća, hrane, u vlažnom tlu, vlažnim krpama za čišćenje i spužvama, na filteru umivaonika. Pseudomonase su karakteristične po skromnim prehrambenim potrebama i sposobnosti razmnožavanja čak i pri temperaturama nižim od 15 °C. „Mrtvi dijelovi“ vodovoda, odnosno stagnacija vode doprinosi razmnožavanju pseudomonasa. Njihova svojstva omogućuju im kontaminirati vode, uključujući i pitku vodu. Lako se koloniziraju prskanjem iz kontaminiranih filtera. Bakterije su poznate kao uzrok kožnih infekcija poput Whirlpool dermatitis i folikulitisa, a mogu uzrokovati i infekciju ušnog kanala (otitis externa). Za takve infekcije potrebne su izuzetno velike količine bakterija koje se uglavnom ne pojavljuju u vodoopskrbnim sustavima. Međutim, rizik od zaraze postoji pri

korištenju vode uz otvorenu ranu. U bolničkom sektoru, ako se organizam uvuče u osjetljivu opremu, može biti jedan od uzročnika smrtnih rana, izazvati infekciju mokraćnih puteva ili dišnih kanala.

U zadnje vrijeme sve se više izvještava o kontaminaciji vodovodnih sustava s *P. Aeruginosom*.

### **3.5. Koliformne bakterije**

Koliformne bakterije uključuju razne vrste okolišnih i fekalnih bakterija. Koncentracije koliformnih bakterija koje nalazimo u vodoopskrbnom sustavu dovedene su u sustav izvana ili su se oslobodile iz biofilma pri naglom povećanju ili promjeni smjera protoka pitke vode. Neprikladni materijali cijevi koji ispuštaju hranjive tvari u vodu jedan su od faktora koji pogoduju razmnožavanju koliformnih bakterija. Očekuje se njihovo razmnožavanje pri temperaturama vode višim od 20 °C, i/ili kada prevladavaju anaerobni uvjeti. Koliformne bakterije spadaju u patogene bakterije koje mogu izazvati ozbiljne komplikacije, posebno među osobama slabijeg imuniteta, naprimjer pacijentima u bolnicama.



## 4. PROJEKTIRANJE SUSTAVA PITKE VODE

Kvaliteta vode ne ovisi samo o tome da je u savršenom stanju dobivena iz sustava javnog vodovoda, već na nju utječu i razni čimbenici u sustavu distribucije unutar objekta, tj. u instalacijama pitke vode:

- Dimenzije cijevi
- Standard izrade
- Konstrukcija razvoda
- Izbor materijala cijevi

Tehnička pravila i propisi za postizanje pitke vode prihvatljive kvalitete u ispravno ugrađenim cjevovodima razmatrana su iz sljedećih dokumenata:

- Projektiranje cijevnog sustava tople i hladne vode prema normi DIN 1988-3 [15] uzimajući u obzir smjernice VDI 6023 [10]
- Projektiranje cirkulacijskih cijevi na temelju DVGW-ovih Radnih listova W 551 [16] i W 553 [17]

U svrhu razmatranja materijala instalacija u nastavku korištene su sljedeće norme i dokumenti:

- EN 806: *Specifikacije za instalacije u objektima koje isporučuju vodu za ljudsku upotrebu* [18]
- EN 12502-1 do EN 12502-4: *Zaštita metalnih materijala od korozije – Smjernice za procjenu vjerojatnosti korozije u sustavima distribucije i skladištenja vode* [4], [5], [6], [7].
- World Health Organization: *Smjernice za kvalitetu pitke vode* [19]

Glavna pravila projektiranja sustava prema [8] nalažu da je projektant dužan osigurati najmanje sljedeće:

- razmještaj cijevi s posebnom pažnjom na temperature vode
- pogodne materijale u kontaktu s vodom
- potrebna mjesta za uzimanje uzoraka (slavine, ili ventili za uzorkovanje)
- priključak za gašenje vatre i sustave za zaštitu u skladu s nacionalnim propisima

- zaštitu pitke vode prema nacionalnim normama
- lako održavanje
- prostorne zahtjeve.

#### 4.1. Određivanje promjera cijevi potrošne tople vode i hladne pitke vode

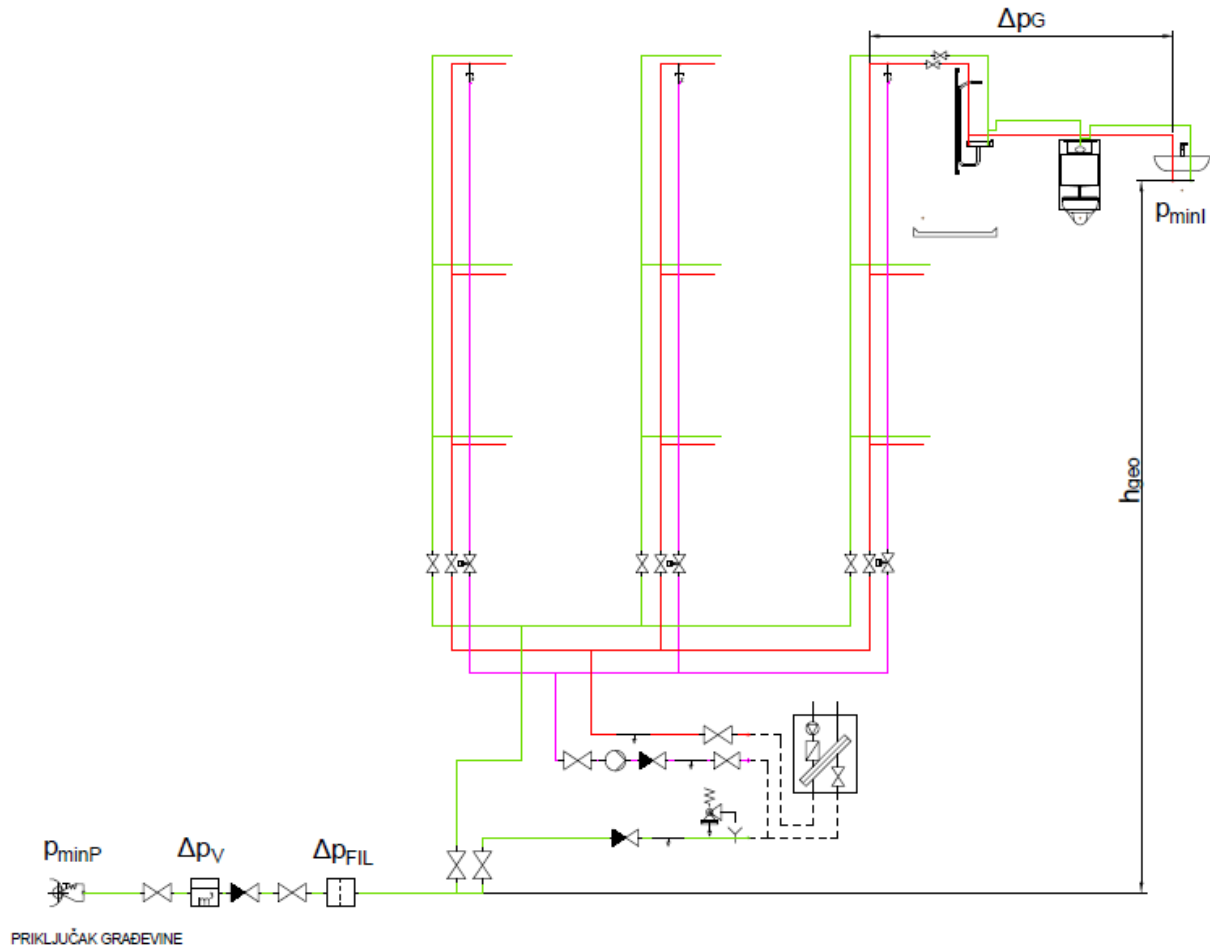
Kapacitet sustava, odnosno dimenzije cijevi potrebno je minimalizirati kako bi se spriječila kontaminacija sustava. Mala unutarnja površina cijevi podrazumijeva brzu izmjenu i kratko zadržavanje vode u razvodu, dakle smanjuju stagnacije, a time i utječe na sporije zagrijavanje hladne vode što ne pogoduje pojavi temperatura koje potiču rast i razvoj mikroorganizama. Osim toga, smanjuje se i dodatni trošak materijala. Dimenzije cijevi, odnosno njihov unutrašnji presjek, utječe na količinu vode na izljevnom mjestu, tlak u razvodu te na protok u cijevima.

##### 4.1.1. Raspoloživa razlika tlaka

Prvi korak pri dimenzioniranju cijevi tople i hladne pitke vode po njemačkoj normi DIN 1988 je određivanje kritične dionice [20]. Kritična dionica je ona s najmanjim izračunatim uprosječenim padom tlaka. Hidraulički proračun provodi se kroz svaku pojedinu dionicu. Dionica počinje kod priključka građevine na sustav javnog vodovoda i završava na potrošaču. Početna točka dionice računa se jednadžbom 1 kada su poznate sve komponente tlaka i pada tlaka prikazanih na Slika 5. Za korišteni izraz tlaka misli se na pretlak u sustavu.

$$p_{\min P} = p_{\min I} + \Delta p_{\text{geo}} + \Delta p_v + \sum \Delta p_{\text{Ap}} + \Delta p_G + \sum (l \cdot R + Z) \quad (1)$$

$p_{\min P}$	Minimalni tlak opskrbe na priključku, [Pa]
$p_{\min I}$	Potreban tlak kod izljevnog mjesta, [Pa]
$\Delta p_{\text{geo}}$	Pad tlaka zbog razlike geodetskih visina između priključka i izljevnog mjesta, [Pa]
$\Delta p_v$	Pad tlaka u vodomjeru, [Pa]
$\sum \Delta p_{\text{Ap}}$	Suma padova tlaka u uređajima poput filtera ( $\Delta p_{\text{FIL}}$ ), mjernog sustava ( $\Delta p_{\text{MS}}$ ), sustava za omekšavanje vode ( $\Delta p_{\text{OV}}$ ), [Pa]
$\Delta p_G$	Pad tlaka u razvodnoj grani i ograncima, [Pa]
$\sum (l \cdot R + Z)$	Suma padova tlaka uslijed linijskih i ostalih lokalnih gubitaka strujanja, [Pa]



Slika 5. Prikaz oznaka vodoopskrbnog sustava, izrađeno prema [20]

Mora postojati pozitivna razlika tlaka  $\Delta p_F$  za svladavanje linijskih i lokalnih gubitaka kroz sustav  $\sum(l \cdot R + Z)$ . Ona se može izraziti jednadžbom 2:

$$\Delta p_F = p_{\min P} - (p_{\min I} + \Delta p_{\text{geo}} + \Delta p_v + \sum \Delta p_{\text{Ap}} + \Delta p_G) \quad (2)$$

Ravnomjerna raspodjela razlike tlaka  $\Delta p_F$  duž cijele dionice nakon oduzimanja manjih gubitaka  $a$  daje uprosječen pad tlaka  $R_F$ , odnosno važan konstrukcijski parametar za određivanje promjera cijevi. Uprosječeni pad tlaka minimalni je na kritičnoj dionici.

Jednadžba 3 koristi se za izračun uprosječenog pada tlaka.

$$R_F = \frac{\Delta p_F \cdot (100 - a)}{l \cdot 100} \quad (3)$$

$R_F$	Uprosječen pad tlaka, [Pa/m]
$\Delta p_F$	Raspoloživa razlika tlaka za svladavanje linijskih i lokalnih gubitaka, [Pa]
$a$	Procijenjeni gubici tlaka, [%]
$l$	Duljina dionice, [m]

Kao što prikazane jednadžbe pokazuju, uprosječen pad tlaka  $R_F$  uglavnom se određuje padom tlaka zbog razlike geodetskih visina  $\Delta p_{\text{geo}}$  te zahtjevom potrebnog tlaka kod izljevno mjestu  $p_{\text{minI}}$ . Zato je najbrži način za pronalaženje kritičnog potrošača provesti proračun za potrošač sa zahtjevom najvećeg tlaka na najvišoj visini. Za mali uprosječen pad tlaka  $R_F$  moraju se odabrati relativno veliki promjeri. Uprosječen pad tlaka stoga značajno utječe ne samo na troškove ugradnje, već i na kapacitet cijevnog sustava.

Vršni protok, minimalni tlak opskrbe, duljine cijevi i geodetske visine uglavnom su fiksne i ne mogu se značajno izmijeniti za dane zahtjeve sustava. Projektant cijevnog sustava ima utjecaj na hidrauličke podatke opreme ( $\Delta p_V$ ,  $\Delta p_{\text{FIL}}$  i  $\Delta p_{\text{Ap}}$ ), razvodne grane i ogranke ( $\Delta p_G$ ) te izljevno mjesto ( $p_{\text{minI}}$ ) [20].

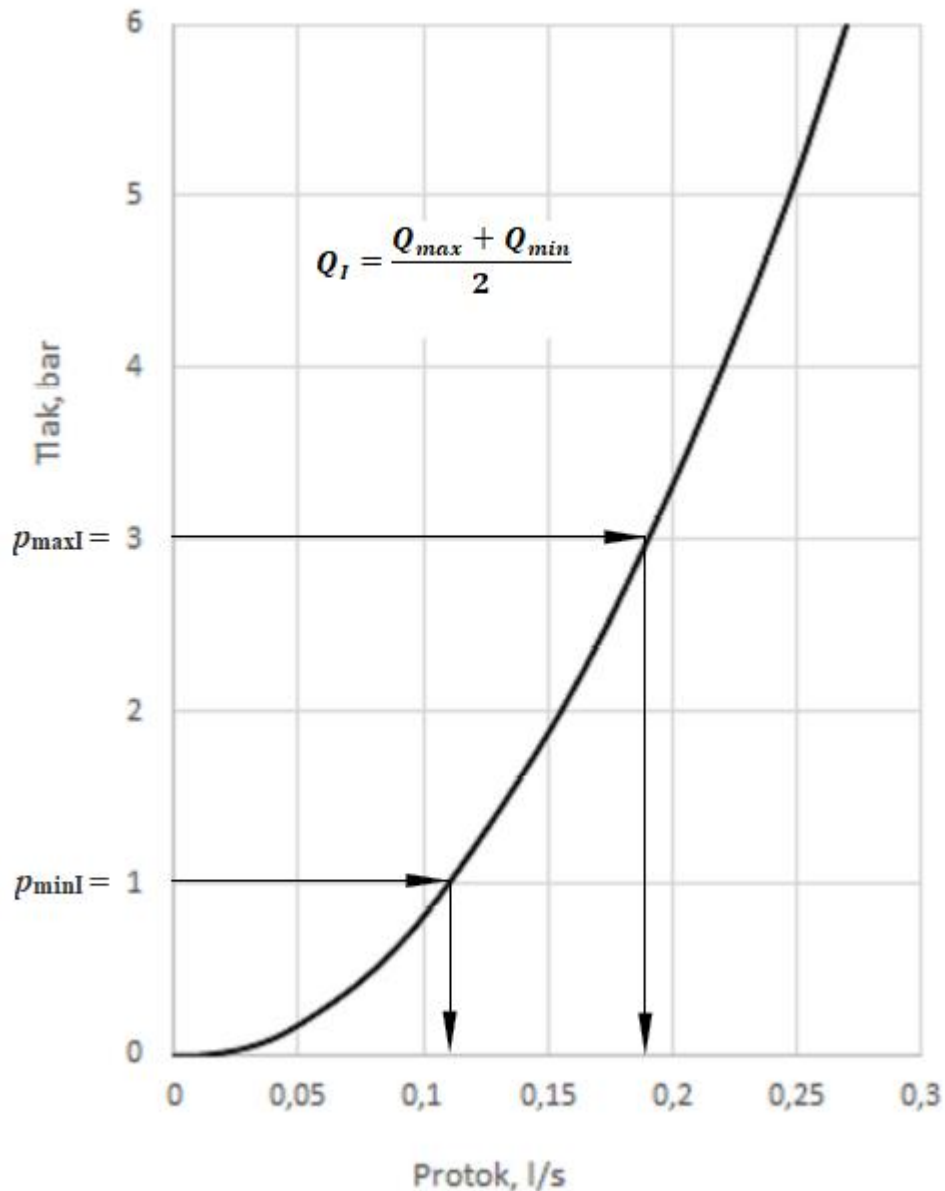
#### 4.1.2. Izračunavanje protoka

Kako bi se odabrao odgovarajući promjer za određeni dio cjevovoda, uz uprosječen pad tlaka  $R_F$ , mora se znati njegov protok, odnosno vršni protok  $Q_S$ . Na vršni protok utječe broj i konstrukcija potrošača koji se opskrbljuju, različiti projektni protok na izljevnom mjestu  $Q_R$  i način korištenja na izljevnom mjestu (tj. na potrošaču). Temeljna je razlika između potrošača s povremenom potrošnjom i potrošača s kontinuiranom potrošnjom. Potrošač s kontinuiranom potrošnjom je onaj koji se koristi vremensko razdoblje duže od 15 minuta. Primjer potrošača s kontinuiranom potrošnjom su automatski vodeni tuševi. Ako se u jednoj dionici treba isporučiti više kontinuiranih opterećenja, opseg do kojeg se može očekivati da će se istovremeno koristiti, mora biti naveden. Pojedinačni potrošači obično se ipak koriste mnogo kraće od 15 minuta, što ih razvrstava u potrošače s povremenom potrošnjom. Ako se kontinuirana potrošnja  $Q_K$  i vršni protok povremene potrošnje  $Q_{S,\text{povr}}$  podudaraju, vrijednosti se zbrajaju (jednadžba 4):

$$Q_S = Q_{S,\text{povr}} + Q_K \quad (4)$$

Projektni protok na izljevnom mjestu  $Q_R$  je njegov prosječni protok pri maksimalnom (obično  $p_{\text{maxI}} = 3$  bar) i minimalnom tlaku (obično  $p_{\text{minI}} = 1$  bar).

Slika 6 prikazuje dijagram za definiranje projektnog protoka na izljevnom mjestu  $Q_R$ .



**Slika 6. Definiranje projektnog protoka na potrošaču  $Q_R$ , izrađeno prema [20]**

Ako su poznati projektni protok  $Q_R$ , minimalni  $p_{minI}$  i maksimalni  $p_{maxI}$  tlak kod razmatranog izljevnog mjesta, najmanji protok na izljevnom mjestu u standardnim uvjetima može se izračunati jednadžbom 5.

$$Q_{min} = \frac{2 \cdot Q_R}{1 + \sqrt{\frac{p_{minI}}{p_{maxI}}}} \quad (5)$$

Tablica 3 prikazuje standardne vrijednosti za minimalni tlak  $p_{minI}$  i projektni protok  $Q_R$  kod izljevnog mjesta.

**Tablica 3. Standardne vrijednosti za minimalni tlak  $p_{\min I}$  i projektni protok  $Q_R$  na izljevnom mjestu, izrađeno prema [20]**

Vrsta mjesta uzimanja pitke vode		Minimalni tlak na izljevnom mjestu	Miješana voda hladna (15 °C)	Miješana voda topla (60°C)	Hladna / zagrijana
		$p_{\min I}$	$Q_R$	$Q_R$	$Q_R$
		mbar	l/s	l/s	l/s
Ispusni ventil bez aeratora	DN 15	500			0,30
Ispusni ventil bez aeratora	DN 20	500			0,50
Ispusni ventil bez aeratora	DN 25	500			1,00
Ispusni ventil bez aeratora	DN 10	1000			0,15
Ispusni ventil s aeratorom	DN 15	1000			0,15
Tlačni ispirrač	DN 20	1200			1,00
Tlačni ispirrač za pisoare	DN 15	1000			0,30
Perilica posuđa		1000			0,15
Perilica rublja		1000			0,25
Armature za miješanje:	DN 15 za:				
Tuš		1000	0,15	0,15	
Kada		1000	0,15	0,15	
Sudoper		1000	0,07	0,07	
Umivaonik		1000	0,07	0,07	
Bide		1000	0,07	0,07	
Armature za miješanje	DN 20	1000	0,30	0,30	
Ispiranje WC-a	DN 15	500			0,13
Akumulacijski grijači vode	DN 15	1000			0,10

#### 4.1.3. Metoda protoka

U praksi se umjesto korištenja uprosječenog tlaka, cijevi često i dalje dimenzioniraju pomoću prosječnih protoka. Promjeri cijevi mogu se procijeniti ovom metodom, međutim, metoda ne

uzima u obzir hidrauličke odnose izražene uprosječenim tlakom pa su pogreške česta posljedica. Metoda protoka vodi do konstrukcija čije su dionice s lošim hidrauličkim uvjetima premalih dimenzija, a oni s boljim uvjetima prevelikih. Pored komercijalnog aspekta, sustav takve konstrukcije skloniji je opisanim potencijalnim opasnostima.

Razina pogreške povećava se s veličinom cijevnog sustava pa to objašnjava zašto se bolnice ili domovi za starije smatraju sustavima velikog rizika. Zbog svoje nepouzdanosti, metoda protoka ima limitiranu i nekonstrukcijsku funkciju.

Tablica 4 prikazuje dopuštene protoke.

**Tablica 4. Dopušteni protoci u sustavu opskrbe vodom, izrađena prema [20]**

Cijevi	Najveći dopušteni protoci za trajanje od:	
	≤ 15 minuta	> 15 minuta
Priključna cijev	2,0 m/s	2,0 m/s
Razvod sa zapornim ventilima malih gubitaka $\zeta < 2,5$	5,0 m/s	2,5 m/s
Razvod sa zapornim ventilima $\zeta \geq 2,5$	2,5 m/s	2,0 m/s

#### 4.1.4. Oprema

Izraz „oprema“ obuhvaća filtere, omekšivače, mjerne sustave, sustave za demineralizaciju, izmjenjivače topline i druge.

Zbog značajnog pada tlaka u uređajima i njihovih utjecaja na rezultate hidrauličkog projektiranja, pad tlaka se uvijek mora utvrđivati detaljnom metodom izračuna i podacima proizvođača (Jednadžba 6).

$$\Delta p_{Ap} = \Delta p_{ur} \cdot \frac{(Q_s \cdot 3,6)^2}{Q_{ur}^2} \quad (6)$$

$\Delta p_{Ap}$  Pada tlaka u uređajima, [Pa]

$\Delta p_{ur}$  Razlika tlaka određena od strane proizvođača uređaja pri protoku  $Q_{ur}$ , [Pa]

$Q_s$  Vršni protok, [m<sup>3</sup>/s]

## 4.2. Recirkulacija tople vode

Tehničke mjere za smanjenje rasta patogenih mikroorganizama u vodoopskrbnim sustavima prema DVGW Radnom listu W 551 pridaju posebnu važnost temperaturi tople vode.

Temperatura tople vode određena je s minimalnih 60 °C [16]. Uobičajeno korišten temperaturni režim je 60/55 °C (topla voda/recirkulacija). Razlika temperatura između tople vode na izlazu iz spremnika i povrata tople vode na ulazu ne smije biti veća od 5 °C. Da bi se osiguralo da se temperatura u razvodu ne smanji za više od 5 °C, koristi se sustav recirkulacije tople vode. Samo se sitni razvod instalacija pitke vode s volumenom vode manjim od 3 litre smije ugrađivati bez cijevi recirkulacije tople vode.

Kada su poznati promjeri cijevi, može se izračunati volumen vode u cijelom sustavu recirkulacije potrošne tople vode  $V_{\text{Cirk}}$ , protok crpke  $Q_c$  (Jednadžba 7) i protok kojim bi voda trebala teći kroz razvode  $Q_{\text{vod}}$  (Jednadžba 8) pri čemu je  $n_{\text{vod}}$  broj vertikala razvoda.

$$Q_c = 3 \cdot V_{\text{Cirk}} \quad (7)$$

$$Q_{\text{vod}} = \frac{Q_c}{n_{\text{vod}}} \quad (8)$$

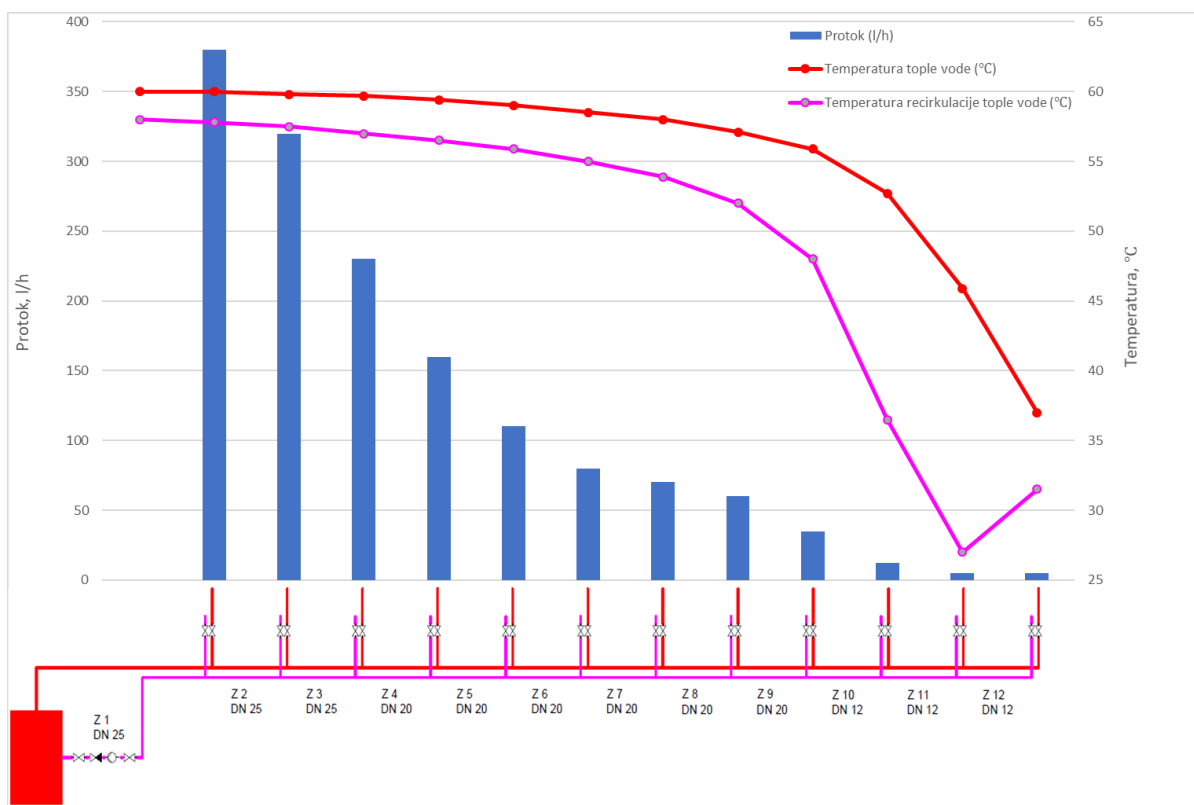
Potrebnu razliku tlaka koju daje crpka ( $\Delta p_c$ ) dobije se izračunavanjem pada tlaka za najgori (najduži) krug cirkulacije. Izračun mora uključiti provjeru da se u cijevima recirkulacije tople vode nije prekoračila najveća dopuštena brzina protoka ( $v_{\text{max}} = 0,5 \text{ m/s}$ ) [20]. Inače je potrebno odabrati veći promjer.

Metoda projektiranja cijevi recirkulacije prema DIN 1988-3 [15] u velikim sustavima ne omogućava temperature potrebne za održavanje higijene pitke vode u cijelom sustavu. Potrebno je riješiti oscilacije u protocima kroz razvode i osigurati temperaturu tople vode kroz cijeli sustav iznad 55 °C.

Norma DIN 1988-3 za hidrauličko balansiranje zahtjeva ugradnju leptirastih ventila u svaki razvod. Međutim, u praksi se gotovo uvijek sustavi projektirani i ugrađivani prema DIN 1988-3 puštaju u pogon bez podešavanja regulacijskih ventila [20]. To dovodi do hidraulički kratkog spoja pa su protoci kroz razvode bliži crpki veliki, dok su oni udaljeniji veoma mali.

Primjer numeričke simulacije za blok od 48 stanova i 12 vertikala s promjerima cijevi prema DIN 1988-3 pokazuje očekivanu raspodjelu protoka [20]. Slika 7 prikazuje parametre nereguliranog sustava projektiranog prema DIN 1988-3. U prvoj vertikali, protok je veći od 350 l/h, a u zadnjoj samo 5 l/h. Mali protoci na vertikalama udaljenim od crpke omogućavaju da se u tim dijelovima temperature spuste ispod 45 °C. Pad temperature u nereguliranom recirkulacijskom sustavu DIN 1988 može se održavati unutar potrebnog raspona od 5 °C samo u prednjoj polovici sustava, odnosno do vertikale 5.

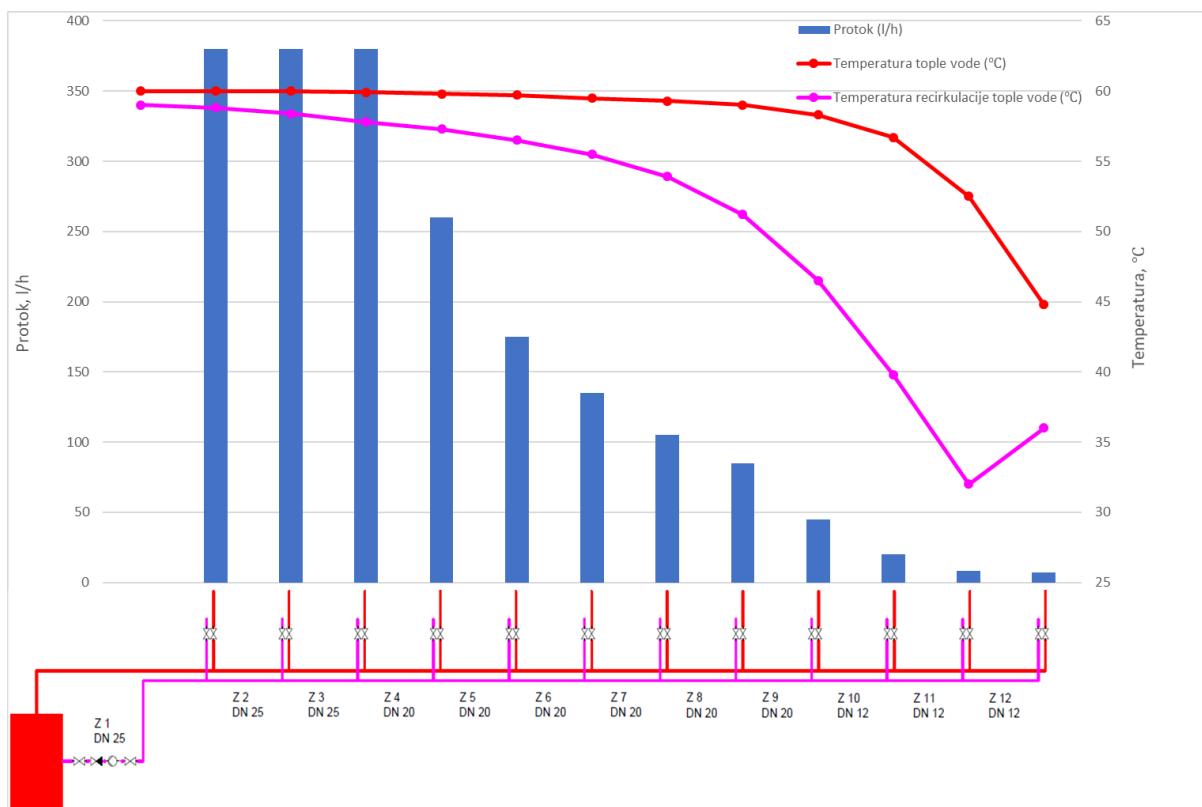




**Slika 7. Distribucija protoka i temperaturni profil u nereguliranom sustavu projektiranom prema DIN 1988-3, izrađeno prema [20]**

Pored higijenskih rizika, korisnici toplu vodu ispod 45 °C, kao i odgovarajuća kašnjenja prije negoli poteče toplija voda doživljavaju kao neispravnost opskrbe tople vode.

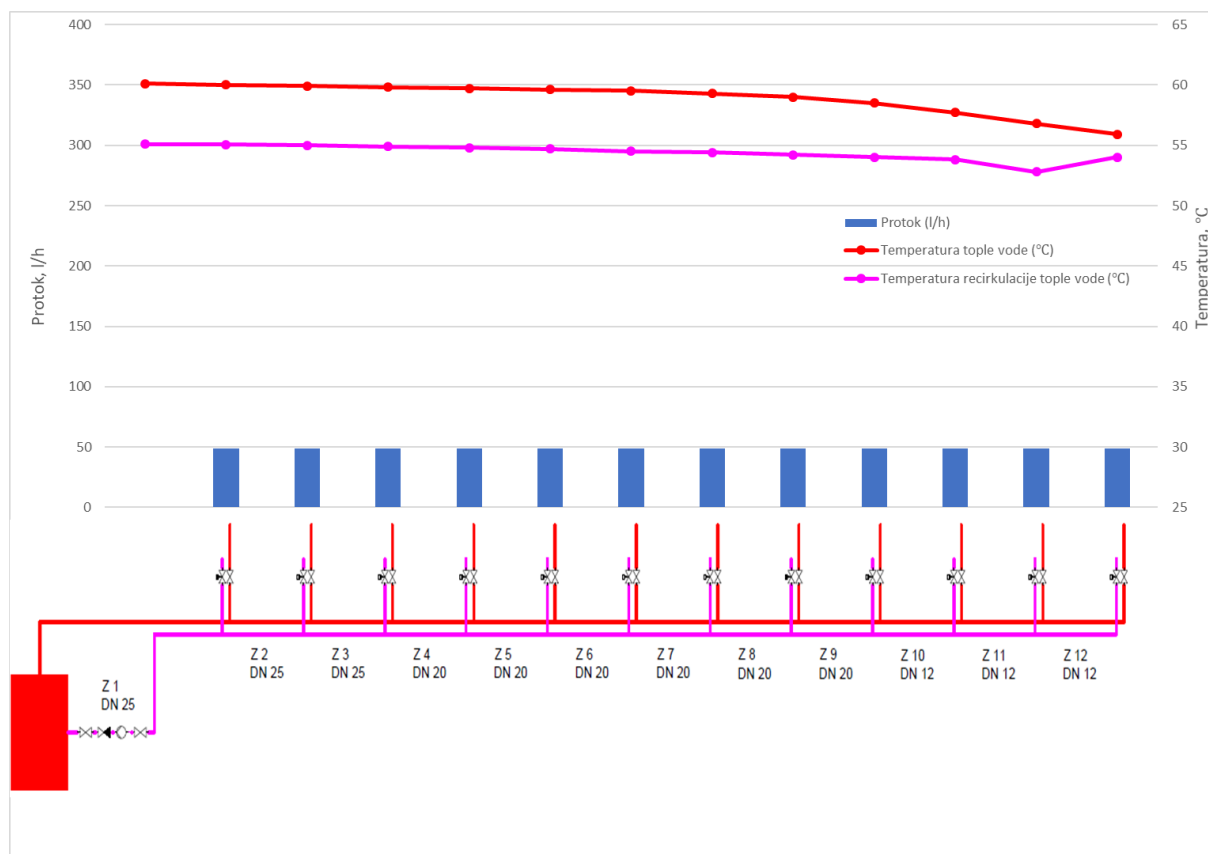
Sljedeći primjer je pokušaj rješenja problema ugradnjom snažnije crpke u sustav. Slika 8 pokazuje da snažnija crpka samo malo poboljša protok kroz vertikale s najgorim hidrauličkim uvjetima dok većina protoka ipak i dalje prolazi kroz vertikale kratkog spoja u prednjem dijelu sustava. Veliki protoci mogu uzrokovati buku i izazvati nagrizanje uslijed korozije, naročito u cijevima od bakra. Slika 8 dokazuje da se jačim kapacitetom crpke ne može postići protok potreban za održavanje temperature iznad 55 °C u cijelom sustavu recirkulacije.



**Slika 8. Distribucija protoka i temperaturni profil u nereguliranom sustavu projektiranom prema DIN 1988-3 sa snažnijom crpkom, izrađeno prema [20]**

Reguliranim sustavom recirkulacije tople potrošne vode projektiranim prema DIN 1988-3 postižu se temperature više od 45 °C kroz cijeli sustav, ali ne i potrebne temperature iznad 55 °C, posebno to nije slučaj u velikim sustavima. Zato tako projektiran sustav dobro funkcionira samo ako mu je jedini cilj opskrba. Primjer reguliranog sustava projektiranog prema DIN 1988-3 prikazuje Slika 9.

Kako bi se održao režim temperature vode s maksimalnim padom temperature od 5 °C, moraju se postići puno veći protoci u verikalama koje su dalje od crpke. Nova pravila nalažu veće nominalne promjere cijevi koje daje Tablica 5.



**Slika 9. Distribucija protoka i temperaturni profil u reguliranom sustavu projektiranom prema DIN 1988-3, izrađeno prema [20]**

**Tablica 5. Promjeri cijevi prema DVGW Radnom listu W 553 i DIN 1988-3 za građevinu od 48 stanova prema [20]**

	Cijevi tople vode DIN 1988-3	Cijevi recirkulacije W 553	Cijevi recirkulacije DIN 1988-3
Z1	DN 50	<b>DN 25</b>	DN 25
Z2	DN 50	<b>DN 25</b>	DN 25
Z3	DN 40	<b>DN 25</b>	DN 20
Z4	DN 40	<b>DN 25</b>	DN 20
Z5	DN 40	<b>DN 25</b>	DN 20
Z6	DN 40	<b>DN 25</b>	DN 20
Z7	DN 40	<b>DN 20</b>	DN 20
Z8	DN 40	<b>DN 20</b>	DN 20
Z9	DN 32	<b>DN 20</b>	DN 12

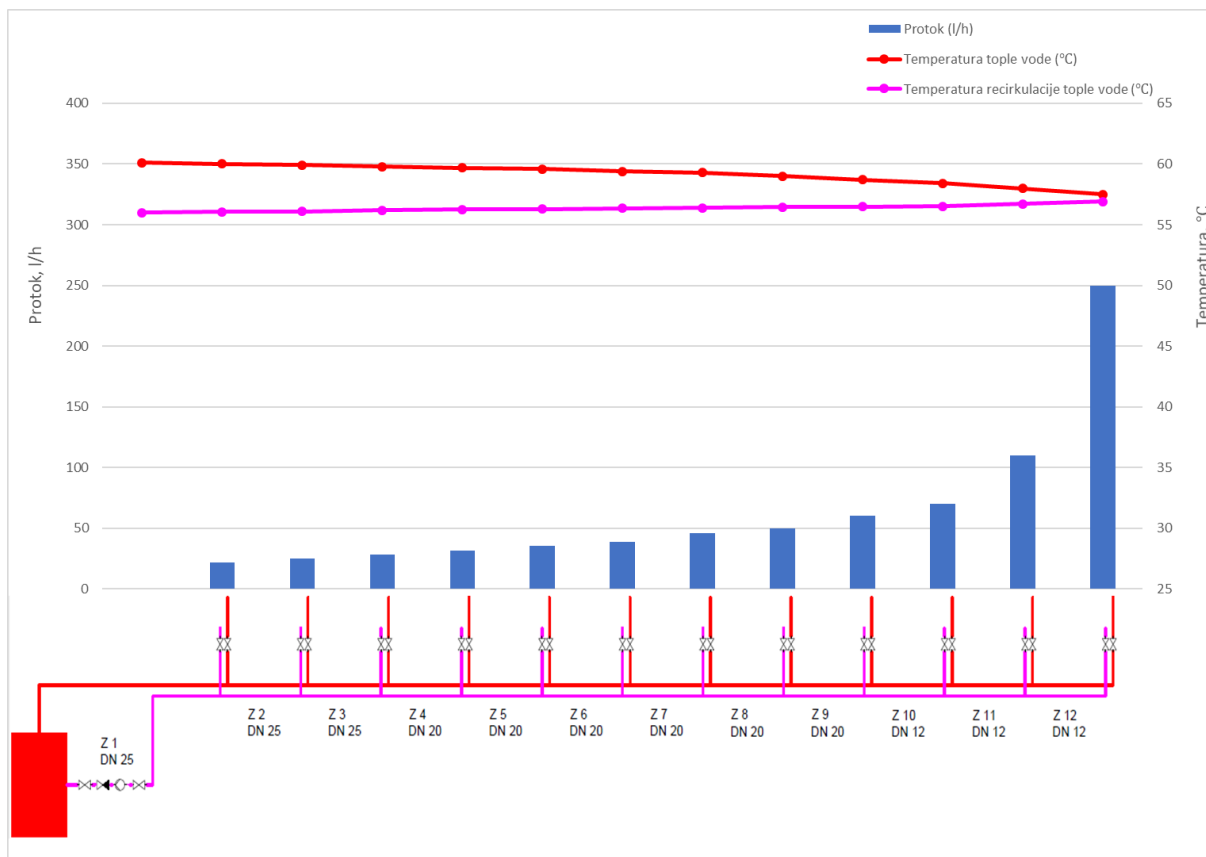
Z10	DN 32	<b>DN 20</b>	DN 12
Z11	DN 32	<b>DN 25</b>	DN 12
Z12	DN 25	<b>DN 15</b>	DN 12

Novi zahtjevi za recirkulaciju tople vode prema DVGW Radnom listu W 551 [16] u cilju energetski učinkovitog održavanja temperature cirkulacije doveli su do razvoja projektiranja baziranog na termodinamici.

Imaju sljedeće važne značajke:

- Razmatranje gubitaka topline u cijevima za utvrđivanje potrebnih brzina protoka
- Podešavanje temperaturne razlike na manje od 5 °C između izlaza tople vode iz izmjenjivača i njezinog povrata
- Podešavanje protoka za projektiranje najlošijeg kruga recirkulacije i određivanje razlike tlaka na crpki
- Hidrauličko balansiranje cirkulacijskih krugova promjerom cijevi, uzimanjem u obzir minimalni unutarnji promjer DN 10 i maksimalno dopuštenu brzinu protoka ( $v_{\max} = 1$  m/s)
- Regulacija pomoću regulacijskih ventila.

Slika 10 prikazuje distribucije protoka i postignute temperature iznad 55 °C kroz cijeli sustav.



**Slika 10. Distribucija protoka i temperaturni profil u reguliranom sustavu projektiranom prema Radnom listu W 553, izrađeno prema [20]**

Iako se mali i srednji sustavi projektirani prema DIN 1988 mogu regulirati kako bi zadovoljili nove zahtjeve prema Radnom listu W 551, veliki sustavi ih neće niti nakon regulacije zadovoljiti, oni neće postići temperature toplе vode iznad 55 °C u cijelom sustavu recirkulacije.

#### 4.2.1. Načini projektiranja

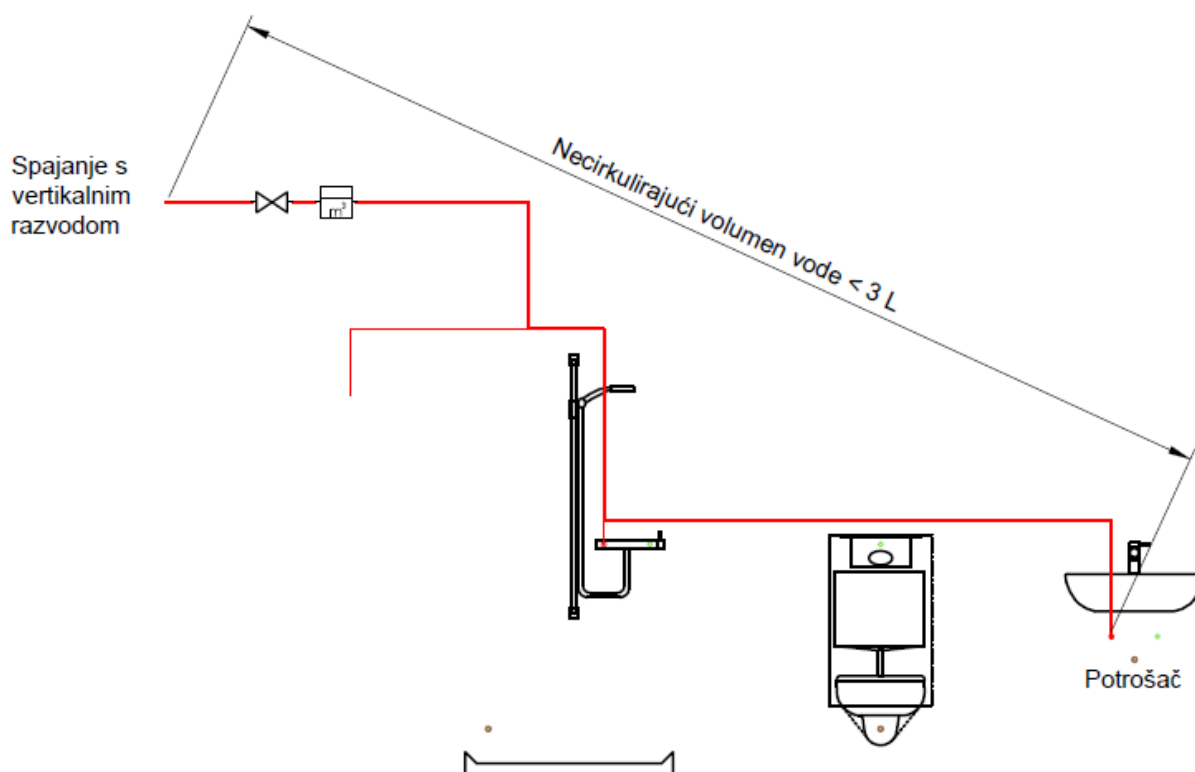
Cjevovod i upotreba potrebne regulacije unaprijed definiraju kritične karakteristike za nesmetani rad sustava recirkulacije toplе vode.

Projektant razvoda recirkulacije mora slijediti sljedeće ciljeve:

- Smanjiti površine koje gube toplinu, posebno u razvodima u kojima toplа i hladna voda moraju biti položene paralelno
- Smanjiti razlike u duljinama krugova recirkulacije
- Ukloniti hidraulički kratke spojeve korištenjem odgovarajućih sustava regulacije
- Postići relativno velike protoke u vodovima s lošim hidrauličkim uvjetima.

#### 4.2.2. Pravilo 3 litre

DIN 1988 [15] dopušta do 3 litre necirkulirajućeg volumena vode po tzv. sitnom razvodu, (granama i ograncima razvoda). Taj se volumen ne odnosi na ukupni kapacitet vode sitnog razvoda već na pojedinu dionicu, odnosno od spajanja s vertikalnim razvodom do trošila (Slika 11). Određivanjem promjera cijevi sitnog razvoda pomoću detaljnih izračuna definiranih prema DIN 1988-3 osim što se poboljšava ekonomičnost cijelog sustava opskrbe vodom, smanjuje se necirkulirajući volumen tople vode u cijevima zadovoljavajući tako higijenske uvjete.



Slika 11. Pravilo 3 litre

#### 4.2.3. Metode projektiranja recirkulacijskih sustava

Razlikuju se tri metode projektiranja recirkulacije tople vode ovisno o zahtjevima sustava opskrbe, prema [20] :

- Kratka metoda bez toplinskih ili hidrauličkih izračuna koja je namijenjena za projektiranje cijevi recirkulacije tople vode u manjim sustavima
- Pojednostavljena metoda koja se može koristiti za sigurnost rada sustava srednjih veličina

- Detaljnom metodom projektiraju se sve veličine sustava. Zbog kompleksnosti koraka proračuna, proračun se izvodi pomoću računalnog programa.

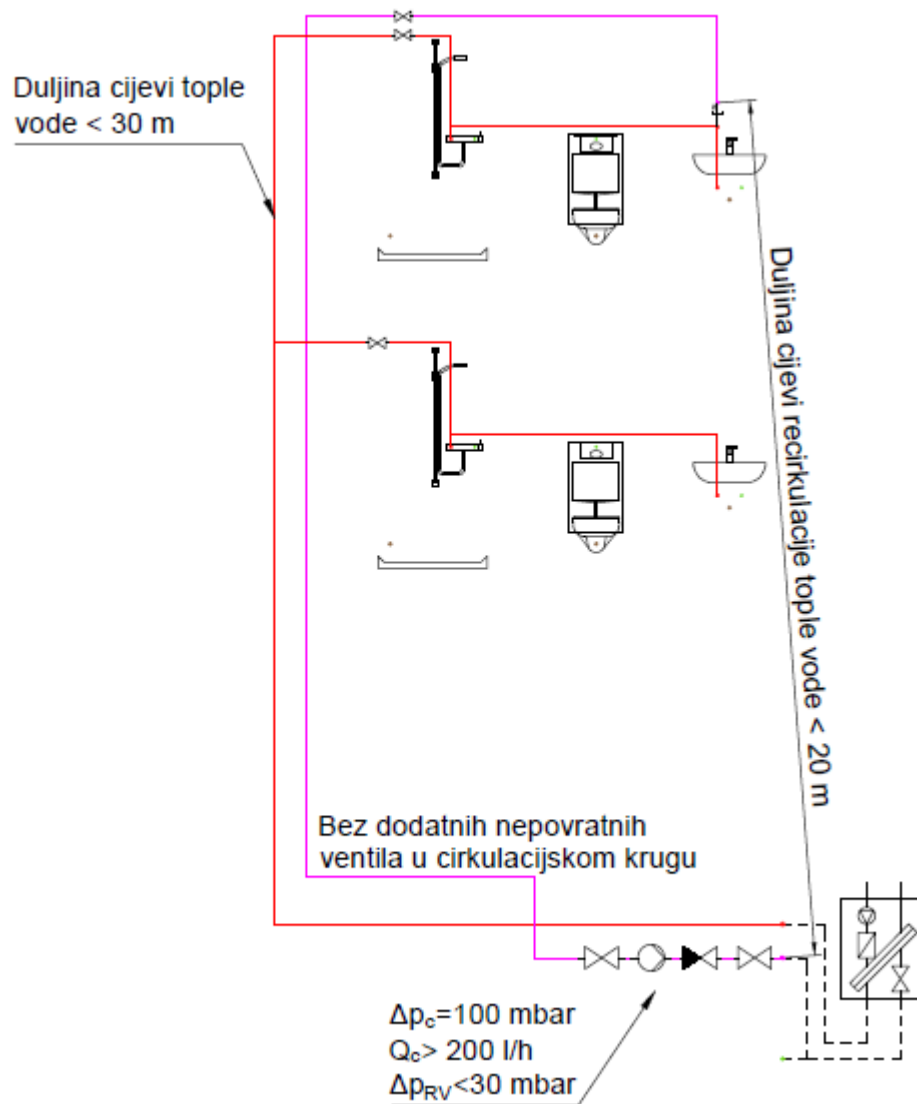
#### *4.2.3.1. Kratka metoda*

Kratka metoda može se koristiti samo ako sustav zadovoljava sljedeće zahtjeve:

- Nema dodatnih nepovratnih ventila
- Pad tlaka preko nepovratnog ventila nizvodno od crpke ne prelazi 30 mbar
- Ukupna duljina svih cijevi tople potrošne vode u sustavu nije veća od 30 m. Pripadajuće recirkulacijske cijevi se ne uzimaju u obzir
- Ukupna duljina recirkulacijskih cijevi u najdužem cirkulacijskom krugu nije veća od 20 m
- Crpka mora isporučiti protok od najmanje  $Q_c \geq 200$  l/h pri razlici tlaka od  $\Delta p_c = 100$  mbar

Ako su navedeni uvjeti ispunjeni, cijev recirkulacije može se odrediti s  $d_i \geq 10$  mm [20].

Slika 12 daje vizualni prikaz ograničenja kratke metode projektiranja recirkulacije tople vode.



Slika 12. Ograničenja korištenja kratke metode projektiranja recirkulacijskog sustava

### 4.3. Materijali instalacija

Materijali instalacija potrošne pitke vode imaju veliku važnost pri postizanju higijenskih uvjeta zbog već opisanih utjecaja. Smiju se koristiti samo prikladni materijali, ljepila i pomoćni proizvodi koji u unutarnjim površinama razvoda pitke vode neće ugrožavati kvalitetu vode, uzrokovati neugodne mirise ili okuse ili narušavati zdravlje korisnika.

Odabir materijala temelji se na kvaliteti vode i uvjetima rada. Na zahtjev, dobavljač vode treba pružiti podatke potrebne za projektiranje i ugradnju sustava pitke vode s detaljima o opskrbnom tlaku, najvećem dopuštenom volumenu ekstrakcije vode, vrijednostima analize vode s fluktuacijskim rasponom analiziranih vrijednosti i dodatnim zahtjevima tehničkih propisa.



Pri odabiru metalnih materijala, korozijsko-kemijski aspekti su od primarne važnosti. Narušavanje kvalitete pitke vode korozijom ovisi o kvaliteti vode, svojstvima materijala, pogonu instalacije i radnim uvjetima. Za metalne materijale vrijede i dodatno se primjenjuju norme EN 12502-1 [4], EN 12502-2 [5], EN 12502-3 [6], EN 12502-4 [7].

Fizikalna svojstva metalnih materijala bitno se razlikuju od plastičnih. Najvažniji kriteriji odabira uključuju [8]:

- Niske pH vrijednosti
- Visoke koncentracije klora
- Visoke temperature
- Koeficijent toplinskog rastezanja.

Tablica 6 prikazuje kriterije za odabir uobičajenih materijala cijevi.

Cijevi mogu biti izrađene od bakra, nehrđajućeg čelika (1.4401, 1.4521 itd.), PE-X materijala ili kompozitnih materijala kao što su PE-X/Al/PE-X. Postoji mnogo rješenja sustava koja uključuju spajanje razvoda različitih materijala. Pri spajanju razvoda različitih materijala može nastati galvanska korozija koja uzrokuje da se neplemenitiji materijal više korodira.

**Tablica 6. Kriterij za odabir uobičajenih materijala cijevi s obzirom na svojstva vode, izrađeno prema [8]**

Materijal		Kriterij odabira
Nehrđajući čelik	1.4401, 1.4521 i drugi	bez ograničenja
Plastika	PE-X, PE-X/Al/PE-X i drugi	bez ograničenja
Bakar		$\text{pH} \geq 7.4$ ili $7.0 \leq \text{pH} < 7.4$ i $\text{UOU}^* \leq 1,5 \text{ g/m}^3$

\*UOU=Ukupni organski ugljik (TOC)

#### **4.3.1. Korozija i kamenac**

Korozija je oštećenje na metalnom materijalu koje se održava i razvija kemijskim ili elektrokemijskim procesima te dovodi do postupnog raspadanja materijala. Voda s pH vrijednosti ispod 7.0 i voda koja nije u ravnoteži „vapno-ugljična kiselina“, tj. tvrda i meka voda s agresivnom ugljičnom kiselinom mogu nagrizati materijal cijevi i materijal spremnika tople vode (dovesti do korozije) [8]. Kamenac je sloj na unutarnjim dijelovima cijevi stvoren tvrdom vodom koja sadrži kisik bez agresivne ugljične kiseline. Tipične pojave u instalacijama pitke vode poput korozije, naslaga kamenca i promjena u sastavu vode usko su povezane. Na vodovodni sustav prvenstveno utječe vrsta instalacije, odabir materijala te izvedba razvoda [8]. Ostali važni čimbenici su sastav vode i radni uvjeti sustava.

Prvi korak za smanjenje rizika od korozije u instalacijama pitke vode je odabir odgovarajućih materijala za određeni sastav vode te profesionalna izvedba ugradnje. Za sprječavanje ili smanjenje pojave kamenca, ako je riječ o tvrdoj vodi, i korozije - koristi se obrada vode. Ipak, obrada vode nije uvijek uspješna i može dovesti do drugih problema. Uostalom, i dezinfekcijska sredstva poput klora mogu uzrokovati koroziju [8]. Osim toga, i mali protoci kroz sustav smanjuju koncentraciju kisika što može rezultirati pojavom korozije u krajnjim dijelovima sustava u kojima voda stagnira.

#### 4.3.1.1. Pocinčane čelične cijevi

Cink na površini cijevi štiti cijev od korozije. Prilikom odabira materijala za instalacije pitke vode, vruće pocinčane cijevi mnogo su povoljnije od pocinčanih cijevi zbog debljeg sloja cinka na površini. Voda bez kisika, s otopljenim CO<sub>2</sub> i smanjene tvrdoće predstavlja povišeni rizik za pocinčani čelik. Vode pH vrijednosti manjih od 6,5 ili većih od 9,0 otapaju zaštitni sloj cinka na cijevi što je primjetno u blago mliječnoj, zamućenoj vodi, koja dolazi često u kombinaciji sa smeđom vodom. Kada odstoji neko vrijeme, pojavljuje se hrđasto taloženje, odnosno korozija. Fini filtri često se mogu začepiti zrnastim česticama cinka koje izgledaju poput pijeska [8].

Važno je naglasiti problem pocinčanih cijevi na visokim temperaturama. Protokom vode visoke temperature skida se sloj cinka sa unutrašnje površini cijevi, a kao posljedica voda postaje nepitka [13]. Naknadno, nezaštićen sloj čelika postaje podložan koroziji. Zbog toga je temperaturu vode u pocinčanim cijevima uvijek potrebno držati ispod 60 °C. Problem visokih temperatura čini termičku dezinfekciju nekompatibilnom metodom dekontaminacije u sustavu s pocinčanim cijevima.

Općenito, cink je bitan element ljudske prehrane čije se potrebe zadovoljavaju hranom, a pitka voda igra vrlo malu ulogu. Prema smjernicama WHO-a [19], preporučljiva granična vrijednost cinka u vodi je 5 mg/l. Veća koncentracija rezultira nepoželjnim metalnim okusom. S velikom koncentracijom cinka, mogu biti prisutni toksični prateći elementi poput olova. U nepovoljnim slučajevima, granična vrijednost olova može se prekoračiti zbog otapanja komponenata legura zajedno sa cinkom.

U slučaju korozije cinka, pojavljuje se željezo kao popratna kontaminacija. Željezo je također važan element za ljude, a kao i kod cinka, dnevne potrebe za željezom pokrivaju se hranom. Apsorpcija željeza kod ljudi ovisi o različitim čimbenicima ali prosječna apsorpcija iznosi oko samo 10% tako da ne postoji rizik od trovanja željezom iz pitke vode. Ipak, količina željeza

od samo 0,2 do 0,3 mg/l uzrokuje metalni okus, obojenje i zamućenost vode što je nepoželjno s gledišta higijene [8].

#### 4.3.1.2. Bakrene cijevi

U bakrenim cijevima dolazi do pojave točkaste korozije, poznate kao „pitting“. Pojavu pittinga u bakrenim cijevima uzrokuje voda s niskim udjelom kisika. Meka voda s visokim udjelom kisika nagrizat će nove bakrene cijevi, ali će se ta reakcija značajno smanjivati s vremenom zbog formiranja bakrovog (I) oksidnog sloja. Kisela voda s pH vrijednosti ispod 6 i s niskom karbonatnom tvrdoćom također uzrokuje pitting i oštećenje površina. Takvi učinci su posebno izraženi u toplim dijelovima cijevi.

Pitting se pojavljuje u bakrenim cijevima neovisno o kvaliteti vode ako se sitne čestice željezovih ili manganovih oksida ili drugih vrsta čestica pričvrste na unutrašnju površinu. Zbog toga, potrebno je postavljati ultrafine filtre uzvodno od bakrenih cijevi i redovito ih servisirati. U mnogim slučajevima korozija se pojavljuje i kao rezultat neispravne ugradnje, poput postavljanja bakrenih cijevi ili dijelova od mesinga uzvodno od čeličnih ili pocinčanih cijevi.

Bakar je važan element u tragovima s relativno malim rasponom koncentracija između potrebnog unosa i unosa koji dovodi do pojave zdravstvenih problema. Povećani sadržaji bakra u pitkoj vodi utječu na okus vode. Niske koncentracije u pitkoj vodi obično nemaju toksični učinak. Kako bi se osigurao dobar okus i izgled vode, smjernice WHO-a preporučuju da koncentracije bakra u pitkoj vodi ne prelaze vrijednost od 1 mg/l [8]. Veće vrijednosti, posebno koncentracije veće od 5 mg/l daju vodi zelenkastu nijansu i gorak okus. Bakar u vodu može dospjeti iz cijevi ili opreme, kakogod, podrijetlo bilo kojeg povišenog sadržaja bakra u vodi potrebno je razjasniti analizom.

#### 4.3.1.3. Cijevi od nehrđajućeg čelika

Cijevi od nehrđajućeg čelika inertne su prema uobičajenom sastavu vode do tog stupnja da sprječavaju vidljivu koroziju.

#### 4.3.1.4. Plastične cijevi

Prednost plastičnih cijevi je njihova otpornost na koroziju. Ipak, neodgovarajuća plastika može djelovati kao hranjivi medij za mikrobiološka onečišćenja pri čemu dolazi do rasta bakterija, praćenog mirisima iz produkata metabolizma bakterija. To se primarno događa kada

se temperature tople vode održavaju značajno ispod 60 °C zbog smanjenja troškova energije. Uz takve relativno niske temperature, postoji i rizik od rasta legionela.

#### 4.3.1.5. Sredstva za zaštitu od korozije

Mjere za smanjenje korozije imaju tendenciju smanjivanja štete na materijalu, odnosno zaustavljanja potencijalnog pucanja cijevi popraćenog pogoršanjem kvalitete pitke vode. Koroziju je moguće spriječiti dodavanjem odgovarajućih sredstva za obradu vode. Sredstva za zaštitu od korozije potrebno je dozirati što je manje moguće i ona ne bi smjela imati nikakav dodatni učinak osim svoje primarne svrhe.

Silikati i fosfati već se neko vrijeme koriste kao aditivi za sprječavanje korozije. Ovisno o obliku korozije, potrebno je pažljivo procijeniti početnu situaciju. Postupci obrade ne primjenjuju se univerzalno nego se prilagođavaju individualnom problemu za odgovarajuću instalaciju i određenu kvalitetu vode. Naprimjer, doziranje ortofosfata može pospješiti stvaranje zaštitnih gornjih slojeva na željeznim materijalima i vruće pocinčanom čeliku što dovodi do značajnog smanjenja površine korozije. Tijekom smanjenja korozije, smanjuje se i stvaranje hrđe. Doziranje fosfata korozija se smanjuje i u bakrenim vodovima.

Polifosfati se mogu koristiti za smanjenje korozije samo u kombinaciji s ortofosfatima. U dugim cijevima ortofosfat nastaje hidrolizom polifosfata, čija se koncentracija smanjuje duž cijevi kao rezultat reakcije sa stijenkama cijevi.

I natrijevi silikati u kombinaciji s fosfatima i s alkalnim metalima odobrene su tvari za sprečavanje korozije. Dodavanje silikata omogućava nižu koncentraciju fosfata s istom učinkovitošću, a u kombinaciji s drugim alkalnim tvarima, silikat daje mogućnost smanjenja korozije povećanjem pH vrijednosti.

#### 4.4. Izolacija cijevi

Izmjenom topline između vode iz sustava i okoliša može doći do pojave povoljnih temperatura za rast i razmnožavanje bakterija u instalacijama potrošne pitke vode. S obzirom da je temperatura kritični parametar za nekontrolirano razmnožavanje bakterija, cijevi je potrebno obložiti izolacijom.

Preporuke prema DIN 1988-200 [9] za debljinu izolacije tople vode daje Tablica 7, i za debljinu izolacije cijevi hladne pitke vode Tablica 8. Tablica 7 daje debljinu izolacije za toplinsku provodnost  $\lambda = 0,035 \text{ W/(mK)}$  pri referentnoj temperaturi 40 °C. Tablica 8 daje debljine izolacije za toplinsku provodnost  $\lambda = 0,040 \text{ W/(mK)}$  pri referentnoj temperaturi od 10 °C. Za ostale slučajeve izolaciju je potrebno izračunati prema normi.

**Tablica 7. Minimalna debljina izolacije za cijevi tople vode prema DIN 1988-200, izrađeno prema [8]**

	<b>Debljina izolacije s <math>\lambda= 0,035 \text{ W/(mK)}</math></b>
Unutarnji promjer cijevi do 22 mm	20 mm
Unutarnji promjer cijevi od 22 mm do 32 mm	30 mm
Unutarnji promjer cijevi od 35 mm do 100 mm	Jednaka unutarnjem promjeru
Unutarnji promjer cijevi veći od 100 mm	100 mm
Instalacije u prodorima kroz zidove i stropove	Polovica od prethodnih zahtjeva

**Tablica 8. Smjernice za debljinu izolacije cijevi hladne pitke vode prema DIN 1988-200, izrađeno prema [8]**

	<b>Debljina izolacije s <math>\lambda= 0,040 \text{ W/(mK)}</math></b>
Slobodno razvedene cijevi, temperatura okoline $\leq 20 \text{ }^\circ\text{C}$	9 mm
Cijevi razvedene u podu, šahtovima i spuštenim stropovima, temperatura okoline $\leq 25 \text{ }^\circ\text{C}$	13 mm
Cijevi u prostorijama s toplinskim opterećenjima, temperatura okoline $\geq 25 \text{ }^\circ\text{C}$	Izolacija kao za toplu vodu (Tablica 7)
Cijevi u duplim zidovima	4 mm
Cijevi razvedene u slojevima poda, bez instalacija tople vode	4 mm
Cijevi razvedene u slojevima poda, s instalacijama tople vode	13 mm

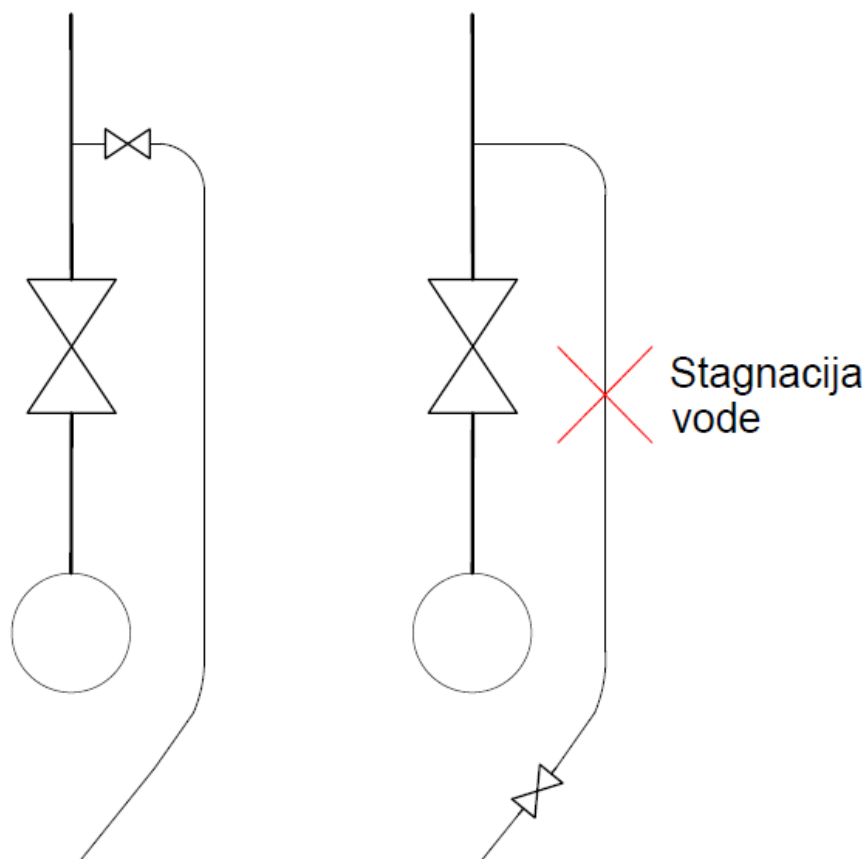
## 5. DEKONTAMINACIJA SUSTAVA OD PATOGENIH MIKROORGANIZAMA

Dekontaminacija sustava sastoji se od operativnih, preustrojnih i proceduralnih postupaka. Uz uklanjanje cijevi s potencijalnom stagnacijom vode, važno je povećanje temperature u sustavu tople vode uz korištenje regulacije primjerene odabranom načinu distribucije tople vode.

### 5.1. Uklanjanje cijevi sa stagnacijom

Suvišne cijevi potrebno je od spojiti kako bi se odstranili „mrtvi dijelovi“ cjevovoda, odnosno spriječila stagnacija vode koja dovodi do neželjenih posljedica za kvalitetu vode.

I ventile treba spajati na ispravan način, izravno na glavnu cijev. Način ispravnog i neispravnog spajanja zapornih ventila prikazuje Slika 13.



Slika 13. Odvodne cijevi u blizini razvodnika (lijevo – ispravno spajanje, desno – neispravno spajanje), izrađeno prema [20]

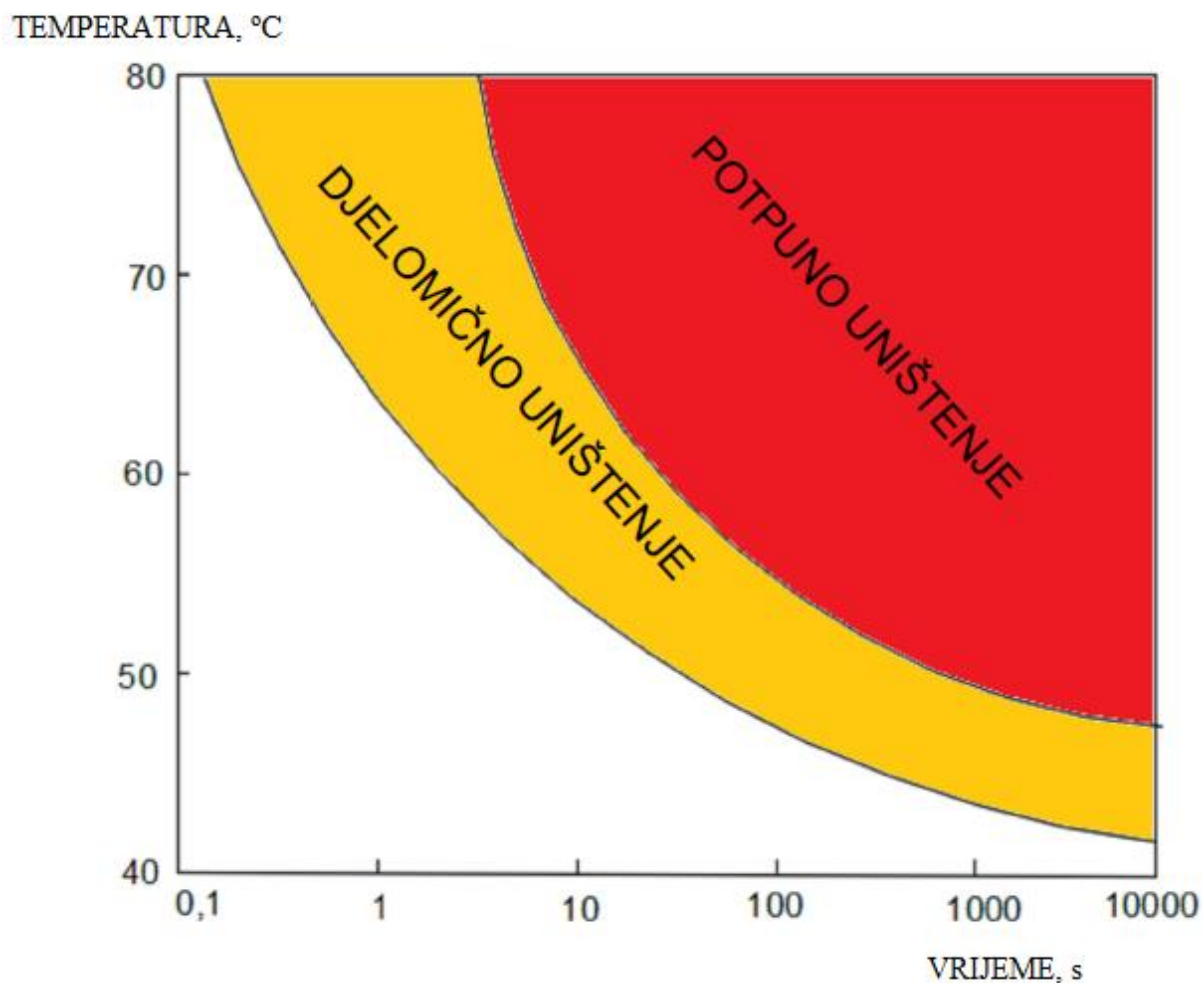
## 5.2. Dezinfekcija

Mikrobiološka ispitivanja potrebno je provoditi u svim građevinama, a pogotovo u javnim objektima visokog rizika. Ispitivanja u Njemačkoj [23], dovela su do sljedećih približnih postotaka pozitivnih uzoraka na legionele u sustavima pitke vode:

- Bolnice 63%
- Škole 36%
- Poslovne zgrade 30%
- Domovi za starije 20%
- Hoteli 18%
- Stambene kuće 14%

Ako laboratorijska ispitivanja uzoraka vode ukažu na kontaminaciju bakterijama, moraju se odmah poduzeti odgovarajuće mjere dekontaminacije i/ili dezinfekcije. Relativno jednostavan (ako je sustav zagrijavanja vode dovoljnog kapaciteta) i brz način dezinfekcije sustava je termička dezinfekcija - podizanje temperature vode na iznad 70 °C u cijelom sustavu. Temperatura od 70 °C uništava legionele u kratkom vremenu. Prema Radnom listu W 551 [16] termička dezinfekcija mora obuhvatiti cijeli sustav, uključujući potrošače. Tijekom faze zagrijavanja vode najprije se sva izljevna mjesta zatvaraju, voda se ne smije ispuštati. Crpka pritom neprekidno radi i takvo stanje zatvorenog sustava održava se sve dok spremnik vode i cijevi recirkulacije potrošne tople vode ne postignu temperaturu od 70 °C. Tek nakon uspostave temperature dezinfekcije u cijelom sustavu recirkulacije, dezinficiraju se dijelovi cijevi koji nisu povezani u recirkulaciji, naprimjer, cijevi sitnog razvoda (grane i ogranci razvoda). Termička dezinfekcija na potrošačima provodi se ispuštanjem vode tako da svako trošilo bude izloženo temperaturi od 70 °C u trajanju od najmanje 3 minute. Općenito, svi sustavi koji ne zadovoljavaju zahtjevima Radnog lista W 551 smatraju se potencijalno kontaminiranim [20].

Slika 14 prikazuje uništavanje legionela u ovisnosti o temperaturi i vremenu.



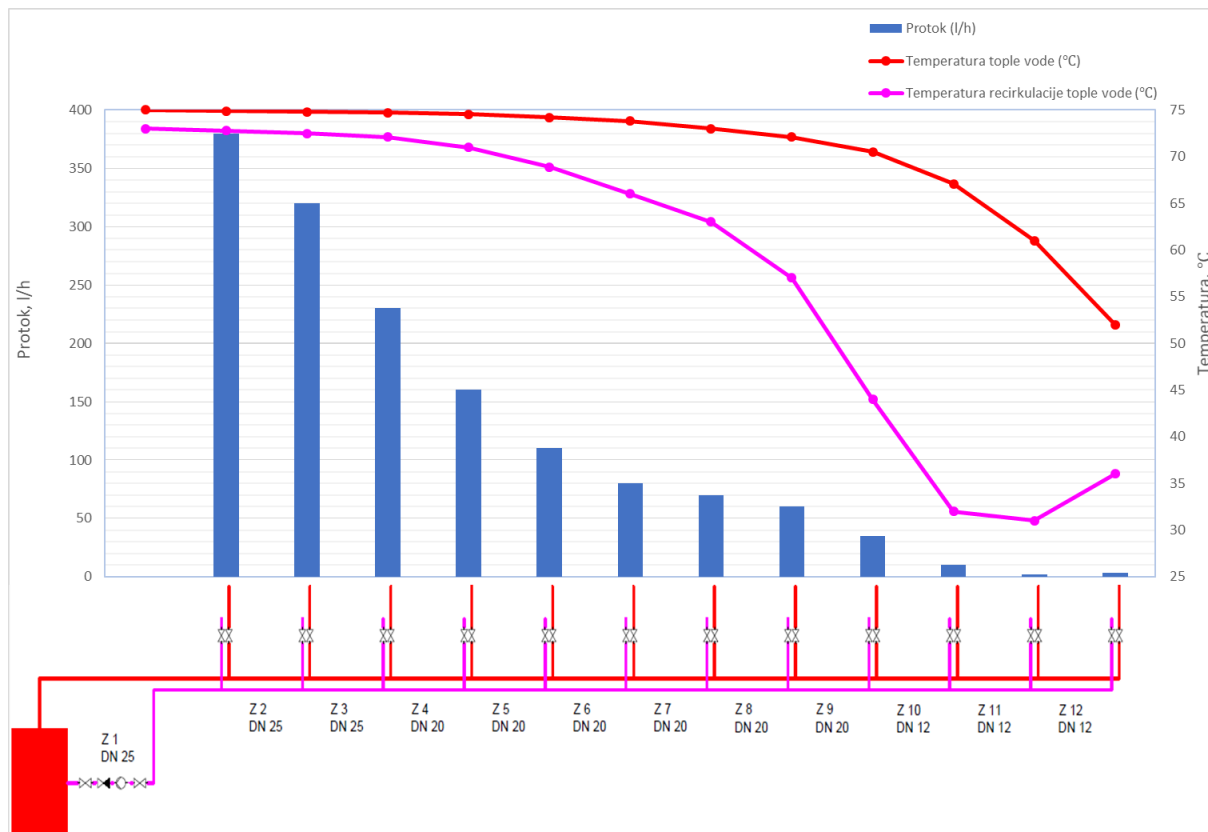
Slika 14. Uništavanje bakterija legionela u funkciji temperature i duljine izlaganja, izrađeno prema [13]

### 5.2.1. Neregulirani sustavi

Ako je temperatura povrata tople vode na ulazu u spremnik vode viša od 70 °C, ne mora značiti da se takva temperatura uspostavila kroz cijeli sustav.

Toplinska dezinfekcija primarno je potrebna sustavima koji ne mogu održavati temperaturu vode iznad 55 °C kroz cijeli sustav, a to je slučaj kod nereguliranih sustava. Ako se temperature dezinfekcije pokušaju postići u nereguliranim sustavima, hidraulički kratki spojevi dovest će do temperatura viših od 70 °C u spremniku vode, a temperature dalje od crpke biti će veoma niske. Slika 15 prikazuje termičku dezinfekciju nereguliranog sustava.

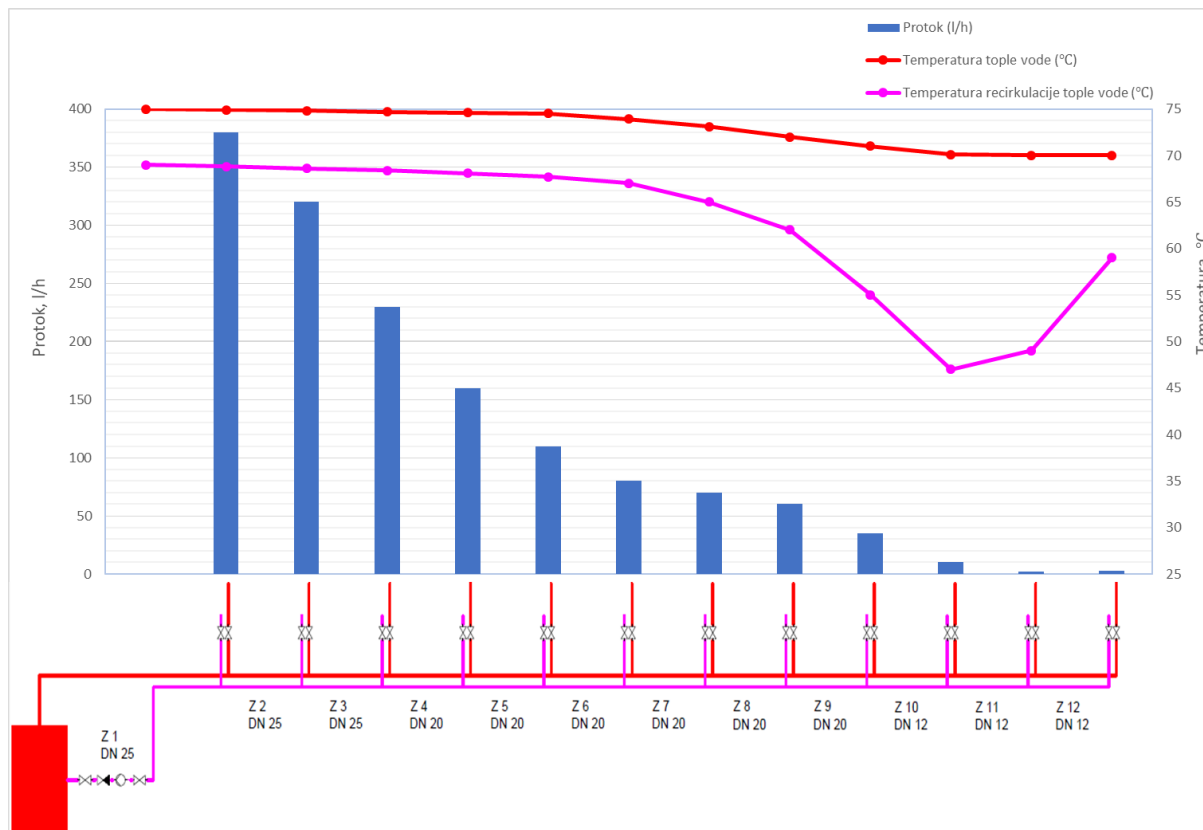




Slika 15. Termička dezinfekcija nereguliranog sustava, izrađeno prema [20]

Ispuštanje vode u svrhu dezinfekcije priključnih cijevi u skladu s DVGW Radnim listovima W 551 samo povećava temperature u cijevima tople vode na vrijednosti iznad 70 °C. Ni tada obično cijevi recirkulacije tople vode ne postignu temperature dezinfekcije što je vidljivo na Slika 16.

Osim toga, u područjima cjevovoda u kojima temperatura nije uspješno porasla zbog slabe ili nepostojeće cirkulacije, nije moguće postići ni učinkovitu koncentraciju dezinfekcijske kemikalije, tj. provesti kemijsku dezinfekciju.



Slika 16. Termička dezinfekcija nereguliranog sustava s ispuštanjem vode, izrađeno prema [20]

### 5.2.2. Sustavi regulirani termostatskim ventilima

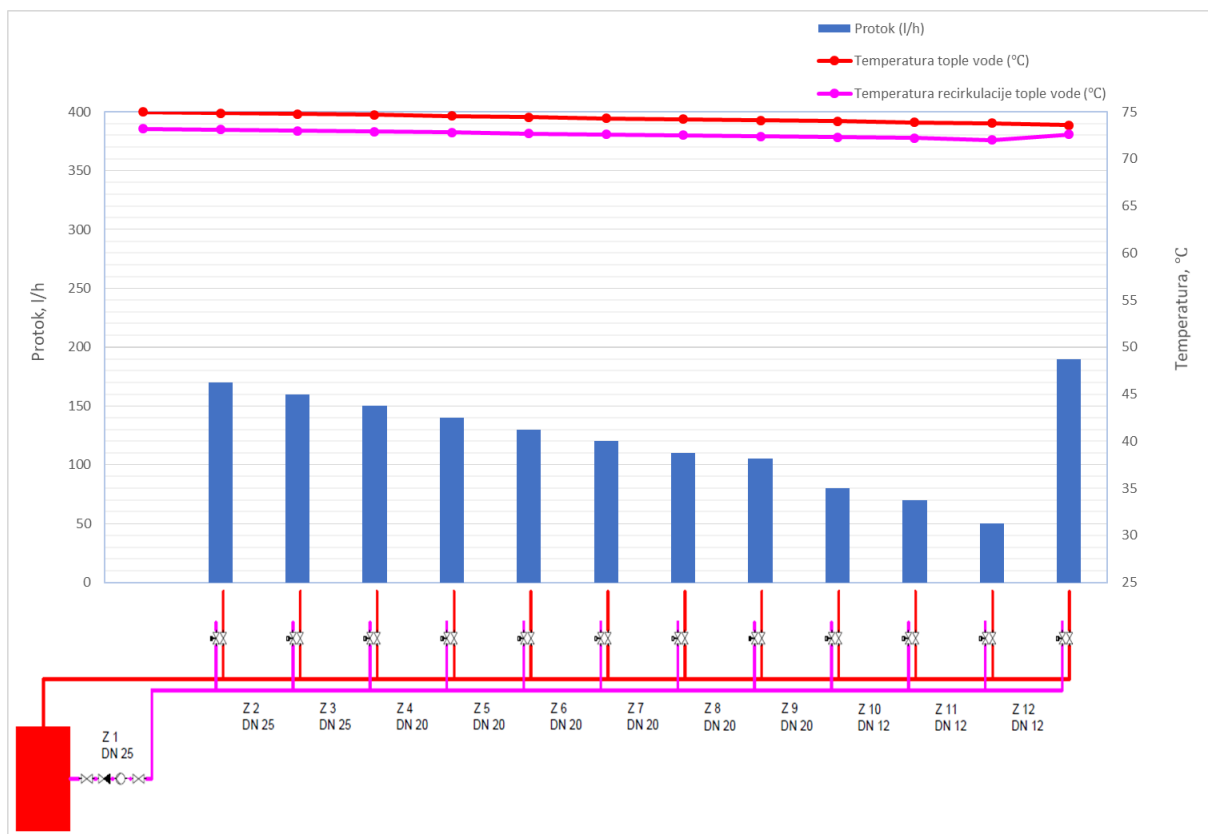
S obzirom da temperatura recirkulacijske vode od 70 °C izmjerena na ulazu u spremnik ne osigurava nužno postignute temperature dezinfekcije u cijelom sustavu, neophodna osnova za uspješnu dezinfekciju je regulacija sustava.

Iz funkcionalnih razloga sustav recirkulacije tople vode preferira se regulirati pomoću termostatskih regulacijskih ventila u ovisnosti o temperaturi. Prema [20], regulacijski ventili koji se potpuno zatvaraju kada dostignu postavljene temperature od oko 56-58 °C više nisu prihvatljivi. Osim ostalih tehničkih nedostataka, oni čine termičku dezinfekciju gotovo nemogućom jer bi crpka morala raditi protiv zatvorenih ventila. Niti ispuštanje vode ne bi puno poboljšalo temperature u sustavu s obzirom da se cijevi ne mogu zagrijati iznad postavljenih temperatura ventila. Kako bi se prevladao ovaj nedostatak, koriste se automatski balansni ventili „Multi-Therm“. Automatski balansni ventil kontrolira protok i temperaturu tople vode sprječavajući stagnaciju vode i pad temperatura u recirkulacijskom sustavu tople vode. Kada je postignuta tražena temperatura, ventil se maksimalno prigušuje. Ipak, i u položaju maksimalnog prigušenja postoji mali kontinuirani protok recirkulacije vode. Korištenjem automatskog balansnog ventila termička dezinfekcija postiže se bez ručnog

namještanja ventila. Slika 33 prikazuje koeficijente protoka automatskog balansnog ventila DN 20 kao funkciju temperature. Koeficijenti protoka ventila konstruirani su kao funkcija nazivnog promjera tako da se i u većim sustavima mogu uspostaviti temperature dezinfekcije u cijelom cirkulacijskom sustavu.

### 5.2.3. Verifikacija temperature dezinfekcije

Kod sustava projektiranog prema normama i smjernicama, temperature dezinfekcije postižu se kroz cijeli sustav recirkulacije potrošne tople vode. Slika 17 prikazuje uspostavu temperatura dezinfekcije s odgovarajućim protocima u cijelom sustavu recirkulacije.

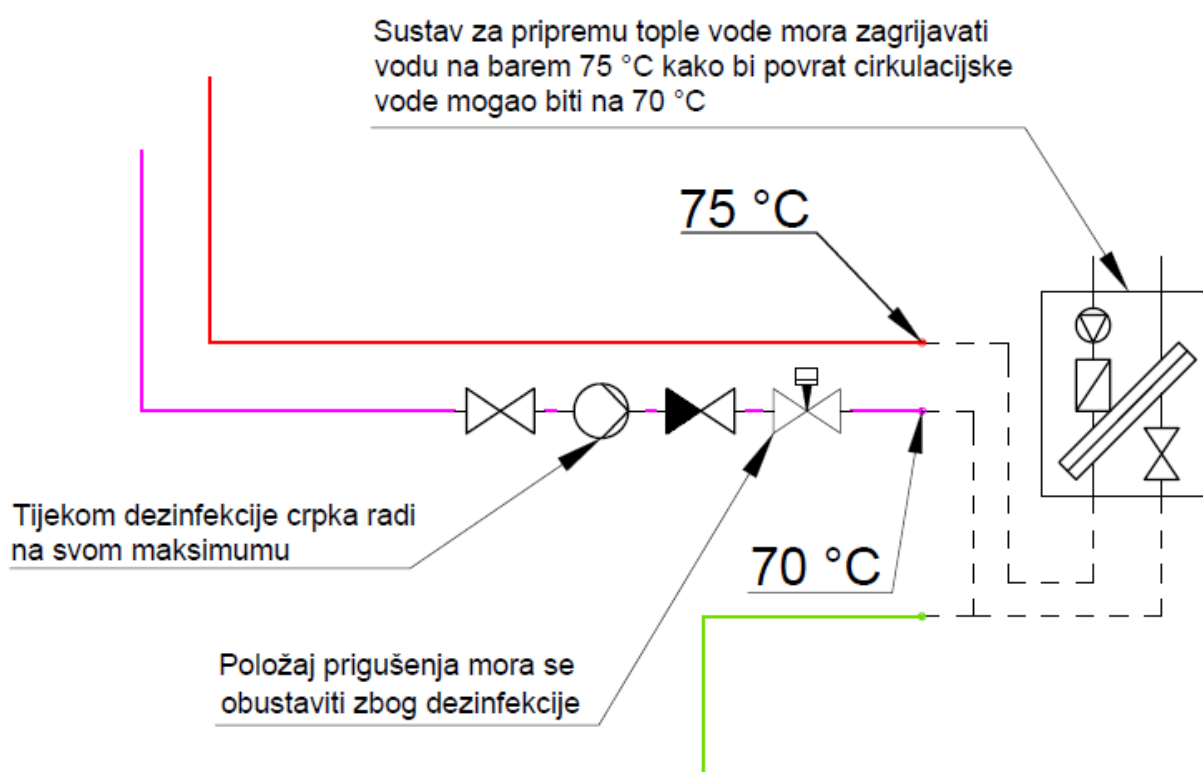


**Slika 17. Termička dezinfekcija u sustavu reguliranom Multi-Therm regulacijskim ventilom, izrađeno prema [20]**

O sustavu vodoopskrbe ovisi koliko je vremena potrebno da topla voda izađe iz spremnika i ponovno se recirkulacijom vrati u spremnik. Da bi se postigle temperature dezinfekcije u vertikali s najgorim hidrauličkim uvjetima, referentnom sustavu je potrebno 15 do 20 minuta [20].

Tijekom dezinfekcije povećana temperaturna razlika između vode u sustavu i okolnog zraka uzrokuje oko 30% veće gubitke topline. Kako bi se spriječio temperaturni pad veći od 5 °C, u sustavu recirkulacije mora biti odgovarajući veći protok.

Crpka mora imati dovoljne rezerve za dezinfekciju koja se očituje ili povećanjem brzine vrtnje crpke ili obustavom podešavanja prigušenja regulacijskog ventila nizvodno od crpke. Po završetku termičke dezinfekcije, vraća se uobičajeno stanje regulacije.



Slika 18. Spremnik vode i rad crpke tijekom termičke dezinfekcije, izrađeno prema [20]

#### 5.2.4. Konfiguracija koja podržava termičku dezinfekciju

Korištenje vode od 3 minute na izljevnom mjestu zahtjeva potrošnju od 15 do 40 litara tople potrošne tople vode što takvu dezinfekciju u pogledu potrošnje vode i energije čini ekonomski neprihvatljivom [20]. Zajedničko rješenje za rad i higijenu je recirkulacija do potrošača. Pomoću konfiguracije recirkulacije do potrošača, izbjegava se i potreba za procedurama ispuštanja vode kada ona postane potrebna za vrijeme termičke i/ili kemijske dezinfekcije.

### 5.3. Povećanje temperature u postojećim sustavima opskrbe tople vode

Prema DVGW Radnim listovima [16],[17], svaka radna i rekonfiguracijska mjera uključena u dekontaminaciju novih ili postojećih sustava mora voditi to toga da temperatura vode u cirkulacijskom sustavu ne padne ispod 55 °C.

### 5.3.1. Pregled sustava

Prije mjera rekonfiguracije najprije je potrebno provesti sveobuhvatan pregled sustava tople vode koji zahtjeva dekontaminaciju [20]. DVGW Radni listovi određuju da dokumentacija mora obuhvatiti sve dostupne crteže, opise sustava, podatke sustava i uputstva ili priručnike za uporabu i održavanje. Ako navedene informacije nisu dostupne, potrebno je pripremiti crteže vodovoda u kombinaciji s nacrtima i dijelovima kroz zgradu.

Crteži moraju sadržavati barem sljedeće:

#### Sustav grijanja tople vode

- Izmjenjivač topline
- Spremnik za vodu
- Dimenzije
- Podatke o učinku

#### Sustav cjevovoda

- Smjer strujanja
- Materijale cijevi
- Nominalne promjere
- Materijal izolacije
- Debljina izolacije
- Ventile
- Izljevna mjesta
- Mjerne uređaje
- Upravljačke sustave

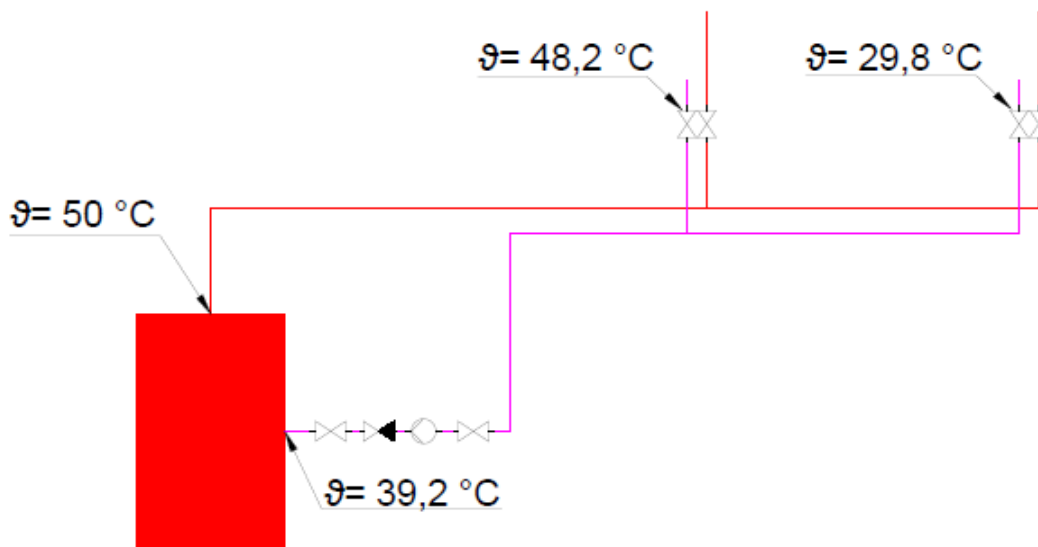
#### Sustav za obradu vode

Pregled sustava za obradu vode mora obuhvatiti mjerenje sa zapisima temperatura hladne i tople te tople recirkulacijske vode. Mjerači protoka moraju biti postavljeni na prikladna mjesta za praćenje potrošnje i određivanje protoka recirkulacijske vode. Dijelove cijevi u kojima se vrši nadgledanje potrebno je provjeriti zbog naslaga i znakova korozije.

### 5.3.1.1. Mjerenja temperature

Mjerenja temperature na spremniku potrošne tople vode i na ventilima obično su dovoljna za opisati raspodjelu temperatura u sustavu recirkulacije. Mjerenja se rade jednostavnim instrumentima s digitalnim zaslonom podobnim za mjerenje površinske temperature.

Slika 19 prikazuje preferirana mjesta za mjerenje temperature koja omogućavaju pouzdano izvješće o funkcionalnim nedostacima sustava.



**Slika 19. Preferirana mjesta mjerenja temperature, izrađeno prema [20]**

### 5.3.1.2. Mjerenje protoka

Stariji sustavi obično nemaju uređaje za mjerenje protoka recirkulacije. Bilo koji vodomjer u cijevi hladne vode koji se nalazi u blizini sustava za pripremu tople vode može se koristiti za provjeru rada sustava grijanja vode. Međutim, on neće pružiti nikakve informacije o recirkulacijskom sustavu. Mjerenja protoka u recirkulacijskom sustavu su ekonomski nepovoljna s obzirom da se u cjevovod mora ugraditi senzore. Upotrebom ultrazvučne opreme za mjerenje protoka, ne trebaju se ugrađivati senzori ali je takva oprema obično ekonomski nepristupačna te neprikladna za kontinuirani monitoring. Iako zahtjeva otvaranje sustava vodovoda za instaliranje senzora, ekonomski povoljnom i učinkovitom metodom mjerenja protoka smatra se metoda niskog pada tlaka [20]. Njezina mjerenja prikazuju se digitalno na malom mobilnom računalu.

### 5.3.1.3. Mjerenja razlike tlaka

Raspoloživa razlika tlaka u sustavu cirkulacijskih cijevi kojima je potrebna dekontaminacija, može se mjeriti diferencijalnim manometrom. Ako se mjeri razlika tlaka između cijevi odlazne tople vode i recirkulacije tople vode na razdjelniku, u obzir se uzimaju samo gubici kroz cjevovod (bez pada tlaka u sustavu pripreme potrošne tople vode) [20].

### 5.3.2. Dijagnostika

Povećanjem temperature na više od 55 °C u sustavu recirkulacije vode kojemu je potrebna dekontaminacija, pretpostavlja se da sustav pripreme tople vode može osigurati kontinuirane temperature od 60 °C na izlazu iz spremnika. Takva temperaturna stabilnost ne može se uvijek postići bez rekonstrukcije sustava, posebno ne u starijim sustavima zagrijavanja vode [20]. Prije provođenja dekontaminacije, kroz sustav je potrebno provesti provjere.

#### 5.3.2.1. Sustav pripreme potrošne tople vode

Funkcionalnost i performanse sustava pripreme potrošne tople vode mogu se najučinkovitije provjeriti mjerenjem temperatura na izlazu vode iz spremnika i na protoku hladne vode tijekom vremenskog razdoblja od najmanje jednog dana.

Izmjereni podaci povremeno pokazuju da su temperature na izlazu iz spremnika podložne fluktuacijama čija amplituda ovisi o brzini odvodnje vode iz spremnika [20]. Uzrok tomu je često pretjerano jaka crpka koja sprječava zadovoljavanje potražnje u trenucima najveće odvodnje vode iz spremnika. Ako izmjenjivač topline više nije u stanju zagrijati vodu koja se odvodi, temperature padnu ispod 60 °C. U takvim slučajevima, prigušenje protoka ventilom uzvodno ili nizvodno od crpke može aktivirati spremnik da pokrije maksimalnu brzinu odvodnje. Ako se pokaže mogućim primjetno smanjiti fluktuacije temperature u ovisnosti o potrošnji, snažnu crpku potrebno je zamijeniti slabijom ili ugraditi regulacijski ventil koji se može postaviti u položaj prigušivanja.

Kad je sustavu potrebna dekontaminacija, prvi korak je usvajanje „operativnih“ i/ili „konfiguracijskih“ mjera kako bi se osigurala stalna temperatura na izlazu iz spremnika potrošne tople vode od 60 °C.

##### 5.3.2.1.1. Isključivanje cirkulacijske crpke

Prema DVGW Radnom listu [16] cirkulacijske crpke mogu se isključiti do 8 sati samo pri savršenim higijenskim uvjetima u sustavu (potvrđenima mikrobiološkim analizama vode). Za vrijeme dekontaminacije sustava, cirkulacijske crpke moraju raditi neprestano.

## 5.3.2.2. Neodgovarajući protok recirkulacije

Regulacija se smatra uspješnom samo ako se kroz sustav postiže odgovarajući protok [20]. Ako u nereguliranom sustavu s konstantnom temperaturom tople vode od 60 °C na izlazu iz spremnika, temperatura recirkulacije nije veća od potrebnih 55 °C, protok vode je neodgovarajući. Prije poduzimanja drugih mjera, najprije je potrebno ukloniti uzrok neadekvatnog protoka.

## 5.3.2.2.1. Cirkulacijska crpka

Za određivanje odgovarajuće cirkulacijske crpke radi se gruba procjena razlike tlaka te protoka. U sustavu recirkulacije bez većih padova tlaka, može se procijeniti uprosječni pad tlaka  $R_F \approx 1,5 - 2$  mbar/m [20].

$$\Delta p_c = R_F \cdot l + \Delta p_{RV} + \Delta p_{AP} \quad (9)$$

$\Delta p_c$	Procijenjena razlika tlaka koju daje crpka [Pa]
$R_F$	Uprosječni pad tlaka [Pa/m]
$l$	Dužina najgoreg (najdužeg) kruga recirkulacije [m]
$\Delta p_{RV}$	Pad tlaka preko nepovratnih ventila [Pa]
$\Delta p_{AP}$	Pad tlaka u izmjenjivaču topline ili u drugim uređajima (aparatima) [Pa]

Uz razliku tlaka, potreban je protok crpke.

$$Q_c = \frac{\sum [l_{uk} \cdot q_w]}{\rho \cdot c \cdot \Delta \vartheta_w} \quad (10)$$

$\sum [q_w \cdot l_{uk}]$	Suma toplinskih gubitaka po površini svih cijevi tople vode i cijevi recirkulacije [W]
$\rho$	Gustoća vode ( $\rho \approx 1$ kg/l)
$c$	Specifični toplinski kapacitet vode ( $c \approx 1,2$ Wh/(kg · K))
$\Delta \vartheta_w$	Dozvoljeni pad temperature između polaza tople vode i njezinog ponovnog povratka u spremnik vode ( $\Delta \vartheta_{w, \max} = 5$ °C)

Ako nema dovoljno podataka za detaljan izračun gubitaka topline, može se koristiti gruba procjena. Za grubu procjenu gubitka topline po metru koja uzima u obzir lošiji slučaj izolacije može se uzeti  $q_w = 10 - 15$  W/m [20].

Jednadžbom 10 računa se protok potreban za pokrivanje ukupnog gubitka topline u sustavu recirkulacije. Tada su poznate veličine svih podataka crpke (tlak i protok) potrebni za uspješnu dekontaminaciju.



Ako je izračunata radna točka ispod karakteristike crpke, postojeća crpka se može nastaviti koristiti. Ukoliko nije, mora se koristiti višestupanjska crpka koja odgovara uvjetima cjevovoda i još ima rezervni kapacitet za termičku dezinfekciju [20].

U složenijim sustavima s nekoliko crpki u seriji, izračunatu radnu točku potrebno je usporediti s rezultatima mjerenja kako bi se utvrdila stvarna radna točka kako je gore opisano.

#### 5.3.2.2.2. Nepovratni ventili

Pri dovoljnom kapacitetu crpke, sustav recirkulacije mora imati otpore protoka koji ograničavaju protok. Takve otpore daju nepovratni ventili. Stari nepovratni ventili s oprugom moraju biti uklonjeni, jer uzrokuju prekomjerni pad tlaka. Ako su nepovratni ventili esencijalni za rad sustava, moraju se zamijeniti modelima s malim tlakom otvaranja. Postojeće zaporne ventile u sustavu potrebno je također provjeriti prije kalkulacija i zahvata.

#### 5.3.2.2.3. Izmjenjivači topline

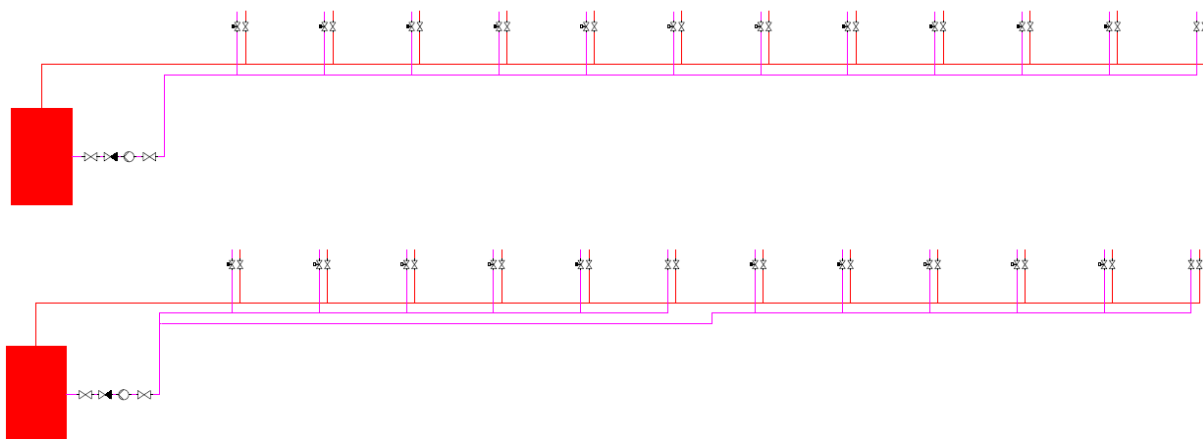
Ako je u sustavu recirkulacije brzina protoka premala, potencijalni uzrok može biti izmjenjivač topline [20]. Mjerenje pada tlaka na ulazu i izlazu u izmjenjivač može pokazati što je uzrok prevelikog pada. Možda ga je potrebno očistiti ili zamijeniti.

#### 5.3.2.2.4. Cijevi premalih dimenzija

Stariji sustavi uglavnom se mogu dekontaminirati bez većih modifikacija cjevovoda. Prema [20], stariji sustavi projektirani s pravilom „Promjer cijevi recirkulacije manji za jednu ili dvije veličine od promjera pripadajuće cijevi za toplu vodu“ manje su problematični za evaluaciju od recirkulacijskih sustava projektiranih prema DIN 1988-3.

Veći sustavi recirkulacije povremeno se i dalje projektiraju bez ispravnih hidrauličkih proračuna, samo koristeći odredbe prema DIN 1988-3 [15]. Kao što je objašnjeno u poglavlju 4.2., sustavi projektirani metodom prema DIN 1988-3 ne postižu potrebne temperature iznad 55 °C u cijelom sustavu recirkulacije tople vode. Čak i pri konvencionalnim načinima distribucije, projektiranje prema DIN 1988-3 iznimno je rizično i s „cirkulacijom do potrošača“ dovodi do katastrofalnih kvarova. U takvim pogrešno projektiranim sustavima recirkulacije, održavanje potrebnih temperatura još uvijek se može postići samo potpunom izmjenom postojećeg cijevnog sustava [20].

U svrhu poboljšanja hidrauličkih uvjeta sustava recirkulacije projektiranog metodom DIN 1988-3 protok recirkulacijskog voda je podijeljen. Primjer izmjene cijevnog sustava prikazuje Slika 20.



**Slika 20. Povoljanje hidrauličkih uvjeta paralelnim postavljanjem glavnog razvoda, izrađeno prema [20]**

#### 5.3.2.2.5. Regulacijski ventili

Svrha termostatskih ventila za regulaciju recirkulacije je uspostaviti padove tlaka ovisno o temperaturi. Raspoloživi hod ventila je samo nekoliko milimetara što znači da i onda kad je ventil potpuno otvoren i kroz ventil prolazi velik protok, proizvodi se značajan pad tlaka. Kao što je već utvrđeno, temperatura se u krugu recirkulacije vode može održati ako su mogući relativno veliki protoci u vertikalama daljim od crpke. Nepravilni ili pogrešno pozicionirani termostatski ventili mogu dovesti do ozbiljnijih kvarova. Kako bi se izbjegle takve pogreške, u većim sustavima krugovi recirkulacije s najgorim hidrauličkim uvjetima moraju biti opremljeni regulacijskim ventilima minimalnog nazivnog promjera DN 20 [20]. Mjesta ugradnje s najkritičnijim uvjetima ovise o načinima distribucije i mogu se izbjeći pažljivim projektiranjem sustava.

Očekuje se smanjena brzina recirkulacijske vode uslijed sljedećeg:

- U krugovima recirkulacije s lošim hidrauličkim uvjetima nalaze se termostatski ventili premalog nazivnog promjera
- Nekoliko termostatskih ventila serijski su spojeni u krugove recirkulacije
- Termostatski ventil postavljen je centralno, naprimjer na razdjelniku.

U takvim slučajevima kritični otpor može se privremeno ukloniti odvrtanjem termostatske glave s regulacijskog ventila. Ukoliko se ni time primjetno ne poboljšaju temperaturni uvjeti, ventil je potrebno zamijeniti.

## 6. PRIMJER RJEŠENJA ZA HOTELSKU ZGRADU

Na primjeru stvarnog objekta prikazana su različita projektna rješenja za postizanje higijenskih uvjeta u instalacijama pitke vode, preventivne mjere te mjere održavanja sustava.

Odabrani objekt je zgrada hotela. Hotel se nalazi u Njemačkoj, u gradu Berlinu i sastoji se od 152 sobe. Dio potrebnih podataka o hotelu dobiven je od tvrtke Opus Optimus d.o.o.. Od ukupnog razvoda instalacija pitke vode ( i potrošne tople vode i hladne vode) u nastavku će se prikazati dio, odnosno tri vertikale razvoda što je dovoljno za procjenu situacije. Sustav je projektiran i obrađen u računalnom programu Dendrit.

Dendrit je računalni program korišten za proračune u području sanitarnog projektiranja. Osnovna ideja njegovog korištenja je koncept grafičkog planiranja. Program se sastoji se od modula instalacija pitke vode, otpadnih voda, proračuna tlaka za grijanje, plinske instalacije, izračunavanja toplinskog i rashladnog opterećenja i projektiranja površinskog grijanja. Svi navedeni moduli imaju svoja prilagođena sučelja.

U zadatku je korišten modul pitke vode s mogućnošću odabira hladne pitke vode, potrošne tople vode, recirkulacije ili ispiranja. Programsko sučelje modula pitke vode prikazuje Slika 21.

Određivanje promjera cijevi, kao i dimenzioniranje ugrađenih armatura, uređaja, crpki i drugih elemenata sustava provodi se na temelju sljedećih normi, radnih listova i smjernica:

- DIN 1988-200: 2012-05

Tehnička pravila za instalacije za pitku vodu – Dio 200:

Instalacija tipa A (zatvoreni sustav) – planiranje, komponente, uređaji, materijali [9].

- DIN 1988-300: 2012-05

Tehnička pravila za instalacije za pitku vodu – Dio 300:

Određivanje promjera cijevi [15].

- DIN 1988-500: 2011-02

Tehnička pravila za instalacije pitke vode – Dio 500:

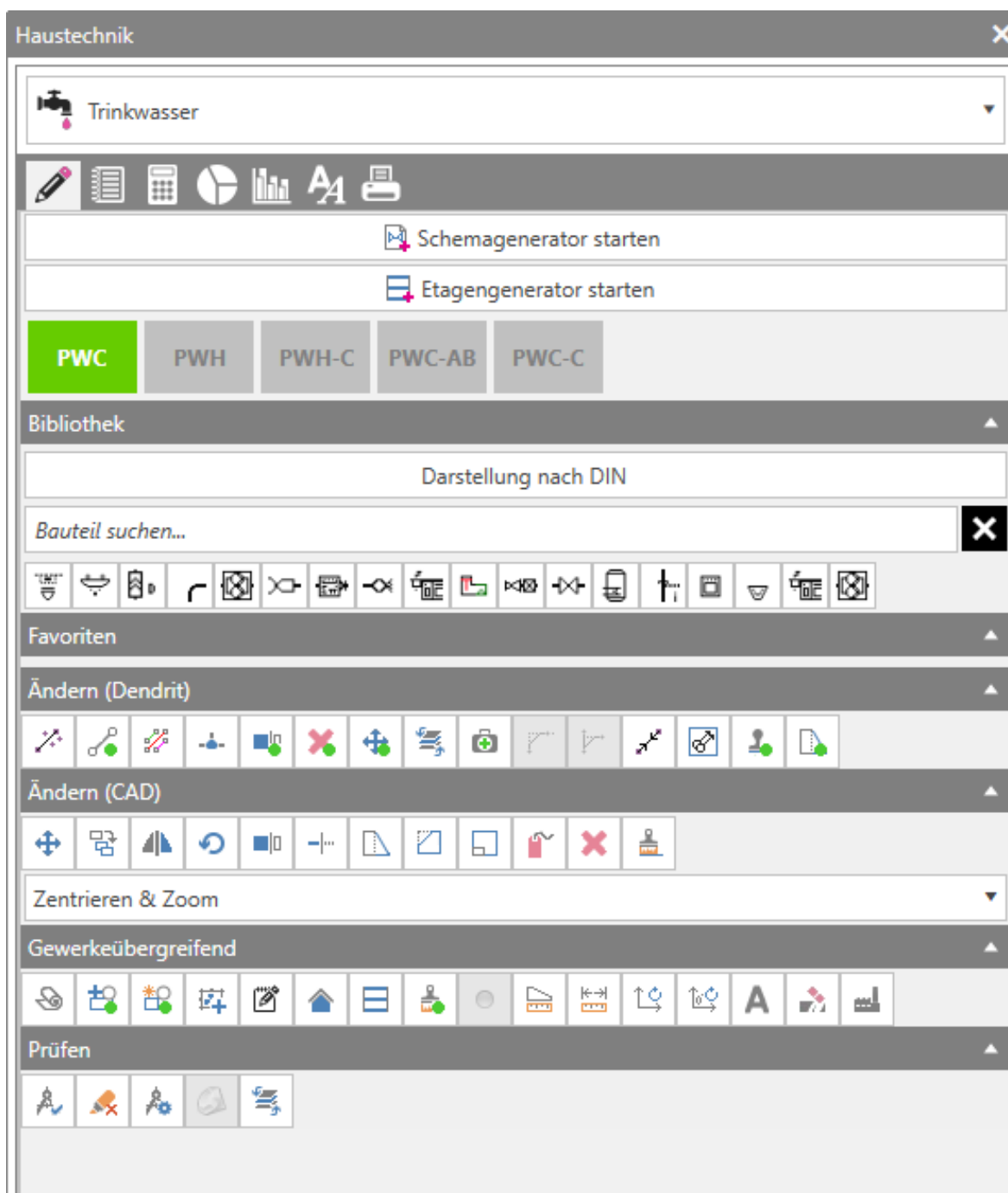
Sustavi za povišenje tlaka s crpkama s promjenjivom brzinom [24].

- DIN 1988-600: 2010-12

Tehnička pravila za instalacije pitke vode – Dio 600:

Instalacije za pitku vodu u vezi s sustavima za gašenje i protupožarnu zaštitu [25].

- Radni list W 551: 2004-04 [16]
- VDI smjernica 6023 [10]



**Slika 21. Sučelje računalnog programa Dendrit**

Nakon dimenzioniranja cjevovoda, provodi se hidraulički proračun pada tlaka. Osim mogućnosti proračuna, program nudi i analizu vodovodnog sustava. Odabirom analize dobivaju se jasni vizualni prikazi kojima se pruža sigurnost u planiranju. Temperaturni profili,

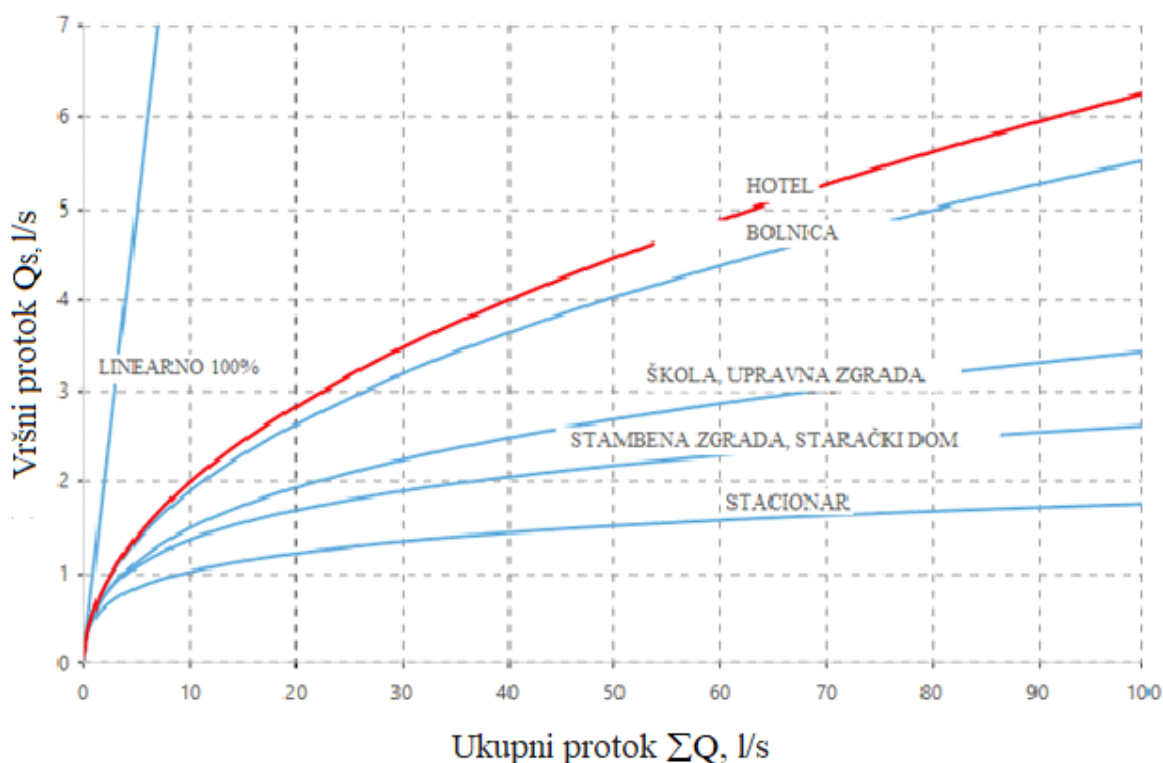
materijali, protoci, vrijeme potrebno za postizanje temperature na izljevnom mjestu i drugi podaci prikazani su bojama ovisno o svojim vrijednostima. Naposljetku, provodi se simulacija sustava.

### 6.1. Razrada zadatka

Razrada zadatka započinje stvaranjem sheme pomoću alatne trake programskog sučelja prikazanog na Slika 21. Alatna traka sastoji se od dva glavna izbornika; izrade sheme ili izrade katova. Unosom ključnih podataka definira se broj katova, visine, oznake i druge informacije. Spajanjem linija s krajnjim potrošačima zatvara se sustav koji unutar sebe drži informacije.

*Prilog 1* prikazuje dio razvoda pitke vode u zgradi hotela na kojem su provedena rješenja.

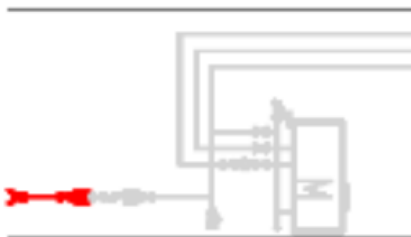
Dio editiranja daje mogućnost određivanja duljina dionica, vrste materijala, broj koljena, vanjske temperature i mnoge druge informacije. Za pretvaranje ukupnog protoka u vršni protok, DIN 1988 kategorizira uporabu instalacija ovisno o vrsti građevine (bolnice, poslovne/upravne zgrade, hotela, stambene zgrade, škole...) Slika 22 prikazuje dijagram krivulje ukupnog protoka pojedine građevine s obzirom na vršni protok.



**Slika 22. Određivanje vršnog protoka prema namjeni građevine**

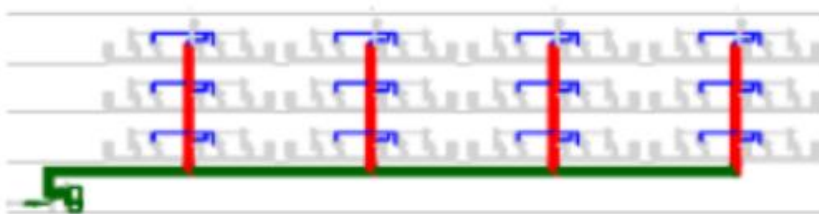
Za određivanje pada tlaka potrebno je odrediti vrste materijala cijevi koje se koriste na predmetnoj građevini. Određeni su sljedeći materijali:

Za priključak na građevini odabran je materijal cijevi PEH (polietilen).



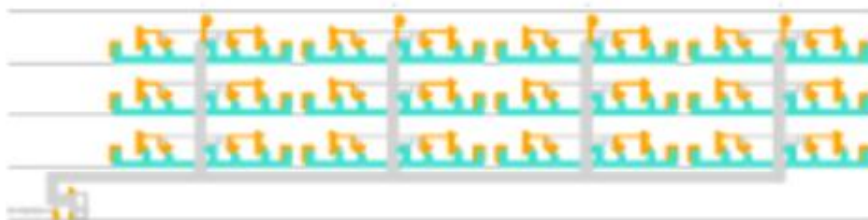
**Slika 23. Priklučak građevine**

Za glavni i vertikalni razvod cijevi potrošne tople vode, hladne vode i recirkulacije potrošne tople vode odabran je nehrđajući čelik.



**Slika 24. Distribucijska linija**

Za sitni razvod (grane i ogranke) odabran je materijal cijevi PEX, odnosno umreženi polietilen.



**Slika 25. Sitni razvod**

Razlika temperature tople vode i njezine okoline ponekad može dovesti do neželjenog temperaturnog režima u recirkulacijskom sustavu, odnosno do smanjenja temperature ispod dopuštenih 5 °C. Radi predostrožnosti, smanjenje temperature provjerava se termičkom simulacijom.

Zadane su sljedeće temperature prostora u kojima se nalaze cjevovodi.

Glavni razvod tople vode / recirkulacije: 15 °C

Glavni razvod hladne pitke vode: 15 °C

Vertikala tople vode / recirkulacije: 18 °C

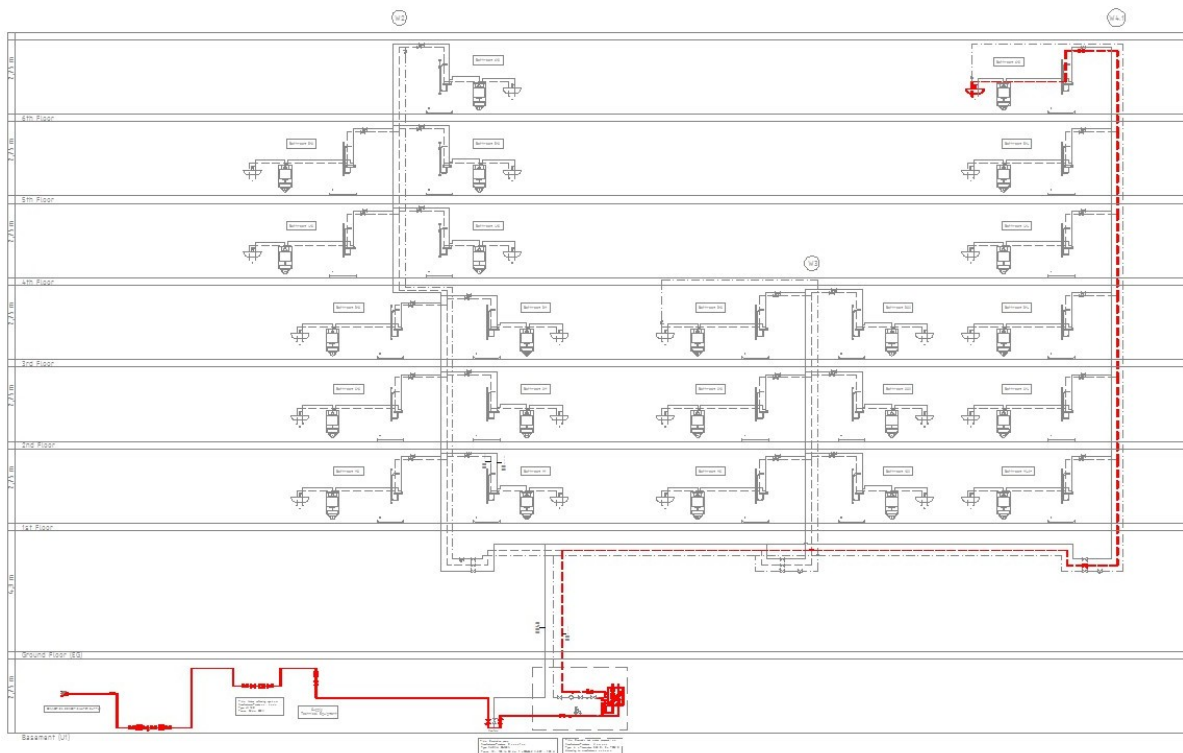
Vertikala hladne pitke vode: 18 °C

Sitni razvod (grane i ogranci) tople vode / recirkulacije : 20 °C

Sitni razvod (grane i ogranci) hladne pitke vode: 20 °C

## 6.2. Proračun

Hidrauličkim proračunom računa se ukupni pad tlaka u cjevovodu, odnosno provjerava hoće li se na krajnjem potrošaču uspostaviti dovoljan tlak kako ne bi bilo potrebe za ugrađivanjem hidrostanice. Krajnji potrošač je onaj na najvećoj geodetskoj visini s najvećim zahtjevom tlaka. Proračunom u Dendritu dobiva se prikaz tokova i podataka o dionicama i komponentama. Uz slikovni prikaz, ponuđeni su rezultati za svaku dionicu u sustavu. U nastavku je priložen prikaz kritične dionice tople vode i kritične dionice hladne pitke vode. Slika 26 prikazuje kritičnu dionicu tople vode (dionicu s najmanjim uprosječenim padom tlaka), odnosno dionicu s krajnjim potrošačem za kojeg je bilo potrebno osigurati dovoljan tlak.



**Slika 26. Kritična dionica tople vode – označena crvenom bojom**

Tablica 9 pokazuje ispis proračuna pada tlaka za kritičnu dionicu tople vode.

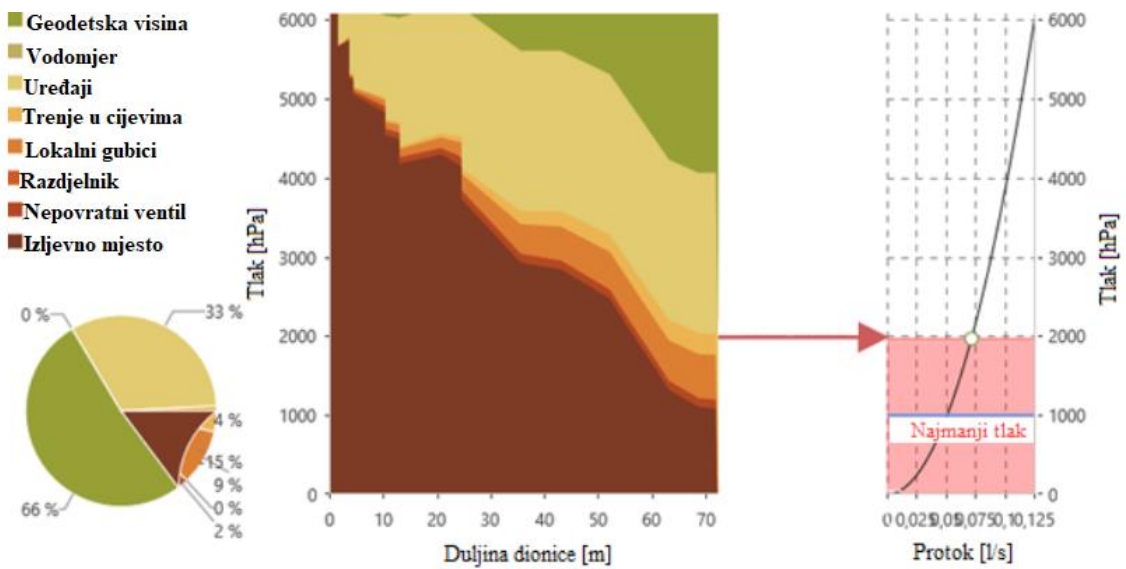
**Tablica 9. Pad tlaka za kritičnu dionicu tople vode hotela**

Izljevno mjesto: umivaonik - priključak s 1 otvorom			
	Oznaka	Vrijednost	Jedinica

Minimalni tlak opskrbe	$p_{\min P}$	=	6061	hPa
Geodetska visina	$h_{\text{geo}}$		20,06	m
Pad tlaka zbog razlike geodetske visine	$\Delta p_{\text{geo}}$	-	1967	hPa
Padovi tlaka u uređajima	$\sum \Delta p_{\text{Ap}}$	-	2024	
Raspoloživi tlak na izljevnom mjestu	$p_{\min I}$	-	1000	hPa
Raspoloživa razlika tlaka	$\Delta p_F$	=	1070	hPa
Duljina razvoda	$l$		72,41	m
Uprosječen pad tlaka	$R_F$	=	14,8	hPa/m
Pad tlaka uslijed linijskih gubitaka	$\sum l \cdot R$	+	272,6	hPa
Pad tlaka uslijed lokalnih gubitaka	$\sum Z$	+	583,7	hPa
Pad tlaka preko razdjelnika protoka	$\sum p_{\text{raz}}$	+	0	hPa
Pad tlaka u nepovratnim ventilima	$\sum \Delta p_{\text{RV}}$	+	110	hPa
Ukupni pad tlaka na dionici	$\sum \Delta p$	=	966,1	hPa
Tlak kod izljevnog mjesta	$p_I$		1063	hPa
Necirkulacijski volumen	$V_{\text{nCirk}}$		0,08	l
Izlazno vrijeme necirkulirajuće tople vode	$\Delta t_{\text{izlaz}}$		1	s

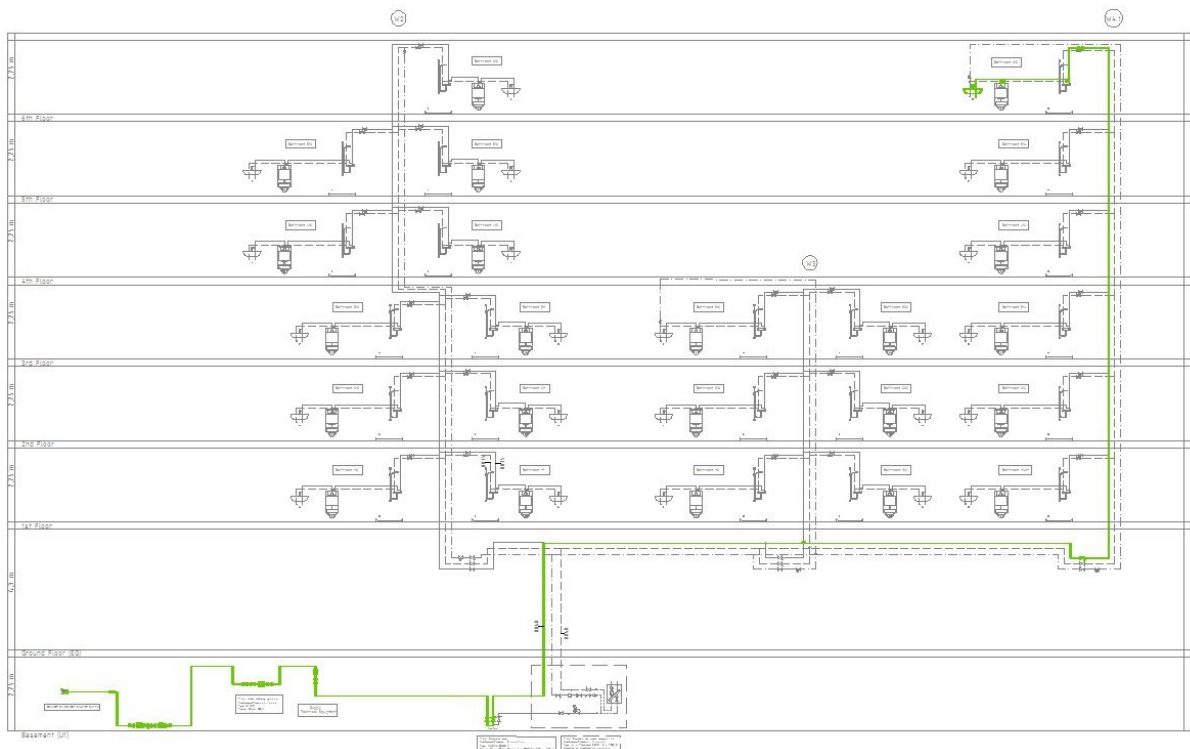
Slika 27 prikazuje dijagram ukupnog pada tlaka po duljini kritične dionice tople vode kao zbroj pojedinih komponenta.





Slika 27. Dijagram tlaka za kritičnu dionicu tople vode

Slika 28 prikazuje shemu kritične dionice hladne pitke vode.



Slika 28. Kritična dionica hladne vode – označena zelenom bojom

Tablica 10 daje ispis proračuna za kritičnu dionicu hladne pitke vode.

**Tablica 10. Pad tlaka za kritičnu dionicu hladne pitke vode hotela**

Izljevno mjesto: umivaonik - priključak s 1 otvorom				
	Oznaka		Vrijednost	Jedinica
Minimalni tlak opskrbe	$p_{\min P}$	=	6061	hPa
Geodetska visina	$h_{\text{geo}}$		20,06	m
Pad tlaka zbog razlike geodetske visine	$\Delta p_{\text{geo}}$	-	1967	hPa
Padovi tlaka u uređajima	$\sum \Delta p_{Ap}$	-	1622	hPa
Raspoloživ tlak kod izljevnog mjesta	$p_{\min I}$	-	1000	hPa
Raspoloživa razlika tlaka	$\Delta p_F$	=	1471	hPa
Duljina razvoda	$l$		66,86	m
Uprosječen pad tlaka	$R_F$	=	22	hPa/m
Pad tlaka uslijed linijskih gubitaka	$\sum l \cdot R$	+	546	hPa
Pad tlaka uslijed lokalnih gubitaka u cjevovodu	$\sum Z$	+	802	hPa
Pad tlaka preko razdjelnika protoka	$\sum p_{\text{praz}}$	+	0	hPa
Pad tlaka u nepovratnim ventilima	$\sum \Delta p_{RV}$	+	79	hPa
Pad tlaka na dionici	$\sum \Delta p$	=	966,1	hPa
Tlak kod izljevnog mjesta	$p_I$		1044	hPa
Necirkulacijski volumen	$V_{n\text{Cirk}}$		65,67	l
Izlazno vrijeme necirkulirajuće hladne vode	$\Delta t_{\text{izlaz}}$		0	s

Hidraulički proračun zadovoljava jer se na kritičnoj dionici uspostavio tlak kod izljevnog mjesta veći od raspoloživog.

### 6.1. Analiza

U svrhu provjere sigurnosti projektiranja, slijedi analiza čimbenika važnih za higijenu instalacija potrošne pitke vode hotela. Svi oni prikazani su u *Prilozima 1-7*.

*Prilog 1* prikazuje dio razvoda pitke vode u zgradi hotela.

*Prilog 2* sadrži prikaz protoka kroz sustav. Brzina strujanja vode po vertikalama je od 1 do 2 m/s. Protok recirkulacije je do 0,3 m/s. Nadalje, protok vode po sitnom razvodu kreće se od

0,5 m/s do 0,99 m/s kod potrošača bližih odvajanju protoka te od 0,3 m/s do 0,49 m/s kod krajnjih potrošača. Takav pregled protoka u cijevima omogućuje uvid u probleme eventualne stagnacije vode.

*Prilog 3* daje vizualni pregled odabranih materijala cijevi. Ljubičasta boja prikazuje razvod od nehrđajućeg čelika. Sitan razvod, odnosno grane i ogranci crvene boje izrađeni su od PEX-a.

Prema normi EN 806-2 [22], maksimalno dozvoljeno vrijeme za ispuštanje hladne ( $< 25\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) i tople vode ( $> 55\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) do dosega željene temperature je 30 sekundi.

*Prilog 4* pokazuje da vrijeme potrebno za postizanje tražene temperature na izljevnom mjestu iznosi do 25 s, čime ono zadovoljava normu.

Temperatura tople vode u spremniku i cjevovodu od velike je važnosti pri provođenju higijenskih zahtjeva za pitku vodu. Gradijenti temperature tople vode i recirkulacije za odabrani primjer dani su u *Prilog 5*. Slika predstavlja recirkulacijski sustav s glavnom verikalom na temperaturama između 59 i 59,9 °C. Temperature tople vode smanjuju se s udaljenosti od sustava za pripremu tople vode. Po verikalama temperature iznose 57-57,9 °C, a po sitnom razvodu one su uglavnom 59-59,9 °C. U najgorim slučajevima temperatura vode po sitnom razvodu smanji se do 57 °C. S obzirom da se sve temperature recirkulacije tople vode održavaju iznad 55 °C, zadovoljen je potreban temperaturni režim. S ovakvim prikazom gradijenta temperatura vizualno je lako detektirati probleme nepravilno izbalansiranog sustava.

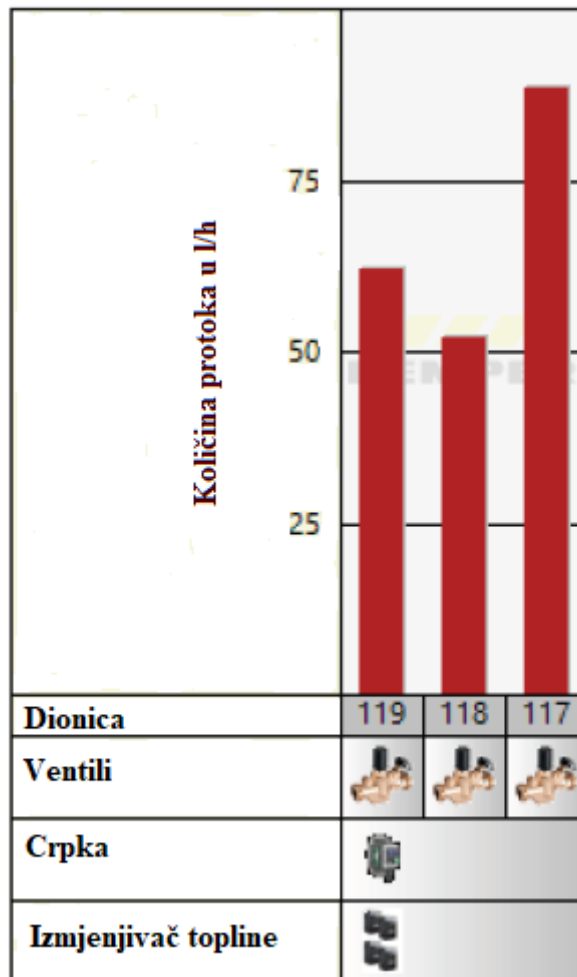
*Prilog 6* prikazuje temperature hladne pitke vode. Higijenski aspekti temperature hladne vode prema DIN 1988-200 [9] i VDI 6023 [10] prihvatljivi su budući da je temperatura u svakom dijelu sustava ispod 25 °C. Temperature polaza dovodnih cijevi kreću se između 16 i 16,9 °C kao i glavna vertikalna cijevi hladne pitke vode. Glavni razvod i temperature na vertikalama hladne pitke vode kreću se između 20 i 20,9 °C. Temperature sitnog razvoda iznose između 22 i 22,9 °C.

### **6.3. Simulacija**

Provodi se simulacija:

- U svrhu dokazivanja da je potreban temperaturni režim (60/55°C) uspostavljen kroz cijeli sustav recirkulacije

- Za provjeru mogućnosti hidrauličkog balansiranja sustava (kako bi prethodni zahtjev mogao biti ispunjen)
- U svrhu namještanja regulacijskih ventila (kako bi se sustav mogao izbalansirati)
- Za provjeru pada tlaka, odnosno za odabir crpke.



**Slika 29. Zagrijavanje vode: Sustav za pripremu tople vode – temperatura: 60 °C**

Slika 29 prikazuje protoke na kojima je potrebno provesti hidrauličko balansiranje ventila.

Odabir crpke:

Proizvođač: Wilo

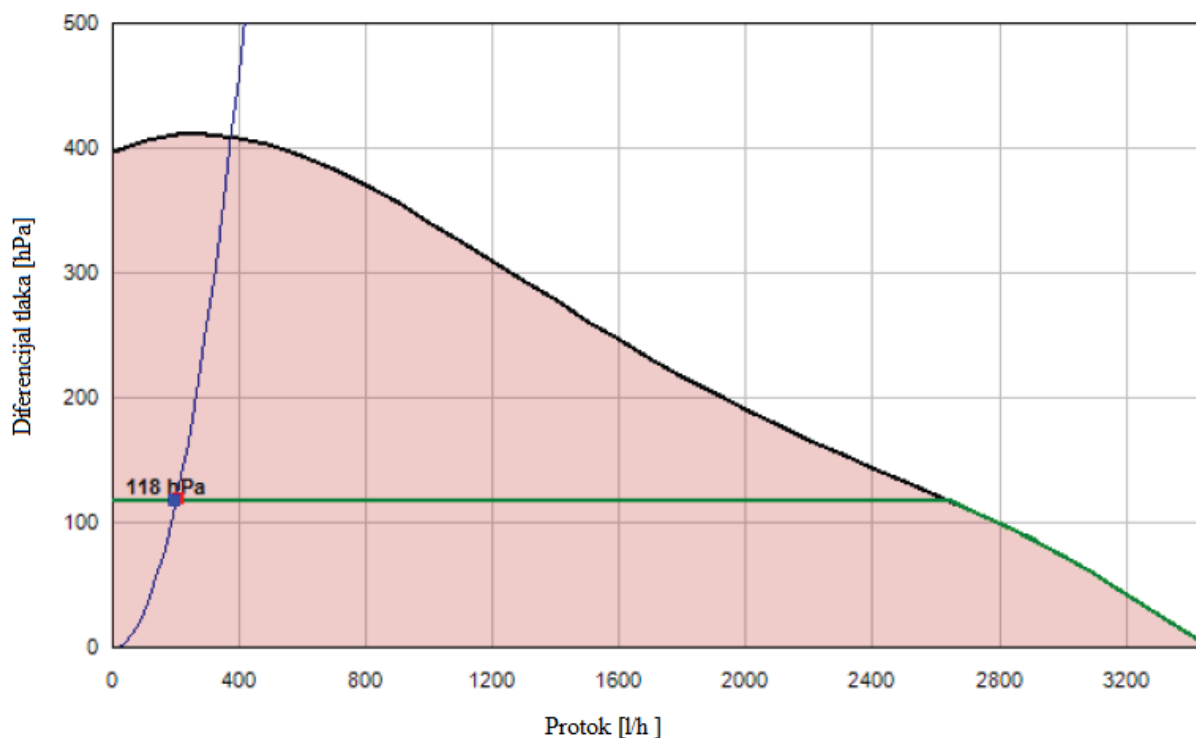
Model: Stratos PICO-Z 20 / 1-4

Napon: 230 V

Položaj: konstantan

Tlak: 118 hPa

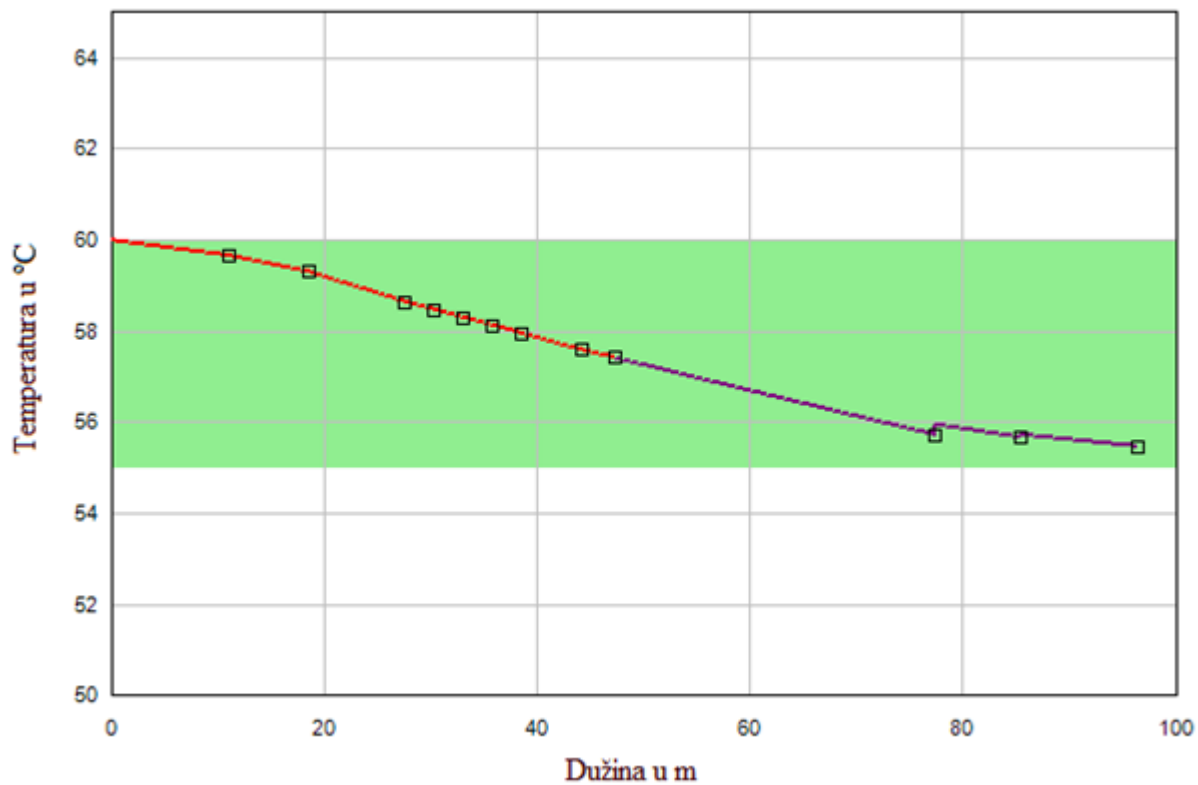
Protok: 202 l/h

**Slika 30. Krivulja crpke**

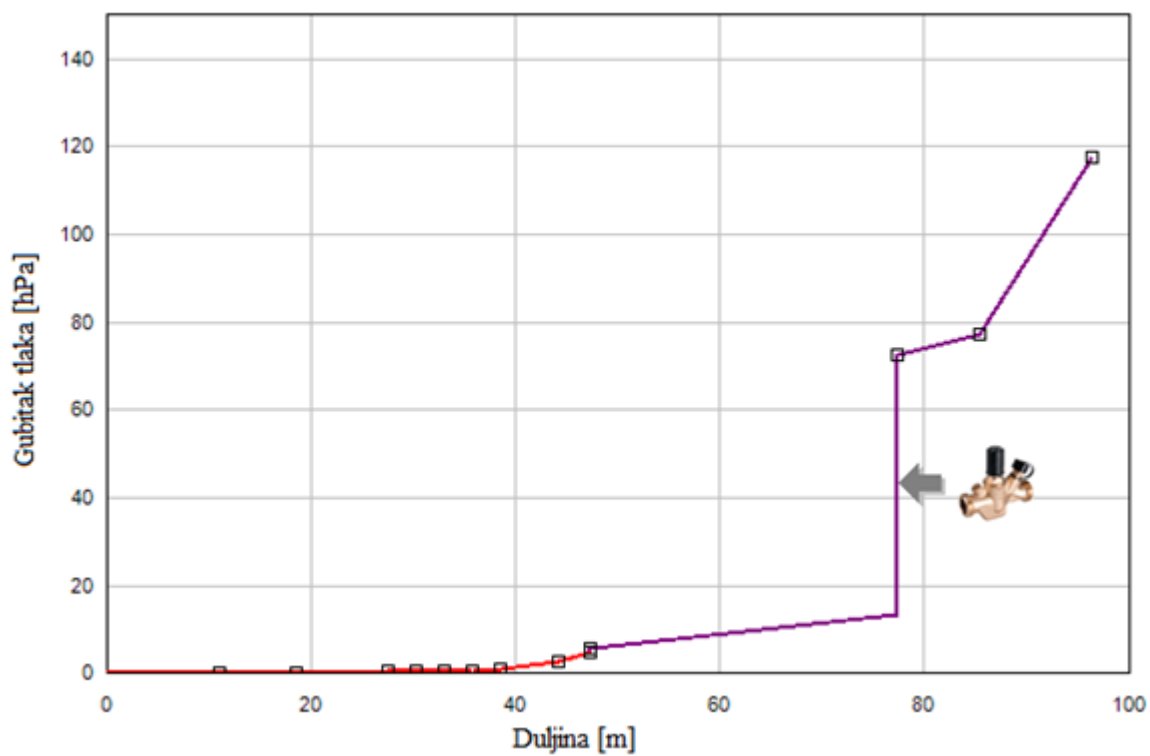
Slika 31 prikazuje simulaciju strujanja tople vode duž recirkulacijskog sustava.

Temperatura tople vode na izlazu iz spremnika je 60 °C. Strujanjem joj se temperatura smanjuje na otprilike 57 °C. Temperatura recirkulacije nastavlja se strujanjem smanjivati ali u granici dozvoljenih 5 °C. Simulacija temperature potvrđuje da se u sustavu recirkulacije tople vode održava potreban temperaturni režim 60/55 °C.

Slika 32 prikazuje pripadajući pad tlaka u sustavu recirkulacije.

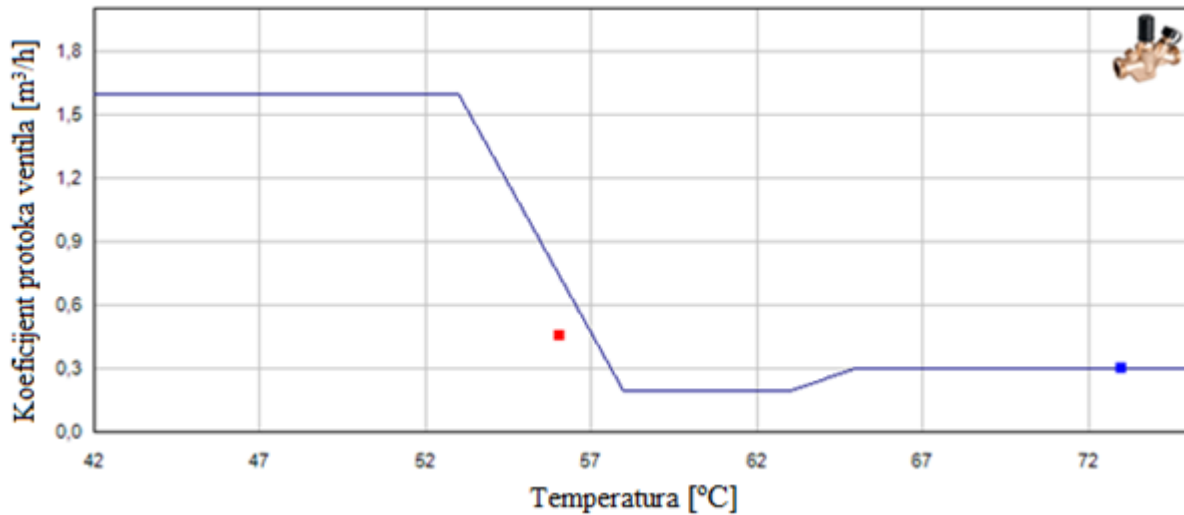


Slika 31. Krivulja temperature za dionicu 117



Slika 32. Pad tlaka na dionici 117

Pri odabiru ventila, potrebno je izračunati koeficijent protoka ventila  $K_v$  na temelju kojeg se zatim bira odgovarajući ventil. Slika 33 prikazuje vrijednosti koeficijenta protoka ventila kao funkciju temperature.



Slika 33. Karakteristika 141 OG automatskog balansnog ventila za regulaciju cirkulacije (Multitherm), 50 °C do 65 °C, AG, DN 20

## 7. ZAKLJUČAK

Vodu određene kvalitete potrebno je održati u dobrom stanju do krajnjeg korisnika. U instalacijama pitke vode krije se niz čimbenika koji mogu narušiti njezinu kvalitetu:

- Stagnacija vode. Tijekom stagnacije voda apsorbira supstance iz materijala instalacija i toplinu iz okoline. Hladna voda postaje toplija, zagrijana se hladi, a bakterijama se omogućuje prikladni raspon temperatura i dovoljno vremena za razmnožavanje
- Temperatura vode. Temperatura je kritičan parametar za razmnožavanje i rast mikroorganizama. Temperatura hladne vode mora biti ispod 25 °C, a sustav recirkulacije treba održavati temperaturu tople iznad 55 °C
- Materijal instalacija. Promjene u kvaliteti pitke vode primjećuju se pri dodiru vode s materijalima instalacijama. Opuštene tvari iz materijala mogu poslužiti bakterijama kao hranjive tvari. Zato je važan odabir materijala koji se lako dezinficira i ne podržava rast mikroorganizama.

Razvoju rizika od nastanka i razvoja većeg broja mikroorganizama doprinosi kompleksnost sustava. Već u fazi projektiranja instalacija pitke vode može se utjecati na higijenske uvjete dimenzijama cijevi, konstrukcijom razvoda, izborom materijala, postavljanjem izolacije i drugima.

Naknadne mjere dekontaminacije sustava sastoje se od operativnih, preustrojnih i proceduralnih postupaka. Potrebno je ukloniti cijevi sa potencijalnom stagnacijom vode, povećati temperaturu, odnosno provesti termičku dezinfekciju. Kako bi se utvrdilo mogu li se temperature vode povećati, provjerava se rad crpke i sustava za pripremu tople vode. Važan preduvjet je korištenje primjerene regulacije.

Kada se sustav projektira prema propisanim normama i smjernicama te ga se održava u skladu s preporukama, ne dolazi do neželjenih promjena u kvaliteti vode niti do razvoja mikroorganizama koji mogu ugroziti zdravlje korisnika.



## LITERATURA

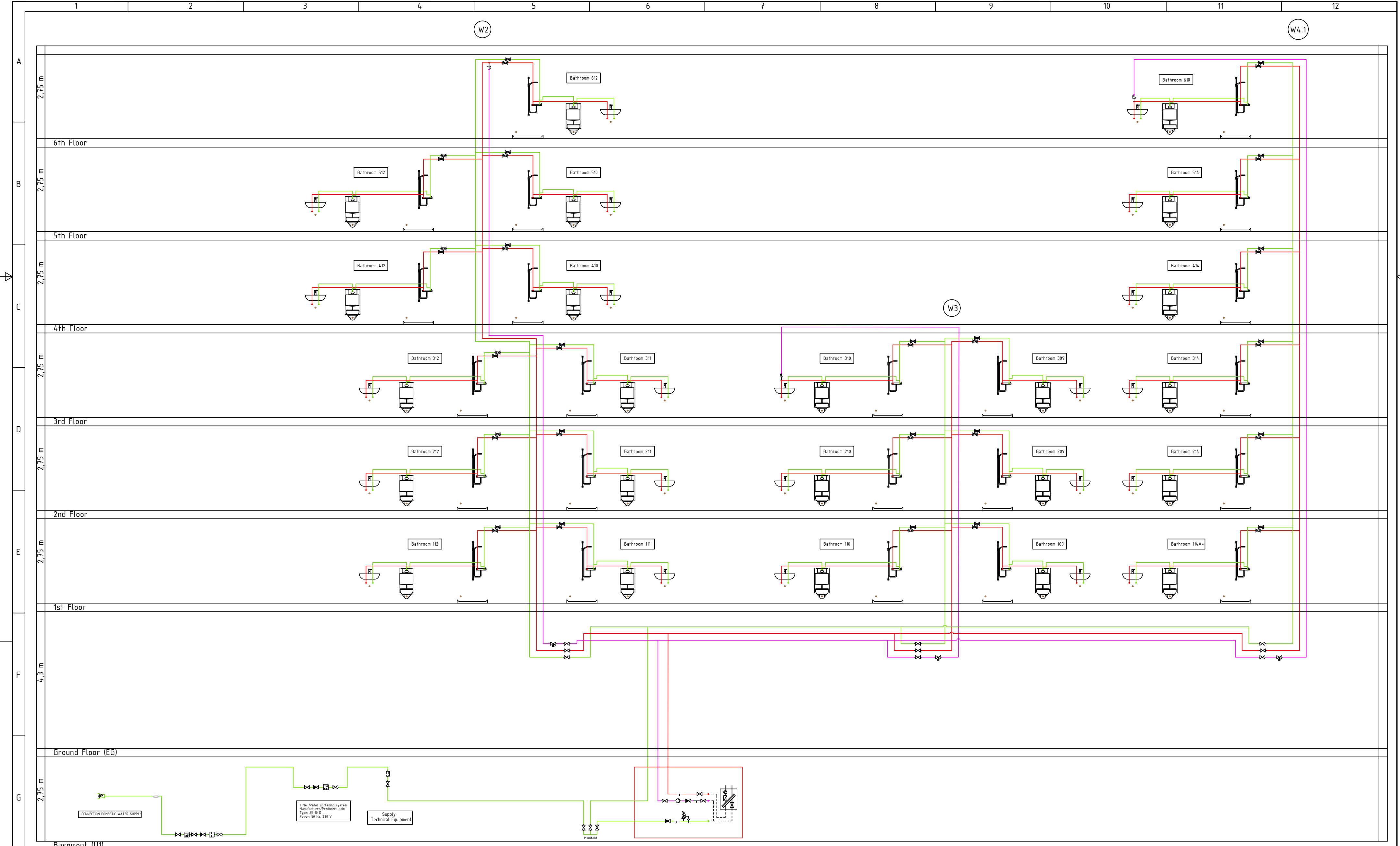
- [1] Cunliffe, D., Bartram, J., Briand, E., Chartier, Y., Colbourne, J., Drury, D., Lee, J., Schaefer, B., Surman-Lee, S.,: *Water safety in distribution systems*, WHO, Geneva, 2011.
- [2] Narodne novine: *Pravilnik o parametrima sukladnosti, metodama analize, monitoringu i planovima sigurnosti vode za ljudsku potrošnju te načinu vođenja registra pravnih osoba koje obavljaju djelatnost javne vodoopskrbe*, br. 125, 2017.
- [3] Narodne novine: *Zakon o vodi za ljudsku potrošnju*, br. 056, 2013; br. 064, 2015; br. 104, 2017; br. 115, 2018.
- [4] EN 12502-1: *Protection of metallic materials against corrosion – Guidance on the assessment of corrosion likelihood in water distribution and storage systems – Part 1: General*, Berlin, Beuth, 2005.
- [5] EN 12502-2: *Protection of metallic materials against corrosion – Guidance on the assessment of corrosion likelihood in water distribution and storage systems – Part 2: Influencing factors for copper and copper alloys*, Berlin, Beuth, 2005.
- [6] EN 12502-3: *Protection of metallic materials against corrosion – Guidance on the assessment of corrosion likelihood in water distribution and storage systems – Part 3: Influencing factors for hot dip galvanised ferrous materials*, Berlin, Beuth, 2005.
- [7] EN 12502-4: *Protection of metallic materials against corrosion – Guidance on the assessment of corrosion likelihood in water distribution and storage systems – Part 4: Influencing factors for stainless steels*, Berlin, Beuth, 2005.
- [8] Schauer, C., Dinne, K., van der Schee, W., Mampaey, J., Gatto, I., Perackova, J., Petras, D., Bleys, B.: *Hygiene in Potable Water Installations in Buildings – Requirements for design, deployment, operation and maintenance*, REHVA – Federation of European Heating, Ventilation and Air Conditioning Associations, Brussels, 2019.
- [9] DIN 1988-200: *Codes of practice for potable water installations – Part 200: Installation Type A (closed system) – Design, components, apparatus, materials*, Berlin, Beuth, 2012.
- [10] VDI/DVGW 6023: *Hygiene in potable water installations – Requirements for design, execution, operation and maintenance*, Berlin, Beuth, 2013.

- [11] EN 806-5: *Specifications for installations inside buildings conveying water for human consumption – Part 5: Operation and maintenance*, Berlin, Beuth, 2012.
- [12] FSB: Proračun cjevovoda (pristup na <https://www.fsb.unizg.hr/termolab/nastava/IZ-Proracun%20vodovoda-v02.pdf> na dan 12.01.2012.)
- [13] La Mura, S., Joppolo, C.M., Piterà, L.A., Angermann, J.P., Izard, M.: *Legionellosis Prevention in Building Water and HVAC Systems*, REHVA – Federation of European Heating, Ventilation and Air Conditioning Associations, Brussels, 2013.
- [14] The Chartered Institution of Building Services Engineers: *Minimising the risk of Legionnaires' disease*, London, 2013.
- [15] DIN 1988-300: *Codes of practice for potable water installations – Part 300: Pipe sizing*, Berlin, Beuth, 2012.
- [16] DVGW Code of Practice W 551: *Water Supply Heating and Water Supply Pipes; Technical Measures for Reducing the Growth of Legionellae, Design, Installation, Operation and Decontamination of Water Supply Systems*, Wirtschafts und Verlagsgesellschaft Gas und Wasser GmbH, Bonn, 2014
- [17] DVGW Code of Practice W 553: *Dimension of circulation-systems in central drinking water heating system*, Wirtschafts und Verlagsgesellschaft Gas und Wasser GmbH, Bonn, 1998
- [18] EN 806-1: *Specifications for installations inside buildings conveying water for human consumption – Part 1: General*, Berlin, Beuth, 2001.
- [19] World Health Organization: *Guidelines for drinking-water quality*, WHO, Geneva, 2011.
- [20] Kemper: *Drinking Water Hygiene - Water Supply Circulation Systems*, 2005. (pristup na <https://www.aquatherm.com.au/images/pdf/Water%20Supply%20Circulation%20Systems%20Geberit%20Kemper.pdf> na dan 12. 01. 2020.)
- [21] World Health Organization: *Water safety in distribution systems*, WHO, Geneva, 2014.
- [22] EN 806-2: *Specification for installations inside buildings conveying water for human consumption – Part 2: Design*, Beuth, Berlin, 2005.
- [23] Müller, H.: *Legionellen – ein aktuelles Problem der Sanitärhygiene, Rennungen: Expert Verlag*, 2004.
- [24] DWGV DIN 1988-500: *Codes of practice for drinking water installations - Part 500: Pressure boosting stations with RPM-regulated pumps*, Beuth, Berlin, 2011.

- [25] DWGV DIN 1988-600: *Codes of practice for drinking water installations - Part 600: Drinking water installations in connection with fire fighting and fire protection installations*, Beuth, Berlin, 2010

## **PRILOZI**

- Prilog 1 Dio razvoda pitke vode u zgradi hotela
- Prilog 2 Brzine protoka kroz sustav
- Prilog 3 Materijali cijevi razvoda
- Prilog 4 Vrijeme potrebno za postizanje tražene temperature na izljevnom mjestu
- Prilog 5 Temperature hladne pitke vode
- Prilog 6 Temperature tople vode
- Prilog 7 – CD s tekstom diplomskog rada



Titla: Circulation pump  
 Manufacturer/Producer: Grundfos  
 Type: MAGNA 25-100 N  
 Power: 10 - 95 W, 50 Hz, 1 x 230-240 V, 0,09 - 1,25 A

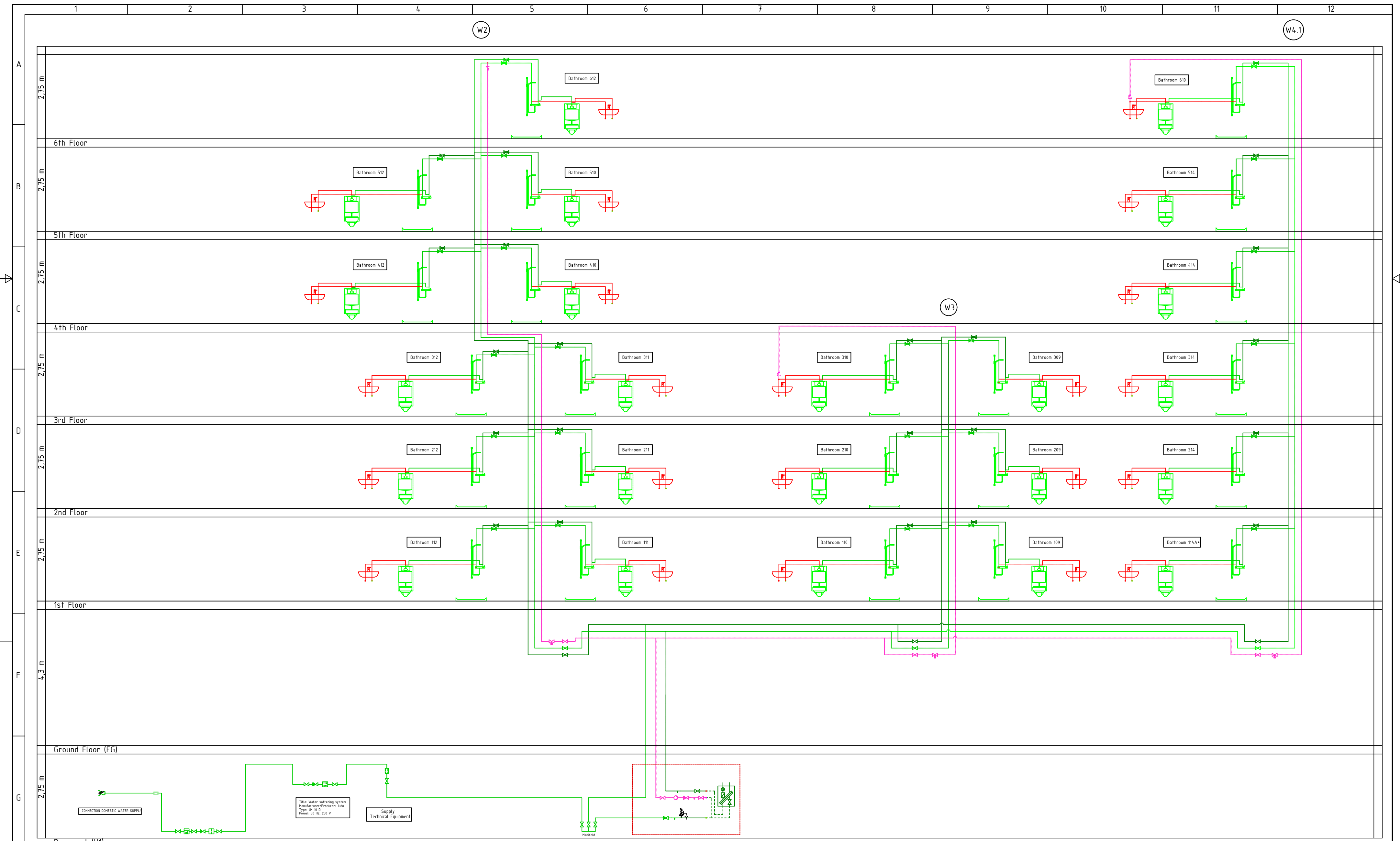
Titla: Domestic hot water preparation  
 Manufacturer/Producer: Kemper  
 Type: 4 x Thermom 880 S, 2 x 190 S  
 According to manufacturer scheme

LEGENDA

- |  |   |  |  |  |                                    |  |                          |
|--|---|--|--|--|------------------------------------|--|--------------------------|
|  | Nepovratni ventil                       |  | Ugradbeni vodokotlić                   |  | Geodetska nulta točka (pitke vode) |  | Hladna pitka voda        |
|  | Zaporni ventil                          |  | Križanje instalacija                   |  | Umivaonik                          |  | Topla voda               |
|  | Tuš                                     |  | Sustav za pripremu tople vode          |  | Vodomjer                           |  | Recirkulacija tople vode |
|  | Automatski balansni ventil (Multitherm) |  | Ventil za uzimanje uzoraka             |  | Spoj cirkulacija tople vode        |  |                          |
|  | Omekšivač vode                          |  | Pumpa                                  |  | Točka spajanja sa zgradom          |  |                          |
|  | Filter                                  |  | Sigurnosni ventil za odvajanje protoka |  | Sigurnosni ventil                  |  |                          |

Projektirao	Datum	Ime i prezime	Potpis
Razradio		Inja Hunjet	
Crtao			
Pregledao		prof. dr. sc. Davor Ljubas	
Objekt: Dio razvoda pitke vode u zgradi hotela			Objekt broj: R. N. broj: Prilog 1





Title: Circulation pump  
 Manufacturer/Producer: Grundfos  
 Type: M50M4 25-100 N  
 Power: 95 W, 50 Hz, 1 x 230-240 V, 0,69 - 1,25 A

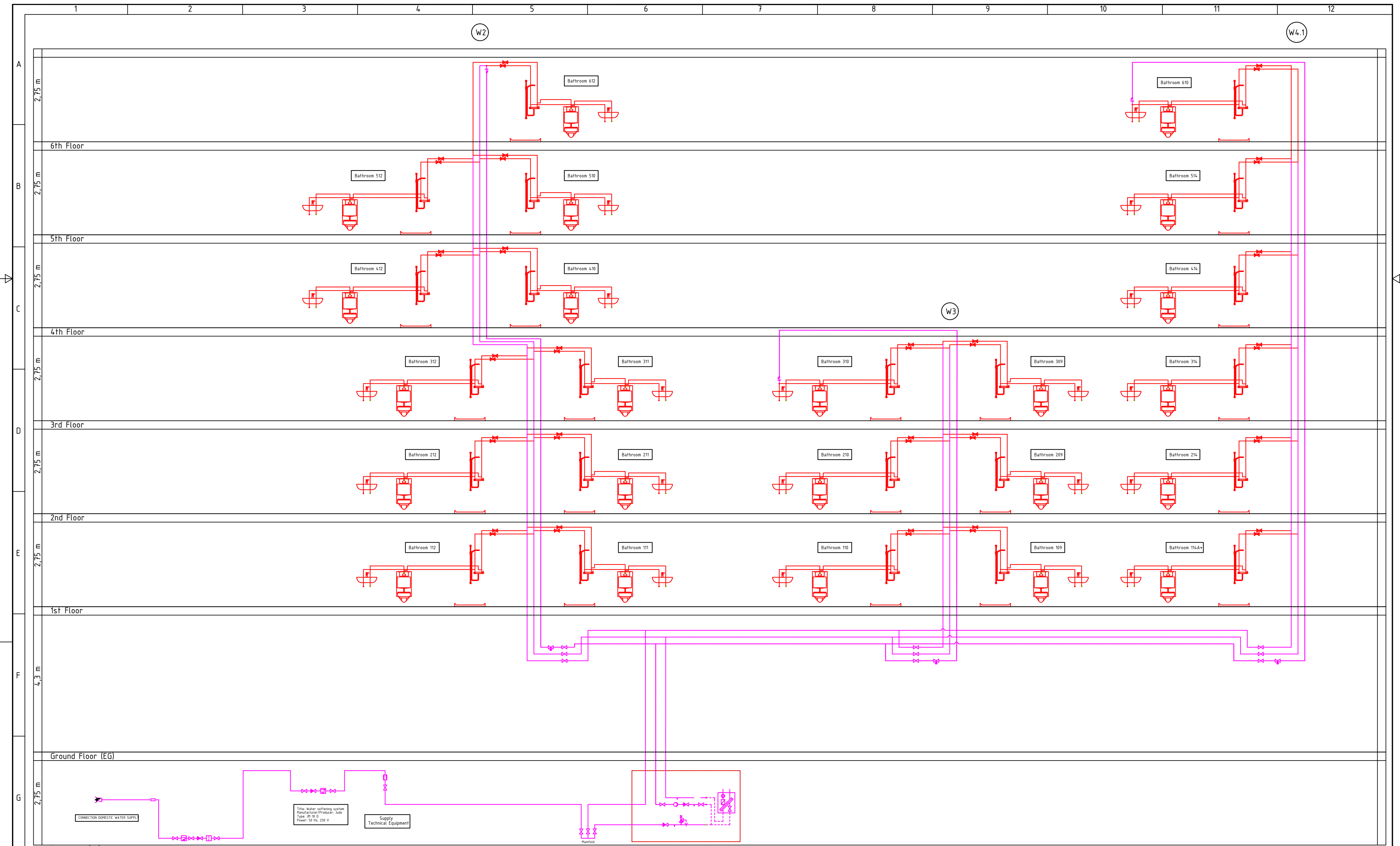
Title: Domestic hot water preparation  
 Manufacturer/Producer: Kaiser  
 Type: K x Thermodux 840 S, 2 x 1850 S  
 According to manufacturer scheme

LEGENDA

- |  |   |  |  |  |                                    |  |                    |
|--|---|--|--|--|------------------------------------|--|--------------------|
|  | Nepovratni ventil                       |  | Ugradbeni vodokotlić                   |  | Geodetska nulta točka (pitke vode) |  | < 0,3 m/s          |
|  | Zaporni ventil                          |  | Križanje instalacija                   |  | Umivaonik                          |  | 0,3 m/s - 0,49 m/s |
|  | Tuš                                     |  | Sustav za pripremu tople vode          |  | Vodomjer                           |  | 0,5 m/s - 0,99 m/s |
|  | Automatski balansni ventil (Multitherm) |  | Ventil za uzimanje uzoraka             |  | Spoj cirkulacija tople vode        |  | 1,0 m/s - 1,49 m/s |
|  | Omekšivač vode                          |  | Pumpa                                  |  | Točka spajanja sa zgradom          |  | 1,5 m/s - 1,99 m/s |
|  | Filter                                  |  | Sigurnosni ventil za odvajanje protoka |  | Sigurnosni ventil                  |  |                    |

Projektirao	Datum	Ime i prezime	Potpis
Razradio		Inja Hunjet	
Crtao			
Pregledao		prof. dr. sc. Davor Ljubas	
Objekt: Brzine protoka kroz sustav			Objekt broj: R. N. broj: Prilog 2





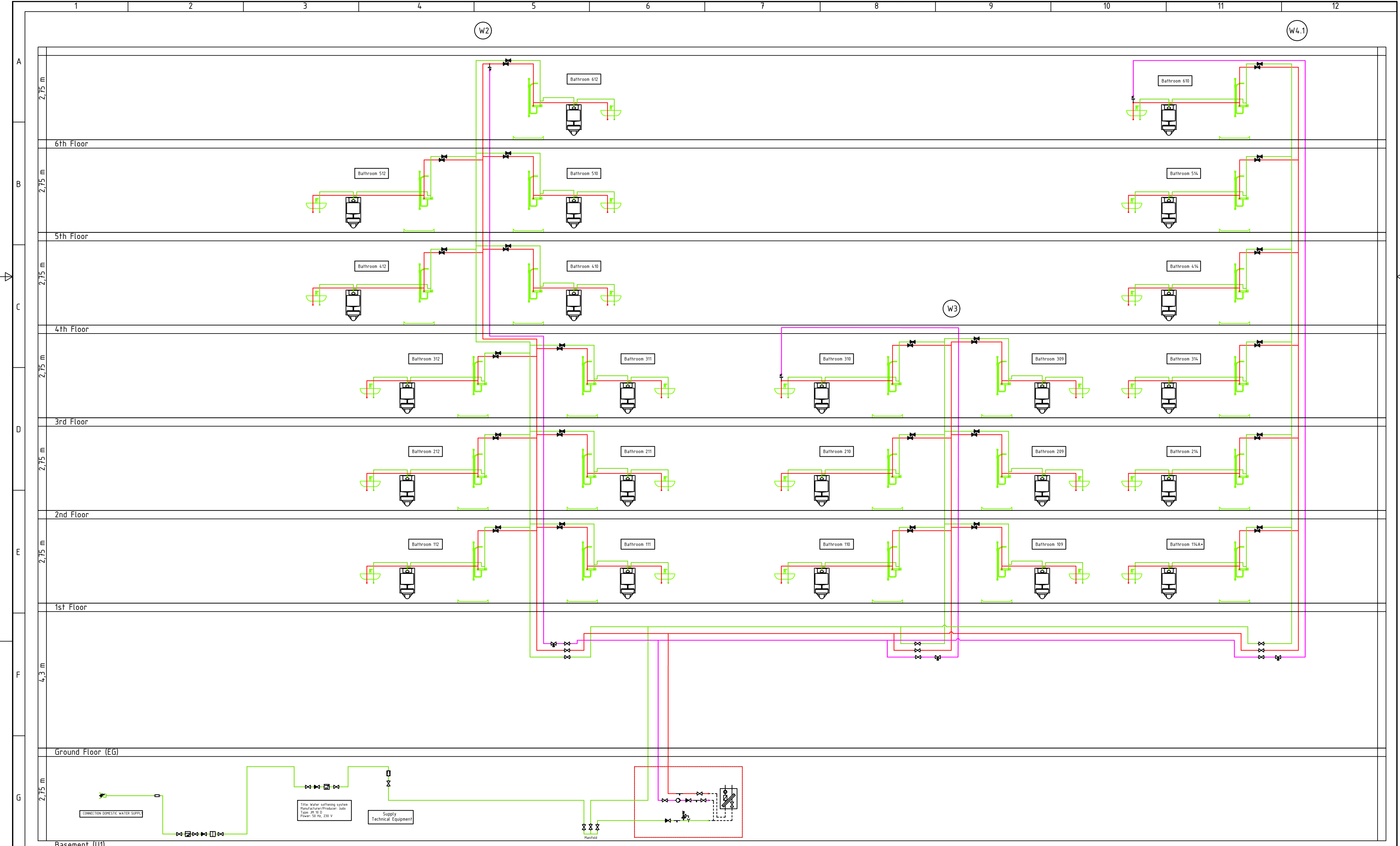
Title: Circulation pump  
 Manufacturer/Producer: Grundfos  
 Type: MAGNA 25-100 N  
 Power: 10 - 105 W; 50 Hz; 1 x 230-240 V; 0,09 - 1,25 A

Title: Domestic hot water preparation  
 Manufacturer/Producer: Koper  
 Type: x - Thermobex 850 S; 2 x 1850 S  
 According to manufacturer's scheme

LEGENDA

- |  |   |  |                               |  |                                    |  |  |
|--|---|--|-------------------------------|--|------------------------------------|--|--|
|  | Nepovratni ventil                       |  | Ugradbeni vodokotlić          |  | Geodetska nulta točka (pitke vode) |  | Filter                                 |
|  | Zaporni ventil                          |  | Križanje instalacija          |  | Umivaonik                          |  | Sigurnosni ventil                      |
|  | Tuš                                     |  | Sustav za pripremu tople vode |  | Vodomjer                           |  | Sigurnosni ventil za odvajanje protoka |
|  | Automatski balansni ventil (Multitherm) |  | Ventil za uzimanje uzoraka    |  | Spoj cirkulacija tople vode        |  | PEX                                    |
|  | Omekšivač vode                          |  | Pumpa                         |  | Točka spajanja sa zgradom          |  | Nehrđajući čelik                       |

Projektirao	Datum	Ime i prezime	Potpis	
Razradio		Inja Hunjet		
Crtao				
Pregledao		prof. dr. sc. Davor Ljubas		
Objekt:		Materijali cijevi razvoda		
		Objekt broj:		
		R. N. broj:		Prilog 3



Title: Circulation pump  
 Manufacturer/Producer: Grundfos  
 Type: MSA-100-100-30  
 Power: 10 - 100 W, 50 Hz, 1 x 230-240 V, 0.09 - 1.25 A

Title: Domestic hot water preparation  
 Manufacturer/Producer: Kemper  
 Type: 4 - 4 (Thermostat BMS) 2 x 1800 L  
 According to manufacturer scheme

- LEGENDA
- |  |   |  |  |  |                                    |  |                          |
|--|---|--|--|--|------------------------------------|--|--------------------------|
|  | Nepovratni ventil                       |  | Ugradbeni vodomjer                     |  | Geodetska nulta točka (pitke vode) |  | Hladna pitka voda        |
|  | Zaporni ventil                          |  | Križanje instalacija                   |  | Ugradbeni vodomjer                 |  | Topla voda               |
|  | Tuš                                     |  | Sustav za pripremu tople vode          |  | Spoj cirkulacija tople vode        |  | Recirkulacija tople vode |
|  | Automatski balansni ventil (Multitherm) |  | Ventil za uzimanje uzoraka             |  | Točka spajanja sa zgradom          |  | 0-25 s                   |
|  | Omekšivač vode                          |  | Pumpa                                  |  | Sigurnosni ventil                  |  |                          |
|  | Filter                                  |  | Sigurnosni ventil za odvajanje protoka |  |                                    |  |                          |

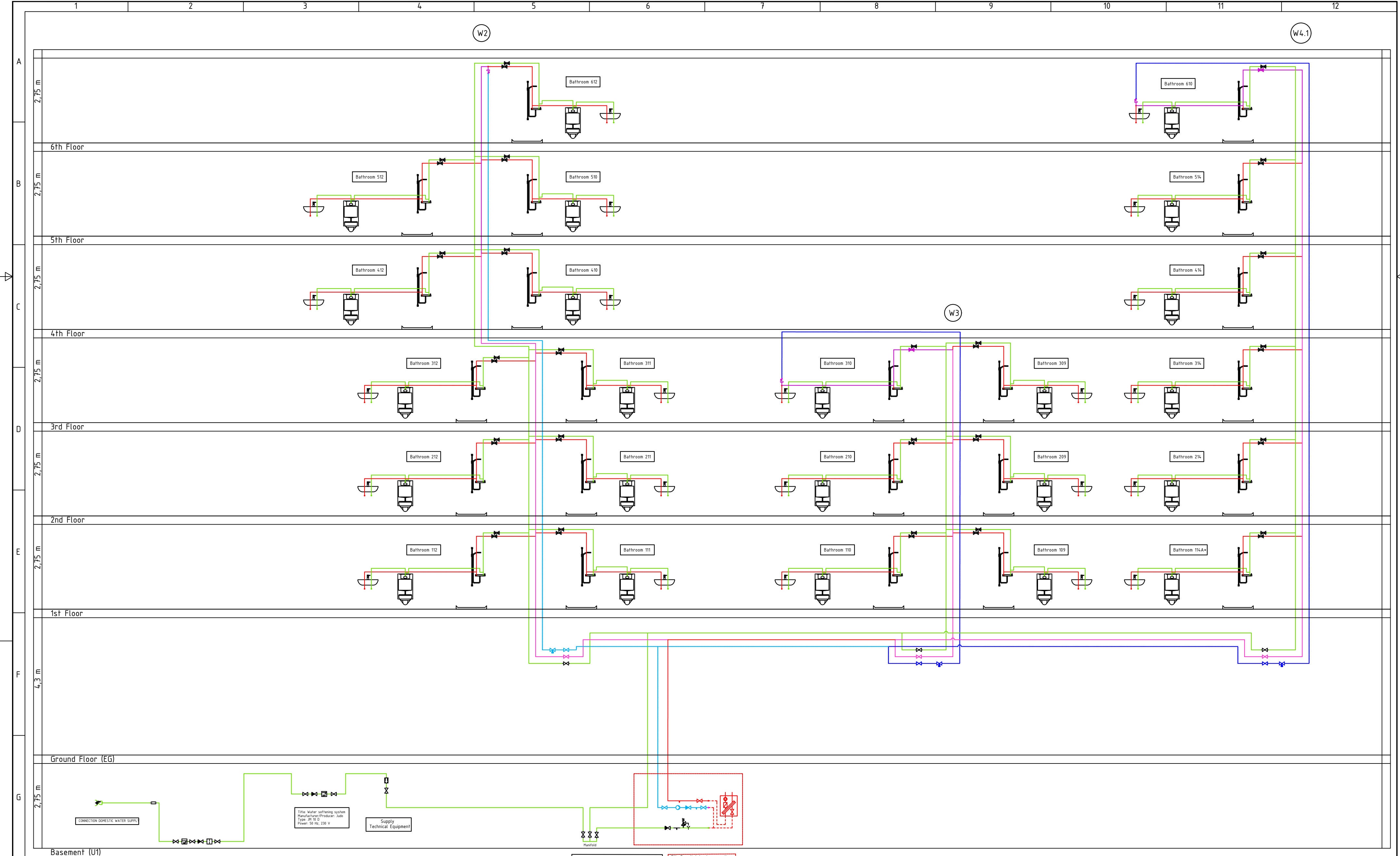
Projektirao	Datum	Ime i prezime	Potpis
Razradio		Inja Hunjet	
Crtao			
Pregledao		prof. dr. sc. Davor Ljubas	

Objekt: Vrijeme potrebno za postizanje tražene temperature na izljevnom mjestu

Objekt broj: R. N. broj: Prilog 4







LEGENDA

- |  |   |  |  |  |                                    |  |                   |
|--|---|--|--|--|------------------------------------|--|-------------------|
|  | Nepovratni ventil                       |  | Ugradbeni vodokotlić                   |  | Geodetska nulta točka (pitke vode) |  | 55,0 °C - 55,9 °C |
|  | Zaporni ventil                          |  | Križanje instalacija                   |  | Umivaonik                          |  | 56,0 °C - 56,9 °C |
|  | Tuš                                     |  | Sustav za pripremu tople vode          |  | Vodomjer                           |  | 57,0 °C - 57,9 °C |
|  | Automatski balansni ventil (Multitherm) |  | Ventil za uzimanje uzoraka             |  | Spoj cirkulacija tople vode        |  | 58,0 °C - 58,9 °C |
|  | Omekšivač vode                          |  | Pumpa                                  |  | Točka spajanja sa zgradom          |  | 59,0 °C - 59,9 °C |
|  | Filter                                  |  | Sigurnosni ventil za odvajanje protoka |  | Sigurnosni ventil                  |  |                   |

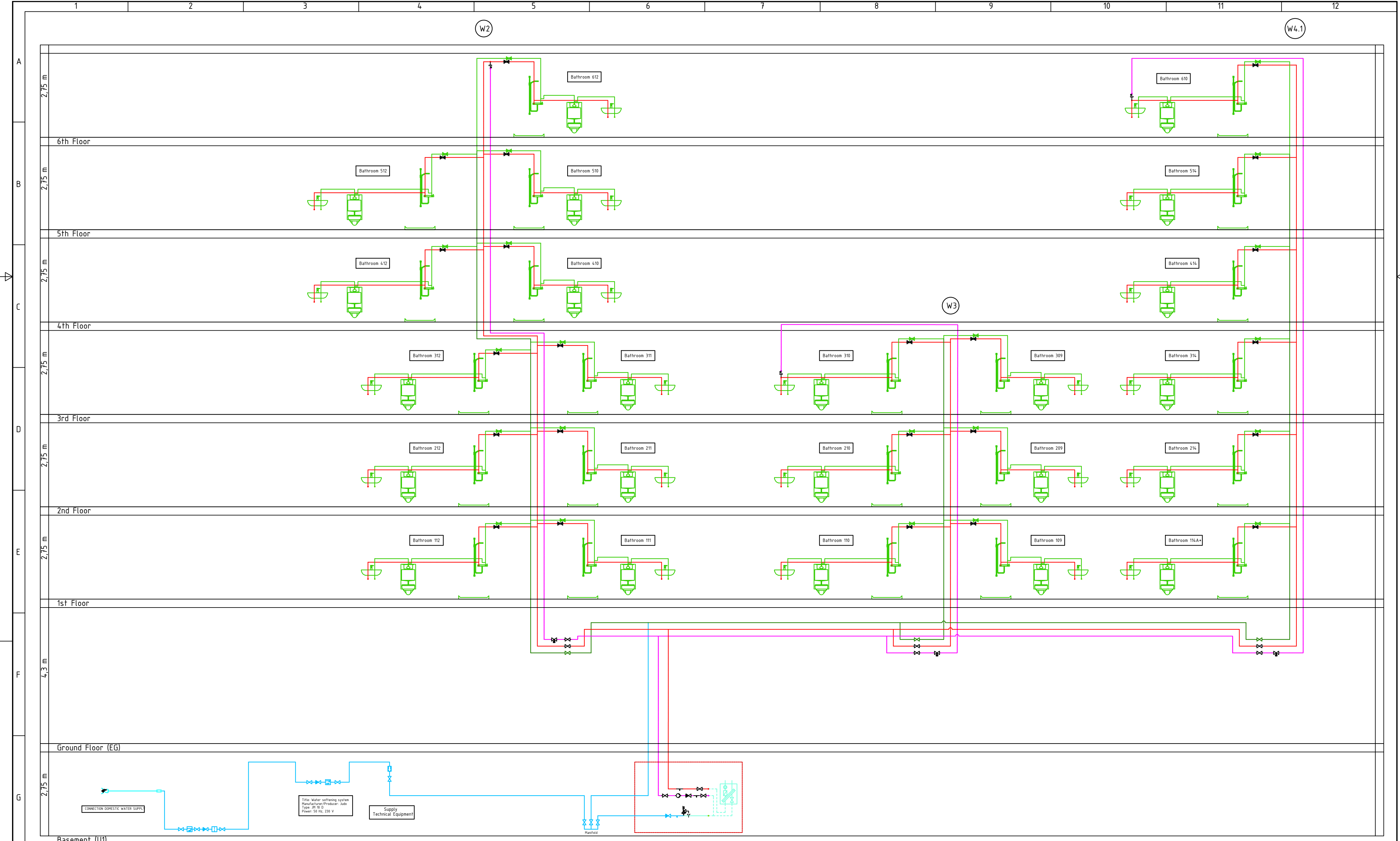
Title: Circulation pump  
 Manufacturer/Producer: Grundfos  
 Type: MAGNA 25-100 S  
 Power: 50 Hz, 230 V

Title: Domestic hot water preparation  
 Manufacturer/Producer: Kempter  
 Type: K... Thermoblock 400 S 2 x 1800 L  
 According to manufacturer scheme

Projektirao	Datum	Ime i prezime	Potpis
Razradio		Inja Hunjet	
Crtao			
Pregledao		prof. dr. sc. Davor Ljubas	



Objekt:	Temperature tople vode	Objekt broj:	R. N. broj: Prilog 5
---------	------------------------	--------------	----------------------



Title: Circulation pump  
 Manufacturer/Producer: Grundfos  
 Type: MAGNA 25-100 N  
 Power: 90 W, 50 Hz, 1 x 230-240 V, 0,09 - 1,25 A

Title: Domestic hot water preparation  
 Manufacturer/Producer: Kemper  
 Type: k + ThermoBox R60 S, 2 x 1800 S  
 According to manufacturer's scheme

LEGENDA

- |  |   |  |  |  |                                    |  |                   |
|--|---|--|--|--|------------------------------------|--|-------------------|
|  | Nepovratni ventil                       |  | Ugradbeni vodokotlić                   |  | Geodetska nulta točka (pitke vode) |  | < 15 °C           |
|  | Zaporni ventil                          |  | Križanje instalacija                   |  | Umivaonik                          |  | 16,0 °C - 16,9 °C |
|  | Tuš                                     |  | Sustav za pripremu tople vode          |  | Vodomjer                           |  | 20,0 °C - 20,9 °C |
|  | Automatski balansni ventil (Multitherm) |  | Ventil za uzimanje uzoraka             |  | Spoj cirkulacija tople vode        |  | 22,0 °C - 22,9 °C |
|  | Omekšivač vode                          |  | Pumpa                                  |  | Točka spajanja sa zgradom          |  |                   |
|  | Filter                                  |  | Sigurnosni ventil za odvajanje protoka |  | Sigurnosni ventil                  |  |                   |

Projektirao	Datum	Ime i prezime	Potpis
Razradio		Inja Hunjet	
Crtao			
Pregledao		prof. dr. sc. Davor Ljubas	
Objekt: Temperature hladne pitke vode			Objekt broj: R. N. broj: Prilog 6

