

Univerza
v Ljubljani

Fakulteta
za gradbeništvo
in geodezijo



Jamova cesta 2
1000 Ljubljana, Slovenija
<http://www3.fgg.uni-lj.si/>

DRUGG – Digitalni repozitorij UL FGG
<http://drugg.fgg.uni-lj.si/>

To je izvirna različica zaključnega dela.

Prosimo, da se pri navajanju sklicujete na bibliografske podatke, kot je navedeno:

Cigut, T., 2015. Predlog sanacije vodarne Mrzlek. Diplomaska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo. (mentor Drev, D.): 90 str.

Datum arhiviranja: 04-01-2016

University
of Ljubljana

Faculty of
Civil and Geodetic
Engineering



Jamova cesta 2
SI – 1000 Ljubljana, Slovenia
<http://www3.fgg.uni-lj.si/en/>

DRUGG – The Digital Repository
<http://drugg.fgg.uni-lj.si/>

This is original version of final thesis.

When citing, please refer to the publisher's bibliographic information as follows:

Cigut, T., 2015. Predlog sanacije vodarne Mrzlek. B.Sc. Thesis. Ljubljana, University of Ljubljani, Faculty of civil and geodetic engineering. (supervisor Drev, D.): 90 pp.

Archiving Date: 04-01-2016

Univerza
v Ljubljani

Fakulteta za
*gradbeništvo in
geodezijo*



Jamova 2
1000 Ljubljana, Slovenija
telefon (01) 47 68 500
faks (01) 42 50 681
fgg@fgg.uni-lj.si

UNIVERZITETNI ŠTUDIJSKI
PROGRAM VODARSTVO IN
KOMUNALNO INŽENIRSTVO

Kandidat:

TADEJ CIGUT

PREDLOG SANACIJE VODARNE MRZLEK

Diplomska naloga št.: 266/VKI

**RECONSTRUCTION PROPOSAL FOR MRZLEK
WATER TREATMENT PLANT**

Graduation thesis No.: 266/VKI

Mentor:

doc. dr. Darko Drev

Ljubljana, 21. 12. 2015

STRAN ZA POPRAVKE

Stran z napako

Vrstica z napako

Namesto

Naj bo

»Ta stran je namenoma prazna.«

IZJAVE

Podpisani Tadej Cigut izjavljam, da sem avtor diplomske naloge z naslovom »Predlog sanacije vodarne Mrzlek«.

Izjavljam, da je elektronska različica v vsem enaka tiskani različici.

Izjavljam, da dovoljujem objavo elektronske različice v digitalnem repozitoriju.

Ljubljana, 11. 12. 2015

Tadej Cigut

»Ta stran je namenoma prazna.«

BIBLIOGRAFSKO–DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK

UDK:	628.1(497.4)(043.2)
Avtor:	Tadej Cigut
Mentor:	doc. dr. Darko Drev
Naslov:	Predlog sanacije vodarne Mrzlek
Tip dokumenta:	Diplomska naloga – univerzitetni študij
Obseg in oprema:	90 str., 21 pregl., 26 sl., 1 graf.
Ključne besede:	pitna voda, tehnologije čiščenja voda, koagulacija, flokulacija, sedimentacija, filtracija, adsorpcija, membranska filtracija, dezinfekcija, Mrzlek, vodarna, sanacija

Izvleček

Diplomska naloga obravnava sanacijo vodarne Mrzlek, ki z vodo oskrbuje približno 50.000 ljudi. Vodarna obratuje na zgornji meji zmogljivosti in komaj še zadostuje potrebam porabe pitne vode. Analize vode izvira Mrzlek kažejo na stalno mikrobiološko onesnaženost ter občasno povečano motnost surove vode. Rezultati čiščenja pa občasno ne ustrezajo zahtevam.

Tematsko je diplomska naloga razdeljena na dva dela. V prvem delu so predstavljene tehnologije čiščenja pitnih voda, obstoječa vodarna, vodni vir in analiza surove vode. V drugem delu pa so podane tri variante sanacije vodarne. Vsaka izmed njih vsebuje opis gradbenih del in dimenzioniranje tehnološkega postopka. V prvih dveh je izboljššan obstoječi konvencionalni postopek čiščenja, v tretji pa je glavni tehnološki postopek ultrafiltracija, ki velja za sodoben način čiščenja pitnih voda. Vsi obravnavani postopki čiščenja so dimenzionirani na pretok 300 l/s. V zaključku naloge je podan predlog o najbolj primernem načinu priprave pitne vode v vodarni Mrzlek.

»Ta stran je namenoma prazna.«

BIBLIOGRAPHIC–DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT

UDC: 628.1(497.4)(043.2)
Author: Tadej Cigut
Supervisor: asist. prof. Darko Drev, Ph.D.
Title: Reconstruction proposal for Mrzlek water treatment plant
Document type: Graduation Thesis - University studies
Scope and tools: 90 p., 21 tab., 26 fig., 1 graph.
Keywords: drinking water, water technology, coagulation, flocculation, sedimentation, filtration, adsorption, membrane filtration, disinfection, Mrzlek, water treatment plant, reconstruction

Abstract

This graduation thesis deals with the reconstruction of the Mrzlek water treatment plant, which supplies about 50,000 people with water. The water plant operates at the upper limit of capability and barely suffices to cover drinking water consumption needs. Analyses of Mrzlek water source show constant microbiological contamination and occasional increases in raw water opacity. Treatment results sometimes do not meet the requirements.

The graduation thesis is thematically divided into two parts. The first part presents the technologies of drinking water treatment, the existing water plant, water source and raw water analysis. The second part provides three options for the reconstruction of the water plant. Each of the options includes description of construction work and dimensioning of technological procedure. In the first two the existing conventional procedure of treatment is improved, whereas in the third one the main technological procedure is ultrafiltration, which is the modern way of treating drinking water. All of the examined treatment processes are designed for the flow rate of 300 l/s. The graduation thesis concludes with a recommendation of the most appropriate way of treating the Mrzlek water plant drinking water.

»Ta stran je namenoma prazna.«

ZAHVALA

Za strokovne nasvete, vložen čas in pomoč pri pridobivanju podatkov za izdelavo diplomske naloge se zahvaljujem mentorju doc. dr. Darku Drevu.

Zahvaljujem se Zvonki Kabaj Tomšič in Branku Koršiču iz podjetja Vodovodi in kanalizacija Nova Gorica, d. d., za sprejem na vodarni in koristne podatke.

Zahvaljujem se Alojzu Medicu in Mateju Čehovinu iz podjetja MAK CMC tehnologija vode, d. o. o., ter Egonu Batiču iz podjetja COMTEH, d. o. o., za pomoč in koristne nasvete.

Posebno se zahvaljujem očetu Marjanu, mami Jožici in bratu Boštjanu, ki so v času mojega študija verjeli vame in me podpirali.

Hvala tudi prijateljem in vsem ostalim, ki so mi kakorkoli pomagali v času študija.

»Ta stran je namenoma prazna.«

KAZALO VSEBINE

STRAN ZA POPRAVKE	III
IZJAVE	V
BIBLIOGRAFSKO–DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK	VII
BIBLIOGRAPHIC–DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT	IX
ZAHVALA.....	XI
KAZALO VSEBINE.....	XIII
KAZALO PREGLEDNIC	XVII
KAZALO SLIK	XVIII
KAZALO GRAFIKONOV.....	XIX
POMEN OKRAJŠAV	XX
SEZNAM PRILOG	XXI
1 UVOD.....	1
1.1 Namen diplomske naloge.....	1
2 PITNA VODA.....	2
2.1 Fizikalne in kemijske lastnosti vode	2
2.1.1 Struktura vode	2
2.1.2 Agregatno stanje.....	3
2.1.3 Gostota	3
2.1.4 Specifična toplota.....	3
2.1.5 Vrelišče.....	3
2.1.6 Topnost.....	3
2.1.7 Trdota	4
2.1.8 pH.....	4
2.1.9 Motnost	5
2.1.10 Vonj.....	5
2.1.11 Temperatura	6
2.2 Mikrobiološke lastnosti vode.....	6
2.3 Značilnosti površinskih voda.....	7
2.4 Značilnosti kraških voda	8
3 TEHNOLOGIJE ČIŠČENJA PITNIH VODA	9
3.1 Koagulacija	11
3.1.1 Koagulantni	13
3.1.2 Jar test.....	15
3.2 Flokulacija	16

3.3	Sedimentacija	18
3.3.1	Horizontalni usedalniki.....	19
3.3.2	Lamelni usedalniki	20
3.3.3	Kontaktni usedalniki.....	20
3.4	Filtracija na zrnavih filtrih	20
3.4.1	Hitri filtri	21
3.4.2	Počasni ali biološki filtri.....	24
3.4.3	Zaprti – tlačni filtri	25
3.5	Adsorpcija	26
3.5.1	Aktivno oglje.....	27
3.5.2	Aktivno oglje v kombinaciji z ozonom	27
3.6	Membranska filtracija	28
3.6.1	Materiali membran	30
3.6.2	Struktura membran	31
3.6.3	Oblike membran	32
3.6.4	Delovanje filtrov.....	32
3.6.5	Načini in vrste sistemov	34
3.6.6	Čiščenje membran	35
3.6.7	Membranski procesi	36
3.6.7.1	Mikrofiltracija.....	36
3.6.7.2	Ultrafiltracija	36
3.6.7.3	Nanofiltracija	37
3.6.7.4	Reverzna osmoza	38
3.6.8	Primerjava lastnosti različnih membranskih procesov	39
3.7	Dezinfekcija	39
3.7.1	Dezinfekcija s klorom.....	40
3.7.1.1	Prednosti in slabosti uporabe klora.....	41
3.7.2	Dezinfekcija s klorovim dioksidom.....	42
3.7.2.1	Prednosti in slabosti uporabe klorovega dioksida.....	42
3.7.3	Dezinfekcija z ozonom	43
3.7.3.1	Prednosti in slabosti uporabe ozona	44
3.7.4	Dezinfekcija z UV-svetlobo	44
4	VODARNA MRZLEK.....	46
4.1	Izvir Mrzlek.....	46
4.2	Obstoječe stanje	47
4.3	Analiza obstoječega stanja	51
4.4	Vodovodni sistem Mrzlek	51

4.5	Analiza surove vode.....	52
5	OPIS GRADBENIH DEL.....	54
5.1	Varianta 1.....	54
5.2	Varianta 2.....	55
5.3	Varianta 3.....	55
6	DIMENZIONIRANJE TEHNOLOŠKEGA POSTOPKA PRIPRAVE PITNE VODE...57	
6.1	Analiza porabe vode	57
6.2	Varianta 1.....	60
6.2.1	Ozonacija.....	60
6.2.2	Koagulacija.....	61
6.2.3	Flokulacija.....	62
6.2.4	Sedimentacija	64
6.2.5	Filtracija na peščenih filterih.....	67
6.2.6	Filtracija z aktivnim ogljem	69
6.2.7	Vodohran.....	69
6.2.8	UV-dezinfekcija	70
6.2.9	Dezinfekcija s klorovim dioksidom	70
6.2.10	Odpadne vode.....	71
6.3	Varianta 2.....	72
6.3.1	Koagulacija in flokulacija	73
6.3.2	Sedimentacija	73
6.3.3	Ozonacija.....	73
6.3.4	Filtracija na peščenih filterih.....	74
6.3.5	Filtracija z aktivnim ogljem	74
6.3.6	Vodohran.....	74
6.3.7	UV-dezinfekcija	74
6.3.8	Dezinfekcija s klorovim dioksidom	74
6.3.9	Odpadne vode.....	74
6.4	Varianta 3.....	75
6.4.1	Sedimentacija	75
6.4.2	Predfiltracija.....	76
6.4.3	Ultrafiltracija	76
6.4.4	Vodohran.....	81
6.4.5	Dezinfekcija s klorovim dioksidom	81
6.4.6	Odpadne vode.....	81
7	EKONOMSKA PRIMERJAVA	82
8	ZAKLJUČEK.....	84

VIRI	85
Uporabljeni viri	85
Zakonodaja.....	89
Ostali viri.....	89

KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1: Trdota vode (Vir: Kraški vodovod, 2015).....	4
Preglednica 2: pH medij glede na koncentracijo karboksilnih in oksonijevih ionov (Lobnik, 2008).....	5
Preglednica 3: Materiali za membrane v odvisnosti od pH-vrednosti (Wagner, 2001).....	33
Preglednica 4: Primerjava lastnosti različnih membranskih procesov.....	39
Preglednica 5: Fizikalno-kemijski parametri (ARSO, 2015).....	53
Preglednica 6: Povzetek mikrobioloških parametrov po letih (VIK, 2015).....	53
Preglednica 7: Količinska prodaja vode od 2001 do 2012 (VIK, 2015).....	57
Preglednica 8: Kontaktni čas in faktor G (Kompore in Uršič, 2010).....	62
Preglednica 9: Potrebna moč mešal v odvisnosti od G.....	64
Preglednica 10: Lastnosti modula (Vir: DOW, 2015).....	77
Preglednica 11: Obratovalni parametri modula (Vir: DOW, 2015).....	77
Preglednica 12: Podrobnosti sistema.....	77
Preglednica 13: Rezultati ultrafiltracije (Vir: DOW, 2015).....	79
Preglednica 14: Čiščenje membran.....	80
Preglednica 15: Poraba kemikalij.....	80
Preglednica 16: Poraba energije.....	81
Preglednica 17: Investicijski stroški.....	82
Preglednica 18: Obratovalni letni stroški.....	82
Preglednica 19: Amortizacija.....	83
Preglednica 20: Investicijsko vzdrževanje.....	83
Preglednica 21: Skupni letni stroški.....	83

KAZALO SLIK

Slika 1: Tehnološka shema konvencionalnih postopkov čiščenja pitne vode	10
Slika 2: Zeta potencial (Vir: prirejeno po Waterworld, 2015).....	12
Slika 3: Delovanje koagulantna (Hammer, M. Jr., Hammer, M., 2004)	15
Slika 4: Mešalna naprava (Vir: Vimaroni, 2015)	15
Slika 5: Primer polielektrolita (Hammer, M. Jr., Hammer, M., 2004).....	16
Slika 6: Shema akceleratorja (Vir: prirejeno po Rismal, 1995).....	17
Slika 7: Pravokotni in krožni horizontalni usedalnik (Vir: prirejeno po Hammer, M. Jr., Hammer, M., 2004).....	19
Slika 8: Lamelni usedalnik z usedanjem proti toku (Rismal, 1995).....	20
Slika 9: Poenostavljena shema počasnega peščenega filtra (Rismal, 2005).....	25
Slika 10: Aktivno oglje (Vir: prirejeno po Joe Jaworski's Weblog, 2015)	28
Slika 11: Velikost delcev in območja čiščenja posameznega postopka (Vir: prirejeno po Trunz, 2015)	29
Slika 12: Spiralno navitje membrane (Vir: prirejeno po Lixus, 2015)	32
Slika 13: Prikaz prečne in čelne filtracije (Vir: prirejeno po Spectrumlabs, 2015).....	34
Slika 14: a) osmoza, b) osmotski tlak ($\Delta\Pi$) v ravnotežju, c) reverzna osmoza (Vir: prirejeno po Degremont, 2015).....	38
Slika 15: Pregledna situacija (Vir: Geopedia)	46
Slika 16: Vodarna Mrzlek (Vir: VIK, 2015)	47
Slika 17: Tehnološka shema vodarne (Vir: VIK, 2015).....	50
Slika 18: Tehnološka shema – Varianta 1	60
Slika 19: Hitrosti v lameli usedalnika (Kompore in Uršič, 2010)	66
Slika 20: Znavostna krivulja (Kompore in Uršič, 2010)	67
Slika 21: Tehnološka shema – Varianta 2	72
Slika 22: Tehnološka shema – Varianta 3	75
Slika 23: Ultrafiltracijski moduli (Vir: Kochmembrane, 2015)	76
Slika 24: Tloris ultrafiltracijske naprave (ni v merilu)	78
Slika 25: Stranski pogled ultrafiltracijske naprave (ni v merilu).....	78
Slika 26: Membranski modul (Vir: prirejeno po DOW, 2015)	79

KAZALO GRAFIKONOV

Grafikon 1: Količinska prodaja vode od 2001 do 2012	57
---	----

POMEN OKRAJŠAV

UV	ultravijolično
BW	povratno pranje (<i>angl. backwash</i>)
CEB	kemično povratno pranje (<i>angl. chemically enhanced backwash</i>)
CIP	kemično pranje membran (<i>angl. clean in place</i>)
PAC	aktivno oglje v prahu (<i>angl. powdered active carbon</i>)
GAC	granulirano aktivno oglje (<i>angl. granular activated carbon</i>)
MF	mikrofiltracija
UF	ultrafiltracija
NF	nanofiltracija
RO	reverzna osmoza

SEZNAM PRILOG

- PRILOGA A: Pravilnik o pitni vodi**
- PRILOGA B: Pregledna situacija**
- PRILOGA C: Obstoječe stanje**
- PRILOGA D1: Ureditvena situacija – Varianta 1**
- PRILOGA D2: Tehnološka shema – Varianta 1**
- PRILOGA E1: Ureditvena situacija – Varianta 2**
- PRILOGA E2: Tehnološka shema – Varianta 2**
- PRILOGA F1: Ureditvena situacija – Varianta 3**
- PRILOGA F2: Tehnološka shema – Varianta 3**

»Ta stran je namenoma prazna.«

1 UVOD

Voda je vir življenja. Pogosto o njej razmišljamo kot o nečem samoumevnem in za nas vedno na dosegu roke. Vendar to ni povsod tako. Voda kot dragocena dobrina, ki ni neusahljiva in je v nenehnem kroženju, na svetu ni enakomerno razporejena. Količinsko človek dnevno potrebuje dva do tri litre vode, v povprečju pa voda sestavlja 70 odstotkov človeškega telesa (Primavoda). Prav tolikšen je približno delež, ki ga tekoča voda zavzema na Zemljinem površju (Rižanski vodovodi).

V sodobnem svetu se vse pogosteje sliši, da je voda prekomerno onesnažena. V njej so prisotne strupene snovi in neželeni mikroorganizmi, ki lahko povzročajo različne bolezni. Zaradi tega je potrebno surovo vodo pred uporabo ustrezno obdelati. Za pripravo pitne vode se uporabljajo različni postopki, ki so za širšo uporabo združeni v obrat, ki ga imenujemo vodarna.

1.1 Namen diplomske naloge

Namen diplomske naloge je predlagati najprimernejši tehnološki postopek priprave pitne vode na vodarni Mrzlek. Analize surove vode izvira Mrzlek kažejo na stalno mikrobiološko onesnaženost s pogosto prisotnostjo klic fekalnega izvora. V preiskavah je bila v surovi vodi dokazana tudi prisotnost patogenih praživali *Cryptosporidiuma* in *Giardie*. Poleg mikrobiološke oporečnosti je v vodi večkrat povečana tudi motnost.

Obstoječi postopek deluje na kritični meji zmogljivosti in komaj še zagotavlja ustrezno pitno vodo. Rezultati čiščenja pa občasno ne ustrezajo zahtevam, ki so določene s Pravilnikom o pitni vodi. V primeru povečanja porabe vodarna ne bo sposobna zagotavljati ustrezne kakovosti pitne vode.

Zaradi zgoraj navedenega predlagamo sanacijo vodarne. V ta namen smo pripravili tri variante sanacije, ki so sestavljene iz različnih tehnoloških postopkov. V zaključku smo podali predlog o najbolj primernem načinu čiščenja, ki zagotavlja zdravstveno neoporečno vodo.

2 PITNA VODA

Pitna voda je voda, ki v naravnem ali predelanem stanju ustreza predpisanim mejnim vrednostim. Vsebuje lahko le minimalne količine onesnažil, ki so zdravju povsem neškodljiva. Ustreznost pitne vode ugotavljamo na podlagi pozitivnih lastnosti vode, kot so okus, barva, vonj, motnost, pH, vsebnosti kisika, ionskih zvrsti, anorganskih in organskih sestavin, mikrobioloških parametrov ter lastnosti in značilnosti čistega (vsebnosti nevarnih ali zdravju škodljivih snovi v vodi). V Sloveniji mora pitna voda ustrezati zahtevam, ki so določene v Pravilniku o pitni vodi: 19/2004, 35/2004, 26/2006, 92/2006 in 25/2009. Po Pravilniku o pitni vodi je pitna voda zdravstveno ustrezna, kadar ne vsebuje mikroorganizmov, parazitov in njihovih razvojnih oblik v številu, ki lahko predstavlja nevarnost za zdravje ljudi, ne vsebuje snovi v koncentracijah, ki same ali skupaj z drugimi snovmi lahko predstavljajo nevarnost za zdravje ljudi, ter je skladna z mikrobiološkimi in kemijskimi parametri, ki jih predpisuje pravilnik. Pravilnik o pitni vodi vsebinsko povzema Direktivo Sveta EU 98/83/ES o kakovosti vode, ki je namenjena za prehrano ljudi. V Pravilniku je pitna voda opredeljena kot voda v njenem prvotnem stanju ali po pripravi, ki je namenjena pitju, kuhanju, pripravi hrane ali kakršnikoli drugačni gospodinjski uporabi, ne glede na njeno poreklo in ne glede na to, ali prihaja iz vodovodnega omrežja, cisterne ali kot predpakirana voda. K pitni vodi prištevamo tudi vso vodo, ki jo uporabljamo za proizvodnjo in promet živil. Pravilnik natančno določa tudi, kdaj je voda zdravstveno ustrezna in skladna (Rižanski vodovodi).

2.1 Fizikalne in kemijske lastnosti vode

2.1.1 Struktura vode

Voda je kemijska spojina in polarna molekula. Sestavljena je iz dveh atomov vodika (H), ki je najlažji in najpogostejši kemijski element v vesolju, in enega atoma kisika (O). Ti trije atomi skupaj tvorijo molekulo vode, H_2O . Formalno jo lahko poimenujemo tudi divodikov monoksid. Vodikova atoma sta s kovalentno vezjo povezana s kisikovim. Vodikove vezi so v primerjavi z vezjo med vodikom in kisikom v posamezni vodni molekuli šibke, a so vzrok za številne posebnosti vode (Primavoda). Čista voda je tekočina brez barve, vonja in okusa. Sestavljena je iz 11,11 odstotka vodika in 88,89 odstotka kisika. Voda iz izvirov in podtalnic je običajno čista. Vsebuje od 0,01 do 2 odstotka raztopljenih snovi, na primer kalcijeve in magnezijeve soli. V morski vodi je raztopljenih približno 3,5 odstotka soli (Ekom).

2.1.2 Agregatno stanje

Voda je edina snov, ki se pri običajnih temperaturah na Zemlji pojavlja v vseh treh agregatnih stanjih. Nahaja se v tekočem, trdem in plinastem agregatnem stanju. Sprememba agregatnega stanja vseh snovi in tudi vode je povezana z oddajanjem ali sprejemanjem energije. Če led segrevamo, se stali. Če nastalo vodo še nadalje ogrevamo do vrelišča, ta hlapi in nato zavre, pri čemer nastane para. Če paro ohlajamo, kondenzira in nastane tekoča voda, ki z ohlajanjem pod temperaturo ledišča zmrzne. Nekaj molekul ledu prehaja neposredno v parno fazo. Ta proces imenujemo sublimacija, obraten proces pa resublimacija (Primavoda).

2.1.3 Gostota

Voda ima največjo gostoto pri 4 °C (1000 kg/m³). Pod 0 °C nastane led, torej zmrznjena voda v trdem agregatnem stanju. Ko voda zmrzne v led, se razširi, zato je led redkejši od vode in plava na njej. Voda zmrzuje od zgoraj navzdol (Rižanski vodovodi).

2.1.4 Specifična toplota

Specifična toplota je pri vseh drugih tekočinah, z izjemo amoniaka, višja kot pri vodi. Posledica tega je, da lahko voda ohranja toploto dlje kot večina drugih sestavin geografskega okolja in se počasi ohlaja. Temperatura vode niha manj kot temperatura zemeljskega površja. Velike vodne površine (oceani, morja, velika jezera) lahko zato pomembno preoblikujejo podnebne razmere (Rižanski vodovodi).

2.1.5 Vrelišče

Pri normalnem zračnem tlaku (101,3 kPa) ima voda vrelišče blizu 100 °C (Ekom).

2.1.6 Topnost

Voda je zelo dobro topilo, zato raztaplja številne organske in anorganske snovi. Ta lastnost ji omogoča, da prenaša raztopljena hranila v biosferi (npr. fosfor), pa tudi številna onesnažila naravnega ali antropogenega izvora (pesticidi, umetna gnojila, težke kovine, fenoli itd.) (Rižanski vodovodi).

2.1.7 Trdota

Večina naravnih vod vsebuje kalcijev in magnezijev hidrogenkarbonate ter manjše množine sulfatov, kloridov in nitratov. V odvisnosti od koncentracije soli pravimo, da so vode bolj ali manj trde. Raztopine hidrogenkarbonatov dajejo v vodi alkalno reakcijo. Če vsebuje voda le kalcijev in magnezijev hidrogenkarbonat, govorimo o karbonatni trdoti, če pa vsebuje tudi druge (natrijev hidrogenkarbonat), govorimo o alkalnosti vode. Ločimo karbonatno in nekarbonatno ter – glede na koncentracijo kalcijevih in magnezijevih ionov – kalcijevo in magnezijevo trdoto. Tako vsota karbonatne in nekarbonatne, kot tudi vsota kalcijeve in magnezijeve trdote, nam da celotno trdoto vode (Drev, 2009).

Trdoto vode navadno izražamo v nemških trdotnih stopinjah °dH. Eno nemško trdotno stopinjo ima voda, ki vsebuje 1 mg CaO na 100 ml vode. Trdoto vode lahko izražamo kot vsoto koncentracij kalcija in magnezija (oba izražena kot CaCO₃, v mg/l) (Drev, 2009). Razdelitev vode po trdoti je prikazana v preglednici 1.

Preglednica 1: Trdota vode (Vir: Kraški vodovod, 2015).

0–4 °dH	zelo mehka (destilirana voda)
4–8 °dH	mehka voda (deževnica)
8–18 °dH	srednje trda voda (večina vodovodnih vod)
18–30 °dH	trda voda
nad 30 °dH	zelo trda voda

2.1.8 pH

Izraz pH-vrednost izvira iz latinskega izraza »potentia hydrogenii«, ki pomeni učinkovitost vodika. Vrednost pH je merilo za kislost ali bazičnost raztopin. Po definiciji je pH negativni dekadski logaritem koncentracije oksonijevih ionov ali, če zapišemo preprosto z enačbo 1:

$$\text{pH} = -\log [\text{H}_3\text{O}^+], \quad (1)$$

kjer je:

pH	pH-vrednost med 0–14,
- log	logaritem in
[H ₃ O ⁺]	koncentracija oksonijevih ionov (Lobnik, 2008).

Kisle, bazične in nevtralne raztopine se med seboj razlikujejo v koncentraciji hidroksilnih in oksonijevih ionov, kot je prikazano v preglednici 2.

Preglednica 2: pH medij glede na koncentracijo karboksilnih in oksonijevih ionov (Lobnik, 2008).

Medij	pH-vrednost	Koncentracija hidroksilnih ionov [OH ⁻]	Koncentracija oksonijevih ionov [H ₃ O ⁺]
Kisel	$1 < \text{pH} \leq 6$	$< 10^{-7} \text{ Mol/l}$	$> 10^{-7} \text{ Mol/l}$
Nevtralen	$\text{pH} = 7$	10^{-7} Mol/l	10^{-7} Mol/l
Bazičen	$7 < \text{pH} \leq 14$	$> 10^{-7} \text{ Mol/l}$	$< 10^{-7} \text{ Mol/l}$

V večini naravnih vod je pH povezan z ravnotežjem ogljikovega dioksida, hidrogenkarbonata in karbonata in s tem tudi s trdoto vode (mehke vode imajo nižjo pH-vrednost, trde vode pa višjo). Običajni pH v podzemnih vodah je med 6 in 8,5. V čistih vodah pa je pH v območju od 4,5 do 8,5. Takšen pH dajejo vodi v njej raztopljene huminske snovi in CO₂. Nižji ali višji pH je znak onesnaženja vode z industrijskimi odplakami. Ekstremne vrednosti v pitni vodi so lahko posledica nezgod, napak v pripravi vode ali izločanja materialov v stiku z vodo (npr. cementne cevi) (Lobnik, 2008).

2.1.9 Motnost

Motnost vode je pokazatelj prisotnosti koloidnih in suspendiranih delcev, velikosti od 1 nm do 1 mm. Motnost vode ne smemo neposredno povezovati s količino prej omenjenih suspendiranih snovi, saj so le-te brez barve (steklo, razne soli ...) in tako nimajo neposrednega vpliva na motnost. Najbolj pogosti vzroki motnosti vodnih izvirov so anorganske in organske suspendirane snovi ter mikroorganizmi, erozija koloidnih snovi, kot so glina, mulj, peščenjaki in zemeljski kovinski oksidi, huminske snovi, alge, plankton, bakterije ... Posamezne komponente se med seboj lahko povezujejo: npr. glineno-organski delci. Primesi, ki povzročajo motnost pitne vode, imajo običajno veliko sposobnost absorpcije drugih, zdravju škodljivih snovi, zato je dezinfekcija motne vode zelo težavna. Motnost komunalnih in industrijskih odpadnih voda je posledica širokega izvora onesnaženja s stabilnimi koloidi, ki so posledica prisotnosti večjih koncentracij detergentov, mil ter mineralnih in organskih snovi (Lobnik, 2008).

2.1.10 Vonj

Vonj določajo hlapne snovi, raztopljene v vodi, odvisen pa je tudi od temperature vode (Rižanski vodovodi).

2.1.11 Temperatura

Vode različnih izvorov imajo različno temperaturo. Za dobro pitno vodo velja, da ima temperaturo med 8 in 12 stopinj C. Temperatura vode je različna zaradi zemljepisne širine vodnega telesa, nadmorske višine, letnega časa in drugih vplivov. Temperatura vode ima ključno vlogo pri kemijskih, bioloških in fizikalnih interakcijah v vodnem telesu (Rižanski vodovodi).

2.2 Mikrobiološke lastnosti vode

Zaradi možnih akutnih posledic je obvladovanje mikroorganizmov v pitni vodi na prvem mestu po pomenu za zdravje. Mikrobiološki parametri nam pokažejo obseg in stopnjo fekalne ali druge onesnaženosti pitne vode z mikroorganizmi. V pitni vodi se rutinsko določajo fekalne bakterije (*Escherichia coli*, enterokoki), ki imajo izvor v človeških ali živalskih iztrebkih, in indikatorske bakterije (*Clostridium perfringens* s sporami, koliformne bakterije, število kolonij pri 22 °C in pri 37 °C), v embalirani pitni vodi pa še bakterije *Pseudomonas aeruginosa*. Ker je prisotnost bakterij lahko vzrok akutnih zdravstvenih posledic, je treba včasih do ureditve razmer vodo tudi prekuhavati (IVZ, 2004).

V vodi so prisotni tudi virusi. Najpomembnejši, ki se prenašajo z vodo, so tisti, ki se razmnožujejo v prebavnem traktu človeka in izločajo z blatom (enterični virusi). V onesnaženi vodi lahko najdemo: adenoviruse, astroviruse, caliciviruse, enteroviruse, viruse hepatitisa A, hepatitisa E in rota viruse. Njihov naravni rezervoar, razen za hepatitis E, so ljudje. Virus se nahajajo v blatu okuženih pri simptomatski in asimptomatski okužbi. Čeprav se zunaj celic gostitelja ne morejo razmnoževati, pa nekateri preživijo v okolju in ostanejo infektivni. V sladki vodi lahko preživijo nekaj mesecev. Prisotnost enteričnih virusov v pitni vodi je nedvomen dokaz fekalnega onesnaženja (IVZ, 2005).

Ker so vsi omenjeni virusi bolj rezistentni na dezinfekcijska sredstva od *E. coli*, odsotnost *E. coli* ni zanesljiv pokazatelj odsotnosti ali prisotnosti virusov v pitni vodi. Zaradi večje rezistence so bili kot boljši indikatorji za prisotnost virusov v pitni vodi predlagani enterokoki in spore *Clostridium perfringens* (IVZ, 2005).

Preprečevanje bolezni, ki jih povzročajo virusi s prenosom prek pitne vode, zajema preprečevanje kontaminacije na viru in med distribucijo ter ustrezna priprava vode, vključno z dezinfekcijo. Sistem večkratnih ovir je torej najuspešnejši način (IVZ, 2005).

Poleg bakterij in virusov se z vodo lahko prenašajo tudi številni paraziti, kot npr.: *Giardia lamblia*, *Cryptosporidium* spp., *Entamoeba histolytica*. Večina tvori ciste oziroma oociste, ki so zelo odporne

na običajne oblike dezinfekcije, nekatere je težko odstraniti tudi s filtracijo. Ciste oziroma oociste parazitov lahko v pitni vodi preživijo zelo dolgo (npr. oociste kriptosporidija preživijo v sladki vodi tudi več mesecev). Kriptosporidij je od parazitov, ki se prenašajo z vodo, najbolj perzistenten v okolju, najbolj odporen na kemijsko dezinfekcijo in najmanjši, torej ga je najtežje odstraniti s filtracijo. Zato je izbran kot referenca za črevesne parazite, ki se prenašajo fekalno-oralno z vodo. Če se doseže cilje v zvezi s kakovostjo pitne vode za kriptosporidij, so doseženi tudi cilji za druge parazite v pitni vodi iz vodovoda. Oociste kriptosporidija se izločajo z blatom okuženih živali (zlasti govedo in ovce) ali človeka. Poglavitni način prenosa kriptosporidijev je s človeka na človeka (fekalno-oralno), drugi načini so še: uživanje kontaminirane hrane in vode (tudi pri rekreaciji v vodi) ter kontakt z okuženimi živalmi. Najpogostejša posledica okužbe je driska (IVZ, 2006).

Mikrobiološki, kemijski in indikatorski parametri ter njihove mejne vrednosti, ki so zahtevane za pitno vodo, so priloga diplomske naloge. Priloga je tudi sestavni del Pravilnika o pitni vodi, od koder je tudi povzeta.

2.3 Značilnosti površinskih voda

Površinske vode so tekoče (reke, potoki, ponikalnice, rečne akumulacije) ali stoječe (jezera, presihajoča jezera, umetne akumulacije). Zaradi izpostavljenosti onesnaženjem je kakovost vprašljiva. V higienskem smislu uvrščamo med površinske vode tudi tiste vode, v katerih je ugotovljena prisotnost mikro- ali makroorganizmov ali vode s spremembami lastnosti, ki so tesno povezane z atmosferskimi značilnostmi ali značilnostmi površine ali površinske vode. Take vode so pri nas t. i. kraške vode, ki imajo le v omejeni stopnji sposobnosti samočiščenja (IVZ).

Naravna površinska voda običajno vsebuje visoke količine suspendiranih snovi, bakterije, alge in organske snovi, ki povzročajo slab okus in vonj. Kakovost površinskih voda je v glavnem odvisna od same lokacije, izpostavljenosti kmetijskim dejavnostim, količine odplak, ki se vanjo zlivajo, samočistilne sposobnosti, letnega časa in klimatskih pogojev. Tako pride v deževnem obdobju do povečanja organskih snovi, v sušnem pa do večje koncentracije komunalnih in industrijskih odpadkov.

V Sloveniji so površinske vode z Uredbo o kakovosti površinskih voda, ki se jih odvzema za oskrbo s pitno vodo, razdeljene v tri kakovostne razrede. Razdeljene so na podlagi fizikalnih, kemijskih in mikrobioloških parametrov. Za vsak kakovostni razred so predpisani tudi standardni postopki obdelave površinskega vira pitne vode.

2.4 Značilnosti kraških voda

V Sloveniji so kraške vode ponekod edini vir oskrbe s pitno vodo. Kraški vodonosniki so zaradi posebnih značilnosti izjemno ranljivi na onesnaževanja z različnimi mikroorganizmi, kot so bakterije, virusi, praživali in podobno.

Dobra prepustnost kraških kamnin omogoča hitro infiltracijo vode v podzemlje, znotraj tega pa zelo hitro pretakanje na velikih razdaljah in po običajno nepoznanih poteh. Z vodo se hitro širi tudi onesnaženje, ki ogroža kraške izvire. Ti se običajno napajajo iz obsežnega zaledja, kar še povečuje njihovo ogroženost in otežuje njihovo varovanje. Poleg tega je za kras značilno prepletanje zaledij sosednjih izvirov, zato meja med njimi praktično ni mogoče določiti. Na stiku s krasom poniknejo tudi površinski vodotoki z nekraškega obrobja. Kakovost kraških vodnih virov se tako značilno spreminja ob različnih hidroloških pogojih (ZZV NG).

Tako so procesi samoočiščevanja v krasu pogosto manj učinkoviti zaradi hitre infiltracije, manjše filtracije, visokih hitrosti pretakanja voda v podzemlju (tudi do več sto metrov na dan) in s tem hitrega prenosa onesnaževanja daleč stran od točke vnosa. Od razpokanosti in zakraselosti podzemnih poti je odvisno, koliko časa bo padavinska voda potrebovala, da priteče od površja do iztoka. Po nekaterih kraških kanalih voda teče zelo hitro, po drugih pa se lahko zadržuje dlje. Tako lahko onesnaženje že v nekaj urah do nekaj dneh doseže izvir, lahko pa še več dni, tednov ali mesecev zastaja in se kopiči v podzemlju. Različni vodostaji pomembno vplivajo na smeri in potovalni čas vode ter na možnost razredčevanja in uskladiščenja onesnaževal v podzemlju (Ravbar, 2007).

Za večino vodnih zajetij s kraškega območja je značilno, da postanejo onesnažene le v času večjih padavin. Takrat postanejo motne. Motnost je navadno anorganskega izvora in delno tudi organskega. Anorgansko motnost najpogosteje povzročajo gline in njim podobni materiali. Organsko motnost pa povzročajo predvsem huminske kisline in podobni materiali. Pri motni vodi so navadno prisotne tudi nekatere druge nečistoče, med katerimi so najbolj problematični mikroorganizmi. Zaradi tega ministrstvo za zdravje priporoča, da se motna voda pred uporabo prekuha.

Kraške vode brez predobdelave niso primerne za pitje, zato jih v smislu samočistilne sposobnosti in kakovosti prištevamo med površinske vode.

3 TEHNOLOGIJE ČIŠČENJA PITNIH VODA

Pri tehnologiji priprave pitne vode lahko uporabljamo klasične (konvencionalne) ali napredne (sodobne) postopke. Pri pripravi ni bistvenih razlik, če se uporabljajo površinske ali vode iz kraških območij, pri čemer postopke in korake obdelave virov narekuje kakovost samih vodnih virov. Konvencionalni proces obsega najmanj en tehnološki postopek ali kombinacijo tehnoloških postopkov.

V Sloveniji izvajalci oskrbe s pitno vodo uporabljajo za zagotavljanje ustrezne pitne vode po zakonodaji predpisane standardne postopke obdelave, ki so za razliko od zakonodaje EU vezani na kakovost vodnega vira. Na osnovi kategorizacije vodnega vira, pri čemer A1 pomeni boljše, A3 pa slabšo kakovost vodnega vira, so z Uredbo o kakovosti površinskih voda, ki se jih odvzema za oskrbo s pitno vodo, predpisani naslednji postopki obdelave:

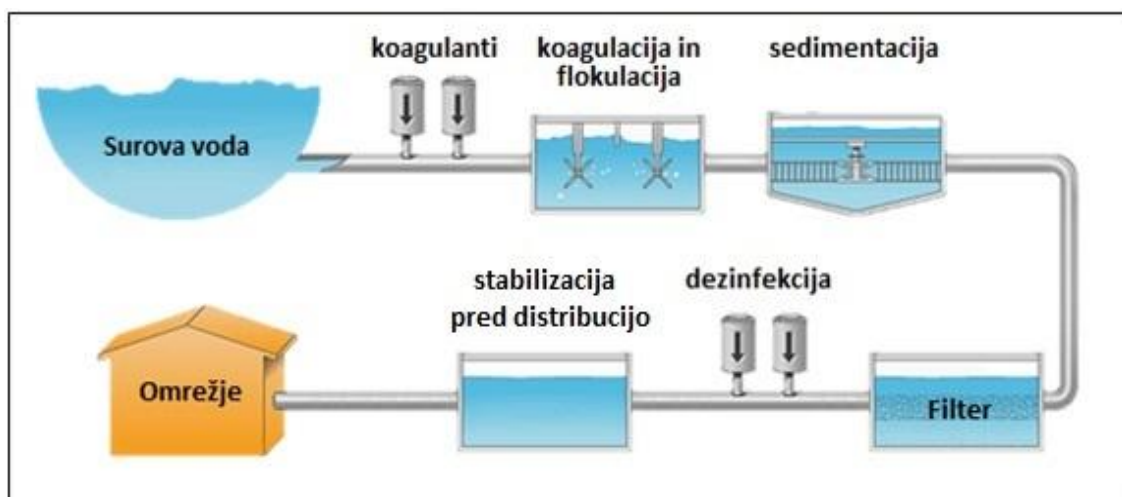
1. kakovostni razred A1 – enostavna mehanska obdelava in dezinfekcija, to je hitro filtriranje in dezinfekcija,
2. kakovostni razred A2 – običajna mehanska obdelava, kemijska obdelava in dezinfekcija, to je predkloriranje, koagulacija, flokulacija, dekantiranje, filtriranje, dezinfekcija kot končno kloriranje,
3. kakovostni razred A3 – intenzivna mehanska obdelava in kemijska obdelava, dodatna obdelava in dezinfekcija, to je kloriranje do točke prekinitve, koagulacija, flokulacija, dekantiranje, filtriranje, adsorbpcija (aktivno oglje), dezinfekcija (obdelava z ozonom in končno kloriranje).

Navedeni standardni postopki so za posamezen kakovostni razred obvezni, nadomestni postopki se lahko uporabijo le, če je z njimi mogoče doseči enak učinek. Cilj navedenih postopkov je vodo očistiti do te mere, da je s kemijskega in mikrobiološkega vidika njeno uživanje varno za ljudi. Vodo je torej potrebno očistiti motnosti in obarvanosti, neprijetnega vonja in okusa ter preseženih kemijskih in mikrobioloških onesnažil.

Osnovni postopki, ki se uporabljajo pri pripravi pitne vode in jih bomo v nadaljevanju diplomske naloge tudi opisali, so koagulacija, flokulacija, sedimentacija, filtracija in dezinfekcija. Pred naštetimi postopki je ponekod potrebno surovo vodo najprej mehansko očistiti. Postopek mehanskega čiščenja obsega odstranitev raznovrstnih grobih in finih suspenzij. Netopne nečistoče se odstranjujejo z mehanskimi sredstvi, kot so groba in fina sita. Mehanskemu čiščenju lahko sledi še predobdelava s klorom ali aktivnim ogljem. Predkloriranje se uporablja, kadar surova voda vsebuje veliko število

koliformnih bakterij, predobdelava z aktivnim ogljem pa se uporablja za odstranjevanje alg, zmanjšanja barvitosti, vonja in organskih spojin.

Postopki so shematično prikazani na sliki 1. Manj kompleksne metode za pripravo so običajno zaradi izhodiščne kakovosti podzemne vode, medtem ko je za pripravo rečne vode potrebna intenzivna obdelava, ki se je sposobna prilagajati dnevnim spremembam kakovosti surove vode.



Slika 1: Tehnološka shema konvencionalnih postopkov čiščenja pitne vode

3.1 Koagulacija

Postopek koagulacije je namenjen izločanju suspendiranih in koloidnih delcev iz vode. Voda običajno vsebuje raztopljene in neraztopljene, to je suspendirane delce. Takšni delci so na primer glina, barva, mikroskopski organizmi in snovi organskega izvora. Z eno besedo takšne delce imenujemo koloidi. So zelo majhni in nevidni pod običajnim mikroskopom, saj se njihove velikosti gibljejo od 1 do 500 nanometrov. Zaradi svojega naboja in zanemarljive hitrosti posedanja so v mirujoči vodi stabilni. Glede na svojo težo imajo koloidni delci zelo veliko površino. S tem ko se ne posedajo v vodi, povzročajo motnost. Delimo jih na hidrofilne in hidrofobne (Hammer, M. Jr., Hammer, M., 2004).

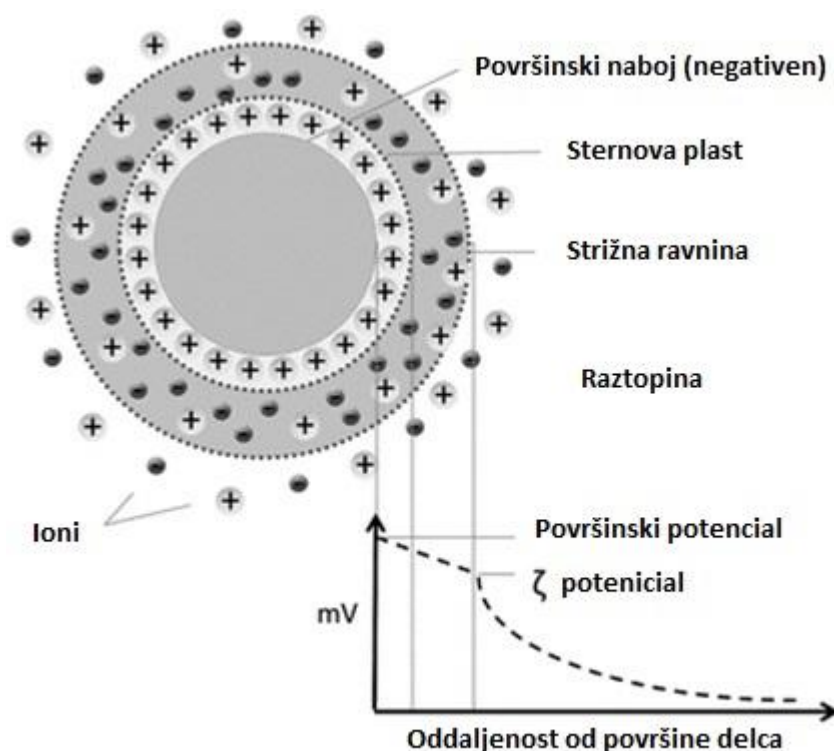
Hidrofilni koloidi so stabilni zaradi njihove močne interakcije z molekulami vode. Tipični primeri so milo, škrob, sintetični detergenti in krvni serum. Zaradi svoje afinitete (privlačnosti) z vodo jih ni tako enostavno odstraniti kot hidrofobne koloide. Da bi takšne koloide lahko odstranili iz vode, so potrebne veliko večje količine koagulantov kot pri konvencionalnem čiščenju pitne vode (Hammer, M. Jr., Hammer, M., 2004).

Za hidrofobne koloide pa so značilne šibkejšje interakcije z vodo. Pozitivno ali negativno nabite površine koloidnih delcev in nasprotni ioni, ki obdajajo delce, tvorijo električni dvosloj, kar povzroči odbijanje delcev med seboj. Med to vrsto koloidov spada večina organskih in anorganskih snovi v kalnih vodah (Hammer, M. Jr., Hammer, M., 2004).

Koagulacija je fizikalno-kemijski proces, pri katerem se s pomočjo kemikalij, imenovanih koagulantov, destabilizirajo oziroma nevtralizirajo v vodi prisotni koloidni delci (ponavadi OH^-). Najbolj učinkoviti koagulantov pri tem so trivalentni ioni (Al^{3+} , Fe^{3+}). Koagulantov se dodajajo z namenom, da se koloidni delci med seboj združujejo v večje aglomerate – kosme, ki se nato v procesu flokulacije tvorijo v večje delce imenovane flokule. Flokule se nato odstranjuje v procesu sedimentacije ali s filtracijo (Roš, 2005).

Velika večina koloidnih delcev je stabilna zaradi negativnega naboja na svoji površini. To je razlog, da se delci med seboj odbijajo. Razelektritev negativnega naboja povzroča destabilizacijo koloidnega delca ter ustvari možnost za koagulacijo. Primarni naboj hidrofobnih koloidov nastane zaradi adsorpcije ionov iz dispergirane medija. Elektronegativen delec pritegne k sebi gosto plast pozitivnih nabojev. To plast imenujemo fiksna ali Sternova plast. Delci, ki so bolj oddaljeni od jedra koloida, tvorijo difuzno ali Gouyevo plast. Razlika v koncentraciji dveh vrst kationa in aniona povzroča nastanek elektrostatskega polja (Roš, 2005).

Strižna ravnina je meja med delom raztopine, ki se premika z delcem in delom, ki se giblje neodvisno od delca. Potencial, ki nastane ob strižni ravnini, je zeta potencial in je shematično prikazan na sliki 2. Pri hidrofobnih koloidih je strižna ravnina enaka ravnini med fiksnim in difuznim slojem. Pri hidrofilnih koloidih pa se strižna ravnina pokriva z zunanjo mejo vodnega filma (vezane vode) (Roš, 2005). Velikost zeta potenciala lahko določimo z zetametrom na podlagi merjenja elektroforetske gibljivosti delca v električnem polju. Izražen je v milivoltih. Čim večji je torej zeta potencial, tem bolj je koloidna raztopina stabilna in večje so odbojne sile med koloidi.



Slika 2: Zeta potencial (Vir: prirejeno po Waterworld, 2015)

Ko v vodo dodamo koagulant, se zeta potencial zmanjša. Zeta potencial moramo zmanjšati do meje, ki nastopi, ko so odbojne sile manjše od medsebojnih privlačnih sil (van der Waalsove sile). Delci se takrat začnejo združevati. Van der Waalsove sile so neusmerjene in delujejo na kratke razdalje ter niso odvisne od temperature (Roš, 2005).

Koagulacija je eden glavnih procesov pri konvencionalnem čiščenju vode, saj je od nje odvisna učinkovitost nadaljnjih procesov čiščenja, tako sedimentacije kot filtracije. Uporablja se tudi kot predčiščenje pri novejših membranskih postopkih filtracije.

Glede na vrsto onesnaženja se koagulacija lahko izvede z:

1. oksidacijo, kadar so v vodi prisotne raztopljene anorganske snovi (Fe, Mn);
2. biokemijsko oksidacijo, kadar so v vodi prisotne organske raztopljene snovi. Proces oksidacije poteka s pomočjo mikroorganizmov (bakterij), ki jim je oksidacija organskih snovi vir življenjske energije;
3. elektrolitsko nevtralizacijo koloidnih delcev, kadar imamo koloidno suspenzijo. Koloidni delci so negativno nabiti, med seboj se odbijajo in zato ne usedajo. Z dodajanjem koagulantov se električno nevtralizirajo. Koagulant je običajno kovinski ion, npr. Al^{3+} , Fe^{3+} . Snovi, ki povzročijo proces kosmičenja, pa niso prosti kovinski ioni, temveč substance, ki so produkt hidrolize.

Proces koagulacije je odvisen od:

- pH vode,
- temperature vode,
- električne nabitosti koloidnih delcev (to je odvisno od pH-vrednosti in količine ionov v vodi),
- vrste in velikosti koloidnih delcev,
- vrste in ustrezne koncentracije koagulantov,
- kontaktnega časa,
- gradienta hitrosti vode pri doziranju in mešanju koagulantov (Rismal, 1995).

Našteti parametri vplivajo na hitrost tvorjenja kosmov oziroma kasneje pri flokulaciji flokul. Potrebna količina koagulantov narašča s količino suspendiranih koloidnih snovi. Z dodajanjem specialnih organskih polimernih koagulantov pomagamo, da se zelo majhne flokule povežejo v večje delce, ki nato lažje sedimentirajo.

3.1.1 Koagulanti

Koagulanti so sredstva, ki znižujejo naboj koloidnim delcem. Lahko so v trdnem ali tekočem agregatnem stanju. V proces čiščenja se jih dozira s suhimi ali mokrimi dozatorji. Vse koagulate, naj se jih dozira s suhimi ali mokrimi dozatorji, se mora pred doziranjem v surovo vodo raztopiti. Naprave za doziranje morajo zagotavljati potreben vnos kemikalij tudi v ekstremnih pogojih.

Kot koagulant je možno uporabljati spojine na bazi kovinskih ionov ali polielektrolite. Najbolj pogosto uporabljen je aluminijev sulfat $[(Al_2(SO_4))_3 \cdot 18H_2O]$ in za njim železov klorid $[FeCl_3]$. Polielektroliti se ne uporabljajo kot primarni koagulanti, temveč se jih v malih količinah uporablja predvsem kot pospeševalce flokulacije. Prednost železovega klorida je manjša strupenost železa v primerjavi z

aluminijem. Poleg tega je z okoljevarstvenega vidika bolje, če se uporablja klorid namesto sulfata. Zaradi sivkaste barve aluminijevih flokul se prisotnost slednjih lažje prikrije kot prisotnost železovih rjavih flokul, ki so bolj vidne. Prav indikacija rjavih delcev je lahko ena izmed identifikacij za premalo učinkovito odstranjevanje delcev, kar je zelo koristna pomoč pri zagotavljanju zahtev standarda HACCP (Hazard Analysis and Critical Control Points) (Horvat, 2007).

Koagulant, ki se uporabljajo v čiščenju pitnih voda, so najpogostejše aluminijeve in železove spojine:

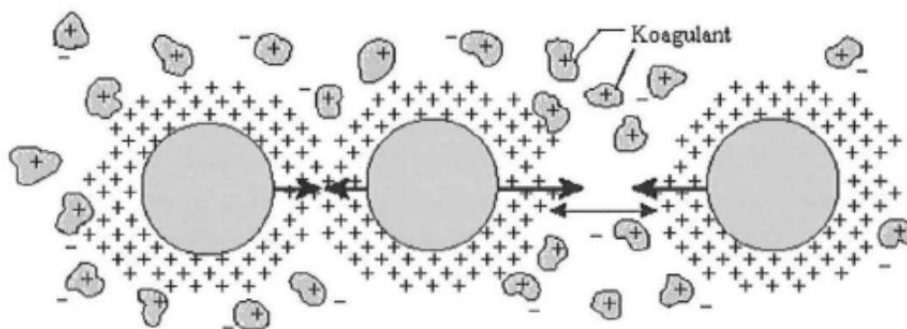
Al:	Aluminijev sulfat	$\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$
	Natrijev aluminat	NaAlO_2
Fe:	Feriklorid ali železov (III) klorid	$\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$
	Ferisulfat ali železov (III) sulfat	$\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$
	Ferosulfat ali železov (II) sulfat	$\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ (poznani tudi kot zelena galica)
	Klorirana zelena galica	$2\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 + 2\text{FeCl}_3$

Med koagulacijo se lahko dodaja tudi aktivno oglje v prahu, ki adsorbira organske spojine in nekatere pesticide. Iz vode se nato odstrani s pomočjo flokulacije pri sedimentaciji ali na filtrih.

Pri stiku suspendiranih in koloidnih delcev z nabitimi kovinskimi kationi (Fe^{3+} , Al^{3+}) pride do nevtralizacije naboja in nastanka flokul. Skupaj z nastalimi flokulami izpadejo iz odpadne vode tudi suspendirani in koloidni delci. Nastale flokule se odstranijo iz odpadne vode s pomočjo sedimentacije, flotacije ali filtracije. Delovanje koagulantov je prikazano na sliki 3.

Za uspešen potek koagulacije je potreben usposobljen in izkušen upravljavec z ustrezno opremo. Optimalna koncentracija koagulanta je najpomembnejši faktor za zagotavljanje dobrega odstranjevanja bakterij, spor, virusov in praživali s sedimentacijo in filtracijo. Nepopolna koagulacija ali flokulacija sta bili vzrok za nekatere izbruhe hidričnih bolezni, kot na primer izbruh kriptosporidioze leta 1987 v ameriškem Carrolltonu. Pri upravljanju se lahko na več načinov vpliva na učinkovitost čiščenja. Slaba učinkovitost čiščenja je lahko posledica:

- spreminjanja pretoka skozi ČN,
- neprimerne doze,
- slabe kontrole postopka z nezadostnim monitoringom,
- razpadanja že formiranih flokul,
- nepravilnega in nezadostnega mešanja koagulanta,
- nepravilnega odstranjevanja biološkega blata (Ravnikar, 2004).



Slika 3: Delovanje koagulanta (Hammer, M. Jr., Hammer, M., 2004)

3.1.2 Jar test

Jar test je laboratorijski test, s katerim simuliramo koagulacijo in pri tem poskušamo določiti najbolj učinkovit koagulant in njegovo optimalno koncentracijo ter čas koagulacije. Za opravljanje testa se uporablja posebna mešalna naprava, ki je prikazana na sliki 4.

Jar test poteka v več stopnjah:

- v napravo namestimo šest čaš vode,
- v vodo s pipeto dodamo različne koncentracije koagulanta,
- vzorce premešamo z veliko hitrostjo, da se ustvari potreben stik med delci – nevtralizacija (2 min z 100 obrati/min),
- sledi počasno mešanje vzorcev, da se tvorijo flokule (20 min z 20 obrati/min).

Po končanem mešanju opazujemo začetek tvorjenja flokul, velikost flokul in hitrost usedanja nastalih flokul, saj je optimalna količina koagulanta tista, ki ima največjo hitrost posedanja, kar pomeni, da se voda najhitreje zbistri.



Slika 4: Mešalna naprava (Vir: Vimaroni, 2015)

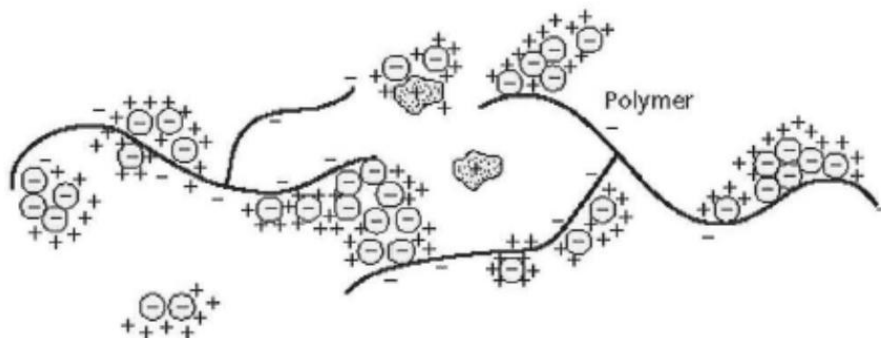
3.2 Flokulacija

Flokulacija je fizikalno-kemijski proces, pri katerem gre za tvorjenje aglomeratov zaradi približevanj in trkov med gibajočimi se, v fazi koagulacije destabiliziranimi, koloidnimi delci. Po končani koagulaciji, ko se zeta potencial dovolj zmanjša, se delčki začnejo združevati in se povečajo v koloidne kristale. Tej vrsti flokulacije pravimo perikinetična in je odvisna predvsem od temperature. Da bi se delci še bolj povečali, je potrebno počasno mešanje. Tej vrsti flokulacije pravimo ortokinetična flokulacija. Za uspešen potek flokulacije je potrebno določiti ustrezen hitrostni gradient. Večji je hitrostni gradient, hitreje poteka flokulacija, vendar pa se obenem povečuje tudi strižna sila. Če je G prevelik, se strižna sila tako poveča, da začne trgati oziroma zmanjševati nastale flokule. Torej se večje flokule lahko obdržijo le pri nižjih gradientih hitrosti, s tem pa se poveča čas flokulacije (Rismal, 1995).

Kot pomožno flokulacijsko sredstvo za dodatno zamreženje flokul pa se uporabljajo sintetični ali naravni organski polielektroliti (slika 5) z ioniziranimi funkcionalnimi skupinami, najpogosteje aluminijevi polimeri splošne formule $Al_p(OH)_q(Cl)_r(SO_4)_s$ (Roš, 2005).

Glede na njihov naboj jih ločimo na neionske, anionske in kationske.

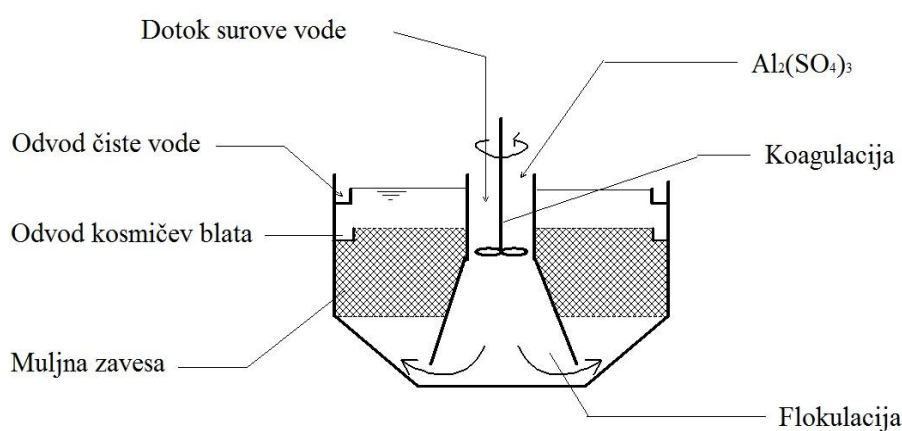
1. Neionski polielektroliti so poliakrilamidi. Veriga molekul je zelo dolga in ima zato sposobnost, da veže med seboj majhne delčke. Najbolje delujejo v kislem in alkalnem območju, zato se uporabljajo pri odstranjevanju anorganskih nečistoč in za čiščenje odpadnih vod pri tehnoloških procesih kemične industrije.
2. Anionski polielektroliti delujejo predvsem v nevtralnem in alkalnem območju. Uporabljajo se pri čiščenju komunalnih odpadnih vod ter odpadnih vod kemične industrije in papirnic.
3. Kationski polielektroliti so donatorji pozitivnih nabojev. Najbolje delujejo v nevtralnem in kislem območju. Najpomembnejši predstavniki so poliamini (Hammer, M. Jr., Hammer, M., 2004).



Slika 5: Primer polielektrolita (Hammer, M. Jr., Hammer, M., 2004)

Naprava, na kateri sta združena procesa koagulacije in flokulacije, se imenuje akcelerator (slika 6). Na vtoku se surovi vodi dodaja koagulant. Z mešanjem se pospeši postopek koagulacije – nevtralizacije koloidnih snovi. Sledi faza flokulacije – kosmičenja delcev. Voda se filtrira prek sloja kosmičev, ki so produkt flokulacije. Voda teče navzgor, kosmiči pa zaradi svoje teže padajo navzdol. Hitrost vode mora biti enaka hitrosti padanja kosmičev, tako da se formira zavesa kosmičev, ki ima vlogo filtracijskega sredstva. Ob straneh so jarki za odvod odvečnih kosmičev – blata. Ta način flokulacije in koagulacije pa ima določene zahteve, in sicer je potrebno zagotoviti:

- enakomerno hidravlično obremenitev,
- zadostno onesnaženost surove vode s suspendiranimi snovmi.



Slika 6: Shema akceleratorja (Vir: prirejeno po Rismal, 1995)

S koagulacijo in flokulacijo se odstranjuje:

- suspendirane in raztopljene snovi v širokem obsegu frakcij (motnost): ilovica, delci organskega izvora itd.,
- obarvanost; uspešnost je odvisna od snovi, ki je povzročitelj obarvanosti (obarvanost zaradi koloidnih snovi se lahko odstrani do 100 odstotkov, medtem ko je uspeh pri barvi, ki je posledica raztopljenih snovi, manjši),
- železo in mangan,
- fosfate,
- delno mikroorganizme,
- nekatere vrste radioaktivnih snovi (Rismal, 1995).

3.3 Sedimentacija

Procesu koagulacije in flokulacije sledi sedimentacija ali usedanje. To je proces, pri katerem se iz vode odstranjuje suspendirane snovi, ki so težje od vode. Voda vsebuje po procesu koagulacije in flokulacije suspenzije iz flokul $\text{Al}(\text{OH})_3$ in $\text{Fe}(\text{OH})_3$. Le-te vsebujejo adsorbirano vodo in na njih vezane lebdeče snovi. Hidratizirana $\text{Al}(\text{OH})_3$ in $\text{Fe}(\text{OH})_3$ imata gostoto 1,18 in 1,34 kg/l. Njihove flokule pa imajo gostoto le približno 1,002 kg/l, ker vsebujejo mnogo adsorbirane vode. Tako delci, težji od vode, tonejo proti dnu usedalnika, kjer se usedejo. Od tam se jih nato odstrani (posesa, postrga itd.) in odpelje na deponijo. Hitrost procesa je odvisna predvsem od teže in velikosti delcev, ki jih želimo iz vode odstraniti. Poleg velikosti in teže delcev pa na usedanje vpliva tudi temperatura oziroma viskoznost vode. Pri nižjih temperaturah, kjer je viskoznost vode večja, se delci usedajo počasneje kot v bolj topli vodi. To tudi pomeni, da morajo biti usedalniki pri nižjih temperaturah večji (Rismal, 1995).

Sedimentacija lahko poteka po naravni poti, s pomočjo težnosti, ki pripomore, da se manjši delci združujejo v večje, medtem ko tonejo. Takšni sedimentaciji pravimo tudi enostavna sedimentacija. Lahko pa sedimentacijo pospešimo, tako da vodi dodamo kemikalije – koagulate. V tem primeru se delci združujejo v kosme, ki se jim z globino povečuje hitrost usedanja. Hitrost usedanja se poveča zaradi manjše zunanje površine kosmov – manjši upor trenja in manjše prečne površine – manjši upor oblike. Enostavna sedimentacija ne zadošča za pripravo pitne vode. Uporablja se za razbremenitev naslednjih faz čiščenja, predvsem eliminacije suspendiranih usedljivih snovi. Iz tega razloga je sedimentacija nepogrešljiva pri čiščenju površinskih voda, ki vsebujejo večje količine usedljivih suspendiranih snovi. Pri tem velja opozoriti, da površinske vode v naših krajih običajno ne vsebujejo toliko usedljivih suspendiranih snovi, da bi opravičevale uporabo enostavne sedimentacije. Po sedimentaciji se voda filtrira. Hitri filtri sprejmejo vodo s količino suspenzij med 30 do 50 mg/l, počasni filtri pa med 5 do 10 mg/l. Ko surova voda presega navedene količine suspenzij, je uvedba sedimentacije pred filtracijo upravičena in potrebna (Rismal, 1995).

Sedimentacija poteka v posebej za to narejenih bazenih, ki jim pravimo usedalniki. Glede na njihovo obliko in princip delovanja poznamo različne izvedbe usedalnikov. Po načinu delovanja jih delimo na horizontalne, lamelne in kontaktne usedalnike. Kriteriji, ki se uporabljajo pri dimenzioniranju usedalnikov, so zadrževalni čas, površinska obremenitev in horizontalna hitrost pri pravokotnih usedalnikih.

3.3.1 Horizontalni usedalniki

Poznamo dve vrsti horizontalnih usedalnikov (usedalniki s horizontalnim tokom vode), in sicer horizontalne pravokotne in horizontalne krožne usedalnike. Prikazani so na sliki 7. V vodovodni praksi se večinoma uporabljajo pravokotni usedalniki. Površinska obremenitev usedalnika je določena kot vertikalna hitrost z enačbo 2:

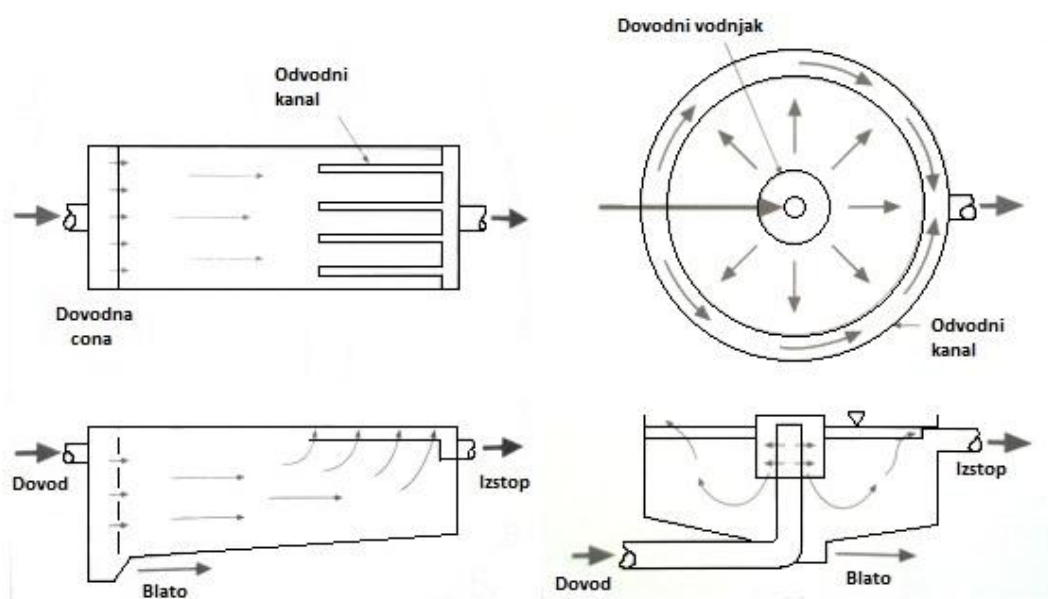
$$v_0 = \frac{Q}{S}, \quad (2)$$

kjer je:

Q	pretok skozi usedalnik [m ³ /h],
S	površina vodne gladine usedalnika [m ²],
v_0	hitrost usedanja [m ³ /dan].

Hitrost usedanja v_0 ali površinsko obremenitev usedalnika določimo po Stockesovem zakonu ali na osnovi eksperimentalne analize sedimentacijskih hitrosti. Horizontalne usedalnike za pripravo pitnih voda dimenzioniramo na osnovi naslednjih elementov:

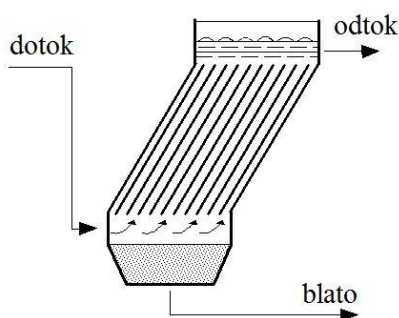
- globina usedalnika 4–7 m, povprečno 5 m,
- čas zadrževanja 2–6 h,
- površinska obremenitev $v_0 = 0,75\text{--}2,5$ m/h (Rismal, 1995).



Slika 7: Pravokotni in krožni horizontalni usedalnik (Vir: prirejeno po Hammer, M. Jr., Hammer, M., 2004)

3.3.2 Lamelni usedalniki

Usedalnik deluje tako, da zmanjšuje vertikalno pot, ki jo mora delec opraviti, preden se dotakne dna usedalnika in se tako izloči iz vode. Lamelle morajo biti nagnjene za takšen kot, da je iz njih omogočeno samodejno polzenje delcev. Na takšen način je zagotovljeno samodejno čiščenje lamel. Ročno ali strojno odstranjevanje usedlin je potrebno samo z dna. Glede na smer toka skozi lamelle poznamo usedalnike z usedanjem proti toku (slika 8), v smeri toka in prečno na smer toka. Zaradi praktičnih problemov čiščenja usedlin lamelni usedalniki s horizontalnimi ploščami ne pridejo v poštev (Rismal, 1995).



Slika 8: Lamelni usedalnik z usedanjem proti toku (Rismal, 1995)

3.3.3 Kontaktni usedalniki

Pri tej vrsti usedalnikov potekajo vsi trije procesi čiščenja skupaj. Torej gre za intenzivno mešanje s koagulacijo, flokulacijo in sedimentacijo v isti posodi. Kontaktni usedalniki se bistveno razlikujejo od horizontalnih v tem, da se voda filtrira skozi zaveso lebdečih kosmov. Učinek te filtracije je toliko večji, kolikor večja je razlika sedimentacijskih hitrosti posameznih delcev. Ločimo tri osnovne tipe kontaktnih usedalnikov: precipitator, akcelator in pulzator (Rismal, 1995).

3.4 Filtracija na zrnavih filtrih

Filtracija na zrnavih filtrih je eden od procesov klasične priprave pitne vode. Je fizični in kemični proces odstranjevanja suspendiranih in koloidnih primesi iz vode s pronicanjem skozi porozen filtrni medij. Pri tem se zmanjša število bakterij, spremenijo pa se tudi fizikalno-kemijske lastnosti vode. Materiali, ki se uporabljajo za filtriranje, so: pesek, antracit, zdrobljeno steklo, žlindrini ugaski, kalcijevi in magnezijeve karbonati, aktivno oglje in podobni materiali, katerim se med samim procesom filtracije praviloma ne spreminjajo lastnosti ter dimenzije.

Pri filtraciji poteka istočasno več procesov čiščenja vode. Najpomembnejši med njimi so:

1. Mehansko precejanje

V mehanskem precejanju, ki poteka v površinski krovni plasti, se iz vode odstranijo delci, ki so večji od vmesnih prostorov med zrni filtra. Pore filtra se s časom zapolnijo in tako povečajo precejalni učinek.

2. Sedimentacija in adsorbcija

Sedimentacijski efekt omogočajo prosti prostori med filtrskimi zrni, ki delujejo kot majhni usedalniki, v katerih se suspendirana snov useda na površine filtrskih zrn. Na efekt sedimentacije ugodno vplivajo tudi adsorpcijski procesi oziroma aderenza suspendiranih snovi k filtrskemu materialu. Adherenco povečuje privlačna sila med suspendiranimi delci in filtrskim materialom. S sedimentacijo in adsorbcijo se iz vode izločajo koloidne snovi, manjše suspendirane frakcije in bakterije.

3. Kemično-elektrolitski vplivi

So posledica stikov električno nasprotno nabitih ionov. Električne napetosti se pri tem nevtralizirajo ali spremenijo tako, da nastanejo nove kemične substance.

4. Biološka aktivnost

Omogočajo jo mikroorganizmi, živeči v in na filtrski masi. Ti zaradi svojega metabolizma povzročajo biološke in v končni fazi tudi kemijske in fizikalne spremembe. Biološki učinek je odvisen od temperature in sestave surove vode ter predvsem od časa. Daljši je čas, boljši so biološki efekti čiščenja (Rismal, 1995).

V splošnem velja, da spada filtracija na zrnavih filtrih med globinske filtracije, torej da filtracija poteka v notranjosti filtrirnega materiala. Čeprav gre že skoraj za starodavno tehnologijo, pa je filtracija z uporabo zrnavih – peščenih filtrov še vedno najbolj razširjena tehnologija za pripravo pitne vode.

Glede na način delovanja poznamo več različnih tipov filtrov. Po vrsti pretoka vode ločimo filtre na gravitacijske, tlačne in filtre s tokom vode od spodaj navzgor. Glede na hitrost precejanja so filtri lahko počasni ali pa hitri. Po številu filtrnih plasti pa poznamo eno-, dvo- in troslojne filtre.

3.4.1 Hitri filtri

Pri filtraciji na hitrih filtrih prevladujejo električni in fizikalni procesi pred biološkimi, saj filtri nimajo baktericidnega učinka. S predčiščenjem površinske vode lahko dosežemo visoke čistilne učinke. Delimo jih na odprte (gravitacijske) in zaprte (tlačne). Pri hitrih filtrih sta kakovost filtrirane vode in čas obratovanja odvisna od lastnosti surove vode, hitrosti filtracije in sestave filtrskih plasti. Najboljši

učinek čiščenja je v finih peskih. Ti omogočajo učinkovito precejanje vode in velike kontaktne površine. Večina nesnage ostane v krovni plasti, tako da je dober učinek dosežen že pri majhni debelini filtra. Koeficient prepustnosti je majhen in se s časom trajanja filtracije zaradi zmanjševanja učinkovite poroznosti še manjša. Hidravlični upori takšnih filtrov so že v začetku filtracije veliki in s časom še naraščajo. Zato je potrebno pogosto izpiranje filtrov. Čas filtracije med dvema pranjem filtra je možno povečati z zmanjšanjem filtracijskih hitrosti, kar pa zahteva večje površine filtrov za predelavo enakih količin vode.

Čistilni učinek filtracije v hitrih filtrih je odvisen od:

- povprečne in maksimalne dopustne filtrske hitrosti,
- debeline in granulometrijske sestave filtrske mase,
- maksimalnih dopustnih hidravličnih uporov,
- dolžine filtrskega ciklusa,
- potrebne gladine vode nad površino filtra,
- globine penetracije nesnage v filtrsko maso,
- konstrukcije dna filtra (Rismal, 1995).

Za pravilen in racionalen postopek filtracije je potrebno poznavanje razmerij med zrnastostjo, debelino filtra in filtracijsko hitrostjo ter kakovostjo očiščene vode in dolžino filtracijskega ciklusa. Bolj grobi filtri imajo manjšo precejno sposobnost. S polnjenjem por se v zgornjih filtrskih plasteh večja filtracijska hitrost, ki deloma izpira odsedlo nesnago v spodnje plasti. Suspendirani in koloidni delci se najprej usedajo v zgornjih plasteh, nato pa vedno globlje, kar tudi povečuje hidravlične upore. Proces čiščenja se tako pomika v vedno globlje plasti. To zahteva večjo debelino filtrskega sloja, v katerem se deponira nesnaga, s tem pa se podaljša filtracijski cikel. S povečevanjem debeline filtrskega sloja grobozrnatih filtrov pa ni mogoče zadržati dovolj nečistoč, tako da te s časom dospejo v očiščeno vodo. Efekt filtracije je mogoče zmanjšati s finejšo zrnastostjo filtra, pri kateri so filtracijske hitrosti manjše. Bolj ekonomično od zmanjševanja velikosti zrn filtrskih plasti pa je predhodno čiščenje surove vode s sedimentacijo, filtracijo prek grobih filtrov ali kemično flokulacijo.

Filtrski materiali, ki se uporabljajo, so pesek, zdrobljen antracit, kremen, steklo, žilindri ugaski in razni drugi umetni materiali. Najprimernejši material je pesek, ker je najlažje dosegljiv in poceni, procesi filtracije pa dajejo dobre rezultate. V primeru da peska ni mogoče zadovoljivo izpirati, ga zamenjamo z zdrobljenim antracitom. Pri antracitu s povratnim izpiranjem dosežemo večjo ekspanzijo in s tem večji učinek pranja. Če pri procesu čiščenja prevladujejo elektrolitski učinki, je priporočena uporaba ostrorobih zrn.

Filtrski pesek morajo tvoriti pretežno obla, dobro obstojna zrna, brez primesi ilovice in ostalih organskih nesnag. Običajno se uporabljajo zrna z efektivnim premerom $d_e = 0,6$ mm. Koeficient enakomernosti $n = d_{60}/d_{10} = 1,2-1,3$. V tako granuliranem pesku je vpliv manjših zrn na prepustnost filtra zanemarljiv. Povprečna hitrost hitrih filtrov je 5 m/h, če upoštevamo srednjo dnevno porabo pitne vode. Iz varnostnih razlogov pa je potrebno zagotoviti hitrosti do 10 m/h (Rismal, 1995).

Debelina peščenega filtrskega sloja mora biti zadostna, da se prepreči prehitra penetracija onesnaženih snovi skozi filter. Globina penetracije je odvisna od kakovosti surove vode, časa filtracije, hitrosti filtracije, zrnivosti in maksimalnega razpoložljivega tlaka vode za kompenzacijo hidravličnih izgub. Penetracija je manjša pri bolj flokuliranih surovih vodah in večja pri vodah s prevladujočimi koloidnimi in raztopljenimi snovmi, kot so Fe, Mn in NH_3 . S predhodno kemično koagulacijo lahko dosežemo, da v peskih z nizkim faktorjem enakomernosti penetracija nesnage ni globlja od 0,1 do 0,15 m, potrebna debelina filtra pa manjša od 0,6 m. Pri filtrov brez predhodnega čiščenja je globina filtrskega sloja 0,8–1,2 m. Pri procesu defekalizacije pa so potrebne globine tudi 2 m in več (Rismal, 1995).

Drenažni sistem, ki leži pod filtrom, ima funkcijo zbiranja filtrirane vode in služi za enakomerno razporeditev zraka in vode med povratnim pranjem. Šobe, ki so pritrjene na cevi, morajo imeti tako majhne odprtine, da se onemogoči penetracija peska. Odprtine merijo 0,3–0,5 mm. Gostota šob ponavadi znaša 40 šob/m² in je odvisna od vrste uporabljenih šob (Rismal, 1995).

Hitre filtre čistimo s povratnim tokom vode. Ta mora biti dovolj močan, da ekspandira filtrski sloj in zagotovi zadostno medsebojno trenje filtrskih zrn. Običajno je efekt čiščenja takoj po povratnem izpiranju slabši, ker so pore filtrskega materiala prevelike, precejalna sposobnost pa premajhna, da bi zadržala dovolj nesnage. Čas med posameznimi pranja je odvisen od maksimalnih hidravličnih izgub ali pa kakovosti filtrirane vode. Čiščenje traja 30–45 min in se izvaja na 24–60 ur. Pri višjih temperaturah vode je ta čas omejen na 48 ur, zaradi pojava bakterij na filtru. Za pranje se uporablja že prečiščena voda. Če zadostnega medsebojnega trenja s povratnim tokom vode ne dosežemo, ga je potrebno povečati z mehanskimi mešali ali intenzivnim vpihovanjem zraka. Z izpiranjem z zrakom lahko zagotovimo zadostno medsebojno trenje peščenih zrn in bistveno zmanjšamo potrebne količine pralne vode, glede na količine, ki so potrebne, če se filtri izpirajo samo z vodo. Ekonomska presoja pokaže, da je v večini primerov smiselno pranje filtrov z mešanico vode in stisnjene zraka. Pri pranju samo z vodo se lahko zgodi, da porabimo za pranje do 20 odstotkov očiščene vode, pri istočasnem pranju z vodo in zrakom pa je količina pralne vode 5 odstotkov, lahko pa še manj (Rismal, 1995).

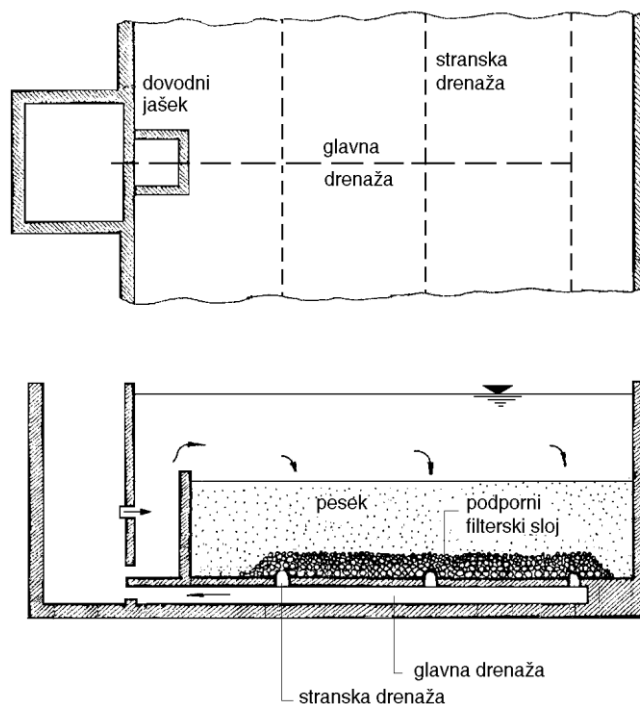
3.4.2 Počasni ali biološki filtri

Pri čiščenju na počasnih filtrih sta poudarjena procesa precejanje in biološka aktivnost. Filtriranje omogoča iz vode odstraniti koloidne snovi, suspenzije in snovi, ki spreminjajo okus in vonj vode. Počasni filtri uspešno odstranijo koliforme, ciste *Giardie*, oociste *Cryptosporidiuma*, viruse, oksidirajo amonijak in organske snovi ter zmanjšajo motnost vode pod 1 NTU (pri surovi vodi z motnostjo večjo od 10 NTU je potrebno predčiščenje). Tako postane sestava vode biološko in kemično boljša (Rismal, 1995).

Počasni filtri so nepogrešljivi pri pridobivanju vode iz slabših naravnih voda in so običajno tudi zadnja faza čiščenja po predhodni hitri filtraciji. Zagotavljajo veliko rezervo v pogledu čistilnega efekta in količin očiščene vode ter omogočajo lažje prilagajanje hitrim spremembam kakovosti surove vode, kar je pomembno s stališča varnosti in enostavnosti upravljanja. Njihova pomanjkljivost je, da zahtevajo velike površine, velike začetne investicije in večje število zaposlenih nizko kvalificiranih delavcev. Efekt čiščenja je odvisen od kakovosti surove vode, filtracijske hitrosti in sestave filtracijskega sloja. Temelji na precejevalnem učinku, adherenci k peščenim zrnom in biološko-kemičnih procesih mikroorganizmov. Odločilen vpliv na efekt čiščenja ima debelina filtrskih zrn. Učinek je večji pri finejših granulacijah peska (Rismal, 1995).

Pri počasnih filtrih se običajno uporablja fin pesek, ki mora biti dobro izpran in brez primesi blata in organskih snovi ter odporen proti mehanski obrabi. Efektivni premer zrna d_e znaša pri počasnem filtru od 0,15 do 0,40 mm, idealni koeficient enakomernosti materiala pa je od 1,7 do 2,0 ($n = d_{60}/d_{10}$). Običajna debelina filtrskega sloja je 0,6–0,75 m oziroma 1,0–1,25 m, če se čiščenje izvaja z odstranjevanjem krovne plasti. Peščena posteljica leži na nosilnem sloju iz večjih zrn, da se prepreči izpiranje filtrskega materiala. Pod nosilnim slojem je postavljen drenažni sistem za odvod filtrirane vode (Rismal, 1995).

Hitrost filtracije je med 0,1 in 0,4 m/h. Zaradi majhne hitrosti je čiščenje filtra potrebno šele po nekaj tednih ali mesecih. Če so hitrosti prevelike, pride do hitre zamašitve, lahko pa se hitrost filtracije poveča s predhodnim čiščenjem surove vode. Predčiščenje na usedalnikih, hitrih filtrih ali precejalnikih je potrebno za surovo vodo z več kot 10–15 mg/l suspenzij. Za zagotavljanje enakomerne hitrosti filtracije, mora biti gladina vode nad filtrsko plastjo dovolj visoka, da omogoča zadosten tlak, za premagovanje hidravličnih uporov, ki so pri čistem filtru majhni, s časom pa se povečujejo. Ko hidravlični upori dosežejo kritično mejo, je potrebno filter počistiti. Običajna gladina vode nad filtrom je 0,9–1,2 m (Hammer, M. Jr., Hammer, M., 2004). Shema počasnega peščenega filtra je prikazana na sliki 9.



Slika 9: Poenostavljena shema počasnega peščenega filtra (Rismal, 2005)

3.4.3 Zaprti – tlačni filtri

Med hitre filtre uvrščamo tudi tlačne filtre, ki so po sestavi filtrne plasti podobni odprtim gravitacijskim filtrom, le da se nahajajo v jeklenih tlačnih posodah. Vodo skozi filter poganja črpalka, ki ustvarja potrebni tlak. So cilindrične oblike, postavljeni so lahko vertikalno ali pa horizontalno. Posode so do vrha napolnjene z vodo, na najvišji točki pa je nameščen zračni ventil. Hitrost filtracije je odvisna od razlike tlakov na obeh straneh filtra. Če torej želimo povečati hitrost filtracije, moramo povečati tlačno razliko oziroma povečati tlak na dotočni strani. Pri odprtih filtrih (proti atmosferi) bi morali povišati višino filtra. To je drago in nepraktično. Zato si pomagamo z zaprtimi – tlačnimi filtri, v katerih lahko s črpalkami ustvarimo potrebni delovni tlak. Prednost tlačnih filtrov je, da se v ceveh ohranja pritisk. Njihova slabost je, da med njihovim delovanjem in v času povratnega pranja ne moremo neposredno opazovati, v kakšnem stanju je filtrni material, zato mora imeti filter na sprednji strani nameščeno posodo, v kateri lahko opazujemo vodo iz povratnega pranja. Če se v tej posodi pojavi pesek, moramo zmanjšati hitrost povratnega pranja.

Čas med povratnim pranjem se lahko določi iz izgube tlaka ali pa glede na motnost filtrirane vode. Jeklene posode tlačnih filtrov moramo dobro vzdrževati, da preprečimo korozijo, tako na zunanji kot na notranji strani posode. Korozijo povzroča nabiranje kondenzacije na zunanji strani jeklene posode.

Tlačni filtri se uporabljajo predvsem v manjših sistemih in se lahko priključijo neposredno na tlačni cevovod, saj tlačne izgube zaradi filtra niso prevelike. Uporabljajo se tudi pri odstranjevanju železa in mangana, predvsem pri čiščenju podtalnice.

3.5 Adsorpcija

Adsorpcija je po definiciji fizikalni proces zgoščevanja plinastih ali raztopljenih snovi na površini trdnih snovi. Snov, ki se koncentrira na drugo snov, se adsorbira. To snov imenujemo adsorbat. Adsorbcijski material imenujemo adsorbent. Z uporabo površinsko aktivnih snovi je iz vode možno odstraniti veliko manjše delce kot z običajnimi filtrnimi mediji. Površinsko aktivni materiali odstranjujejo iz vode tudi razne raztopljene organske nečistoče, kot na primer ostanke pesticidov. Pri filtraciji z adsorbcijskim materialom se nečistoče vežejo na površino filtrnega medija na podlagi molekularnih Van der Waalsovih privlačnostnih sil in le delno na podlagi sejalnega efekta.

Med najbolj poznane površinsko aktivne materiali spadajo:

- aktivno oglje,
- diatomejska zemlja,
- azbest,
- razni tipi polisilicijevih kislin.

Zaradi odličnih filtracijskih sposobnosti se površinsko aktivni filtri zelo pogosto uporabljajo za filtracijo pitne vode. Njihova uporaba bi bila še večja, če bi bili cenejši in ne bi imeli omejenega roka uporabe. Ko se zasičijo z nečistočami, izgubijo adsorbcijske sposobnosti. Zaradi velike aktivne površine lahko postanejo po nasičenju tudi onesnaževalci vode. Posebno pomembno je to pri tistih filtrih, kjer gre za občasno uporabo in male pretoke, saj lahko postanejo gojišče bakterij (Drev, 2009).

Z adsorbcijo lahko odstranjemo:

- snovi, ki povzročajo vonj in okus,
- trihalometane,
- pesticide,
- mineralna olja,
- fluor,
- fenole,
- detergente,
- sintetične organske kemikalije,

- delno mikroorganizme,
- naravno organsko snov, s tem se preprečuje kasnejše nastajanje stranskih produktov dezinfekcije,
- ozon (Drev, 2009).

3.5.1 Aktivno oglje

Zaradi svoje velike specifične površine (600–1200 m²/g) in sprejemljive cene je pri čiščenju pitne vode aktivno oglje najbolj razširjeno adsorpcijsko sredstvo. Pridobiva se ga s suho destilacijo premoga, kokosovih lupin, lesa ali šote. Pri segrevanju se brez prisotnosti zraka razvijajo plini, zato nastane porozna snov z veliko aktivno površino glede na volumen (Roš, 2005).

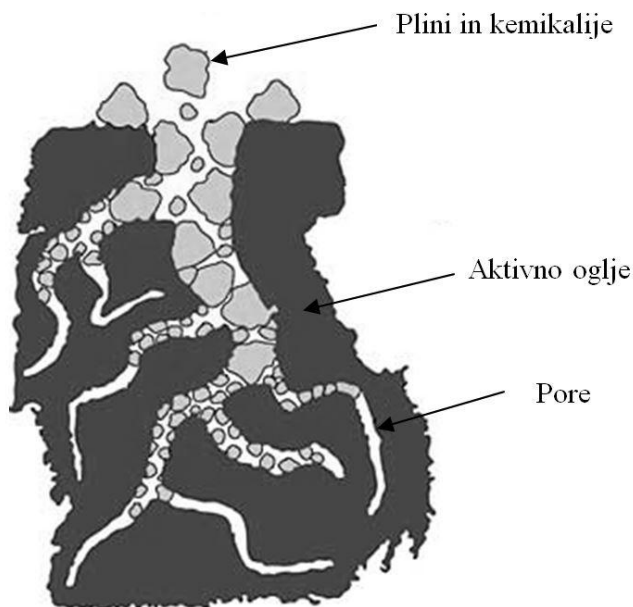
Z aktivnim ogljem lahko iz surove vode odstranimo škodljive produkte kemijske polucije. Posebno uspešno odstranjuje hlapne snovi, fluor, fenole, detergente pesticide in organske snovi, ki povzročajo težave z okusom in vonjem vode. Čeprav se na aktivnem oglju adsorbirajo praktično vse v vodi raztopljene organske snovi, se adsorpcija na aktivnem oglju uporablja predvsem za odstranjevanje organskih snovi, ki so nepolarne in imajo visoko molekulsko maso in jih z običajnimi filtri ne moremo odstraniti. Aktivno oglje se običajno uporablja za vode z nizko vsebnostjo nečistoč (manj kot 50–100 mg/l) (Roš, 2005). Prečni prerez aktivnega oglja je shematsko prikazan na sliki 10.

Filtri z aktivnim ogljem so po zasnovi podobni klasičnim hitrim gravitacijskim ali tlačnim filtrom. Namestimo jih za hitrimi gravitacijskimi filtri, ki odstranjujejo motnost vode, saj bi se v nasprotnem primeru, pri velikem vnosu organskih snovi, filtri prehitro mašili. Pri čiščenju površinske vode je treba filtre čistiti na dva do tri dni, saj se adsorbent zasiti z odstranjenim materialom in tako izgubi adsorpcijsko sposobnost. Če se filtra pravočasno ne očisti, lahko postane zaradi nasičenja tudi onesnaževalec vode, zato je redno pranje filtrov ključnega pomena. Pranje se izvaja na isti način kot pri peščenih filtrih, s povratnim tokom vode, ki se ji lahko doda tudi zrak. Uporaba klora pri pranju ni priporočljiva, saj lahko povzroča probleme. S povratnim pranjem se izpere le del odstranjenega materiala. Del pa se nalaga v pore adsorbenta in se ga le s povratnim pranjem ne da odstraniti. Po daljši uporabi se pore zapolnijo in adsorpcijski material je potrebno zamenjati z novim.

3.5.2 Aktivno oglje v kombinaciji z ozonom

Če vodo ozoniramo pred filtriranjem prek filtrov z aktivnim ogljem, s tem povečamo biološko aktivnost na aktivnem oglju. Voda je bogata s kisikom, kar omogoča dobre pogoje za razrast

mikroorganizmov. Podaljša se tudi življenjska doba oglja, saj ozon razgradi pesticide in organske snovi na manjše (manjša molekulska teža) oziroma lažje razgradljive snovi. Kombinacija ozona in filtracije prek aktivnega oglja je najbolj uspešna metoda za odstranjevanje pesticidov iz vode (Plohl, 2008).



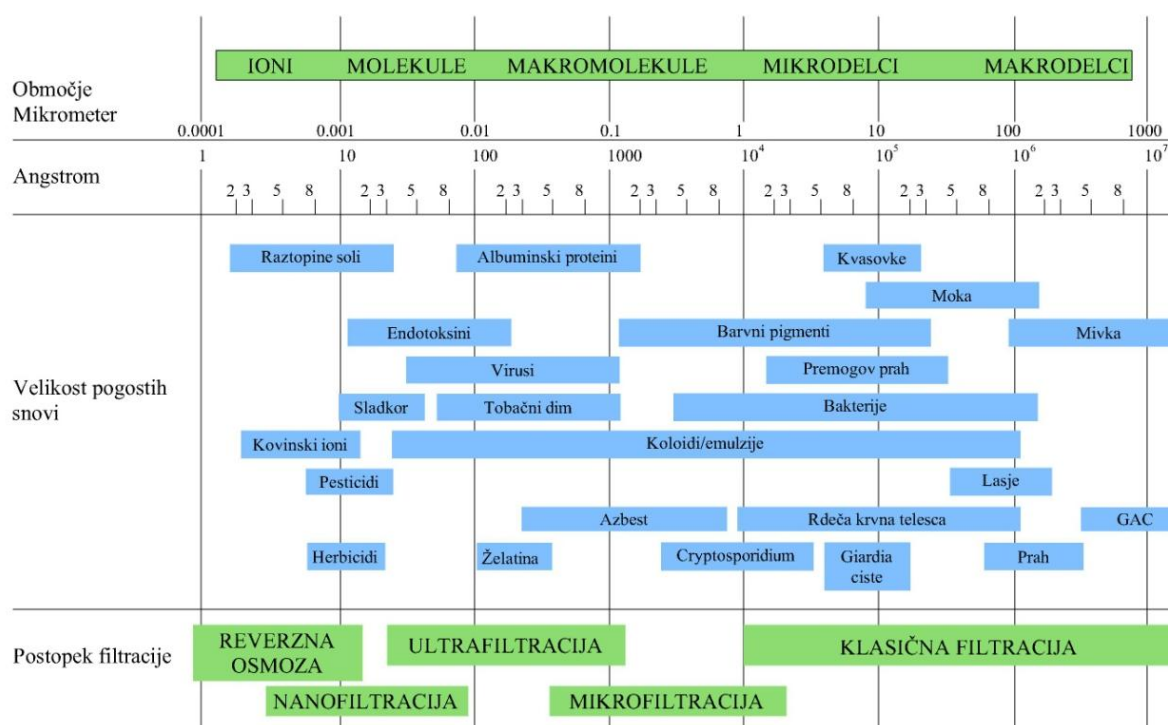
Slika 10: Aktivno oglje (Vir: prirejeno po Joe Jaworski's Weblog, 2015)

3.6 Membranska filtracija

V tem poglavju bomo opisali membranske tehnologije čiščenja pitne vode, ki veljajo za modernejše postopke pri čiščenju voda. Pri membranski tehnologiji ne gre več za globinsko filtracijo kot pri peščenih filtrih, ampak za ločevanje vode od nečistoč že na sami površini membrane. Že v preteklosti je obdelava vode dejansko potekala s pomočjo nekakšnih finih tkanin, ki so imele funkcijo membran. Čeprav je bila njihova tekstura še vedno relativno groba, jih lahko štejemo kot začetek nekakšne membranske filtracije. O definirani velikosti por pa se takrat še ni dalo govoriti. Z razvojem modernih umetnih materialov se je hitro okrepilo tudi področje raziskav na področju membranskega odstranjevanja nečistoč iz pitne vode. Moderne tehnologije za izdelavo membran iz umetnih materialov omogočajo izdelavo membran tanjših od 1 mm in so lahko celo semipermeabilne, torej prepuščajo le določene želeno oziroma neželene snovi. Tako dobimo na eni strani relativno čisto vodo, na drugi strani pa koncentrat nepermeabilnih snovi, ki niso mogle skozi membrano (IWA, 2014).

Membranske tehnologije se vedno pogosteje uporabljajo za pripravo pitne vode, tako iz površinskih kot iz kraških vodnih virov. Z njimi lahko pri pripravi pitne vode nadomestimo klasične postopke

čiščenja (koagulacijo, flokulacijo, sedimentacijo in filtracijo na zrnavih filtrih). Pri pitni vodi lahko uspešno odstranimo velik del majhnih trdnih delcev, prav tako pa tudi bakterije in mikroorganizme, zato lahko dosežemo tudi zadovoljivo mikrobiološko kakovost vode. Med najbolj uveljavljene membranske postopke za pripravo pitne vode štejemo mikrofiltracijo (MF), ultrafiltracijo (UF), nanofiltracijo (NF) in reverzno osmozo (RO). Med seboj se razlikujejo predvsem po velikosti por uporabljenih membran, zaradi česar še posebej učinkovito odstranjujejo nečistoče znotraj specifičnih območij, in obratovalnem tlaku. Velikost delcev in območja čiščenja posameznega postopka so prikazani na sliki 11.



Slika 11: Velikost delcev in območja čiščenja posameznega postopka (Vir: prirejeno po Trunz, 2015)

Gonilna sila, ki omogoča delovanje in prehod vode skozi membrane, je tlak ali vakuum, ki ga ustvarijo črpalke. Komponentam, ki jih membrana zadrži, pravimo retentat oziroma koncentrat, tistim, ki jih membrana prepušča, pa permeat oziroma filtrat.

Prednosti, ki jih imajo membranski procesi pred klasičnimi procesi:

- manjše zahteve po prostoru, membranska oprema zahteva 50 do 80 odstotkov manj prostora kot konvencionalna naprava,
- manjše zahteve po delu, saj so lahko popolnoma avtomatizirane,
- ne potrebujejo dodajanja kemikalij pri predčiščenju, kot na primer pri koagulaciji, saj delujejo na fizičnem odstranjevanju delcev,
- kakovost očiščene vode ni odvisna od kakovosti surove vode,

- pranje membran ne vpliva na nadaljnjo kakovost obdelane vode.

Slabosti membranskih procesov:

- nekatere membrane so termično in kemično manj obstojne,
- oteženo čiščenje in pogosto mašenje nekaterih membran, zato je čiščenje membran pogostejše kot pri peščenih filtrih,
- lahko zahtevajo predčiščenje, da bi preprečili zamašitev membran; predčiščenje zahteva večjo površino in celotne stroške,
- menjava membran, pretok vode skozi membrano se s časom postopno zmanjšuje.

3.6.1 Materiali membran

Na tržišču se pojavljajo membrane, ki se med seboj razlikujejo po vrsti materiala, iz katerega so izdelane, po strukturi, velikosti por ter drugih lastnostih, ki so vezane na temperaturo, pH, prepustnost itd.

Materiali, ki se uporabljajo za izdelavo membran, so:

- celulozni acetat (CA),
- keramika,
- kovinski materiali,
- porozno steklo,
- polimerni materiali; polisulfon (PSO), poliviniliden difluorid (PVDF), polipropilen (PP), poliakrilonitril (PAN), polietersulfon (PES) (EPA, 2005).

Celulozni acetat je material, ki se je za izdelavo membran uporabljal kot prvi. Za izdelavo membran se uporablja še danes v procesih RO, NF in UF. Njegova prednost je nizka cena, velja pa tudi za dober vodoprepusten material, ki ni tako zelo podvržen mašenju. Njegova slabost je kljub dodatkom, ki se dodajajo za izboljšanje njegovih fizikalno-kemijskih lastnosti, da je močno podvržen poškodbam, ki jih povzročajo mikroorganizmi, pH-vrednost in temperatura vode, ki je omejena na 35 °C. Polisulfon (PSO) se uporablja za membrane v procesih UF in MF. Te membrane so odporne na temperature do 120 °C ter različne pH-vrednosti, medtem ko so za odstranjevanje olj in maščob manj učinkovite. Membrane iz poliviniliden difluorida (PVDF) so prav tako odporne na visoke temperature do 95 °C, ogljikovodike in oksidacijo (Stopar, 2007).

Ranljivost celulozno-acetatnih membran je bila povod za razvoj kompozitnih oziroma tankoslojnih sestavljenih membran. Uporaba je bila sprva le za proces reverzne osmoze (razsoljevanje). Glavne prednosti kompozitnih membran so v visoki stopnji zavrnitve soli (do 99,5 %), visokih hitrostih

filtracije, odpornosti na visoke temperature (do 80 °C) ter neobčutljivosti na pH-vrednosti vode. Njihovo delovanje pa je slabše v pogojih, kjer prihaja do oksidacije, saj so v večini le do določenih koncentracij odporne na npr. klor, natrijev hipoklorit ali peroksid (Wagner, 2001). Večina kompozitnih membran (TFM) je izdelana iz dveh tankih plasti. Prva plast, ki je podporna in daje sestavljeni membrani oporo in trdnost, je nekoliko debelejša in bolj prepustna z velikostjo por do 100 µm. Običajno je iz polisulfona (PSO). Druga plast je nekoliko tanjša in manj prepustna z velikostjo por do 1 µm. Prilepljena je na prvo. Poleg dvoslojnih se izdelujejo tudi troslojne membrane. Sestava je podobna dvoslojnim membranam, z razliko, da sta, namesto ene, prilepljeni dve tanki plasti. Pri pripravi pitne vode so zaradi prevladujoče uporabe dvoslojnih potisnjene nekoliko v ozadje. Ker so bolj stabilne in manj dovzetne za mašenje, se pogosteje uporabljajo pri industrijskih procesih (Stopar, 2007).

Materiale, iz katerih so membrane, lahko uničimo z uporabo napačnih kemičnih sredstev, ki jih uporabljamo pri čiščenju membran ali pa so ostanek predpriprave surove vode, zato sta njihova maksimalna količina in vrsta kemičnega sredstva zelo pomembna pri čiščenju in jo običajno predpiše proizvajalec membran. Zaradi ugodne cene v primerjavi z ostalimi materiali je večina membran za proizvodnjo pitne vode izdelana iz polimernih materialov.

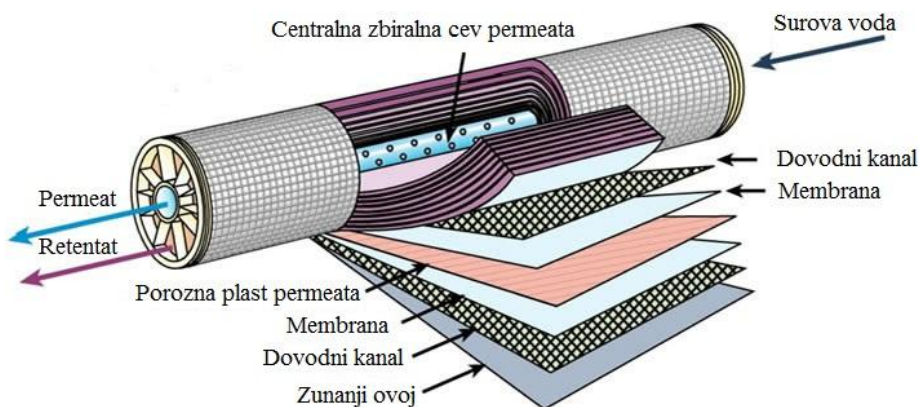
3.6.2 Struktura membran

Struktura vseh membran, ki se uporabljajo v procesih RO, NF, UF in MF, je asimetrična. Druga možna oblika strukture membran je simetrična. Značilna je npr. za kavne filtre. Pri simetrični strukturi ima membrana enake lastnosti na obeh straneh, kar pomeni, da je gostota in razporeditev por skozi prečni prerez enaka (homogena) oziroma enakomerno razporejena. Pri membranah z asimetrično strukturo pore niso enakomerno razporejene. Prav tako se razporeditev por ter gostota materiala skozi prečni prerez spreminjata. Struktura je na strani, ki je izpostavljena surovi vodi, bolj gosta in z manjšimi porami. Debelina te plasti je npr. pri ultrafiltraciji do 0,1 µm, medtem ko je debelina celotne asimetrične membrane od 150 do 250 µm. Večji del membrane je tako namenjen podpori zgornje tanke plasti. Večje pore in manj gosta struktura so torej pri asimetrični (heterogeni) membrani bolj odmaknjene od zgornje tanke plasti in s tem manj podvržene zamašitvam. Velikosti por se za različne procese membranske filtracije razlikujejo (Stopar, 2007).

3.6.3 Oblike membran

Glede na proces membranske filtracije so na tržišču različne oblike membran. Pri procesu mikrofiltracije in ultrafiltracije se najpogosteje uporabljajo filtri iz votlih vlaken (*angl. hollow fiber modules*), za procesa nanofiltracije in reverzne osmoze pa se uporabljajo spiralasti filtri oziroma moduli (*angl. spiral-wound modules*). Poleg omenjenih oblik pa so na voljo tudi filtri s finimi votlimi vlakni (*angl. hollow-fine-fiber modules*), cevni filtri (*angl. tubular modules*) in ploščni filtri (*angl. flat sheet system*) (Stopar, 2007).

Membrane s spiralnim navitjem pogosto delujejo po principu prečne filtracije (*angl. cross flow*). Tako v večini membranskih separacijskih procesov tlačna črpalka potiska vstopno raztopino vzdolž membranske površine s prečnim pretokom, namesto pravokotno na površino membrane. Prečna filtracija zmanjša nabiranje delcev na površini membrane z odnašanjem sloja delcev s površine.



Slika 12: Spiralno navitje membrane (Vir: prirejeno po Lixus, 2015)

Na sliki 12 je prikazan modul membrane za reverzno osmozo. Ta je sestavljen iz več membran, ki so med seboj ločene z vmesnimi permeatnimi plastmi in so skupaj ovite okrog centralne perforirane cevi. Membrane so zaradi svoje občutljivosti povezane v module. V enem modulu se lahko nahaja tudi več kot 10.000 cevčic. Dimenzije votlih cevčic so odvisne od proizvajalca. Okvirne vrednosti za zunanji premer znašajo od 0,5 do 2,0 mm, za notranji premer pa od 0,3 do 1,0 mm. Dolžina cevčic je od 1 do 2 m. Ponavadi so razporejene podolžno, na obeh straneh pomočene v smolo in zaprte v tlačno posodo. Praviloma so takšni moduli nameščeni vertikalno, lahko pa so uporabljeni tudi horizontalno.

3.6.4 Delovanje filtrov

Na načrtovanje in delovanje membranskih naprav (tlačno vodenih) vplivajo številni parametri, od katerih sta najbolj pomembna hitrost filtracije ter tlak skozi membrane. Hitrost filtracije je definirana

kot kvocient pretoka v eni uri in površine membran, tlak skozi membrane pa je definiran kot razlika tlakov pred membranami in za membranami.

Vplivne parametre lahko razdelimo v dve skupini, in sicer na parametre, ki so povezani z lastnostmi vode, kjer gre za vpliv kakovosti surove vode, njeno temperaturo, pH-vrednost ter karbonatno trdoto in parametre, ki so povezani z lastnostmi materialov, iz katerih so izdelane membrane. Na delovanje membran zelo vpliva kakovost surove vode. Pri bolj onesnaženih vodah, z visoko vsebnostjo suspendiranih snovi, je potrebno razmisliti o različnih postopkih predpriprave vode. S tem se izognemo kratkim obratovalnim ciklom, pogostemu mašenju in izpadom membran ter tudi veliki porabi dragih kemičnih sredstev za čiščenje membran. Pri bolj čistih vodah zadostuje že postavev samočistilnih mikro sit. V primeru, da so koncentracije onesnažil v surovi vodi višje od 200 mg/l, pa je potrebno razmisliti o bolj obsežni predpripravi, mehanski ali kemični (koagulacija, sedimentacija, filtracija), surove vode.

Pri delovanju filtrov ima vpliv tudi temperatura surove vode. Voda ima najvišjo viskoznost pri 0 °C z višanjem temperature pa viskoznost pada. Poglavitni vpliv temperature se torej kaže v spreminjanju viskoznosti in posledično v pretokih skozi filter. Pri enakem tlaku se z naraščanjem temperature pretoki povečujejo, s padanjem temperature pa zmanjšujejo oziroma je potrebno za konstanten pretok skozi membrano pri višji temperaturi vzdrževati nekoliko nižji tlak ter pri nižji temperaturi višji tlak. Omenjeni faktorji pa ne upoštevajo ostalih lastnosti, ki se tudi lahko spreminjajo s temperaturo. Med drugim spreminjanje koncentracij in lastnosti anorganskih, organskih in drugih snovi ter biološko aktivnost, ki povzroča slabše delovanje filtrov. Razen membran iz celuloznega acetata imajo ostale membrane velik razpon pH-vrednosti. V primeru odstopanj je potrebno vodo pred filtriranjem pripraviti, da ustreza alkalitetam, ki jih membrane prenesejo (Stopar, 2007). Materiali za membrane v odvisnosti od pH-vrednosti so prikazani v preglednici 3.

Preglednica 3: Materiali za membrane v odvisnosti od pH-vrednosti (Wagner, 2001).

Materiali za membrane	pH-vrednost
Celulozni acetat (CA)	4–7
Polisulfon (PSO)	1–14
Poliviniliden difluorid (PVDF)	0–12
Kompozitne membrane (TFM)	1–12*
Keramika	0–14

* Vrednost je podana pri sobni temperaturi. Pri višjih temperaturah je možen dokaj hiter razkroj membran.

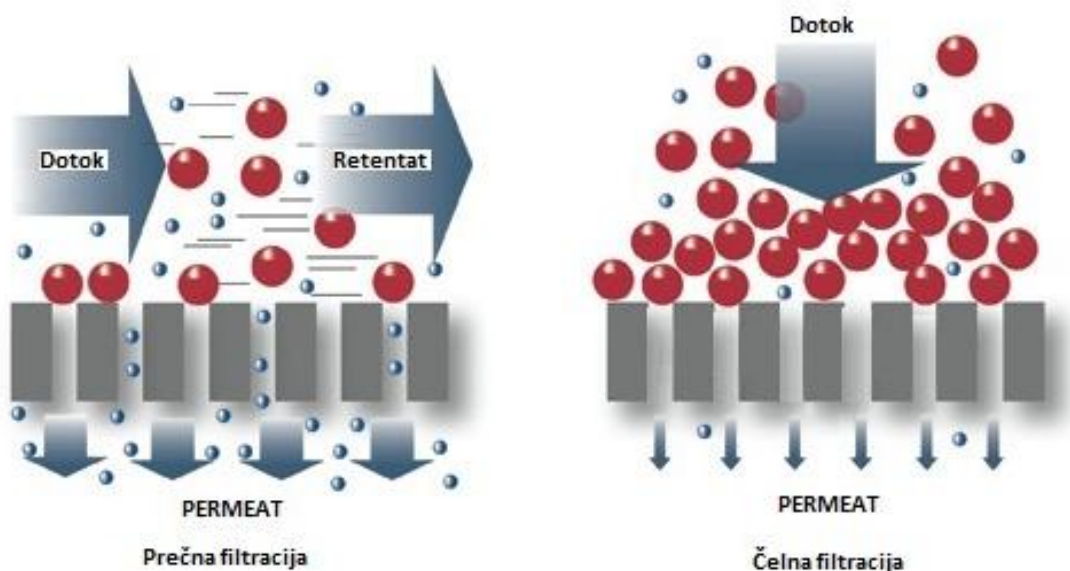
Na delovanje filtrov vpliva tudi karbonatna trdota vode. Odlaganje in izločanje kalcijevih in magnezijevih soli v obliki karbonatov oziroma bikarbonatov na površino membran povzroča tvorjenje oblog, kar posledično skrajšuje obratovalne cikle in povečuje potrebo po čiščenju (Stopar, 2007).

Material membran lahko močno vpliva na delovanje filtrov, saj nekatere vrste bakterij presnavljajo acetilne skupine ter za sabo pustijo poškodovano strukturo membrane, kar omogoča prehod mikroorganizmov in drugih onesnažil v očiščeno vodo. Izkoristek naprave je odvisen od nastavitve filtrov, lastnosti surove vode in lastnosti membran. Definiran je kot kvocient povprečnega pretoka permeata in povprečnega pretoka surove vode. Giblje se med 80 in 95 odstotki (Stopar, 2007).

3.6.5 Načini in vrste sistemov

Membranska filtracija je po načinu delovanja lahko tlačna ali podtlačna (vakuumska). Pri tlačnem sistemu črpalke ustvarjajo tlak, ki dovaja vodo v membranske module, kjer se voda nato filtrira skozi membrane. Pri podtlačnem sistemu pa so membranski moduli potopljeni v vodo. Moduli so na vrhu povezani s sesalnimi črpalkami, ki ustvarjajo vakuum. Pri sesanju vode skozi stene membran v njihovo sredino se voda filtrira. Podtlačni sistemi ne morejo delovati gravitacijsko.

Glede na smer toka ločimo prečno filtracijo (*angl. cross flow*) in čelno filtracijo (*angl. dead-end*) (slika 13). Pri prečni filtraciji napajalni tok teče vzporedno s površino membrane. Med membranami se ustvari turbulenten tok, ki omogoči precejanje vode ter hkratno čiščenje površine membran z odnašanjem delcev. Pri čelni filtraciji je napajalni tok pravokoten na površino membrane. Pri tem načinu se znotraj membran ustvari laminarni tok. Delci se odlagajo na površino membran, kjer se tvori plast onesnažil, ki se jo čisti s periodičnim povratnim pranjem in kemičnimi sredstvi.



Slika 13: Prikaz prečne in čelne filtracije (Vir: prirejeno po Spectrumlabs, 2015)

3.6.6 Čiščenje membran

Za zmanjšano učinkovitost delovanja filtrov je glavni razlog nabiranje oblog na površini membrane ter njihovo mašenje. Zamašitve v največji meri povzročajo organske snovi z usedanjem na površino membran ali s tem, da omogočajo razrast mikroorganizmov. Zaradi zamašitev se zmanjšuje pretok filtracije oziroma so za isti pretok skozi membrano potrebni večji obratovalni tlaki. Zamašitve povzročajo tudi nekateri delci, kot so ioni, koloidni delci in mikroorganizmi, ki se prebijejo v pore membran. Mašenju so bolj podvrženi moduli z votlimi vlakni v primerjavi s spiralastimi moduli.

Ko se učinkovitost filtracije zmanjša, je potrebno membrane očistiti. Čiščenje je odvisno od filtracijskega sistema. Pri prečni filtraciji je sistem načrtovan tako, da s kontinuiranim tokom vode skozi filter kar se da zmanjša možnost usedanja nesnage. Pri čelni filtraciji pa se usedline ne čistijo s pomočjo kontinuiranega toka vode, ampak jih je potrebno očistiti po končanem filtracijskem ciklu.

Membranske filtre je za razliko od tlačnih peščenih filtrov potrebno čistiti bolj pogosto. Intervali čiščenja membran so od 15 do 60 minut. Čiščenje traja od 30 sekund do 3 minut in je popolnoma avtomatizirano. Vključi se, ko razlika med vstopnim in izstopnim tlakom naraste do določene vrednosti ali pa preteče določen nastavljen čas filtracije. Za čiščenje membran se običajno uporablja prečiščena voda, nekateri sistemi pa uporabljajo mešanico vode in zraka.

Poleg čiščenja membran s povratno čistilno vodo pa se za čiščenje uporabljajo tudi kemična sredstva, ki odstranijo težje odstranljivo nesnago in jih z običajnim čiščenjem ne odstranimo. Čiščenje s kemičnimi sredstvi se izvaja na 1 do 6 mesecev za 2 do 24 ur, ko prepustnost membran pade pod kritično mejo. Izvaja se prav tako s povratnim tokom čistilnega sredstva. Najpogosteje uporabljeno čistilno sredstvo je citronska kislina in natrijev hipoklorit. Lahko pa se uporabljajo tudi različne kisline ali baze, detergenti za pranje, encimi in oksidacijske snovi, ki jih priporočajo proizvajalci membran. Učinek pranja se izboljša s segrevanjem čistilnega sredstva na 35–40 °C. S segrevanjem se skrajša tudi čas pranja. Način čiščenja predpiše proizvajalec membran, saj lahko napačno čiščenje membrane poškoduje. Tako se obdrži dobra prepustnost membran. V kolikor ni potrebno prej, je priporočljivo izvajanje kemičnega čiščenja na določen cikel (npr. 90 dni). Po zagotovilih nekaterih proizvajalcev se na takšen način podaljšuje življenjsko dobo membran (Horvat, 2007).

Običajna življenjska doba membran je 8 let, v primeru čiščenja manj onesnaženih surovih voda pa tudi 10 let. Membrane je nujno potrebno zamenjati v primeru poškodb, ko se filtracijske hitrosti toliko zmanjšajo, da ne omogočajo več učinkovitega čiščenja, in ko s čiščenjem oziroma po čiščenju ne dosežemo več zelenih rezultatov.

3.6.7 Membranski procesi

3.6.7.1 Mikrofiltracija

Mikrofiltracija je fizikalni proces, ki lahko iz vode odstrani delce velikosti med 5 in 0,05 μm . Obratovalni tlak, pod katerim se voda filtrira skozi membrane, znaša od 1 do 4 bar. Membranski moduli, ki se uporabljajo, so običajno cevni z votlimi vlakni, izdelani iz tankega polimernega filma z enotno velikostjo in visoko gostoto por. Z mikrofiltracijo se lahko odstrani večje koloidne delce, praživali in bakterije. Uspešno se odstrani mikroorganizme, ki so odporni na klor, še zlasti oociste *Cryptosporidium* in ciste *Giardia*, medtem ko virusov MF ne odstranjuje. Mikrofiltracija se uporablja tudi kot sterilna filtracija za pripravo čiste vode v elektronski, kemični, farmacevtski in prehrabni industriji. Vse pogosteje pa se uporablja tudi za domačo rabo v gospodinjstvu.

3.6.7.2 Ultrafiltracija

Proces ultrafiltracije je namenjen čiščenju podzemnih in zmerno motnih površinskih voda. Po delovanju je ultrafiltracija podobna mikrofiltraciji. Največja razlika med obema procesoma je v velikosti membranskih por, ki so pri ultrafiltraciji manjše, in v obratovalnem tlaku, ki je večji. Velikost por je med 0,05 in 0,01 μm , potreben obratovalni tlak pa od 1 do 10 bar. S procesom ultrafiltracije pri pripravi pitne vode se učinkovito odstrani suspendirane snovi (zmanjšanje motnosti) in mikroorganizme. Absolutno se lahko odstrani praživali, viruse, beljakovine in večje molekule. Zelo pomembno je, da z ultrafiltracijo lahko odstranimo ciste *Giardia* in oociste *Cryptosporidium*, ki so odporne na večino dezinfekcijskih sredstev. Ultrafiltracija zagotavlja konstantno kakovost permeata, ne glede na število mikroorganizmov in nivo motnosti surove vode.

V procesu ultrafiltracije se najpogosteje uporabljajo membrane z votlimi vlakni. Moduli opremljeni z votlimi vlakni lahko obratujejo na dva načina, in sicer v načinu od znotraj navzven ali v načinu od zunaj navznoter. Pri načinu od znotraj navzven surova voda vstopa v notranjost vlakna ter se radialno filtrira skozi steno membrane na zunanjo površino vlakna. Nato po zunanji strani vlaken odteče v sredinsko cev in dalje v bazen z očiščeno vodo. Pri načinu od zunaj navznoter (vakuumsko vodeni način) pa surova voda vstopa v modul na zunanji površini vlaken ter se filtrira skozi steno v notranjost vlakna, kjer se zbere in odteče v bazen z očiščeno vodo. Delovanje ultrafiltracijskih naprav je popolnoma avtomatizirano. Zasnovane so tako, da delujejo na konstantnih pretokih skozi membrane. Obratovalni tlak se nenehno zvišuje do meje, kjer je potrebna zaustavitev obratovalnega cikla in začetek čiščenja membran (Stopar, 2007).

Čiščenje membranskih filtrov poteka s povratno čistilno vodo pod tlakom, ki se giblje od 1 do 3 barov. Običajno se pred UF postavijo predfiltri, ki ščitijo membrane pred večjimi delci. S predfiltracijo se podaljša obratovalni čas UF-membran in se jih zaščiti pred poškodbami. Običajne velikosti por predfiltrov se gibljejo med 50 in 500 μm .

Zaradi varnosti ultrafiltracijo načrtujemo v dveh enakih vzporednih linijah. Na vsaki liniji je priklopljenih več membranskih modulov. Dve neodvisno delujoči liniji zagotavljata:

- bolj stabilno delovanje celotne naprave,
- izmenično povratno spiranje in vzdrževalno čiščenje,
- možnost dela s spreminjajočim pretokom, če je potrebno,
- nadzor ter vzdrževanje brez ustavljanja proizvodnje pitne vode (Čerič, 2006).

Z dodajanjem adsorbenta v vodo pred UF izboljšamo odstranjevanje raztopljenih organske snovi, stranskih produktov dezinfekcije, barve, vonja, okusa, sintetičnih spojin in pesticidov. Kot adsorbente se uporablja aktivno oglje v prahu ali železov oksid.

3.6.7.3 Nanofiltracija

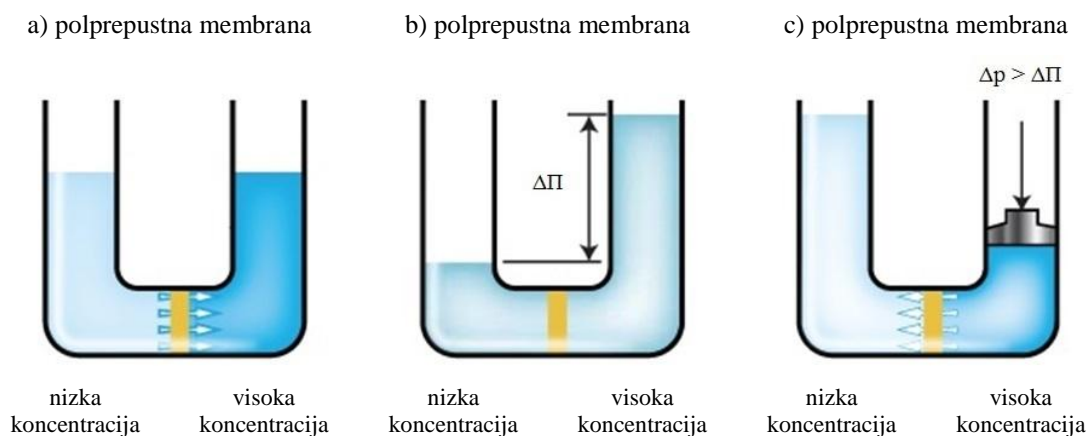
Nanofiltracija se uporablja za odstranjevanje razmeroma velikih raztopljenih molekul, virusov in širok spekter soli. Pogosto se uporablja za mehčanje vode, saj odstranjuje večvalentne ione, ki povzročajo trdoto vode. Velikosti membranskih por pri nanofiltraciji znašajo od 0,01 do 0,001 μm . Nanofiltracijske membrane z razmeroma odprtimi porami brez dodajanja koagulanta zelo dobro zadržijo velike raztopljene molekule, kot so humini in nekateri pesticidi ali herbicidi. Manj zadržijo dvovalentne ione kalcija in magnezija, ne zadržijo pa enovalentnih ionov natrija in klorida v morski vodi.

Nanofiltracijo imenujemo tudi nizkotlačna reverzna osmoza, saj deluje na podoben način kot RO, le pri nižjih obratovalnih tlakih, ki se gibljejo od 5 do 35 barov. Nanofiltracijski proces je postopek cikličnega čiščenja vode, kjer se izmenjujeta cikel filtracije in cikel čiščenja membran, kar je odvisno od kakovosti vstopne vode. V času pranja ene NF-enote pade pretok filtrirane vode za polovico. Za zaščito NF-membran je na vstopnem delu vgrajen kontinuirano delujoč samoizpirni mehanski zaščitni filter za odstranjevanje snovi večjih od 100 μm . Konvencionalno odstranjevanje pesticidov z aktivnim ogljem je zaradi njegovega omejenega delovanja začela izpodrivati nanofiltracija, ki poleg pesticidov odstranjuje tudi trdoto vode, raztopljene organske snovi, barve, soli, sulfate, težke kovine in iz vode odstrani mikroorganizme ter njihove razvojne oblike.

3.6.7.4 Reverzna osmoza

Reverzna osmoza je tlačno voden separacijski proces za odstranjevanje topljenca (soli in drugih raztopljenih snovi) iz raztopine. Uporablja se za odstranitev vseh vrst ionov in ima med membranskimi procesi najmanjše velikosti por na membrani. Velikosti por pri reverzni osmozi so med 0,001 in 0,0001 μm , tako da po prehodu skozi takšno membrano dejansko dobimo le čisto vodo. Zaradi majhnosti por pa reverzna osmoza iz vode poleg vseh bakterij in virusov odstrani tudi vse minerale prisotne v vodi. Reverzna osmoza odstranjuje tudi enovalentne ione, zato je primerna za pridobivanje pitne vode iz morske (desalinacija) in ultračiste vode. Voda, obdelana z reverzno osmozo, ni primerna za pitje in jo je potrebno obogatiti z določenimi življenjsko pomembnimi minerali (kalcij, magnezij). Obratovalni tlak pri reverzni osmozi je med 15 in 150 bari.

Za razumevanje procesa RO je osnova naravni proces osmoze. Tega lahko razložimo na primeru posode, ki je razdeljena na dva dela s polprepustno membrano. V enem delu je raztopina z višjo koncentracijo snovi, v drugem delu pa z nižjo koncentracijo (slika 14a). V procesu osmoze membrana prepušča vodo iz manj koncentrirane raztopine k bolj koncentrirani, vse dokler se ne vzpostavi osmotsko ravnotežje (slika 14b). Pri reverzni osmozi na del z raztopino višje koncentracije delujemo z zunanjim tlakom, ki je večji od osmotskega tlaka ($\Delta p > \Delta \Pi$). Posledično se pretok vode obrne in deluje obraten osmotski proces oziroma t. i. reverzna osmoza (slika 14c). Pri odstranjevanju raztopljenih snovi iz vode poteka difuzijski transport snovi skozi membrano (Dokl, 2013).



Slika 14: a) osmoza, b) osmotski tlak ($\Delta \Pi$) v ravnotežju, c) reverzna osmoza (Vir: prirejeno po Degremont, 2015)

Za razliko od običajne filtracije je pri reverzni osmozi tok tekoče faze vzporeden s separacijsko membrano, tako da pride do ločitve v dva tokova z različnimi koncentracijami. V idealnem primeru ostanejo vsi raztopljeni delci na levi strani membrane, medtem ko je permeat čista voda.

3.6.8 Primerjava lastnosti različnih membranskih procesov

Prednost NF in RO pred MF in UF je v tem, da odstranjujeta spojine na nivoju molekul in ionov, za kar so potrebni dosti večji delovni tlaki. MF in UF delujeta le na podlagi tlaka in precejalnega učinka (ločevanje je pogojeno z velikostjo por), NF in RO pa lahko odstranjujeta tudi raztopljenjena onesnažila, saj gre za selektivno ločevanje na podlagi difuzije, izločitve in interakcij med naboji. RO in NF membrane so narejene iz hidrofilnih materialov, ki lažje prepuščajo vodo (Cesar).

Preglednica 4: Primerjava lastnosti različnih membranskih procesov.

	Mikrofiltracija	Ultrafiltracija	Nanofiltracija	Reverzna osmoza
Velikosti por	5–0,05 µm	0,05–0,01 µm	0,01–0,001 µm	0,001–0,0001 µm
Obratovalni tlak	1–4 bar	1–10 bar	5–35 bar	15–150 bar
Odstrani	različne delce, večje koloidne delce, bakterije	viruse, praživali, beljakovine	večje molekule, večvalentne ione, pesticide, herbicide	solni, enovalentne ione
Membranski material	keramika, polimeri	keramika, polimeri, celulozni acetat	celulozni acetat	celulozni acetat
Membranski modul	ceveni z votlimi vlakni	ceveni z votlimi vlakni, spiralno naviti, ploščni	ceveni, spiralno naviti, ploščni	ceveni, spiralno naviti, ploščni

3.7 Dezinfekcija

Dezinfekcija pitne vode je postopek, s katerim odstranimo ali onesposobimo patogene mikroorganizme pred nadaljnjo distribucijo pitne vode v omrežje, do stopnje, ki ne predstavlja več nevarnosti za infekcijo in pojava bolezni pri uporabnikih. Te bolezni imenujemo hidrične bolezni. Mikroorganizmi so prisotni v vseh vodah, ki niso dovolj dobro filtrirane, kar pomeni, da vsebujejo parazite vse vode razen podtalnice iz finih naplavinjskih peskov. Škodljivi mikroorganizmi v vodi, ki jih je potrebno odstraniti, so bakterije, virusi in praživali. Najbolj odporni na dezinfekcijska sredstva so virusi in praživali. Najbolj trdovratna pa sta parazita *Giardia lamblia* in *Cryptosporidium parvum*.

Ločimo kemijsko in fizikalno dezinfekcijo. Pri kemijski se uporablja:

- klor,
- kloramini,
- klorov dioksid,
- ozon.

Pri fizikalni dezinfekciji pa se lahko uporablja:

- UV-žarke,

- prekuhavanje (se uporablja le v primeru naravnih nesreč ali okvar),
- UF ali nanofiltracija.

Pri dezinfekciji se je potrebno zavedati možnosti nastajanja novih, mnogokrat toksičnih spojin, ki so posledica reakcij dezinfekcijskega sredstva z organskimi ali anorganskimi snovmi v vodi, kar je nesprejemljivo.

Na tehnologijo in proces dezinfekcije vpliva:

- vrsta mikroorganizmov,
- vrsta, razporeditev in produkti reakcije dezinfektanta v vodi,
- pH-vrednost in temperatura vode,
- kakovost surove vode,
- kontaktni čas (Rismal, 1995).

V svetu se vedno več uporablja večstopenjska dezinfekcija vode z uporabo različnih tehnologij.

Glede na mesto delovanja lahko dezinfekcijo razdelimo na primarno in sekundarno. Primarna dezinfekcija je namenjena inaktivaciji mikroorganizmov v surovi vodi, torej v procesu priprave in zato poteka na mestu priprave. Sekundarna dezinfekcija pa preprečuje razrast bakterij in ščiti vodo pred nadaljnjim onesnaževanjem v omrežju. Lahko jo imenujemo tudi rezidualna dezinfekcija in poteka v sistemu distribucije. Sekundarno dezinfekcijsko sredstvo mora imeti zmožnost obstoja v vodovodnem sistemu, zato da zagotovimo neoporečnost vode do zadnjega uporabnika v vodovodnem sistemu. S sekundarno dezinfekcijo moramo preprečiti naknadno onesnaženje v vodovodnem sistemu, do katerega lahko pride zaradi vdora okoliške vode v sistem, srkov na iztočnih mestih ali naknadne zarasti. Izbira dezinfekcijskega sredstva je odvisna od kakovosti vode in od primarnega dezinfekcijskega sredstva. Ker vsa dezinfekcijska sredstva nimajo rezidualnega učinka, se za sekundarno dezinfekcijo uporabljajo predvsem klor, kloramini in klorov dioksid. Pri izbiri sekundarnega sredstva je pomemben tudi zadrževalni čas v distribucijskem omrežju. Tako so v velikih sistemih potrebne dodatne postaje za ohranjanje rezidualnega delovanja dezinfektorja. Če zadrževalni čas v distribucijskem omrežju presega 48 ur, velja za visokega.

3.7.1 Dezinfekcija s klorom

Klor (Cl_2) je rumeno-zelen plin, ki se v vodi dobro raztaplja, pri čemer del raztopljenega klora reagira z vodo. Zaradi velike učinkovitosti in lahke uporabe je kloriranje najbolj uporabljena metoda dezinfekcije vode, saj uniči bakterije in nekatere viruse, v običajno uporabljenih koncentracijah pa ne

uniči parazitov. Klor ima veliko sposobnost oksidacije, ki povzroča razgradnjo organskih snovi. V vodi se najprej veže s hitro oksidirajočimi in organskimi snovmi. Ko se vse te reakcije izvršijo, je dosežena mejna točka. Nadaljnje dodajanje klora povzroča tvorbo prostega (rezidualnega) klora – to je hipoklorove kisline (HOCl) in hipokloritnega iona (OCl⁻). To je potrebno upoštevati pri izračunu potrebne količine klora. Za dezinfekcijo je pomembno natančno določiti količino klora, saj se s prevelikimi dozami poslabšajo organoleptične lastnosti vode, tvorijo se trihalometani, ki so kancerogeni, premajhne doze pa ne zagotavljajo zadostne dezinfekcije. Učinkovita dezinfekcija je možna, če je v vodi 0,1 mg/l prostega rezidualnega klora v obliki HOCl (Rismal, 1995).

Učinkovitost dezinfekcije s klorom se poveča s podaljševanjem kontaktnega časa. Dezinfekcija je učinkovitejša pri višji temperaturi in nižjem pH. Z dodajanjem amoniaka se zagotovi večja obstojnost klora. Klor tvori z amoniakom kloramine, ki so slabše dezinfekcijsko sredstvo, saj delujejo počasneje in so manj baktericidni, njihova obstojnost v vodi pa je večja.

3.7.1.1 Prednosti in slabosti uporabe klora

Pri uporabi klora kot dezinfekcijskega sredstva se moramo zavedati tudi tega, da tvori klor v stiku z organsko snovjo spojine (trihalometane), ki so kancerogene. V vodah, ki so bolj organsko onesnažene, tako nastaja več kancerogenih spojin. Ta proces se lahko prepreči tako, da se uporablja močnejše doze klora in s tem zmanjša kontaktni čas, kar onemogoča nastanek teh spojin. Viške klora oziroma prosti rezidualni klor se nato odstrani s pomočjo žveplovega dioksida (SO₂) (Rismal, 1995).

Prednosti uporabe klora so:

- učinkovito inaktivira večino mikroorganizmov prisotnih v vodi,
- ima rezidualni učinek, ki ga lahko enostavno kontroliramo in merimo,
- je cenovno ugoden.

Slabosti uporabe klora so:

- klor reagira z mnogimi organskimi in anorganskimi snovmi in z njimi tvori stranske produkte dezinfekcije (kancerogene trihalometane),
- velike koncentracije klora v vodi povzročajo neprijeten okus in vonj,
- nevarnosti povezane z uporabo klora, še posebej klora v obliki plina, zahtevajo posebno ravnanje.

3.7.2 Dezinfekcija s klorovim dioksidom

Klorov dioksid je rumeno-zelen, zelo eksploziven plin, ki se v zadnjem času vse več uporablja kot nadomestek plinskemu kloru. Zaradi njegove eksplozivnosti ga ni mogoče transportirati ali shranjevati, temveč ga je potrebno pripraviti na mestu samem. Uporablja se ga raztopljenega v vodi, saj bi v čisti obliki eksplozivno razpadel. Tako se dozira kot koncentrirana vodna raztopina. Običajno se ga v kontroliranih pogojih pridobiva z mešanjem natrijevega klorata in klora, ki je bodisi v plinastem stanju ali v obliki raztopine (Ravnikar, 2004). Zaradi zelo visoke baktericidnosti in viricidnosti je izredno učinkovit, saj je 2,5-krat močnejši oksidant od klora. Zaradi močne oksidacije in razgradnje skupnega organskega ogljika je učinkovit pri odstranjevanju vonja in okusa. Zaželeno je, da se kot dezinfekcijsko sredstvo uporablja namesto klora tam, kjer voda vsebuje sledove fenolov. Ti tvorijo s klorom klorfenole, ki dajejo vodi neprijeten vonj in so strupeni. Ne povzročajo nastanka kloraminov, trihalometanov in v vodi ne reagira s fenoli in amoniakom. Za razliko od klora se njegov baktericidni učinek z naraščanjem pH večja. Njegov učinek na mikroorganizme je hitrejši in dolgotrajnejši kot pri kloru. Že pri zelo nizki koncentraciji ubija praktično vse znane bakterije in viruse. Njegov rezidualni učinek pred ponovno mikrobiološko zarastjo ali v primeru novega onesnaženja je visok, zato je primeren za sekundarno dezinfekcijo. V omrežju se lažje vzdržuje predpisano koncentracijo prostega klorovega dioksida kot prostega klora. Ni priporočljivo, da se uporablja pri vodah, ki imajo preveliko vsebnost železa, mangana in ostalih reducirajočih snovi. Uporaba klorovega dioksida ima torej določene prednosti pri dezinfekciji vode, ki ima visok pH, vsebuje visoke koncentracije amoniaka ali pa fenolne spojine.

3.7.2.1 Prednosti in slabosti uporabe klorovega dioksida

Prednosti uporabe klorovega dioksida so:

- v primerjavi s klorom in kloramini učinkoviteje inaktivira viruse, *Cryptosporidium* in *Giardia*,
- oksidira železo, mangan in sulfide,
- težave z okusom in vonjem pitne vode, ki so posledica alg in razpadajoče vegetacije, kot tudi fenolne spojine, lahko uspešno kontroliramo s klorovim dioksidom,
- ne reagira z oksidirajočimi snovmi v trihalometane in kloramine,
- ima daljše in učinkovitejše rezidualno delovanje kot klor, navkljub nižjim koncentracijam,
- na njegovo delovanje pH nima bistvenega vpliva, je pa pri alkalnih vrednostih učinkovitejši (EPA, 1999).

Slabosti uporabe klorovega dioksida so:

- ob dezinfekciji se tvorijo kloriti in klorati,

- cena klorovega dioksida petkrat presega ceno prostega klora,
- proizvodnja na mestu uporabe in s tem povezani varnostni ukrepi,
- proizvedeni klorov dioksid lahko vsebuje nekaj prostega klora, kar lahko izniči prizadevanja, da bi z njegovo uporabo preprečili nastanek trihalometanov (EPA, 1999).

3.7.3 Dezinfekcija z ozonom

Ozon O_3 je svetlo moder plin. Je najhitrejši in najmočnejši dezinfekcijski sredstvo. Dezinfekcijsko ozon učinkuje že v 4–10 minutah. Poleg oksidacijske sposobnosti uničevanja bakterij, virusov in tudi praživali vpliva tudi na okus, vonj in barvo vode. Za popolnoma prečiščeno vodo je potrebna količina ozona 1–1,2 mg/l, tako da ostane v vodi po čiščenju še 0,4 mg/l rezidualnega ozona. Ozon je nestabilen in popolnoma razpade na kisik v manj kot eni uri, zato se presežki pojavijo le redko. V kolikor so količine rezidualnega ozona prevelike, pride v omrežju do korozije. Druga negativna lastnost ozona pa je, da je škodljiv za zdravje. Iz obeh razlogov je pred črpanjem vode v omrežje potrebno izvesti nevtralizacijo (odstranitev) ozona prek aktivnega oglja (Rismal, 1995).

Ker je zelo neobstoje, ga je potrebno proizvajati na mestu uporabe. Naprava za ozoniranje je sestavljena iz kompresorja, aparature za sušenje zraka pred ozoniranjem in aparature za vbrizgavanje v vodo. Ozon zaradi svoje nestabilne narave ne zagotavlja daljšega rezidualnega delovanja, zato se ga ponavadi kombinira s kakšnim drugim dezinfekcijskim sredstvom na osnovi klora. Kot stranski produkti dezinfekcije z ozonom nastajajo nenasičeni aldehidi, epoksidi in peroksidi, če pa je v vodi prisoten tudi brom, se tvorijo tudi kancerogeni bromati. Ker ozon organske snovi oksidira le na manjše delce, ki lahko v sekundarni dezinfekciji s klorom tvorijo nezaželene stranske produkte, je potrebno vodo pred uporabo očistiti z aktivnim ogljem (Ravnikar, 2004).

Ozon je v vodi slabo topljiv. Učinek raztapljanja je odvisen od kontaktne površine in koncentracije ozona. Pravilna izbira velikosti kontaktne površine tekočine in koncentracija ozona v plinski fazi pogojuje zadovoljiv dezinfekcijski učinek. Zmožnost raztapljanja se zmanjšuje, ko se povečuje temperatura vode in zmanjšuje pritisk injiciranja. Razgradnja je manjša pri nižjem tlaku in višji temperaturi. Ozon ne deluje samo dezinfekcijsko, temveč iz vode odstranjuje tudi detergente, fenole in pesticide (Rismal, 1995).

3.7.3.1 Prednosti in slabosti uporabe ozona

Prednosti uporabe ozona so:

- pri inaktivaciji virusov, *Cryptosporidium* in *Giardia* je uspešnejši od klora, kloraminov in klorovega dioksida,
- oksidira železo, mangan in sulfide,
- po njegovi razgradnji kot rezidual ostane samo kisik,
- pri dezinfekciji potrebuje kratek kontaktni čas,
- odstranjuje barvo, okus in vonj vode.

Slabosti uporabe ozona so:

- če je v vodi prisoten brom, nastajajo kot stranski produkti kancerogeni bromati,
- kot stranski produkti nastajajo epoksidi, nenasičeni aldehidi in peroksidi,
- je koroziven in strupen,
- nima rezidualnega učinka,
- začetna investicija za proizvodnjo ozona je velika (Plohl, 2008).

3.7.4 Dezinfekcija z UV-svetlobo

Ultravijolično sevanje spada med kratkovalovna elektromagnetna valovanja z valovno dolžino od 100 do 400 nm in je lahko zelo učinkovita metoda dezinfekcije vode. Primerno je za dezinfekcijo vod, ki niso motne in ne vsebujejo suspendiranih snovi ter barve. Ultravijolična svetloba se proizvaja s posebno svetilko, ki proizvaja UV-žarke, kri opravljajo dezinfekcijo. Mikroorganizme onemogoči z absorpcijo svetlobe, ki povzroči fotokemično reakcijo, ki spremeni molekularne sestavine, bistvene za življenje celic. Boljši učinek ima na bakterije kot pa na viruse. Ker so mikroorganizmi, ki so prisotni v vodi, najbolj občutljivi na valovne dolžine od 240 do 290 nm, je za dezinfekcijo vode najprimemnejše UV-C sevanje, ki ima valovno dolžino med 200 in 280 nm. Na kakšen način UV-svetloba inaktivira mikroorganizme, še ni povsem razjasnjeno, predvideva pa se, da vpliva na njihovo DNA in jim s tem onemogoči razmnoževanje (Ravnkar, 2004).

Najprimernejša točka namestitve UV-dezinfektorjev je v zadnjem koraku obdelave vode, tik pred distribucijskim sistemom in po filtraciji. Prednost UV-svetlobe je v tem, da vodi ne dodajamo kemikalij in se posledično pri tem postopku ne ustvarjajo stranski proizvodi. Vendar pa novejša raziskava kažejo, da je pri večini površinskih voda, ki so bile zajete v raziskave, UV-sevanje povzročilo nastajanje nizkih koncentracij formaldehida. Postopek pa ima še nekaj slabih lastnosti. Če je voda kalna ali se skozi sistem premika prehitro, UV-svetloba ne more biti zadosti časa v stiku s

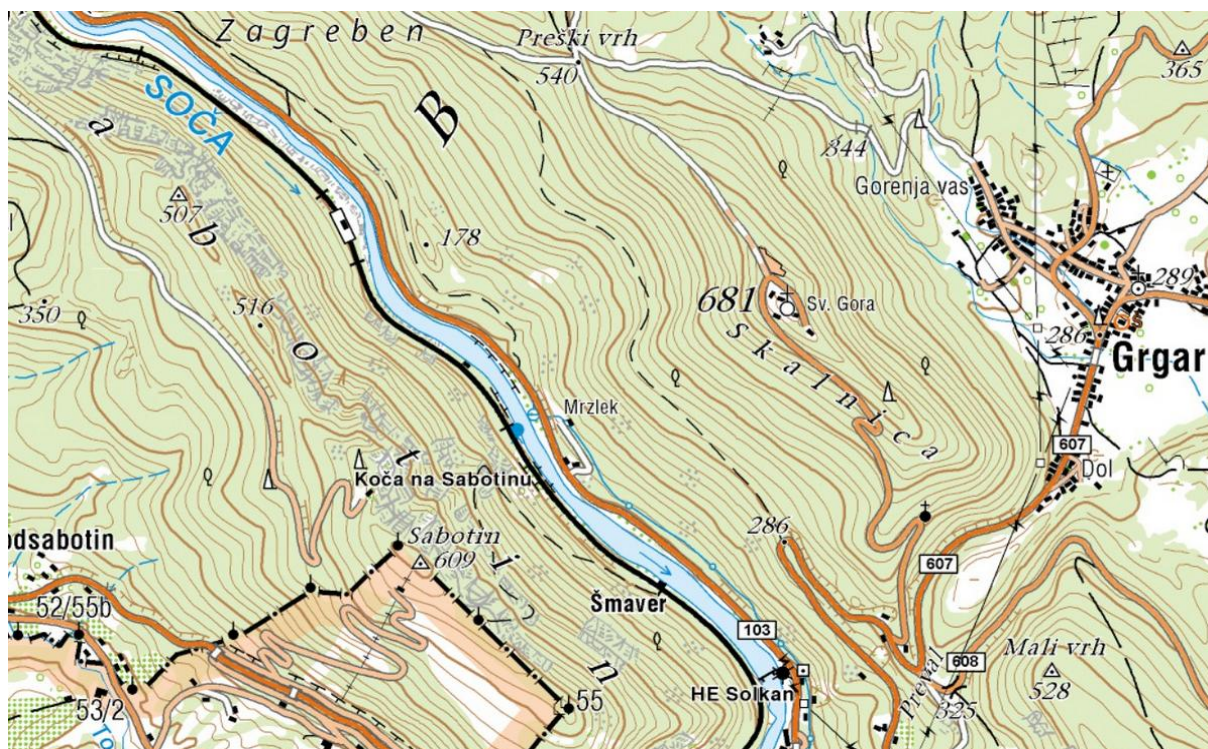
patogeni, da bi jih uničila. Prav tako nima sposobnosti rezidualnega delovanja. Obsevanje z UV-svetlobo zato ne more biti edini postopek dezinfekcije pitne vode. Vedno mora biti kombiniran še s kakšnim drugim postopkom, da se prepreči naknadna kontaminacija vode.

4 VODARNA MRZLEK

Za namen izdelave diplomske naloge smo si vodarno tudi ogledali. Pri pisanju naloge smo upoštevali pridobljene informacije s terena in izkušnje upravljavca. V pomoč nam je bilo tudi hidrogeološko poročilo, analiza surove vode, strokovna literatura in podatki podjetja MAK CMC tehnologija vode, d. o. o., in podjetja COMTEH, d. o. o.

4.1 Izvir Mrzlek

Kraški izvir Mrzlek je zelo pomemben vir pitne vode za novogoriško regijo in spada med najpomembnejše vodne vire na vznožju Trnovskega gozda. Izviri Mrzleka se pojavljajo na obeh straneh reke Soče in so po izgradnji HE Solkan potopljene. Razporejeni so v strugi Soče, na razdalji okoli 400 m, med Skalnico in Sabotinom (slika 15).



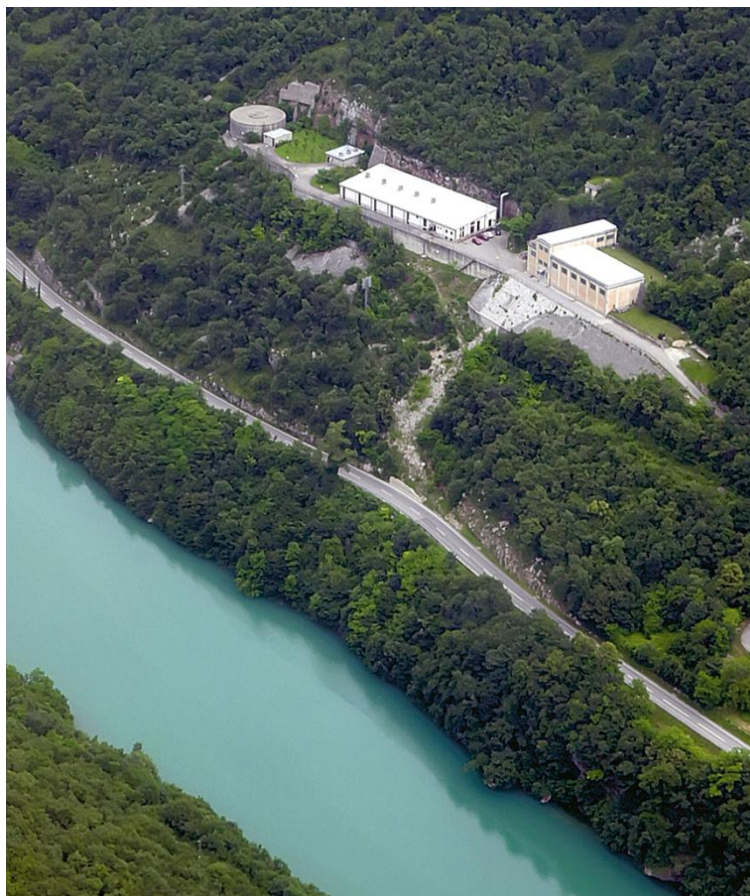
Slika 15: Pregledna situacija (Vir: Geopedia)

Vode Mrzleka se v podzemlju počasi pretakajo, kar pomeni, da se tam tudi dolgo časa zadržujejo. Povprečni zadrževalni čas je od nekaj mesecev do enega leta. Celotno izdatnost vodnih količin Mrzleka, ki se izlivajo v reko Sočo ni mogoče izmeriti. Ocene so, da minimalni pretoki znašajo od 500 do 600 l/s, ob visokih vodah pa kar 40 m³/s (Habič, 1982). Za pripravo pitne vode na vodarni Mrzlek se izkoriščata le dva izvira, ki se nahajata na levem bregu Soče (ARSO, 2015a). Mrzlek izvira pod

nivojem reke Soče na nadmorski višini okoli 56 m, kota gladine reke Soče pa je na lokaciji Mrzleka, na nadmorski višini okoli 77 m (Janež, 2008). Z raziskavami je bilo dokazano, da se pri določenih hidroloških pogojih in količini črpanja voda izvira Mrzlek meša z vodo iz Soče. Ob nizkih vodostajih vira Mrzlek zajema črpališče do 80 odstotkov vode Soče. Prispevno območje Mrzleka obsega Banjško planoto in več kot polovico Trnovskega gozda. Velikost celotnega padavinskega zaledja Soče pa znaša do hidrološke postaje Soča - Solkan 1573 km² (ARSO, 2015b).

4.2 Obstoječe stanje

Z vodarno Mrzlek upravlja družba Vodovodi in kanalizacija Nova Gorica, d. d., ki izvaja gospodarsko javno službo oskrbe s pitno vodo v občinah MO Nova Gorica, Šempeter-Vrtojba, Miren-Kostanjevica, Renče-Vogrsko in Brda. Obstoječa vodarna Mrzlek se nahaja na levem bregu reke Soče, tik pred HE Solkan. Vodarno sestavlja črpališče, objekti stare vodarne in objekti nove vodarne (slika 16). Pregledna situacija in obstoječe stanje je prikazano v prilogi B in prilogi C.



Slika 16: Vodarna Mrzlek (Vir: VIK, 2015)

Črpališče se nahaja prav tako ob levem bregu Soče oziroma ob bregu akumulacijskega jezera približno 1,6 km pred HE Solkan. Zaradi izgradnje Solkanske pregrade se je gladina Soče dvignila za 21 m (iz kote 56 m na koto 77 m). Zaradi dviga gladine je bilo potrebno nadvišati tudi črpališče, ki je bilo prej na koti 72,97 m. Nadmorska višina obstoječega črpališča je 79,2 m. Na lokaciji vodnjakov je kota terena 79,4 m, kota dna vodnjakov pa 54,1 m (dva vodnjaka) oziroma 51,6 m (en vodnjak). Tako znaša globina vodnjakov 25,3 m oziroma 27,8 m (Janež, 2008). Vodnjaki so trije, betonske izvedbe, ki so navzven zaliti z vodo reke Soče. V njih so vgrajene štiri črpalke skupne zmogljivosti črpanja 460 l/s. V stalnem delovanju so tri črpalke, četrta pa služi kot nadomestna v primeru okvare in je v stalni pripravljenosti. Vse črpalke so priključene na tlačni cevovod premera 700 mm, ki je speljan iz črpališča v vodarno.

Črpana voda se pred tehnološko obdelavo na primarni kontrolni točki kontinuirano analizira na motnost, pH, redoks potencial in elektroprevodnost. Pridobljeni podatki služijo v procesu čiščenja vode.

Skupni tlačni cevovod se ob vstopu v prostore vodarne deli na dva voda, ki sta speljana na novo in staro čistilno napravo. V vsaki čistilni napravi poteka ločena obdelava surove vode. Tehnološko linijo stare vodarne, ki je bila zgrajena leta 1935, sestavljata dva pravokotna usedalnika s koagulacijo in flokulacijo ter trije okrogli gravitacijski hitri peščeni filtri. Tehnološka linija novejšje vodarne, ki je bila zgrajena leta 1986, pa je sestavljena iz okroglega usedalnika, petih ozonskih kontaktnih komor, treh gravitacijskih hitrih peščenih filtrov ter dveh gravitacijskih filtrov z aktivnim ogljem. Tehnološki liniji sta shematično prikazani na sliki 17.

Črpana voda je izrazito kraška, za katero je značilno spreminjanje motnosti. Ob močnih deževjih motnost naraste tudi na 10 NTU. Do motnosti nekaj nad 3 NTU se voda na peščenih filterih očisti do 0,4 NTU. Nad to vrednostjo pa filtri ne zagotavljajo več zadostne očiščevalne sposobnosti, zato se pri tej motnosti uporabi koagulacijo s sedimentacijo. Za sedimentacijo suspendiranih snovi se v vodo dodaja koagulant aluminijev sulfat ($Al_2(SO_4)_3$). Koagulant se dodaja pred vstopom vode v usedalnik. Dodajanje in količino dodanega koagulanta ureja signal iz merilca motnosti na primarni kontroli črpane vode. V vodi se suspendirane snovi s pomočjo koagulanta združujejo v flokule oziroma kosmiče, ki se zaradi težnosti počasi usedajo na dno usedalnika. V ta namen na novi vodarni obratuje en dinamični usedalnik volumna 1200 m³, s kapaciteto 127,5 l/s, na stari vodarni pa umirjevalnik in usedalnika. V reakcijskem delu usedalnika se voda premeša in priteka po centralni cevi preko radialno speljanih cevi v spodnji prostor odvodnika kosmičev. Od tu se dviga preko perforiranega dna v prostor lebdečih flokul, kjer se delno očisti. Tako očiščena voda se preko radialnih žlebov in obodnega žleba steka v odtočno cev.

Sistem ozonacije je vgrajen le v novi vodarni pred peščenimi filtri. Naprava omogoča sterilizacijo vode, odpravi morebitno barvo in okus. Ozon se proizvaja na ozonskih generatorjih, iz katerih je speljan v dve kontaktni komori, katerima sledita mešalni komori in pred izhodom še reakcijska komora. Ozonacija deluje neprekinjeno. Kontaktna komora služi kot pretočni umirjevalnik vode pred izpustom na peščene filtre.

Filtri obeh vodarn so v stalni uporabi. Stara vodarna ima tri peščene filtre skupne površine 97,2 m². Višina filtracijskega sloja je 120 cm, od tega 80 cm granulacije 0,3–1,2 mm, 40 cm pa je debelejša granulacije 5–100 mm. Hitrost filtracije je okoli 1 m/h.

Nova vodarna ima prav tako tri peščene filtre skupne površine 135 m², višina filtracijskega sloja je 120 cm različnih granulacij, (od spodaj navzgor):

- od 5,0 do 8,0 mm
- od 3,0 do 5,0 mm
- od 0,2 do 1,3 mm
- od 0,1 do 0,7 mm

Hitrost filtracije je 0,6–3 m/h, odvisno od višine vode nad peskom. Hitrosti filtracije kažeta, da sta filtra pod spodnjo mejo hitrosti filtracije za hitre filtre oziroma da obratujeta na zgornji pretočni hitrosti za počasne filtre. Kontinuirane meritve motnosti za filtri obeh vodarn kažejo motnost pod 1 NTU.

V novi vodarni sta za peščenimi filtri še dva filtra z aktivnim ogljem s skupno površino 90 m². Ti filtri niso v rabi. Granulirano aktivno oglje je pripravljeno za vnos v filtrna polja v primeru potrebe, če bi prišlo na vodozbirnem območju do prisotnosti povečanih koncentracij polutantov, na katere deluje aktivno oglje adsorbivno ali pa za vezavo razgradnih produktov ozonacije oziroma za razgradnjo rezidualnega ozona v primerih po doziranju. Iz tega razloga je doziranje ozona minimalno.

V sklopu vodarne je lociran tudi rezervoar čiste vode za potrebe vodarne. Njegov volumen je 200 m³. Voda iz tega rezervoarja se uporablja za:

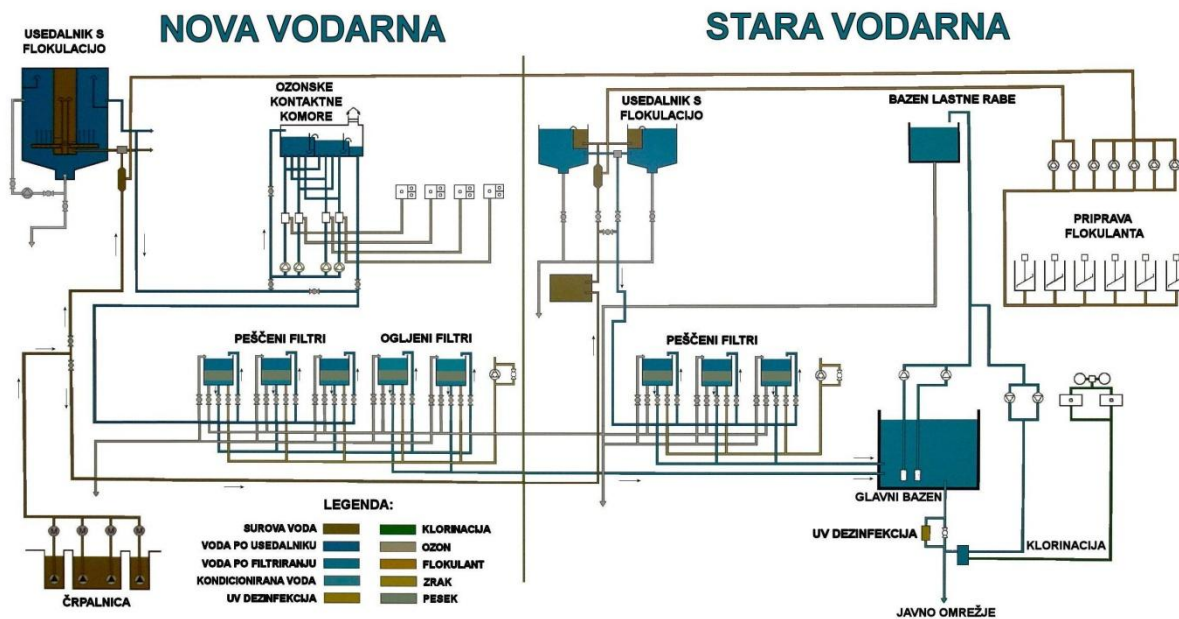
- pripravo koagulanta,
- pranje peščenih filtrov,
- hlajenje naprave za ozonacijo,
- pranje glavnega bazena in eventualne druge potrebe.

Iz obeh vodarn voda teče v 2.000 m³ vodohran, ki se nahaja v objektu stare vodarne. Volumen zadošča pri minimalnem pretoku vodovoda, ki je 120 l/s za 4,6-urno obratovanje, pri maksimalnem pretoku 350 l/s pa za 1,6-urno obratovanje. Pred vstopom vode v omrežje se po potrebi uporabi še UV-

dezinfekcijo, za stabilizacijo vode v omrežju pa se dodaja klor. Pred dezinfekcijo je merilec pretoka, ki kaže povprečno letno vrednost pretoka, ki je 250 l/s, dnevni poletni nekajurni maksimum pa znaša 300 l/s. Pred in po UV-dezinfekciji sta nameščeni pipi za odvzem vzorca, s katerim se nadzira uspešnost delovanja procesa čiščenja vode in končne UV-dezinfekcije. Po potrebi se tudi na omrežju samem avtomatsko uravnava doziranje klora s pomočjo izmerjene vrednosti. Tako se doseže željeno vrednost v omrežju. Dodatno kloriranje se izvaja v vodohranih na omrežju.

Učinkovitost tehnologije čiščenja se spremlja neprekinjeno prek računalniške povezave z vodohrani in črpališči, ki vsebujejo merilce dezinfekcije, motnosti, tlaka in pretoka. Izvaja se dnevna terenska kontrola vodarne Mrzlek in tedenska terenska kontrola vodohranov.

VODARNA MRZLEK



Slika 17: Tehnološka shema vodarne (Vir: VIK, 2015)

4.3 Analiza obstoječega stanja

Vodarna Mrzlek obratuje na zgornji meji zmogljivosti in komaj še zadostuje za potrebe občin. Rezultati čiščenja pa so občasno nezadovoljivi. Po besedah upravljavca vodarne primarni usedalnik s flokulacijo ne deluje optimalno. Pred peščenimi filtri je nameščen nov sistem za ozoniranje vode, ki deluje z minimalnim vnosom količine ozona. Ozonacija je v vodarni tudi primarno dezinfekcijsko sredstvo. Po njej pa ni poskrbljeno za nevtralizacijo ozona. V prostoru, kjer so nameščeni peščeni in ogljeni filtri, se na stropu opazi krušenje in razpokanost betona. Vidna je tudi armatura, kar je posledica izločanja ozona iz vode. Zaščita betonske konstrukcije je na tem delu neustrezna, saj je beton podvržen agresivnemu delovanju ozona. Gravitacijski filtri z ogljem niso v uporabi.

V stari vodarni, po besedah upravljavca, usedalnika delujeta učinkovito. Celo bolje kot usedalnik v novi vodarni. Na stropu nad njima se opazi krušenje ometa, ponekod je vidna tudi armatura, kar je posledica dotrajanosti. Z delovanjem peščenih filtrov je upravljavec zadovoljen.

4.4 Vodovodni sistem Mrzlek

Vodovodni sistem Mrzlek oskrbuje območje z 11.823 priključki oziroma približno 30.000 uporabniki v mestni občini Nova Gorica, Šempeter-Vrtojba, Miren-Kostanjevica in Renče-Vogrsko, del vode pa se izvozi v sosednjo državo Italijo za potrebe mesta Gorica, kjer se z vodo iz Mrzleka oskrbuje približno 15.000 ljudi. Od leta 2010 vodarna Mrzlek oskrbuje tudi vodovodni sistem Brda z 2.122 priključki, od leta 2011 pa še, prek več črpališč, tudi naselja Ravnica, Zagorje ter del Grgarja. Skupno število uporabnikov je ocenjeno na 50.000. Merilec pretoka, ki je postavljen pred dezinfekcijo vode, kaže povprečno letno vrednost pretoka 250 l/s, dnevni poletni nekajurni maksimum pa je 300 l/s. Iz tega podatka lahko izračunamo, da je dnevna količina vode, ki jo vodarna prečisti in pošlje v omrežje, okrog 21.600 m³. Na letni ravni to predstavlja 7.884.000 m³ prečiščene vode.

Materiali in gradnja vodovodnega sistema v času rekonstrukcije med leti 1970 in 1980 niso bili kakovostni, kar se odraža v povprečnih letnih izgubah, ki za občino Nova Gorica znašajo okrog 50 odstotkov (razlika med načrpano in prodano vodo). Na posameznih segmentih vodovodnega omrežja pa se izgube gibljejo med 30 in 70 odstotki.

4.5 Analiza surove vode

Temperatura vode izvira Mrzlek je razmeroma stalna in se giblje med 8 in 10 °C, srednja vrednost pa znaša 9,2 °C. V primerjavi z ostalimi izviri ob vznožju visokega krasa je voda Mrzleka nekoliko toplejša, vendar so tu temperature veliko bolj izenačene. Iz tega se sklepa na razmeroma počasno pretakanje in dolgo zadrževanje vode v podzemlju. Kemične analize surove vode kažejo podobne značilnosti kot temperaturne. Vrednost pH v surovi vodi se giblje od 7,3 do 8,1. Vsebnost različnih topnih snovi se v kraški vodi razmeroma malo spreminja, bistveno manj kot v reki Soči. Vrednosti za nitrite, nitrate, amoniak, mangan, železo, klor in magnezij so precej pod najvišjimi mejnimi vrednostmi za pitno vodo. Po trdoti vode se Mrzlek ne razlikuje dosti od Soče. Različno je le razmerje med kalcijem in magnezijem. To razmerje se pri Mrzleku giblje med 5 in 12, pri Soči pa med 2,5 in 4. Razmerje je odvisno predvsem od deleža magnezijevih karbonatov (Habič, 1982). Skupna trdota izvira je med 7,8 in 9 °dH, kar vodo uvršča med mehke do srednje trde. Običajna motnost vode je 2 NTU, ob močnih deževjih pa naraste na 2–4 NTU, izjemoma pa so vrednosti tudi 10 NTU. Dolgoletno spremljanje fizikalno-kemijskih lastnosti vode jo označuje kot vodo dobre kakovosti, saj so tako osnovni parametri kot vsebnost organskih snovi in kovin precej pod dovoljenimi mejnimi vrednostmi oziroma večina pod mejo detekcije analiznih aparatov. Osnovni fizikalno-kemijski parametri so prikazani v preglednici 5. Bakteriološke analize pa kažejo, da je surova voda vedno bakteriološko oporečna s pogosto prisotnostjo klic fekalnega izvora. V preiskavah leta 2000 je bila v surovi vodi dokazana prisotnost patogenih praživali *Cryptosporidiuma* in *Giardie*. Povzetek mikrobioloških parametrov po letih je prikazan v preglednici 6 (VIK, 2015).

Preglednica 5: Fizikalno-kemijski parametri (ARSO, 2015).

AGENCIJA REPUBLIKE SLOVENIJE ZA OKOLJE			
Vodno telo:	6021 Goriška Brda in Trnovsko-Banjška planota		
Merilno mesto:	MRZLEK - črpališče vodarne Mrzlek		
Šifra merilnega mesta:	I17321		
Datum:	29. 5. 2014		
	Enota	Vrednost	Mejna vrednost parametra/specifikacija
MERITVE NA TERENU			
Temperatura zraka	°C	23	
Temperatura vode	°C	9,4	
Barva	m-1	<0,2	Sprejemljiva za potrošnike in brez neobičajnih sprememb
pH	-	7,7	
Električna prevodnost (20 OC)	µS/cm	228	2500
Kisik sonda	mg O2/l	10,9	mg O2/l
Nasičenost s kisikom - sonda	%	97	%
Redoks potencial	mV	360	mV
Motnost	NTU	2,5	< 1
OSNOVNI PARAMETRI			
KPK s KMnO4	mg O2/l	<0,5	-
TOC	mg C/l	0,54	4
Amonij	mg NH4/l	<0,006	0,5
Nitriti	mg NO2/l	<0,008	0,5
Nitrati	mg NO3/l	4,5	50
Sulfati	mg/l	3,23	250
Kloridi	mg/l	1,71	250
Fluoridi	mg/l	<0,04	1,5
Ortofosfati	mg PO4/l	0,042	0,3
Skupna trdota	°dH	7,3	-
Karbonatna trdota	°dH	7,3	-

Preglednica 6: Povzetek mikrobioloških parametrov po letih (VIK, 2015).

	Enota	Datum vzorčenja									
		1.1998	12.1998	7.2003	5.2004	9.2004	11.2006	8.2008	6.2009	8.2009	10.2009
E. Coli	št./100 ml	5	>100	>100	64	74	7	46	2	37	15
Skupne Kaliformne bakterije	št./100 ml	>100	>100	>100	>100	>100	18	100	10	>100	45
Enterokoki	št./100 ml	0	0	>100	7	20	1	23	2	6	8
Cl. Perfringens	št./100 ml	0	0	0	5	3	0	1	0	1	1
Skupno št. mikroorganizmov pri 22 °C	št./ ml	80	250	100	>300	>300	30	>300	>300	170	>300

5 OPIS GRADBENIH DEL

Pri prvi varianti smo obstoječi postopek čiščenja izboljšali tako, da smo za postopke priprave vode predvideli gradnjo novega objekta. Gradbeni poseg je pri tej varianti največji, zajema pa tudi rušitev obstoječega okroglega usedalnika. Pri drugi varianti smo obstoječe postopke čiščenja poskušali izboljšati tako, da smo se omejili na obstoječo infrastrukturo. Obdržali smo vse obstoječe objekte, ki smo jih prilagodili novim postopkom čiščenja. Predvideli smo gradnjo manjšega objekta. Pri tretji varianti je gradbeni poseg najmanjši. Za ta postopek čiščenja smo predvideli manjšo rekonstrukcijo obstoječega objekta. Za vse tri variante smo predvideli uporabo obstoječega vodohrana, ki se ga primerno obnovi. Različno glede na varianto se obnovi in preuredi tudi usedalnika v stari vodarni.

5.1 Varianta 1

Za varianto 1 smo predvideli nov samostojni objekt, v katerem bodo postavljene nove kontaktne komore za ozonacijo, reakcijski bazeni za koagulacijo in flokulacijo ter lamelni usedalnik. Objekt je pravokotne oblike, tlorisne površine približno 875 m². Višina objekta nad terenom je 8 do 10 m. Objekt je lociran na mestu med obstoječim okroglim usedalnikom in objektom nove čistilne naprave. Za pripravo terena je potrebno porušiti okrogel usedalnik. Obstoječi objekt, kjer so nameščeni hitri filtri in filtri z aktivnim ogljem, se sanira. Obnovi in preuredi se bazene s hitro filtracijo in z aktivnim ogljem. V stari vodarni se obnovi vodohran. Za čiščenje odpadnih vod, ki nastajajo pri pranju, se obnovi obstoječi usedalnik. Drugi usedalnik pa se predela v bazen za shranjevanje pralne vode.

Za dostop do novega objekta smo predvideli obstoječo dostopno pot. Pot se na območju novega objekta razširi. Ob dostopni poti smo predvideli tudi zaščitni armiranobetonski zid. Ureditvena situacija je prikazana v prilogi D1.

Izvedbo gradbenih del smo predvideli v sušnem obdobju, ko je motnost surove vode manjša. Gradnjo smo predvideli v dveh fazah tako, da se najprej zgradi bazen za sedimentacijo, na katerega se pred poružitvijo okroglega usedalnika preveže dotok surove vode. V drugi fazi se poruši obstoječi okrogli usedalnik in dokonča gradnja objekta s kontaktnimi komorami in bazeni za koagulacijo in flokulacijo. Tehnološko linijo čiščenja vode v tej fazi sestavlja nov lamelni usedalnik, obstoječi hitri filtri in filtra z aktivnim ogljem. Tehnološka linija stare vodarne ostane v tej fazi nespremenjena. Po končani gradnji se dotok surove vode iz črpališča preveže na novo zgrajen objekt za pripravo pitne vode. Motnje v oskrbi s pitno vodo bodo tako prisotne le v času izvajanja vodovodnih prevezav.

5.2 Varianta 2

Pri varianti 2 smo predvideli gradnjo objekta, v katerem bo postavljen lamelni usedalnik in naprava za pripravo ozona. Objekt je pravokotne oblike, tlorisne površine približno 260 m². Višina objekta nad terenom je 8 do 10 m. Objekt je postavljen ob obstoječem okroglem usedalniku, ki se ga predela v akcelerator, in objektom s kontaktnimi komorami. Obstoječi objekt nove vodarne, kjer so nameščeni hitri filtri, se sanira. Obnovi se tudi bazene za hitro filtracijo. V stari vodarni se obnovi vodohran. Za namen odpadnih vod, ki nastajajo pri pranju, se obnovi obstoječi usedalnik. Drugi usedalnik pa se predela v bazen za shranjevanje pralne vode.

Za dostop do novega objekta smo predvideli obstoječo dostopno pot. Ureditvena situacija je prikazana v prilogi E1.

Izvedbo gradbenih del smo predvideli v sušnem obdobju, ko je motnost surove vode manjša. Gradnjo smo predvideli v dveh fazah tako, da se najprej zgradi objekt z lamelnim usedalnikom, na katerega se pred predelavo obstoječega okroglega usedalnika preveže dotok surove vode. V drugi fazi smo predvideli predelavo obstoječega usedalnika v akcelerator. Tehnološko linijo čiščenja vode v tej fazi sestavlja nov lamelni usedalnik, ozonacija, obstoječi hitri filtri in filtra z aktivnim ogljem. Tehnološka linija stare vodarne ostane v tej fazi nespremenjena. Po končani predelavi se dotok vode preveže na akcelerator, iz njega pa na lamelni usedalnik. Motnje v oskrbi s pitno vodo bodo tako prisotne le v času izvajanja vodovodnih prevezav.

5.3 Varianta 3

Pri varianti 3 smo predvideli rekonstrukcijo objekta nove vodarne, v katerem so postavljeni trije peščeni hitri filtri in dva filtra z aktivnim ogljem, ter sanacijo obstoječega okroglega usedalnika. Filtre se v celoti poruši. Za postavitev ultrafiltracijskih naprav in modulov smo na lokaciji obstoječih filtrov z aktivnim ogljem predvideli gradnjo armiranobetonske plošče. V stari vodarni se obnovi vodohran. Za namen odpadnih vod, ki nastajajo pri pranju, se obnovi obstoječi usedalnik. Drugi usedalnik pa se predela v dva ločena bazena za nevtralizacijo vode po kemijskem pranju UF-modulov. Ureditvena situacija je prikazana v prilogi F1.

Izvedbo gradbenih del smo predvideli v sušnem obdobju, ko je motnost surove vode manjša. Rekonstrukcijo objekta smo predvideli v več fazah. V prvi fazi se sanira obstoječi usedalnik. Tehnološko linijo čiščenja vode v tej fazi sestavlja obstoječa ozonacija, obstoječi hitri filtri in filtra z aktivnim ogljem. Tehnološka linija stare vodarne ostane v tej fazi nespremenjena. Po končani sanaciji

usedalnika se dotok vode iz kontaktnih komor za ozonacijo preveže na usedalnik. Sledi druga faza, v kateri se poruši filtra z aktivnim ogljem. Na tem mestu se zgradi armirano betonska plošča z napravami za ultrafiltracijo in predfiltrom. Tehnološko linijo čiščenja vode v tej fazi sestavlja ozonacija, sanirani usedalnik in obstoječi hitri peščeni filtri. Tehnološka linija stare vodarne ostane v tej fazi nespremenjena. V tretji fazi se porušijo hitri peščeni filtri. Dokonča se gradnja armiranobetonske plošče in namestitev ultrafiltracijskih naprav. Tehnološko linijo čiščenja vode v tej fazi sestavlja obstoječa ozonacija, sanirani usedalnik, predfilter in naprava za ultrafiltracijo. Tehnološka linija stare vodarne ostane tudi v tej fazi nespremenjena. Motnje v oskrbi s pitno vodo bodo prisotne v času izvajanja vodovodnih prevezav.

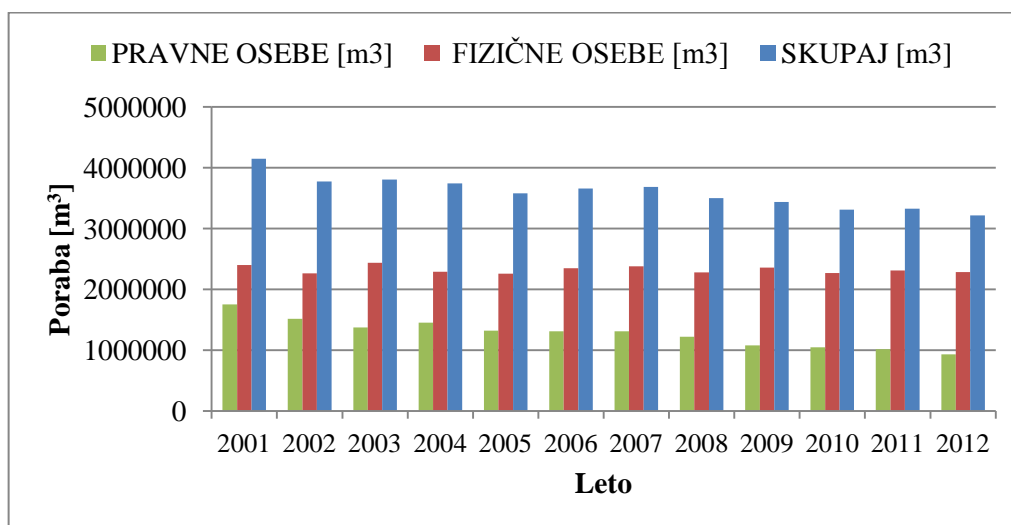
6 DIMENZIONIRANJE TEHNOLOŠKEGA POSTOPKA PRIPRAVE PITNE VODE

6.1 Analiza porabe vode

Gradbena dela na vodarni smo načrtovali za obdobje 30 let. Naprave za pripravo pitne vode smo določili glede na število uporabnikov oziroma na količino vode, ki jim jo je potrebno zagotoviti. Pri tem je potrebno upoštevati povečane količine vode, ki se pričakujejo zaradi povprečne letne rasti prebivalstva ter dodatnih priključkov prebivalcev, ki trenutno še niso priključeni na javni vodovod. Poleg fizičnih uporabnikov je velik odjemalec pitne vode tudi industrija oziroma pravne osebe. K skupni količini porabljene vode je potrebno prišteti še izgube zaradi slabega in dotrajanega vodovodnega omrežja. Količinska prodaja pitne vode je prikazana v preglednici 7, grafično pa v grafikonu 1.

Preglednica 7: Količinska prodaja vode od 2001 do 2012 (VIK, 2015).

LETO	FIZIČNE OSEBE [m ³]	PRAVNE OSEBE [m ³]	SKUPAJ [m ³]
2001	2.396.187	1.751.272	4.147.460
2002	2.260.885	1.512.199	3.773.084
2003	2.434.829	13.70.585	3.805.414
2004	2.289.479	1.452.376	3.741.855
2005	2.254.312	1.322.000	3.576.312
2006	2.345.365	1.309.917	3.655.282
2007	2.375.956	1.307.858	3.683.814
2008	2.278.466	1.218.546	3.497.012
2009	2.355.207	1.078.232	3.433.439
2010	2.267.613	1.043.840	3.311.453
2011	2.311.705	1.012.382	3.324.087
2012	2.284.925	928.328	3.213.253



Grafikon 1: Količinska prodaja vode od 2001 do 2012

Iz grafikona 1 je razvidno, da se v obdobju od leta 2001 do leta 2012 količina pitne vode pri pravnih osebah zmanjšuje, kar je posledica prenehanja delovanja določenih industrijskih obratov. Glede na dolgoletno povprečje predstavlja potrošnja vode pri pravnih osebah približno 35 odstotkov skupne prodane vode. To količino bomo upoštevali tudi v nadaljnjih izračunih.

Ob upoštevanju rasti prebivalcev smo po enačbi 3 izračunali predvideno število prebivalcev, ki so potrebni za določitev količinske porabe pitne vode v naslednjih 30. letih.

$$A_n = A_0 \cdot \left(1 + \frac{p}{100}\right)^n, \quad (3)$$

kjer je:	A_n	število prebivalcev čez n let
	$A_0 = 50000$	število prebivalcev danes [P]
	$p = 0,17$	povprečna letna rast prebivalstva [%]
	$n = 30$	število let

Predvideno število prebivalcev čez 30 let je 52.614. Iz tega podatka lahko po enačbi 4 izračunamo še dnevno količino pitne vode na prebivalca.

$$Q_A = A_n \cdot n_p, \quad (4)$$

kjer je:	Q_A	dnevna količina vode, ki jo porabijo fizične osebe
	$A_n = 52614$	število prebivalcev čez n let
	$n_p = 150$	norma porabe vode [l/P · dan]

Predvidena količina vode, ki jo bodo čez 30 let dnevno porabili prebivalci, je 7.892.100 l/dan oziroma 7.892,1 m³/dan.

Da dobimo skupno količino vode, ki jo bo upravljavec prodal, moramo fizičnim osebam prišteti še pravne osebe, ki po naši analizi porabijo 35 odstotkov prodane vode. Izračun po enačbi 5:

$$Q_P = \frac{35 \cdot Q_A}{65}, \quad (5)$$

kjer je:	Q_P	dnevna količina vode, ki jo porabijo pravne osebe.
----------	-------	--

Dnevna količina vode, ki jo porabijo pravne osebe, bo znašala 4.250 m³/dan. Skupno dnevno količino vode, ki jo bo vodarna morala prečistiti, dobimo po enačbi 6 tako, da skupni porabljeni vodi prištejemo še izgube.

$$Q_D = Q_A + Q_P + Q_i, \quad (6)$$

kjer je:

$Q_A = 7892,1$	dnevna količina vode, ki jo porabijo fizične osebe [m ³ /dan]
$Q_P = 4250$	dnevna količina vode, ki jo porabijo pravne osebe [m ³ /dan]
$Q_i = 12142,1$	dnevna količina izgub [m ³ /dan]

Pri izračunu potrebne dnevne količine prečiščene vode smo upoštevali število uporabnikov čez 30 let, količino vode za pravne osebe (industrijo) ter 50 odstotkov izgube, ki nastaja na vodovodnem omrežju. Povečane norme porabe vode na prebivalca v naslednjih 30. letih nismo upoštevali. Prav tako pri izračunih nismo upoštevali novih priključkov prebivalcev, ki sedaj še niso priključeni na vodovodno omrežje. Glede na to, da ima obstoječe vodovodno omrežje velike izgube, ki jih je potrebno sanirati, se bodo na novo priključeni uporabniki kompenzirali iz teh zalog. Z zmanjšanjem izgub se bo zmanjšala tudi obremenitev predvidene čistilne naprave in z njo povezani stroški delovanja. Skupna količina prečiščene vode, ki jo je potrebno dnevno poslati v omrežje, tako znaša 24.284,2 m³/dan oziroma 281 l/s.

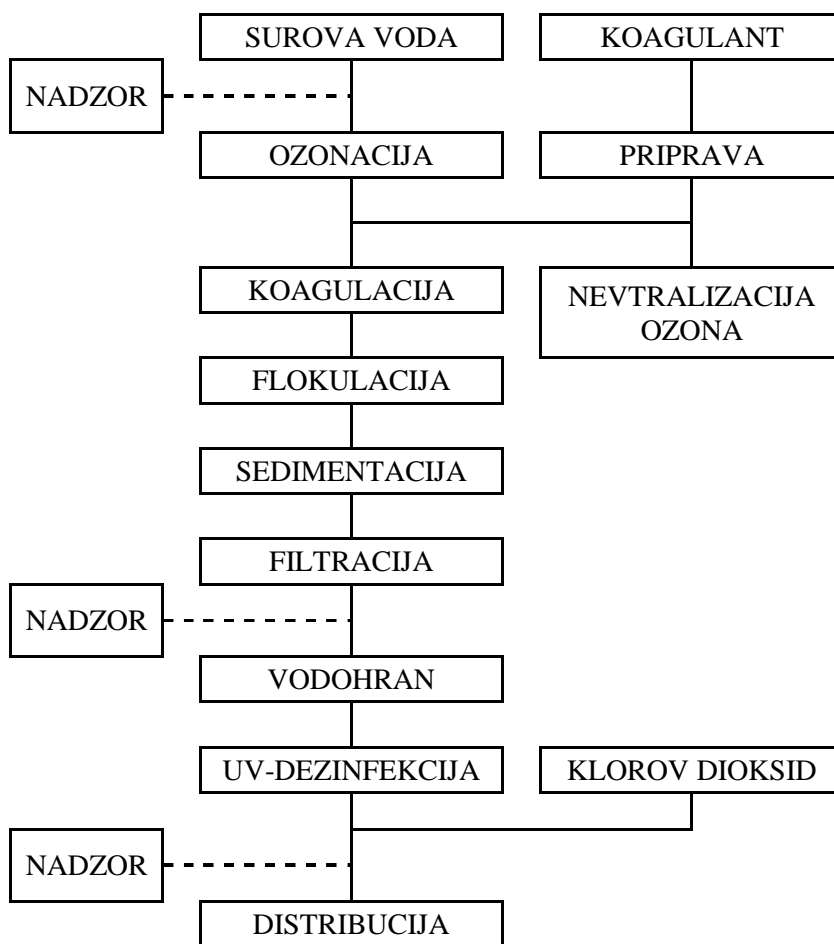
Izvir Mrzlek spada v kakovostni razred A2, za katerega je z Uredbo o kakovosti površinskih voda, ki se jih odvzema za oskrbo s pitno vodo, predpisan postopek običajne mehanske obdelave, kemijske obdelave in dezinfekcije, to je predkloriranje, koagulacije, flokulacije, dekantiranja, filtriranja in dezinfekcije kot končno kloriranje. Navedeni standardni postopki so za ta kakovostni razred obvezni, nadomestni postopki se lahko uporabijo le, če je z njimi mogoče doseči enak učinek.

Za predlog sanacije smo glede na obstoječe stanje pripravili tri tehnološke variante priprave pitne vode. V prvih dveh je izboljššan obstoječi konvencionalni postopek čiščenja, v tretji pa je glavni tehnološki postopek ultrafiltracija, ki velja za sodoben način čiščenja pitnih voda.

Ob upoštevanju potrebne dnevne količine čiste vode, ki jo je potrebno poslati v omrežje, in količine čiste vode za potrebe vodarne, ki znašajo okrog 5–10 odstotkov (prečiščene vode), smo nadaljnje postopke čiščenja dimenzionirali na pretok 300 l/s oziroma 0,3 m³/s. Pri dimenzioniranju smo upoštevali podatke analize surove vode.

6.2 Varianta 1

Tehnološki postopek priprave pitne vode pri tej varianti zajema črpanje surove vode do kontaktnih komor, kjer se izvaja ozonacija. Ozonaciji sledi koagulacija, flokulacija in sedimentacija. Iz bazena za sedimentacijo teče voda na hitre peščene filtre in nato naprej na filtre z aktivnim ogljem. Po filtraciji se voda shranjuje v obstoječem vodohranu volumna 2.000 m³. Pred vstopom vode v omrežje smo predvideli še UV-dezinfekcijo na obstoječih napravah ter dezinfekcijo s klorovim dioksidom. Odpadne vode, ki nastajajo pri čiščenju, se odvede v obnovljeni usedalnik v stari vodarni. Drugi usedalnik pa se predela v bazen za shranjevanje pralne vode. Tehnologijo čiščenja vode v stari vodarni smo opustili. Tehnološki postopek je prikazan na sliki 18 ter v prilogi D2.



Slika 18: Tehnološka shema – Varianta 1

6.2.1 Ozonacija

Ozonacijo smo v predvidenem postopku čiščenja postavili na začetek. S tem se izboljša koagulacija oziroma je pri koagulaciji potrebna manjša količina koagulantov. S to postavitvijo je izboljšano tudi odstranjevanje delcev in podaljšani obratovalni čas filtrov. Za ozonacijo smo predvideli štiri kontaktne

komore z globino vode 5 m. Ozon se vpihuje le v prvo. Potrebna količina ozona je od 1 do 1,2 mg/l. Odvečni ozon se iz komore odzrači in odvede na uničevalec ozona. Po ozonaciji sledi še nevtralizacija prostega ozona v vodi. Nevtralizacija se izvede s H₂O₂. Za pripravo ozona se uporabi obstoječo napravo. Napravo se prestavi v nov objekt, poleg novo zgrajenih kontaktnih komor.

6.2.2 Koagulacija

Pri koagulaciji se delci, vključno z mikroorganizmi, združujejo v večje kosmiče, ki se potem hitreje usedajo. Za pospešitev koagulacije smo predvideli dodajanje koagulant. Izbrali smo koagulant železov klorid (FeCl₃), ki se ga surovi vodi dozira pred vstopom v reakcijski bazen. Za določitev najbolj optimalne koncentracije koagulant je potrebno opraviti tudi jar test.

Volumen reakcijskega bazena za koagulacijo smo izračunali po enačbi 7:

$$\theta_H = \frac{1}{k} \left(\frac{C_i - C_e}{C_e} \right) = \frac{V}{Q} \Rightarrow V = \theta_H \cdot Q = 30 \text{ s} \cdot 0,3 \text{ m}^3/\text{s} = 9 \text{ m}^3, \quad (7)$$

kjer je:	θ_H	zadrževalni čas [s]
	k	koeficient hitrosti reakcije
	C_i	koncentracija na vtoku
	C_e	koncentracija na iztoku
	V	volumen reaktorja [m ³]
	Q	pretok [m ³ /s]

Priporočeni zadrževalni čas, ki je potreben, da se koagulant ob hitrem mešanju enakomerno razporedi in popolnoma premeša, je med 10 in 30 s. Za izračun smo izbrali zadrževalni čas 30 s. Ob znanem pretoku in zadrževalnem času znaša potrebni volumen reakcijskega bazena 9 m³.

Dimenzije reakcijskega bazena za koagulacijo so:

$$W = L = 2 \text{ m},$$

$$H = 1,25 W = 2,25 \text{ m},$$

kjer je:	W	širina [m],
	L	dolžina [m],
	H	višina [m].

Potrebno moč motorja mešal smo dobili s pomočjo predpostavljenega gradienta hitrosti, viskoznosti in celotnega volumna reakcijskega bazena (enačba 8). Vrednost gradienta hitrosti za kontaktni čas 30 sekund je 900 s^{-1} (preglednica 8), računski viskoznost pa $1,13 \cdot 10^{-3} \text{ Ns/m}^2$ (Kompere in Uršič, 2010).

$$G = \sqrt{\frac{P}{\mu \cdot V}} \Rightarrow P = G^2 \cdot \mu \cdot V = (900 \text{ s}^{-1})^2 \cdot 1,13 \cdot 10^{-3} \text{ Ns/m}^2 \cdot 9 \text{ m}^3 \quad (8)$$

$$= 8238 \text{ W} \cong 8,24 \text{ kW},$$

kjer je:

G	gradient hitrosti [s^{-1}]
P	porabljena moč [W]
μ	viskoznost [Ns/m^2]

Preglednica 8: Kontaktni čas in faktor G (Kompere in Uršič, 2010).

kontaktni čas [s]	G [s^{-1}]	$G \cdot \theta_H$
20	1000	20000
30	900	27000
40	750	30000
41–120	700	> 30000

Potrebna moč motorja lopatic je 8,24 kW. Skupna površina lopatic naj ne bo večja od 15 do 20 odstotkov prečnega preseka mešalnega bazena.

6.2.3 Flokulacija

Tako kot za koagulacijo je tudi za flokulacijo predvidena gradnja novega reakcijskega bazena. Bazen je lociran v novem objektu poleg reakcijskega bazena za koagulacijo.

Po hitrem mešanju sledi počasno mešanje v reakcijskem bazenu za flokulacijo. Gre za nežno mešanje, ki izboljša stik med delci in kosmiči ter olajša združevanje v večje kosme. Volumen bazena smo dimenzionirali na podoben način kot pri koagulaciji (enačba 9). Zadrževalni čas pri flokulaciji se giblje med 30 in 60 minutami. Izbrali smo 45 minut.

$$\theta_H = \frac{1}{k} \left(\ln \frac{C_i}{C_e} \right) = \frac{V}{Q} = \frac{L}{v} \Rightarrow V = \theta_H \cdot Q = 45 \cdot 60 \text{ s} \cdot 0,3 \text{ m}^3/\text{s} = 810 \text{ m}^3, \quad (9)$$

kjer je:	θ_H	zadrževalni čas [s]
	k	koeficient hitrosti reakcije
	C_i	koncentracija na vtoku
	C_e	koncentracija na iztoku
	V	volumen reaktorja [m ³]
	Q	pretok [m ³ /s]
	L	dolžina reaktorja [m]
	v	hitrost toka skozi reaktor [m/s]

Ob dobljenem volumnu smo prdpostavili višino bazena $H = 3$ m.

Bazen je razdeljen na 3 enake prekate (3×270 m³) z različnimi hitrostmi mešanja. Vrednosti gradienta hitrosti pri počasnem mešanju se gibljejo med 30 in 80 s⁻¹ (Rismal, 1995). Za prvi prekat smo izbrali gradient 60 s⁻¹, za drugi 45 s⁻¹ in za tretji 30 s⁻¹. Zadrževalni čas v posameznem prekatu je 15 minut.

Dimenzije posameznega prekata so:

$$W = 9 \text{ m}$$

$$L = 10 \text{ m}$$

$$H = 3 \text{ m}$$

Površina posameznega prekata tako znaša 90 m².

Skupna površina bazena je (enačba 10):

$$W = 9 \text{ m}$$

$$L = 30 \text{ m}$$

$$H = 3 \text{ m}$$

$$S = \frac{V}{H} = \frac{810\text{m}^3}{3\text{m}} = 270\text{m}^2 \quad (10)$$

Potrebne moči motorjev lopatic v posameznem prekatu flokulacije smo izračunali po isti enačbi kot za koagulacijo (enačba 11). Skupna površina lopatic naj ne bo večja od 15 do 20 odstotkov prečnega preseka flokulacijskega bazena.

$$G = \sqrt{\frac{P}{\mu \cdot V}} \Rightarrow P = G^2 \cdot \mu \cdot V = (60\text{s}^{-1})^2 \cdot 1,13 \cdot 10^{-3} \text{Ns/m}^2 \cdot 270\text{m}^3$$

$$= 1089\text{W} = 1,09\text{kW} \quad (11)$$

Potrebna moč v posameznem prekatu flokulacijskega bazena je prikazana v preglednici 9.

Preglednica 9: Potrebna moč mešal v odvisnosti od G.

Prekat	G[s ⁻¹]	P[kW]
1	60	1,09
2	45	0,62
3	30	0,27

Skupna potrebna moč za flokulacijo znaša 1,98 kW.

6.2.4 Sedimentacija

Predvideli smo gradnjo novega usedalnika. Usedalnik je lociran prav tako v novo zgrajenem objektu. Pri usedalnikih lahko odstranimo snovi težje od vode, v našem primeru odstranjujemo flokule po postopku flokulacije.

Površino usedalnika smo dobili po enačbi 12. Pri izračunu smo upoštevali površinsko obremenitev $v_0 = 1,4 \text{ m/h}$ oziroma $0,00039 \text{ m/s}$ (Kompore in Uršič, 2010), ki je bila dobljena eksperimentalno. Če je hitrost delca večja od v_0 , se delec usede. Idealna hitrost za zagotavljanje stabilnosti toka je $v_h = 0,0064 \text{ m/s}$.

$$S = \frac{Q}{v_0} = \frac{0,3\text{m}^3}{0,00039 \text{ m/s}} = 769,23 \cong 770\text{m}^2 \quad (12)$$

Po enačbah 13, 14 in 15 smo dobili širino, dolžino in višino usedalnika.

$$W = \sqrt{\frac{S}{3}} = \sqrt{\frac{770\text{m}^2}{3}} = 16,02 \cong 16\text{m} \quad (13)$$

$$L = 3 \cdot B = 3 \cdot 16\text{m} = 48\text{m} \quad (14)$$

$$\frac{H}{L} = \frac{v_0}{v_h} \Rightarrow H = \frac{L \cdot v_0}{v_h} = \frac{48m \cdot 0,00039m/s}{0,0064m/s} = 2,925 \cong 3m \quad (15)$$

Usedalnik je dimenzij:

$$W = 16 \text{ m}, L = 48 \text{ m in } H = 3 \text{ m}.$$

Čas zadrževanja:

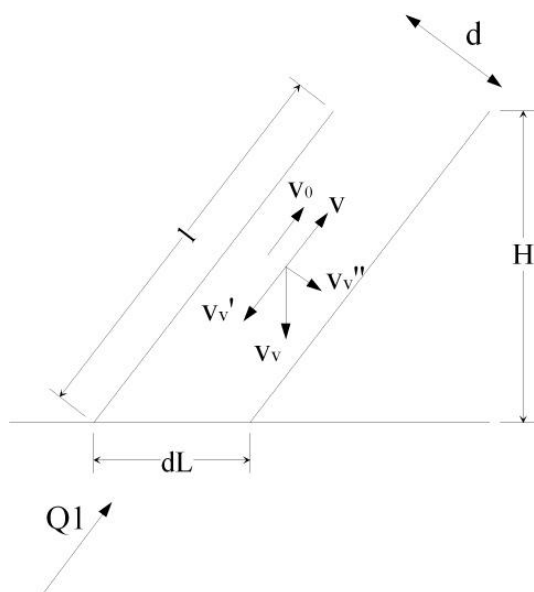
$$t = \frac{V}{Q} = \frac{W \cdot H \cdot L}{Q} = \frac{16m \cdot 3m \cdot 48m}{0,3m^3/s} = 7680s \cong 2,13h \quad (16)$$

Za izboljšanje sedimentacije v klasičnem usedalniku vgradimo vanj lamele. Lamelni usedalniki so bolj učinkoviti in potrebujejo manj prostora. Zaradi učinkovitosti pri odstranjevanju delcev z majhno hitrostjo usedanja smo predvideli lamelni usedalnik s protitočnim sistemom in naklonom lamel 60 stopinj. Izbrali smo 80 lamel dolžine 2 m, z medsebojnim razmikom 0,1 m.

Račun lamelnega usedalnika:

$$S_l = S \cdot \frac{1}{\left(\frac{l}{d} \sin \alpha \cos \alpha + \sin^2 \alpha\right)} = \frac{770}{\left(\frac{2}{0,1} \sin 60 \cos 60 + \sin^2 60\right)} \quad (17)$$
$$= 81,83m^2,$$

kjer je:	S_l	površina lamelnega usedalnika [m ²]
	S	površina klasičnega usedalnika [m ²]
	l	dolžina lamel [m]
	d	razmak med lamelami [m]
	α	naklon lamel [°]



Slika 19: Hitrosti v lameli usedalnika (Kompore in Uršič, 2010)

$$v_0 = v_v \left(\frac{l}{d} \cos \alpha + \sin \alpha \right) = 0,00039 \left(\frac{2}{0,1} \cos 60 + \sin 60 \right) \quad (18)$$

$$= 0,0042 \text{ m/s}$$

Pretok skozi lamele:

$$Q_l = \frac{Q}{80} = \frac{0,3 \text{ m}^3/\text{s}}{80} = 0,00375 \text{ m}^3/\text{s} \quad (19)$$

$$Q_l = W \cdot d \cdot v_0 \Rightarrow W = \frac{Q_l}{d \cdot v_0} = \frac{0,00375 \text{ m}^3/\text{s}}{0,1 \text{ m} \cdot 0,0042 \text{ m/s}} = 8,93 \text{ m} \cong 9 \text{ m} \quad (20)$$

$$dL = \frac{d}{\sin \alpha} = \frac{0,1 \text{ m}}{\sin 60} = 0,115 \text{ m} \quad (21)$$

$$L = dL \cdot 80 = 0,115 \text{ m} \cdot 80 = 9,2 \text{ m} \quad (22)$$

$$h = l \cdot \sin \alpha = 2 \text{ m} \cdot \sin 60 = 1,73 \text{ m} \quad (23)$$

Ob upoštevanju računskih podatkov lamel so dimenzije lamelnega usedalnika:

$$W = 9 \text{ m}, L = 10,2 \text{ m in } H = 3 \text{ m.}$$

6.2.5 Filtracija na peščenih filtrih

Predvideli smo hitro filtracijo na peščenih filtrih, za katero se uporabi obstoječe filtracijske bazene v novem delu vodarne. Obstoječo opremo in bazene se primerno preuredi in obnovi.

Povprečna hitrost filtracije pri hitrih filtrih se giblje med 5 in 10 m/h. Pri dimenzioniranju smo predpostavili hitrost filtracije 8 m/h oziroma 0,0022 m/s. Izbrali smo enoslojni filter s kremenčevim peskom.

Efektivni premer zrna d_e je 0,60 mm.

Koeficient enakomernosti zrna $\frac{d_{60}}{d_{10}}$ mora biti v mejah med 1,2 in 1,3.

Površina filtra:

$$A = \frac{Q}{v} = \frac{0,3\text{m}^3/\text{s} \cdot 3600\text{s}}{8\text{ m/h}} = 135\text{m}^2 \quad (24)$$

Izbrali smo 3 filtre s površino 45 m².

Dimenzije filtrov so: 6,5 m x 7 m

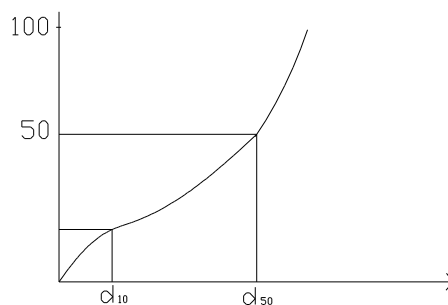
Granulacija medija:

$$d_{10} = 0,60\text{mm}$$

$$n = \frac{d_{60}}{d_{10}} = 1,25$$

$$d_{60} = 0,75\text{mm}$$

$$d_{90} = d_{10} \cdot (10^{(1,67 \cdot \log n)}) = 0,60 \cdot (10^{(1,67 \cdot \log 1,25)}) = 0,87\text{mm} \quad (25)$$



Slika 20: Zrnastostna krivulja (Kompore in Uršič, 2010)

Hidravlične izgube:

Podatki, ki smo jih upoštevali pri izračunu hidravličnih izgub:

$$\begin{aligned} L &= 0,8 \text{ m} \\ p_0 &= 0,38 \\ \nu &= 1,31 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s} \\ \psi &= 0,75 \\ d_{eq} &= 0,7 \text{ mm} \\ v_f &= 8 \text{ m/h} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{h}{L} &= \frac{5 \cdot \nu \cdot (1 - p_0)^2}{g \cdot p_0^3} \cdot \left(\frac{A}{V}\right)^2 \cdot v_f \Rightarrow \\ h &= 0,8 \text{ m} \cdot \frac{5 \cdot (1,31 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}) \cdot (1 - 0,38)^2}{9,81 \text{ m/s}^2 \cdot 0,38^3} \cdot (11,4^2 \cdot 10^6 \text{ m}^2) \cdot \frac{8}{3600} \\ &= 1,08 \text{ m} \end{aligned} \quad (26)$$

$$\begin{aligned} \frac{A}{V} &= \frac{6}{\psi \cdot d_{eq}} \\ \frac{A}{V} &= \frac{6}{0,75 \cdot 0,7 \cdot 10^{-3} \text{ m}} = 11,4 \cdot 10^3 \text{ m}, \end{aligned} \quad (27)$$

kjer je:	L	debelina filtra [m]
	p_0	poroznost,
	ν	kinematična viskoznost [m^2/s]
	ψ	faktor oblike, 1,0 = kroglja
	d_{eq}	povprečno zrno [mm]
	v_f	filtracijska hitrost [m/h]
	A	površina [m^2]
	V	prostornina [m^3]

Potrebna višina bazena do dotočnih kanalov je ob upoštevanju hidravličnih izgub in debeline filtra 1,9 m. Volumen filtrnega medija v enem filtru je 36,3 m^3 .

Hitre filtre čistimo s povratnim tokom očiščene vode in stisnjenim zrakom. Izpiranje filtrov poteka protitočno, in sicer je dotok vode za izpiranje spodaj, iztok vode od izpiranja iz filtrov pa je na vrhu.

Čas med posameznimi pranja je odvisen od maksimalnih hidravličnih izgub ali pa kakovosti filtrirane vode. Čiščenje traja 30–45 minut in se izvaja na 24–60 ur. Ocenjena poraba čiste vode za pranje filtrov je 54 m³, predvidoma enkrat na 48 ur. Voda od izpiranja filtrov se črpa v usedalnik odpadne pralne vode.

6.2.6 Filtracija z aktivnim ogljem

Po peščeni filtraciji smo predvideli filtracijo z aktivnim ogljem (GAC), za katero se uporabi obstoječa filtra s skupno površino 90 m². Filtra se preuredi tako, da se jima zviša debelino filtrnega sloja in dotočne kanale. Debelino filtrnega sloja smo določili z enačbo 28.

$$EBCT = \frac{H_{kr}}{Q/A} \Rightarrow H_{kr} = ECBT \cdot \frac{Q}{A},$$
$$H_{kr} = 10 \text{ min} \cdot 0,2 \frac{\text{m}^3}{\text{m}^2 \text{min}} = 2 \text{ m},$$
$$\frac{Q}{A} = \frac{18 \frac{\text{m}^3}{\text{min}}}{90 \text{m}^2} = 0,2 \frac{\text{m}^3}{\text{m}^2 \text{min}},$$
(28)

kjer je:	ECBT	kontaktni čas (10–15 min) [min]
	H _{kr}	debelina filtrnega sloja
	Q	pretok [m ³ /s]
	A	površina [m ²]

Filte z aktivnim ogljem čistimo s povratnim tokom očiščene vode in stisnjenim zrakom. Izpiranje filtrov poteka protitočno, in sicer je dotok vode za izpiranje spodaj, iztok vode od izpiranja iz filtrov pa je na vrhu. Čas med posameznimi pranja je odvisen od maksimalnih hidravličnih izgub ali pa kakovosti filtrirane vode. Voda od izpiranja filtrov se črpa v usedalnik odpadne pralne vode. Čas za nasičenje aktivnega oglja je odvisen od kapacitete in kakovosti izbranega aktivnega oglja ter od prisotnosti in koncentracije morebitnih organskih snovi v vodi. Ocenjeni čas za nasičenje in zamenjavo aktivnega oglja je vsaj enkrat na leto.

6.2.7 Vodohran

Uporabili smo obstoječi vodohran volumna 2.000 m³, ki se ga obnovi in primerno zaščiti njegovo notranjost.

6.2.8 UV-dezinfekcija

Za UV-dezinfekcijo smo uporabili obstoječo napravo za ultravijolično sevanje.

6.2.9 Dezinfekcija s klorovim dioksidom

Ob spoznanju, da klor tvori z organskimi snovmi trihalogenmetane – THM, ki so kot stranski produkt dezinfekcije s klorom škodljivi za zdravje, se za dezinfekcijo vode vedno več uporablja klorov dioksid. Z uporabo klorovega dioksida kot dezinfekcijskega sredstva pa THM ne nastajajo. Prednost klorovega dioksida je tudi v tem, da se snovi, ki povzročajo neprijeten vonj ali okus, kot so na primer fenoli, alge ali njihovi razgradnji produkti, s pomočjo klor dioksida razgradijo do te mere, da se jih organoleptično več ne zaznava.

Za razliko od plinskega klora uporaba klorovega dioksida ne povzroča nastanka klorofenolov, ki imajo neprijeten vonj. Če je v vodi prisoten amoniak, ki v kontaktu s prostim klorom tvori kloramine in moti dezinfekcijo ter povečuje porabo klora, klorov dioksid z njim ne reagira. Prav tako ne reagira z ostalimi dušikovimi spojinami. Učinek klorovega dioksida na spore in viruse pa je celo boljši kot učinek klora. Klorov dioksid je v vodi tudi zelo stabilen. Po reakciji ostane višek klorovega dioksida v vodi in tako omogoča tudi rezidualen dezinfekcijski učinek na vseh odjemnih mestih, kar je še posebej pomembno pri dolгих transportnih poteh pitne vode. S tem se učinkovito onemogoča ponovna kontaminacija pitne vode z bakterijami.

Klorov dioksid je potrebno zaradi svojih fizikalnih in kemijskih lastnosti pripravljati kot vodno raztopino na mestu porabe. Proizvaja se ga iz plinskega klora Cl_2 in raztopine natrijevega klorita NaClO_2 ali iz klorovodikove kisline HCl in natrijevega klorita NaClO_2 .

Za dezinfekcijo smo izbrali klorov dioksid, ki se ga bo pridobivalo iz raztopine natrijevega klorita in klorovodikove kisline.



Teoretično je potrebno za 1.000 g ClO_2 , 1676 g NaClO_2 in 540 g HCl . Pri pripravi klorovega dioksida se raztopini dozirata s pomočjo dozirne črpalke v reakcijsko posodo, kjer steče reakcija. Raztopina klorovega dioksida se premeša v statičnem mešalu in se preko by-passa dodaja očiščeni vodi. Tako pripravljena voda se iz by-passa vodi nazaj na glavni cevovod očiščene pitne vode in naprej v omrežje.

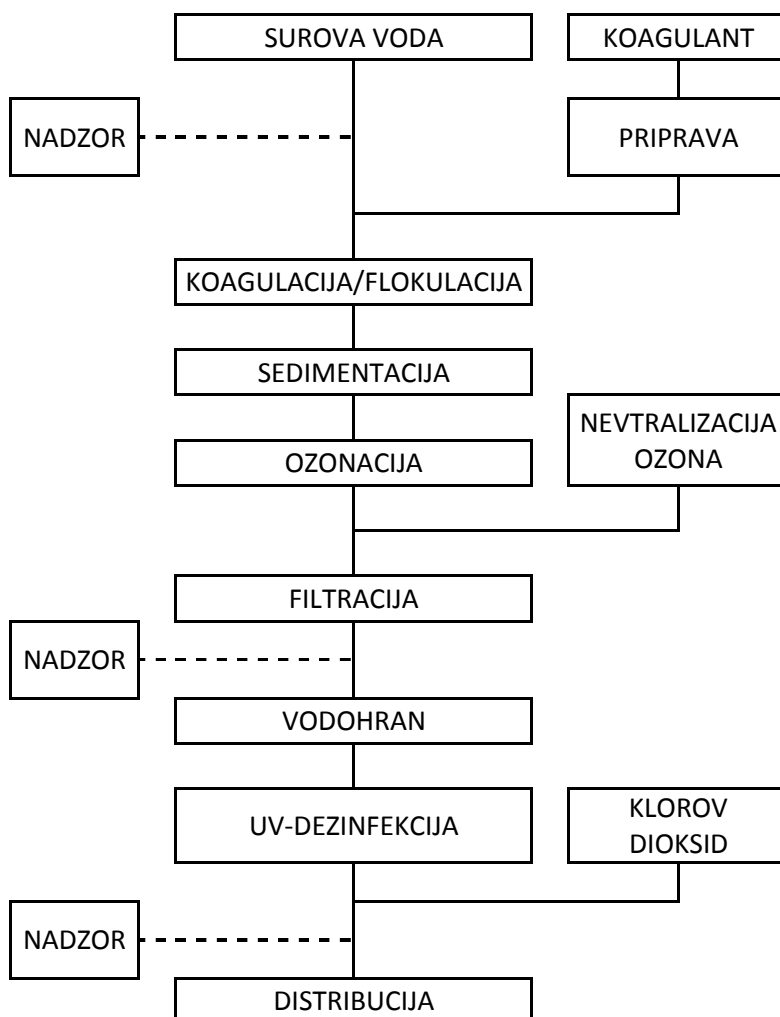
Pri pretoku 300 l/s je potrebno pripraviti približno 216 g/h klor dioksida. Razredčene raztopine klorovodikove kisline in natrijevega klorita se shranjujejo in dozirajo iz sodov.

6.2.10 Odpadne vode

Odpadne vode, ki nastajajo pri pranju, se odvedejo v obstoječi usedalnik v stari vodarni, ki se ga primerno obnovi. Iz usedalnika se prečiščena voda spusti v reko Sočo ali v kanalizacijsko omrežje. Odvečno blato iz usedalnika se odpelje na deponijo ali na čistilno napravo za odpadno vodo, kjer se ga dokončno obdela.

6.3 Varianta 2

Tehnološki postopek priprave pitne vode pri tej varianti zajema črpanje surove vode do akceleratorja, kjer poteka koagulacija in flokulacija. Po flokulaciji sledi sedimentacija v novem lamelnem usedalniku. Iz usedalnika teče voda v kontaktne komore, kjer se izvaja ozonacija. Ozonaciji sledi filtracija na hitrih peščenih filtrih in filtrih z aktivnim ogljem. Po filtraciji se voda shranjuje v obstoječem vodohranu volumna 2.000 m³. Pred vstopom vode v omrežje smo predvideli še UV-dezinfekcijo na obstoječih napravah ter dezinfekcijo s klorovim dioksidom. Odpadne vode, ki nastajajo pri čiščenju, se odvede v obnovljeni usedalnik v stari vodarni. Drugi usedalnik pa se predela v bazen za shranjevanje pralne vode. Tehnologijo čiščenja vode v stari vodarni smo opustili. Tehnološki postopek je prikazan na sliki 21 ter v prilogi E2.



Slika 21: Tehnološka shema – Varianta 2

6.3.1 Koagulacija in flokulacija

Za postopek koagulacije in flokulacije smo predvideli predelavo obstoječega okroglega usedalnika. Usedalnik se predela v akcelerator. Za pospešitev koagulacije smo predvideli dodajanje koagulant. Izbrani koagulant je železov klorid (FeCl_3), ki se ga surovi vodi dozira pred vstopom v akcelerator in premeša v statičnem mešalu. Za določitev najbolj optimalne koncentracije koagulant je potrebno opraviti tudi jar test.

Izračun potrebnega volumna za flokulacijo je enak kot pri Varianti 1 (glej poglavje 6.2.3). Ob zadrževalnem času 45 minut in pretoku 300 l/s je potreben volumen reakcijskega bazena za flokulacijo 810 m^3 (enačba 9).

Potrebno moč motorja lopatic za flokulacijo smo izračunali po enačbi 29. Skupna površina lopatic naj ne bo večja od 15 do 20 odstotkov prečnega preseka flokulacijskega bazena.

$$G = \sqrt{\frac{P}{\mu \cdot V}} \Rightarrow P = G^2 \cdot \mu \cdot V = (45 \text{ s}^{-1})^2 \cdot 1,13 \cdot 10^{-3} \text{ Ns/m}^2 \cdot 810 \text{ m}^3 \quad (29)$$
$$= 1853 \text{ W} \cong 1,85 \text{ kW}$$

6.3.2 Sedimentacija

Za sedimentacijo smo predvideli gradnjo novega lamelnega usedalnika. Izračun in dimenzije so enake kot pri Varianti 1 (glej poglavje 6.2.4).

6.3.3 Ozonacija

Ozonacijo smo v predvidenem postopku čiščenja vključili pred filtracijo na peščenih filtrih. Uporabili smo obstoječe kontaktne komore in generator za pripravo ozona. Ozon se vpahuje le v prvo komoro. Potrebna količina ozona je od 1 do 1,2 mg/l. Odvečni ozon se iz komore odzrača in odvede na uničevalec ozona. Po ozonaciji sledi še nevtralizacija ozona s H_2O_2 . Napravo za pripravo ozona se prestavi v novo zgrajen objekt.

6.3.4 Filtracija na peščenih filtrih

Predvideli smo filtracijo s hitrimi peščenimi filtri, tako kot pri Varianti 1 (glej poglavje 6.2.5).

6.3.5 Filtracija z aktivnim ogljem

Po peščeni filtraciji smo predvideli filtracijo z aktivnim ogljem (GAC), za katero se uporabi obstoječa filtra. Tako kot pri Varianti 1 (glej poglavje 6.2.6).

6.3.6 Vodohran

Uporabili smo obstoječi vodohran volumna 2.000 m³, ki se ga obnovi in primerno zaščiti njegovo notranjost.

6.3.7 UV-dezinfekcija

Za UV-dezinfekcijo smo uporabili obstoječo napravo za ultravijolično sevanje.

6.3.8 Dezinfekcija s klorovim dioksidom

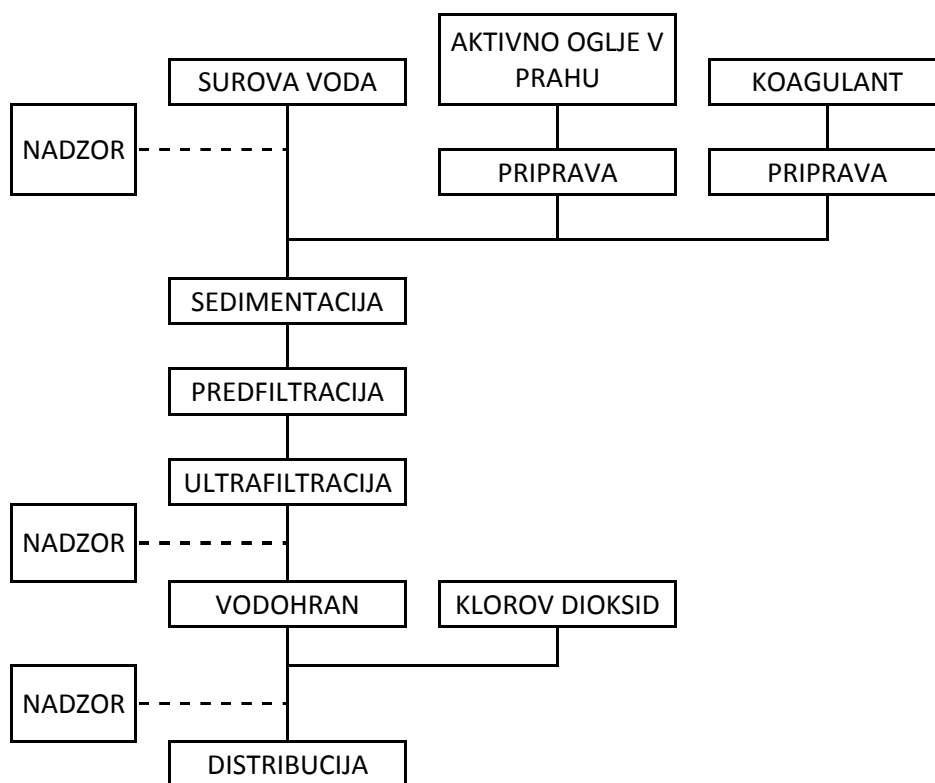
Tako kot pri Varianti 1 smo za dezinfekcijo predvideli klorov dioksid (glej poglavje 6.2.8).

6.3.9 Odpadne vode

Odpadne vode, ki nastajajo pri pranju, se odvedejo v obstoječi usedalnik v stari vodarni, ki se ga primerno obnovi. Iz usedalnika se prečiščena voda spusti v reko Sočo ali v kanalizacijsko omrežje. Odvečno blato iz usedalnika se odpelje na deponijo ali na čistilno napravo za odpadno vodo, kjer se ga dokončno obdela.

6.4 Varianta 3

Tehnološki postopek priprave pitne vode pri tej varianti zajema črpanje surove vode, do obstoječega obnovljenega usedalnika. V njem se po potrebi glede na stanje surove vode dodaja koagulant ali aktivno oglje v prahu (PAC). Iz usedalnika teče voda na predfilter, kateremu sledi ultrafiltracija, ki je sestavljena iz velikega števila tlačnih modulov. Po ultrafiltraciji se voda shranjuje v obstoječem vodohranu volumna 2.000 m³. Pred vstopom vode v omrežje smo predvideli še dezinfekcijo s klorovim dioksidom. Za shranjevanje pralne vode in za bazen za nevtralizacijo smo predvideli usedalnika v stari vodarni, ki se ju primerno preuredi in obnovi. Tehnologijo čiščenja vode v stari vodarni se opusti. Tehnološki postopek je prikazan na sliki 22 ter v prilogi F2.



Slika 22: Tehnološka shema – Varianta 3

6.4.1 Sedimentacija

Za sedimentacijo smo predvideli uporabo obstoječega okroglega usedalnika, ki se ga primerno sanira.

6.4.2 Prefiltracija

Iz usedalnika teče voda na predfilter. Izbrali smo dva vzporedno postavljena predfiltra, kjer se odstranijo delci do velikosti 100 μm . Naloga predfiltra je, da zaščiti membrane pred večjimi mehanskimi delci. Prefiltre čistimo s povratnim tokom očiščene vode. Čas med posameznimi pranju je odvisen od kakovosti filtrirane vode. Voda od izpiranja predfiltrov se črpa v usedalnik odpadne pralne vode.

6.4.3 Ultrafiltracija

Po predfiltraciji teče voda na napravo za ultrafiltracijo. Zaradi boljšega obratovanja so tlačni moduli razporejeni v več vzporedno delujočih samostojnih naprav. Vsaka naprava je sestavljena iz večjega števila delujočih modulov. Natančno število modulov in število vzporedno delujočih naprav, ki jih sestavljajo moduli, je odvisno od proizvajalca opreme in količine vode, ki jo želimo prečistiti. Primer ultrafiltracijske naprave z vertikalno postavljenimi moduli je prikazan na sliki 20.



Slika 23: Ultrafiltracijski moduli (Vir: Kochmembrane, 2015)

Za postopek ultrafiltracije smo izbrali membrane v tlačnih moduli z votlimi vlakni in velikostjo por 0,03 μm . Izbrani proizvajalec ponuja napravo s 60 moduli v eni napravi. Glede na zmogljivost posameznega modula je za pretok 300 l/s potrebno skupaj 360 modulov, kar pomeni šest vzporedno delujočih ultrafiltracijskih naprav. Izbrano število modulov omogoča stalni pretok 300 l/s, tudi ob čiščenju membran. Lastnosti in obratovalni parametri posameznega modula so prikazani v preglednici 10 in preglednici 11, podrobnosti sistema pa v preglednici 12.

Preglednica 10: Lastnosti modula (Vir: DOW, 2015).

Model	DOW 2860
Višina	1860 mm
Premer	180 mm
Površina membrane	51 m ²
Teža (brez vode)	48 kg
Material membrane	PVDF (polivinilden difluorid)
Velikost por	0,03 µm
Delovanje	od zunaj navznoter (<i>angl. outside-in</i>)
Ohišje	PVC

Preglednica 11: Obratovalni parametri modula (Vir: DOW, 2015).

Razpon pretoka	2–6,1 m ³ /h
Delovna temperatura	1–40 °C
Največji vstopni tlak	6,25 bar
Transmembranski tlak (TMP)	2,1 bar
Največji pretok zraka za čiščenje	12 m ³ /h
Največji tlak povratne vode za čiščenje	2,5 bar
Obratovalni pH	2.0–11.0
Najvišja koncentracija NaOCl	2000 mg/l
Največja velikost delcev	300 µm
Največja motnost	300 NTU

Preglednica 12: Podrobnosti sistema.

Volumen vode v posameznem modulu	30 l
Število modulov v eni napravi	60
Število UF naprav	5 ^a + 1 ^b
Število modulov	300 ^c + 60 ^d
Delovni fluks	73 l/m ² /h
Ocenjeni tlak skoti membrane (TMP):	1,0 bar (pri načrtovani temperaturi) 1,1 bar (pri minimalni temperaturi)
Pretok permeata ene naprave	223,5 m ³ /h

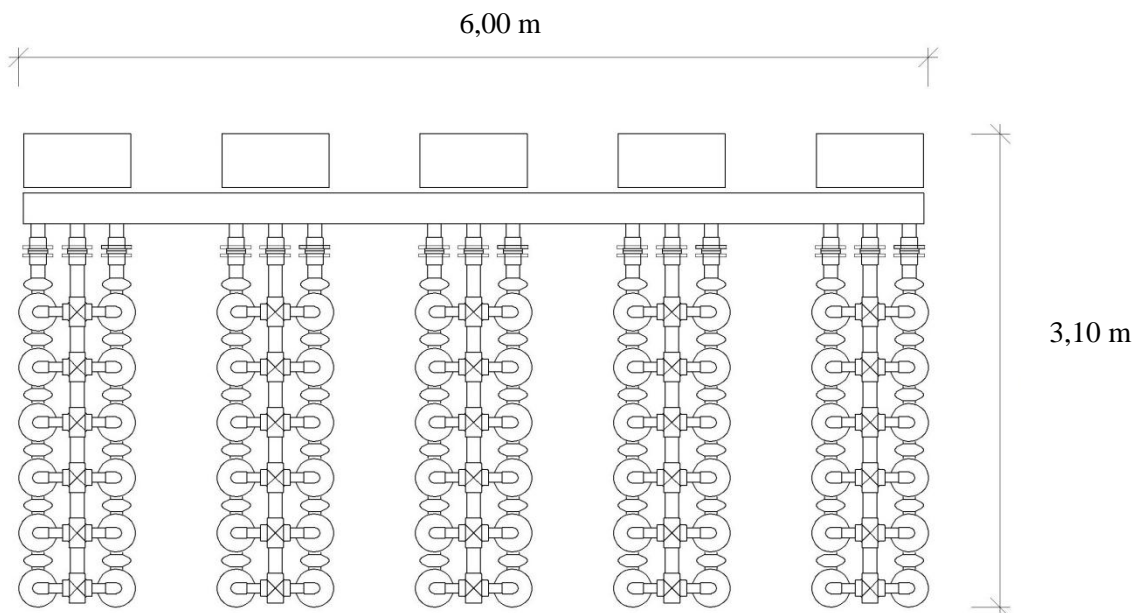
a – število naprav v delovanju

b – število naprav v pripravljenosti

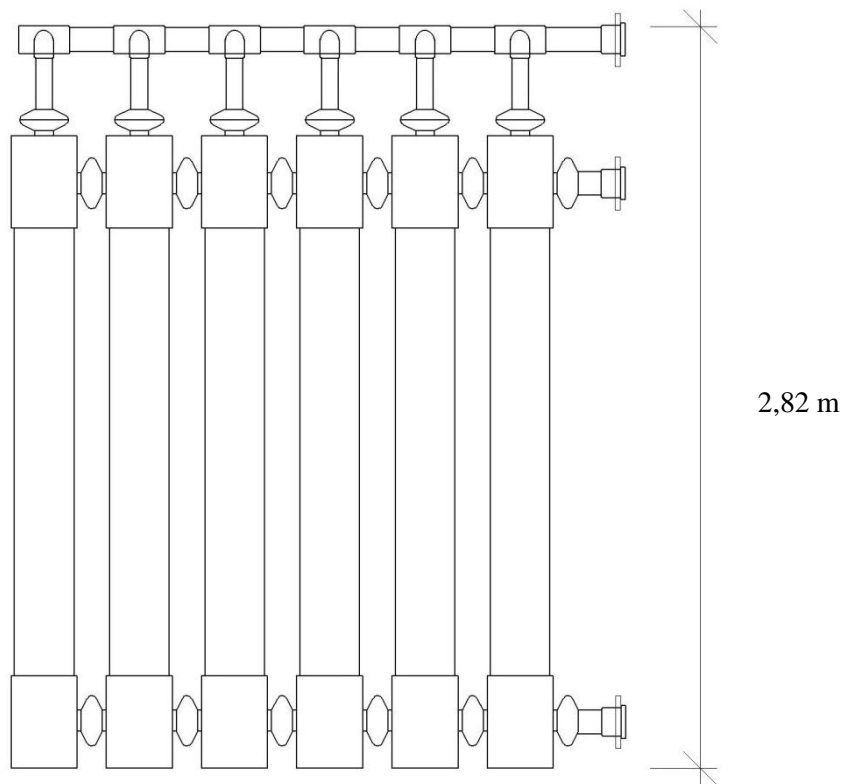
c – število modulov v delovanju

d – število modulov v pripravljenosti

Tlorisne dimenzije ultrafiltracijske naprave za naš primer so prikazane na sliki 24, stranski pogled z višino pa na sliki 25.



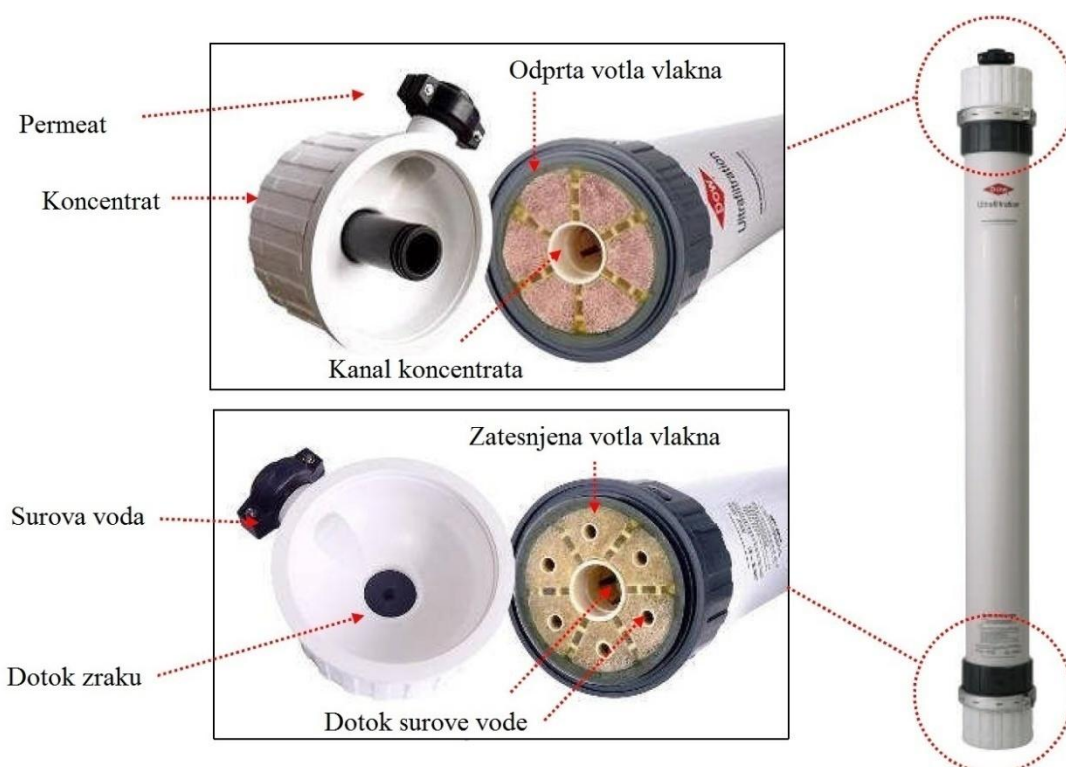
Slika 24: Tloris ultrafiltracijske naprave (ni v merilu)



Opomba: Vgradna višina je 3,20 m.

Slika 25: Stranski pogled ultrafiltracijske naprave (ni v merilu)

Pri izbrani napravi je postavitvev modulov vertikalna, vtok surove vode pa je na dnu (slika 26). Skozi membrano teče surova voda pod pritiskom, ki ga ustvarja črpalka. Filtrira se prečno skozi stene membran od zunaj navznoter tako, da nečistoče ostanejo na zunanji strani. Prepustnost membran zagotavlja vedno bistro vodo in 99,99-odstotno odstranitev delcev in mikroorganizmov velikosti nad 0,03 µm (preglednica 13). Permeat se zbira na vrhu modula, od koder teče v zbirni bazen za čisto vodo – vodohran, od tu naprej pa v vodovodno omrežje. Pretok vode skozi sistem je urejen glede na nivo vode v vodohranu.



Slika 26: Membranski modul (Vir: prirejeno po DOW, 2015)

Preglednica 13: Rezultati ultrafiltracije (Vir: DOW, 2015).

Motnost	$\leq 0,2$ NTU
Bakterije	> 4 -log
Giardia	> 4 -log
Cryptosporidium	> 4 -log

Za nemoteno obratovanje, preprečevanje nastajanja oblog na površini membran in podaljševanje življenjske dobe membran je potrebno membrane redno čistiti. Čiščenje membran poteka popolnoma avtomatsko s povratnim pranjem ter občasno s pomočjo kemikalij. Na ta način membrane vzdržujemo in obnavljamo. Pogostost čiščenja je odvisna od kakovosti surove vode.

Za surovo vodo izvira Mrzlek smo predvideli povratno pranje membran na vsakih 50 minut. Pranje poteka z očiščeno vodo in zrakom. Po potrebi se dodaja tudi NaOCl. Vzdrževalno čiščenje (CEB) je kemijsko čiščenje in se prav tako izvaja popolnoma avtomatsko na vsakih 168 h z NaOCl oziroma na vsakih 336 h s HCl. Membrane se približno 15 minut povratno izpira. Med izpiranjem se v eni sekvenci dodaja NaOCl in nato v drugi sekvenci organski kisli čistilec membran za odstranitev neorganskih soli. Občasno se izvaja tudi kemijsko obnovitveno čiščenje membran (CIP). CIP-čiščenje membran smo predvideli na 75 dni. V tem primeru se membrane namakajo v raztopini kemikalij. Zaradi boljšega čiščenja se pralno vodo lahko tudi segreje, do temperature, ki je še sprejemljiva za membrane. Običajna življenjska doba membran je 8 let, v primeru čiščenja manj onesnaženih voda pa tudi 10 let. Trajanje in pogostost posameznega čiščenja smo prikazali v preglednici 14, porabo posameznih kemikalij pa v preglednici 15.

Preglednica 14: Čiščenje membran.

Način čiščenja	Pogostost	Trajanje
Povratno pranje z očiščeno vodo in zrakom	50 min	2–3 min
CEB s kislino	336 h	15 min
CEB z oksidantom	168 h	15 min
CIP	75 dni	120 min

Preglednica 15: Poraba kemikalij.

Način čiščenja	Ime kemikalije	Ocenjena dnevna poraba [kg/dan]
CEB-kislina	HCl (35 %)	2,498
CEB-oksidant	NaOCl (10 %)	10,929
CIP-kislina	HCl (35 %)	0,686
CIP-alkalije	NaOH (50 %)	0,240
CIP-oksidant	NaOCl (10 %)	2,400

Po končanem kemijskem čiščenju se odpadne vode zbirajo v nevtralizacijskem bazenu, kjer se korigira pH-vrednost. Usedline, ki se nabirajo v bazenu, se deponira ali skupaj z odpadno vodo pri pranju spusti v kanalizacijo.

V preglednici 16 smo prikazali največje porabnike električne energije, ki so potrebni, da sistem deluje normalno.

Preglednica 16: Poraba energije.

Ime	Predviden tlak	Moč	Ocenjena poraba električne energije
Črpalka surove vode	2,1 bar	88,55 kW	75,216 kWh/1000 m ³
Črpalka povratnega pranja	1,5 bar	18,95 kW	1,781 kWh/1000 m ³
CIP-črpalka	2,9 bar	9,11 kW	0,094 kWh/1000 m ³

6.4.4 Vodohran

Uporabi se obstoječi vodohran volumna 2.000 m³, ki se ga obnovi in zaščiti njegovo notranjost.

6.4.5 Dezinfekcija s klorovim dioksidom

Kakovost vode po ultrafiltraciji ustreza zahtevam, ki so določene v Pravilniku o pitni vodi. Da se prepreči naknadno onesnaženje v vodovodnem sistemu, do katerega lahko pride zaradi vdora okoliške vode, se pred izpustom v omrežje opravi še rezidualno dezinfekcijo s klorovim dioksidom. Tako kot pri Varianti 1 je za dezinfekcijo predviden klorov dioksid (glej poglavje 6.2.8).

6.4.6 Odpadne vode

Odpadne vode, ki nastajajo pri povratnem pranju s čisto vodo, se odvedejo v usedalnik. Vode po kemijskem pranju UF-modulov pa se odvedejo prvo v nevtralizacijski bazen, nato pa v usedalnik. Iz usedalnika se prečiščena voda spusti v reko Sočo ali v kanalizacijsko omrežje. Odvečno blato se odpelje na deponijo ali na čistilno napravo za odpadno vodo, kjer se ga dokončno obdela.

7 EKONOMSKA PRIMERJAVA

Na podlagi cen, ki smo jih dobili pri posameznih podjetjih smo vse tri variante tudi stroškovno ocenili. Za ekonomsko primerjavo smo naredili oceno posamezne investicije, pri čemer smo investicijo razdelili na gradbena dela in tehnološko opremo. Iz preglednice 17 je razvidno, da so investicijski stroški povezani z gradbenimi deli, najvišji pri Varianti 1. Sledi ji Varianta 2, kot najugodnejša pa je Varianta 3. Pri oceni tehnološke opreme je najugodnejša Varianta 2, najdražja pa Varianta 3. Varianta 1 je po investicijskih stroških tehnološke opreme malenkost dražja od Variante 2. Skupni investicijski stroški so največji pri Varianti 3, ki ji sledi Varianta 1. Kot najugodnejša investicija pa je Varianta 2.

Preglednica 17: Investicijski stroški.

Investicijski stroški:	Varianta 1 [€]	Varianta 2 [€]	Varianta 3 [€]
Gradbena dela	1.200.000	500.000	70.000
Tehnološka oprema	354.000	348.500	4.300.000
Skupaj:	1.554.000	848.500	4.370.000

Najnižje obratovalne letne stroške smo ocenili za Varianto 3. Prednost te variante je v tem, da ima najmanjšo porabo kemikalij in z njo povezane stroške. Najmanjša je tudi poraba pralne vode. Posledično je tudi količina nastalih odpadnih vod bistveno manjša, kot je to pri ostalih dveh postopkih. Po porabi električne energije pa je Varianta 3 najdražja.

Varianti 1 in 2 sta si po obratovalnih letnih stroških zelo podobni. Majhno odstopanje gre v plus Varianti 2. Velik obratovalni strošek pri teh dveh variantah predstavljajo zamenjave filtrskega peska, oglja in UV-žarnic. Zamenjave je potrebno opraviti vsaj enkrat letno. Obratovalni letni stroški so predstavljeni v preglednici 18.

Preglednica 18: Obratovalni letni stroški.

Obratovalni letni stroški:	Enota	Varianta 1	Varianta 2	Varianta 3
Letna količina načrpane vode	m ³ /leto	9.460.800	9.460.800	9.460.800
Letna količina prečiščene vode	m ³ /leto	8.798.544	8.798.544	8.987.760
Električna energija	€	421.286	411.059	453.736
Kemikalije	€	47.887	47.887	25.850
Zamenjava filtrskega peska	€	10.000	10.000	/
Zamenjava filtrskega oglja	€	198.000	198.000	/
Zamenjava UV-žarnic	€	8.000	8.000	/
Strošek dela	€	150.000	150.000	150.000
Ostali stroški	€	250.000	250.000	250.000
Skupaj obratovalni stroški:	€	1.085.173	1.074.945	879.586

Pomembna postavka pri ocenjevanju letnih stroškov je tudi amortizacija gradbenih objektov in tehnološke opreme. Pri izračunu amortizacije smo za gradbene objekte upoštevali amortizacijsko dobo 30 let, za tehnološko opremo pa 10 let. Kot je razvidno iz preglednice 19, ima največjo skupno amortizacijo Varianta 3, najnižjo pa Varianta 2.

Preglednica 19: Amortizacija.

Amortizacija:	Amortizacijska stopnja [%]	Varianta 1	Varianta 2	Varianta 3
Gradbena dela	3,33	39.960	16.650	2.331
Tehnološka oprema	10	35.400	34.850	430.000
Skupaj amortizacija:		75.360	51.500	432.331

Pri izračunu letnega investicijskega vzdrževanja smo za gradbena dela upoštevali stopnjo 1. odstotka investicije, pri tehnološki opremi pa stopnjo 2. odstotkov investicije. Investicijsko vzdrževanje je najdražje pri Varianti 3. Najcenejše pa je pri Varianti 2.

Preglednica 20: Investicijsko vzdrževanje.

Investicijsko vzdrževanje	Stopnja [%]	Varianta 1	Varianta 2	Varianta 3
Gradbena dela	1	12.000	5.000	700
Tehnološka oprema	2	7.080	6.970	86.000
Skupaj investicijsko vzdrževanje:		19.080	11.970	86.700

Skupne letne stroške (preglednica 21) smo dobili tako, da smo sešteli obratovalne letne stroške, strošek amortizacije in strošek investicijskega vzdrževanja. Glede na letno količino očiščene vode smo izračunali še stroškovno ceno za 1 m³ očiščene vode. Strošek čiščenja vode je najcenejši pri Varianti 2, kjer znaša 0,129 EUR/m³, kateri sledi malenkost dražja Varianta 1 z 0,134 EUR/m³. Z najvišjim stroškom čiščenja pa se je izkazala Varianta 3, kjer strošek znaša 0,156 EUR/m³.

Preglednica 21: Skupni letni stroški.

	Enota	Varianta 1	Varianta 2	Varianta 3
Skupni letni stroški:	€	1.179.613	1.138.415	1.398.617
Letna količina očiščene vode	m ³	8.798.544	8798544	8.987.760
Letni stroški čiščenja	€/m ³	0,134	0,129	0,156

8 ZAKLJUČEK

Vse predlagane variante zagotavljajo zdravstveno neoporečno vodo, skladno s Pravilnikom o pitni vodi.

Pregled literature kaže, da je ultrafiltracija najprimernejši in najvarnejši postopek obdelave površinskih in kraških voda. Z ultrafiltracijo se izognemo stranskim produktom dezinfekcije, kot je to pri kloru, ozonu, klorovemu dioksidu in UV-svetlobi. Prav tako je ob optimalno vodenem procesu in ustrezni izbiri ultrafiltracijske opreme postopek učinkovitejši od vseh do sedaj znanih kemičnih sredstev in od uporabe peščenih filtrov. Dezinfekcija je morda smiselna le zaradi preprečitve nastanka mikroorganizmov v vodovodnem omrežju. Vendar pa to ni več obvezno, če se oceni, da je vodovodno omrežje v takšnem stanju, da dodajanje rezidualne koncentracije dezinfekcijskega sredstva ni potrebno.

Predlog sanacije vodarne smo izdelali glede na predvideno porabo vode čez 30 let in z upoštevanjem obstoječih izgub. Izgube na vodovodnem omrežju znašajo približno 50 odstotkov prečiščene vode. Sanacija vodovodnega omrežja je zaradi tako velikih izgub nujna in smiselna pred sanacijo vodarne. Z zmanjšanjem izgub se razbremeni delovanje vodarne, saj se zmanjša potrebna količina očiščene vode. Posledično se znižajo tudi investicijski stroški sanacije vodarne. V primeru sanacije ob tako velikih izgubah očiščene vode predlagamo sanacijo v več fazah. Takšno sanacijo omogoča Varianta 3, saj se ob povečanju porabe pitne vode filtracijske module glede na potrebe dodaja.

Z ekonomskega vidika je najbolj ugodna Varianta 2. Kakovost očiščene vode pa gre v plus Varianti 3. Kljub temu da je Varianta 3 najdražja, predlagamo, da se vodarno sanira po tej varianti, saj ima nedvomno najboljše rezultate očiščene vode, poraba kemikalij pa je najnižja. Na koncu ne smemo prezreti dejstva, da je potreba po zelo čisti vodi v vsakem primeru upravičena, ne glede na razliko v stroških, saj gre za zdravje ljudi.

VIRI

Uporabljeni viri

ARSO. 2015a. Kakovost površinskih virov pitne vode v Sloveniji. Ministrstvo za okolje in prostor, Agencija Republike Slovenije za okolje.

http://www.arso.gov.si/vode/reke/publikacije%20in%20poro%C4%8Dila/PVOPV_publikacija-01.pdf
(Pridobljeno 30. 9. 2015.)

ARSO. 2015b. Poročilo o monitoringu kakovosti površinskih voda, ki se jih odvzema za oskrbo s pitno vodo, za leto 2002, in razvrstitev površinskih voda v kakovostne razrede za obdobje 1998–2002, Ljubljana, januar 2004. Ministrstvo za okolje in prostor, Agencija Republike Slovenije za okolje.

http://www.arso.gov.si/vode/reke/publikacije%20in%20poro%C4%8Dila/porocilo_PVOPV_1998_2002.pdf (Pridobljeno 30. 9. 2015.)

Bauman, M., Pobežnik, M., Lobnik A. 2011. Metode čiščenja in priprave površinskih in podzemnih voda. V: Volfand, J. (ur.). Upravljanje voda v Sloveniji, Zbirka Zelena Slovenija. Celje: Fit media, d. o. o.: str. 85–98.

Cesar, A. 2008. Postopki čiščenja podtalnice onesnažene z atrazinom in njegovimi metaboliti. Magistrska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo (samozaložba A. Cesar): 90 str.

Čerič, T. 2006. Odstranjevanje parazitov iz kraških površinskih voda z ultrafiltracijo. Seminarska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo (samozaložba T. Čerič): 73 str.

Degremont. 2015.

<http://www.degremont.com/en/know-how/municipal-water-treatment/desalination/reverse-osmosis/processes/> (Pridobljeno 15. 10. 2015.)

Dokl, A. 2013. Priprava pitne vode iz površinske z uporabo ultrafiltracije in reverzne osmoze. Diplomaska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo. (samozaložba A. Dokl): 80 str.

Drev, D. Vodovod 2009.

<https://www.scribd.com/doc/23335105/13/ADSORBCIJA> (Pridobljeno 18. 12. 2014.)

DOW. 2015.

<http://www.dow.com/en-us/water-and-process-solutions/products/ultrafiltration> (Pridobljeno: 19. 11. 2015.)

Ekom. 2014.

<http://www.ekom.si/voda02.php> (Pridobljeno 19. 8. 2014.)

EPA, 1999. Alternative Disinfectants and Oxidants Guidance Manual. EPA, Office of Water.

Geopedia. 2015.

<http://www.geopedia.si> (Pridobljeno 30. 9. 2015.)

EPA, 2005. Membrane filtration guidance manual. Washington, D.C., US EPA: 332 str.

Gray, N. F. 2002. Water technology: an introduction for scientists and engineers. Oxford: 548 str.

Habič, P. 1982. Kraški izvir Mrzlek, njegovo zaledje in varovalno območje. Ljubljana, Acta carsologica 10: 45–73.

Hammer, M. Jr., Hammer, M. 2004. Water and Wastewater Technology. New Jersey, Prentice-Hall: 540 str.

Horvat, M. 2007. Idejna študija sanacije čistilne naprave za pitno vodo Mrzlek. Diplomaska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo (samozaložba M. Horvat): 84 str.

Inštitut za varovanje zdravja. 2014.

http://www.ivz.si/Mp.aspx?ni=115&pi=5&_5_id=410&_5_PageIndex=0&_5_groupId=245&_5_newsCategory=&_5_action>ShowNewsFull&pl=115-5.0 (Pridobljeno 21. 10. 2014.)

IWA. 2014.

www.iwawaterwiki.org (Pridobljeno 21. 12. 2014.)

Janež, J. 2008. Hidrogeološko poročilo za pridobitev vodnega dovoljenja za izvir Mrzlek ob Soči pri Novi Gorici. Idrija, Geologija, d. o. o.

Joe Jaworski's Weblog. 2015.

<https://joejaworski.wordpress.com/2008/05/09/does-a-reef-tank-need-carbon/> (Pridobljeno 1. 10. 2015.)

Lixus. 2015.

<http://www.lixus.net.cn/en/products/Membrane.aspx> (Pridobljeno 16. 11. 2015.)

Lobnik, A. 2008. Ekologija in okoljevarstvo, Navodila za vaje. Maribor, Univerza v Mariboru, Fakulteta za strojništvo.

<http://fs-server.uni-mb.si/si/inst/itkek/lakbp/izpiti/Ekologija%20in%20Okoljevarstvo%20-%20gradivo%20in%20vaje/vaje%2008-09/Navodila%20za%20vaje%2008-09.pdf> (Pridobljeno 19. 8. 2014.)

Kochmembrane. 2015.

<http://www.kochmembrane.com/> (Pridobljeno 15. 5. 2015.)

Kompare, B., Ravnikar, J. 2005. Problematika dezinfekcije v pripravi pitnih voda. Vodni dnevi 2005, Zbornik referatov, Slovensko društvo za zaščito voda.

Kompare, B., Uršič, M. 2010. Čiščenje pitnih voda – vaje. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo.

Kompare, B. 2005. Možnosti uporabe površinskih voda za pripravo pitne vode. Vodni dnevi 2005, Zbornik referatov, Slovensko društvo za zaščito voda.

Kraški vodovod. 2015.

<http://www.kraski-vodovod.si/?stran=voda-trdota> (Pridobljeno 19. 10. 2015.)

Pierre Cote, Zamir Alam, Jeff Penny: Hollow fiber membrane life in membrane bioreactors (MBR). Desalination. 1 Marec 2012, str. 145–151

http://www.zenonenv.com/images/misc/life_cycle_solutions/04-2012/MBR%20Membrane%20Life%20-%20Desalination%202012.pdf (Pridobljeno 15. 5. 2015.)

Plohl, B. 2008. Priprava pitne vode iz vodnih virov na levem bregu Mure. Diplomsko naloga Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo (samozaložba B. Plohl): 78 str.

Primavoda. 2014.

<http://www.primavoda.si/kemijske-lastnosti-vode> (Pridobljeno 19. 8. 2014.)

Ravbar, N. 2007. Vulnerability and risk mapping for the protection of karst waters in Slovenia. Application to the catchment of the Podstenjšek springs. Doktorska disertacija. Nova Gorica, Univerza v Novi Gorici. (samozaložba N. Ravbar): 227 str.

Ravnikar, J. 2004. Odstranjevanje parazitov v kraških pitnih vodah. Diplomsko naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo (samozaložba J. Ravnikar): 138 str.

Rismal, M. 1995. Čiščenje pitne vode. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Inštitut za zdravstveno hidrotehniko: 152 str.

Rižanski vodovodi. 2014.

http://www.rvk-jp.si/pitna_voda_lastnosti (Pridobljeno 19. 8. 2014.)

Roš, M., Simonič, M., Šoštar-Turk, S. 2005. Priprava in čiščenje vod. Tiskarna tehniških fakultet, Maribor: 170 str.

Simonič, M., Petrinič, I., Turk, S. Š. 2004. Čiščenje odpadnih voda iz industrijske pralnice z uporabo membranske tehnologije. *Tekstilec* 47, 5–6: str. 167–174.

Spectrumlabs. 2015.

<http://www.spectrumlabs.com/filtration/Edge.html> (Pridobljeno 1. 10. 2015.)

Stopar, P. 2007. Priprava pitne vode na zajetju Jama. Diplomsko naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo (samozaložba P. Stopar): 69 str.

Trunz. 2015.

http://www.trunzwatersystems.com/uploads/media/Filtration_spectrum_E.pdf (Pridobljeno 15. 11. 2015.)

VIK. 2015. Vodovodi in kanalizacija Nova Gorica, d. d. Poročilo o zagotavljanju ustreznosti pitne vode na oskrbovalnih območjih v upravljanju Vodovodov in kanalizacije Nova Gorica, d. d., Poročilo za leto 2014.

<http://www.vik-ng.si> (Pridobljeno 30. 9. 2015.)

Vimaroni. 2015.

http://www.vimaroni.cl/home/index.php?option=com_virtuemart&view=productdetails&virtuemart_product_id=469&virtuemart_category_id=40 (Pridobljeno 1. 10. 2015.)

Wagner, J. 2001. Membrane filtration handbook – practical tips and hints: 2nd ed., revision 2: 127 str.

<http://www.massey.ac.nz/~ychisti/MHandbook.pdf> (Pridobljeno 18. 12. 2014.)

Waterworld. 2015.

<http://www.waterworld.com/articles/print/volume-30/issue-10/features/automation-technology/online-zeta-potential-measurement-provides-water-treatment-control-cost-reduction.html> (Pridobljeno 30. 5. 2015.)

ZZV NG. 2014. Zavod za zdravstveno varstvo Nova Gorica, Publikacije in dokumenti; Pomen in značilnosti kraških vodonosnikov.

http://www.gepgis.eu/en/wp-content/uploads/2013/08/Znacilnosti-kraskih-vodon_www.pdf
(Pridobljeno 21. 10. 2014.)

Zakonodaja

Uredba o kakovosti površinskih voda, ki se jih odvzema za oskrbo s pitno vodo (Uradni list RS, št. 125/00, 4/01 – popr., 52/02, 41/04 – ZVO-1 in 14/09)

Pravilnik o pitni vodi (Uradni list RS, št. 19/04, 35/04, 26/06, 92/06 in 25/09)

Ostali viri

Ortofoto posnetek, topografski podatki in karte za izdelavo situacij. 2015.

http://www.e-prostor.gov.si/si/zbirke_prostorskih_podatkov/topografski_in_kartografski_podatki/
(Pridobljeno 19. 10. 2015.)

Kubota. 2015.

<http://www.kubota-mbr.com/> (Pridobljeno 15. 5. 2015.)

X-FLOW. 2015.

<http://www.x-flow.com/> (Pridobljeno: 15. 5. 2015.)

GE Water. 2015.

<http://www.gewater.com> (Pridobljeno 15. 11. 2015.)

PRILOGA A: Pravilnika o pitni vodi (Ur. l. RS, št. 19/04, 35/04, 26/06, 92/06, 25/09)

PARAMETRI IN MEJNE VREDNOSTI PARAMETROV

DEL A

Mikrobiološki parametri

Splošne zahteve za pitno vodo

Parameter	Mejna vrednost parametra (število/100 ml)
Escherichia coli (E. coli)	0
Enterokoki	0

Zahteve za vodo, namenjeno za pakiranje

Parameter	Mejna vrednost parametra
Escherichia coli (E. coli)	0/250 ml
Enterokoki	0/250 ml
Pseudomonas aeruginosa	0/250 ml
Število kolonij 22 °C	100/ml
Število kolonij 37 °C	20/ml

DEL B

Kemijski parametri

Parameter parametra	Mejna vrednost	Enota	Opombe
Akrilamid	0,10	µg/l	Opomba 1
Antimon	5,0	µg/l	
Arzen	10	µg/l	
Baker	2,0	mg/l	Opomba 2
Benzen	1,0	µg/l	
Benzo(a)piren	0,010	µg/l	
Bor	1,0	mg/l	

se nadaljuje ...

... nadaljevanje Kemijski parametri

Bromat	10	µg/l	Opomba 3
Cianid	50	µg/l	
1,2-dikloroetan	3,0	µg/l	
Epiklorohidrin	0,10	µg/l	Opomba 1
Fluorid	1,5	mg/l	
Kadmij	5,0	µg/l	
Krom	50	µg/l	
Nikelj	20	µg/l	Opomba 2
Nitrat	50	mg/l	Opomba 4
Nitrit	0,50	mg/l	Opomba 4
Pesticidi	0,10	µg/l	Opombi 5 in 6
Pesticidi – vsota	0,50	µg/l	Opombi 5 in 7
Policiklični aromatski ogljikovodiki	0,10	µg/l	Vsota koncentracij izbranih spojin, navedenih v Opombi 8
Selen	10	µg/l	
Svinec	10	µg/l	Opombi 2 in 9
Tetrakloroeten in Trikloroeten	10	µg/l	Vsota koncentracij izbranih parametrov
Trihalometani – vsota	100	µg/l	Vsota koncentracij izbranih spojin, navedenih v Opombi 10
Vinil klorid	0,50	ug/l	Opomba 1
Živo srebro	1,0	µg/l	

Opomba 1: Mejna vrednost parametra se nanaša na koncentracijo preostalega monomera v pitni vodi, izračunano v skladu s specifikacijami glede na najvišje sprostitve iz ustreznega polimera v stiku z vodo.

Opomba 2: Mejna vrednost velja za vzorec pitne vode, ki je bil odvzet po ustrezni metodi vzorčenja iz pipe tako, da predstavlja tedensko povprečno koncentracijo, ki jo zaužijejo uporabniki.

Opomba 3: Upravljevec mora zagotavljati čim nižjo vrednost, pod pogojem, da to ne vpliva na uspešnost dezinfekcije. Za vodo iz 1., 2. in 4. točke 8. člena tega pravilnika mora vrednost za bromat izpolniti zahteve najpozneje do 1. novembra 2008. Do takrat je mejna vrednost za bromat 25 µg/l.

Opomba 4: Pogoji za mejno vrednost je, da je $[\text{nitrat}]/50 + [\text{nitrit}]/3 \leq 1$, pri čemer je vrednost za nitrat (NO_3) in nitrit (NO_2), v oglatih oklepajih, izražena v mg/l. Za nitrite mora biti dosežena vrednost 0,10 mg/l v vodi pri izstopu iz naprave za pripravo vode.

Opomba 5: 'Pesticidi' pomeni:

- organski insekticidi,
- organski herbicidi,
- organski fungicidi,
- organski nematocidi,
- organski akaricidi,
- organski algicidi,
- organski rodenticidi,
- organski pripravki, ki preprečujejo nastajanje sluzi (slimacidi),
- sorodni proizvodi (med drugim regulatorji rasti)

in njihovi relevantni metabolni, razgradni in reakcijski produkti.

Spremljajo se samo tisti pesticidi, ki so lahko prisotni v posameznem sistemu za oskrbo s pitno vodo.

Opomba 6: Mejna vrednost parametra velja za vsak posamezni pesticid. Za aldrin, dieldrin, heptaklor in heptaklor epoksid je mejna vrednost parametra 0,030 µg/l.

Opomba 7: 'Pesticidi – vsota' pomeni vsoto vseh posameznih najdenih in količinsko določenih pesticidov.

Opomba 8: Izbrane spojine so: benzo(b)fluoranten, benzo(k)fluoranten, benzo(ghi)perilen, indeno(1,2,3-cd)piren.

Opomba 9: Za vodo iz 1., 2. in 4. točke 8. člena tega pravilnika mora vrednost za svinec izpolniti zahteve najpozneje do 1. novembra 2013. Do takrat je mejna vrednost za svinec 25 µg/l.

Do roka iz prejšnjega odstavka mora upravljavec sprejeti vse potrebne ukrepe za čim večje znižanje koncentracije svinca v pitni vodi.

Pri izvajanju ukrepov za doseganje mejne vrednosti je treba prednostno poskrbeti za območja, kjer so koncentracije svinca v pitni vodi najvišje.

Opomba 10: Upravljavec mora zagotavljati čim nižjo vrednost, pod pogojem, da to ne vpliva na uspešnost dezinfekcije.

Izbrane spojine so: kloroform, bromoform, dibromoklorometan, bromodiklorometan.

DEL C

Indikatorski parametri

Parameter	Mejna vrednost parametra/specifikacija	Enota	Opombe
Aluminij	200	µg/l	
Amonij	0,50	mg/l	
Barva	Sprejemljiva za potrošnike in brez neobičajnih sprememb		
Celotni organski ogljik (TOC)	Brez neobičajnih sprememb		Opomba 1
<i>Clostridium perfringens</i> (vključno s spori)	0	število/100 ml	Opomba 2
Električna prevodnost	2500	µS cm ⁻¹ pri 20 °C	Opomba 3
Klorid		250 mg/l	Opomba 3
Koliformne bakterije	0	število/100 ml	Opomba 4
Koncentracija vodikovih ionov (pH vrednost)	≥ 6,5 in ≤ 9,5	enote pH	Opombi 3 in 5
Mangan	50	µg/l	
Motnost	Sprejemljiva za uporabnike in brez neobičajnih sprememb		Opomba 6
Natrij	200	mg/l	
Oksidativnost	5,0	mg O ₂ /l	Opomba 7
Okus	Sprejemljiv za potrošnike in brez neobičajnih sprememb		
Sulfat	250	mg/l	Opomba 3
Število kolonij pri 22 °C	Brez neobičajnih sprememb		
Število kolonij pri 37 °C	Manj kot 100	število/ml	

se nadaljuje ...

... nadaljevanje Indikatorski parametri

Vonj	Sprejemljiv za potrošnike in brez neobičajnih sprememb		
Železo	200	µg/l	

RADIOAKTIVNOST

Parameter	Mejna vrednost parametra	Enota	Opombe
Tritij	100	Bq/l	Opombi 8 in 10
Skupna prejeta doza	0,10	mSv/leto	Opombe 8, 9 in 10

Opomba 1: Ni potrebno meriti pri sistemih za oskrbo s pitno vodo, katere zagotavljajo manj kot 10.000 m³ na dan.

Opomba 2: Določa se le, če je pitna voda po poreklu površinska voda ali pa ta nanjo vpliva. V primeru neskladnosti mora upravljavec opraviti dodatna preskušanja in zagotoviti, da pitna voda ne predstavlja potencialne nevarnosti za zdravje ljudi zaradi prisotnosti patogenih mikroorganizmov, npr. kriptosporidija.

Opomba 3: Voda ne sme biti agresivna.

Opomba 4: Za vodo, namenjeno pakiranju, je enota število/250 ml.

Opomba 5: Za vodo, namenjeno pakiranju, je lahko najnižja vrednost 4,5. Za vodo, namenjeno pakiranju, ki je naravno bogata ali umetno obogatena z ogljikovim dioksidom, je spodnja vrednost lahko še nižja.

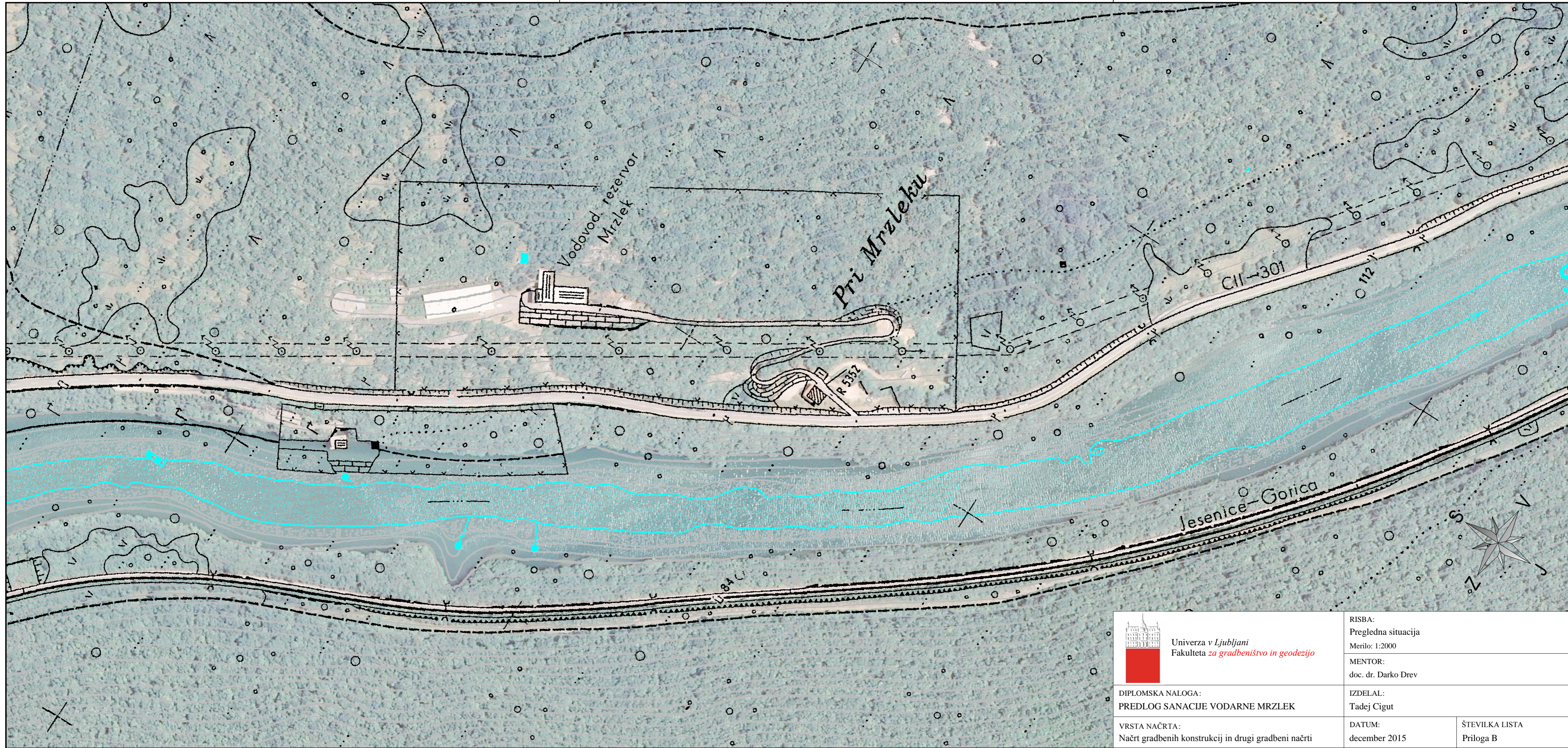
Opomba 6: V primeru priprave pitne vode iz površinske vode, motnost ne sme presegati 1,0 NTU (nefelometrijske turbidimetrijske enote) v vodi pri izstopu iz naprave za pripravo pitne vode.

Opomba 7: Parametra ni potrebno meriti, če se preskuša Celotni organski ogljik (TOC).

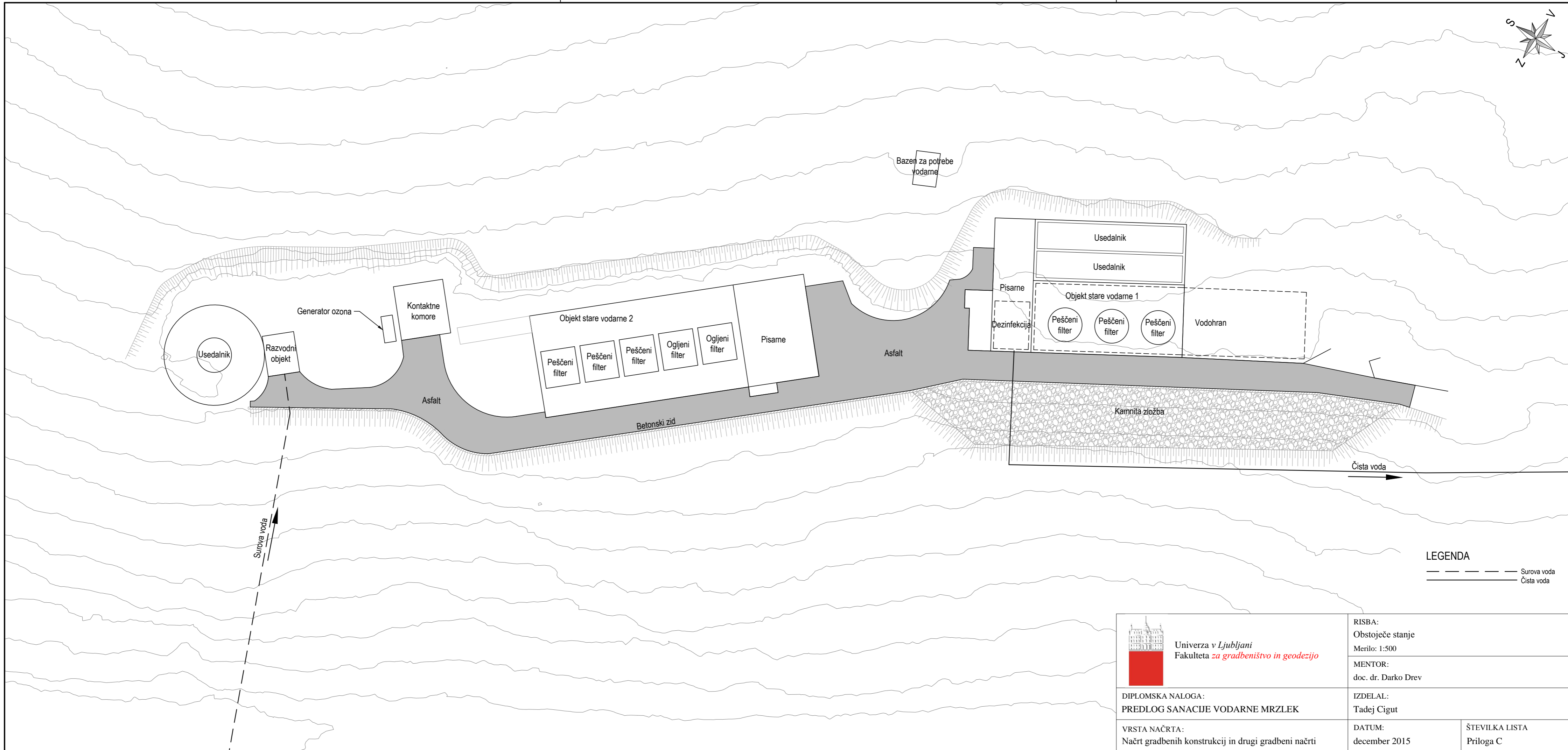
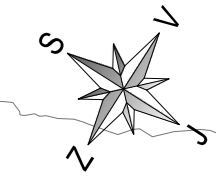
Opomba 8: Monitoring radioaktivnosti pitne vode se izvaja v skladu s predpisi, ki urejajo spremljanje stanja radioaktivnosti okolja in so izdani na podlagi Zakona o varstvu pred ionizirajočimi sevanji in jedrski varnosti (Uradni list RS, št. 50/03 – prečiščeno besedilo).

Opomba 9: Mejna vrednost parametra ne upošteva prispevkov tritija 3H, kalija 40K, radona 222Rn in njegovih razpadnih produktov.

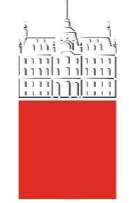
Opomba 10: Monitoring pitne vode glede vsebnosti tritija ali radioaktivnosti zaradi preverjanja skupne prejete doze ni potreben tam, kjer so na podlagi izvajanja drugega monitoringa ravni tritija ali izračunane doze znatno pod mejnimi vrednostmi parametrov.

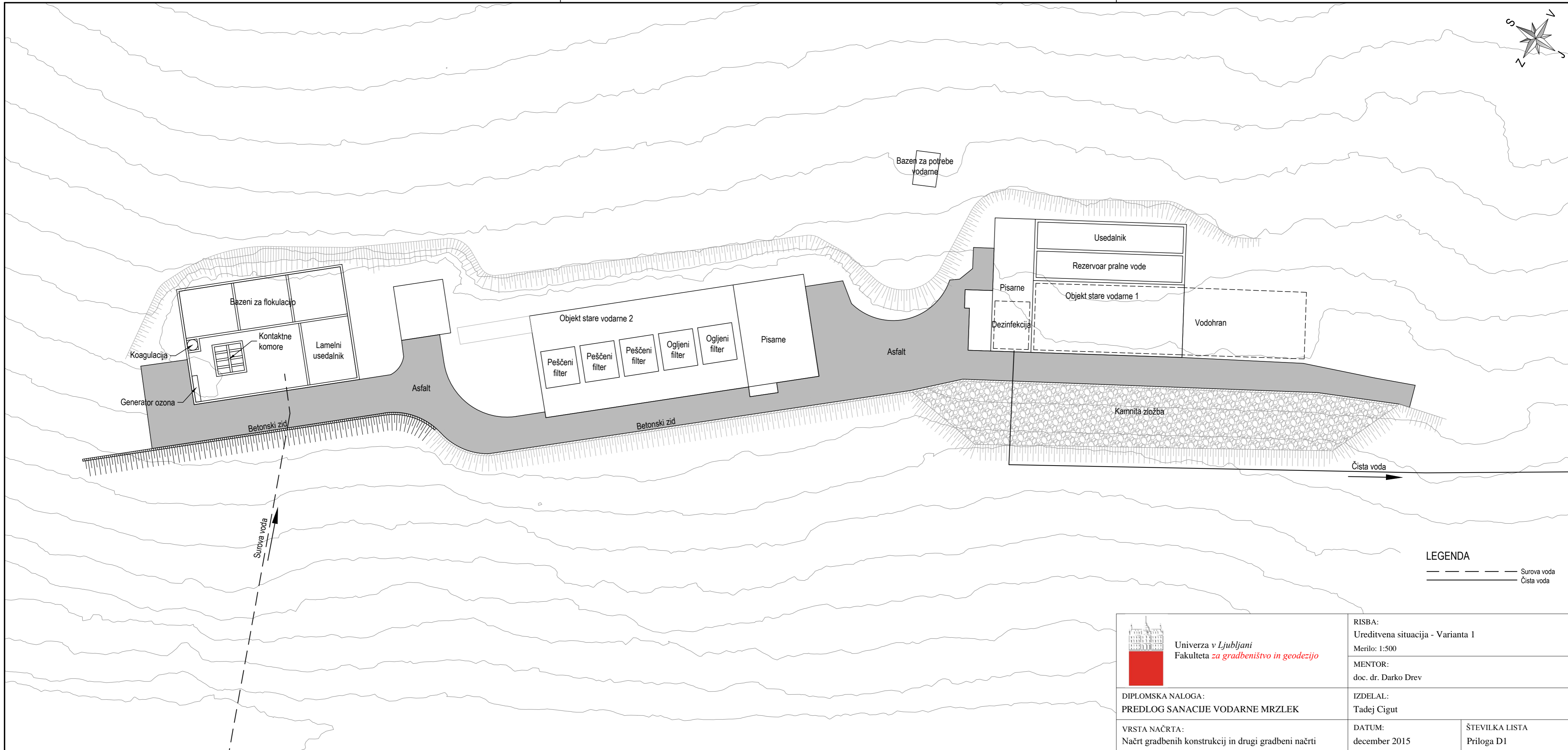
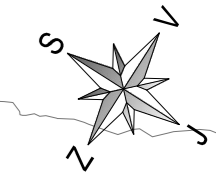


 <p>Univerza v Ljubljani Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo</p>	RISBA: Pregledna situacija Merilo: 1:2000	
	MENTOR: doc. dr. Darko Drev	
DIPLOMSKA NALOGA: PREDLOG SANACIJE VODARNE MRZLEK	IZDELAL: Tadej Cigut	
VRSTA NAČRTA: Načrt gradbenih konstrukcij in drugi gradbeni načrti	DATUM: december 2015	ŠTEVILKA LISTA Priloga B



LEGENDA
 - - - - - Surova voda
 _____ Čista voda

 <p>Univerza v Ljubljani Fakulteta za <i>gradbeništvo in geodezijo</i></p>	RISBA: Obstoječe stanje Merilo: 1:500	
	MENTOR: doc. dr. Darko Drev	
DIPLOMSKA NALOGA: PREDLOG SANACIJE VODARNE MRZLEK		IZDELAL: Tadej Cigut
VRSTA NAČRTA: Načrt gradbenih konstrukcij in drugi gradbeni načrti	DATUM: december 2015	ŠTEVILKA LISTA Priloga C



LEGENDA

--- Surova voda
 ————— Čista voda

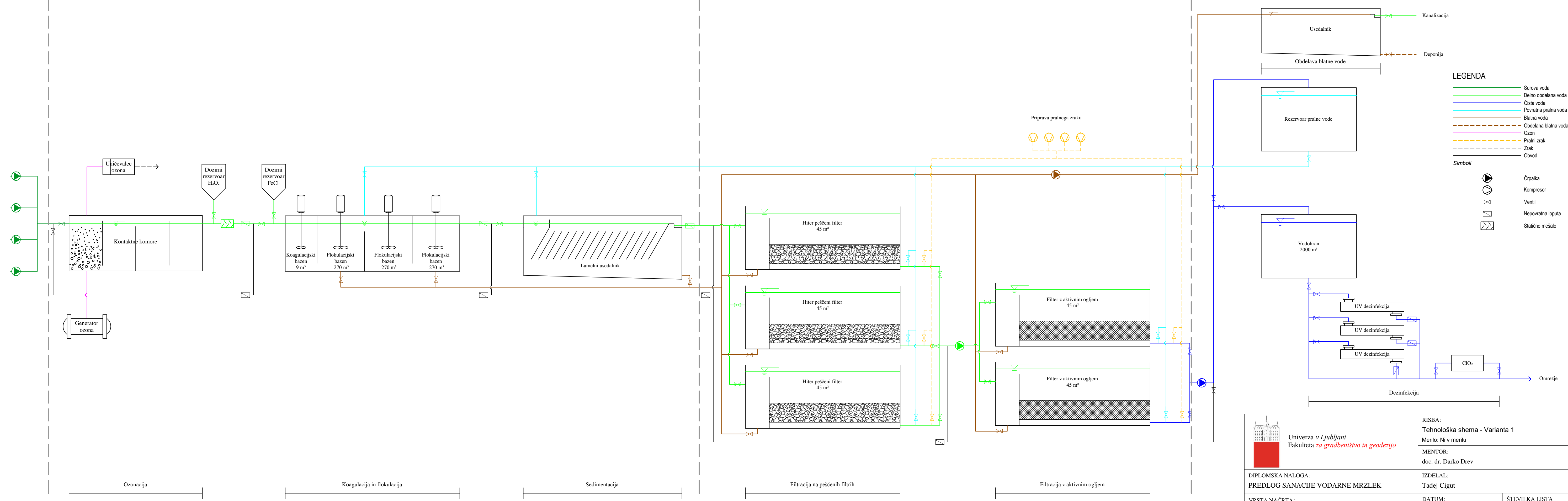
 <p>Univerza v Ljubljani Fakulteta za <i>gradbeništvo in geodezijo</i></p>	<p>RISBA: Ureditvena situacija - Varianta 1 Merilo: 1:500</p>	
	<p>MENTOR: doc. dr. Darko Drev</p>	
<p>DIPLOMSKA NALOGA: PREDLOG SANACIJE VODARNE MRZLEK</p>	<p>IZDELAL: Tadej Cigut</p>	
<p>VRSTA NAČRTA: Načrt gradbenih konstrukcij in drugi gradbeni načrti</p>	<p>DATUM: december 2015</p>	<p>ŠTEVILKA LISTA Priloga D1</p>

Črpališče

Nov objekt

Objekt stare vodarne 2

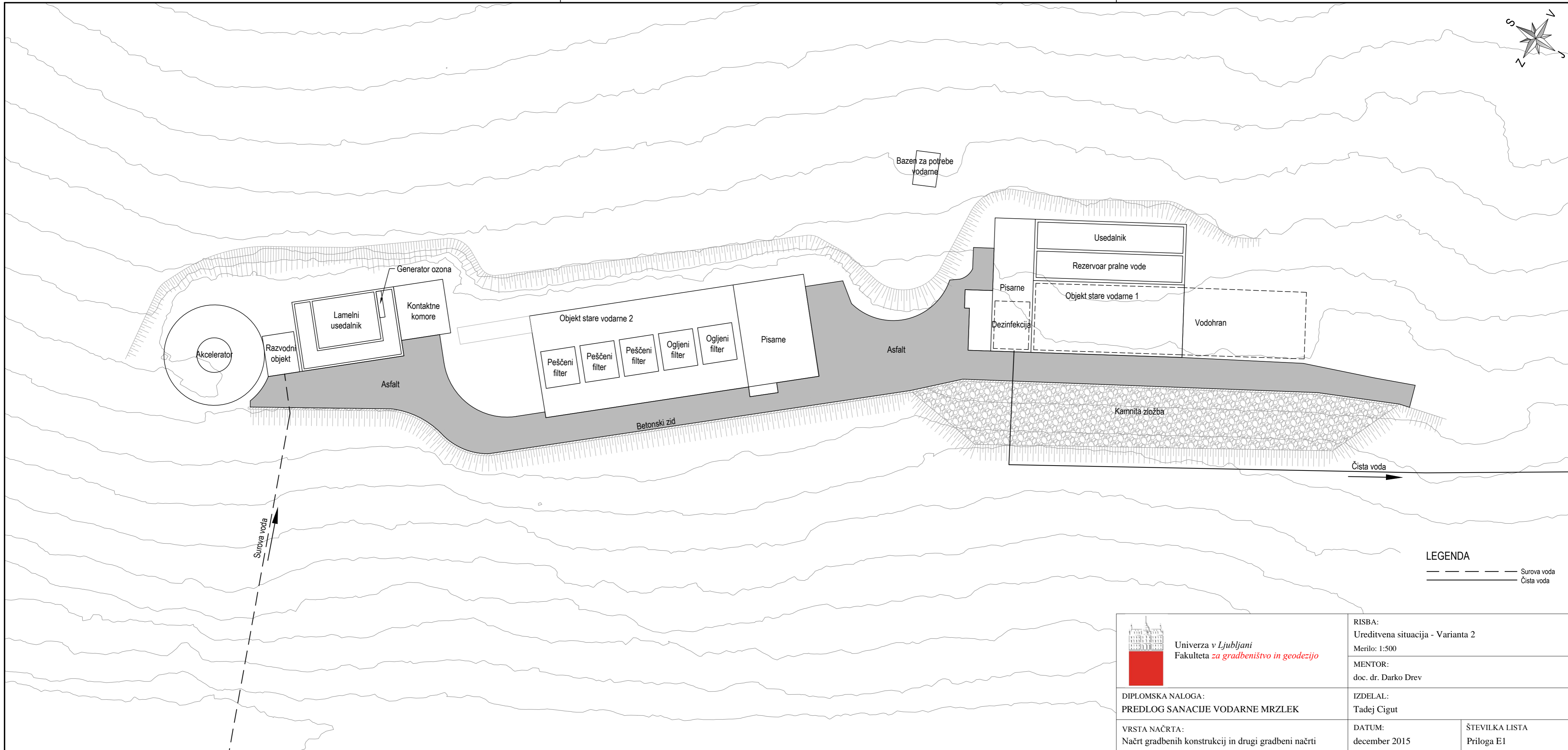
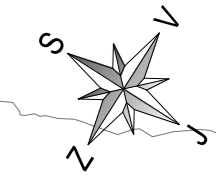
Objekt stare vodarne 1



LEGENDA

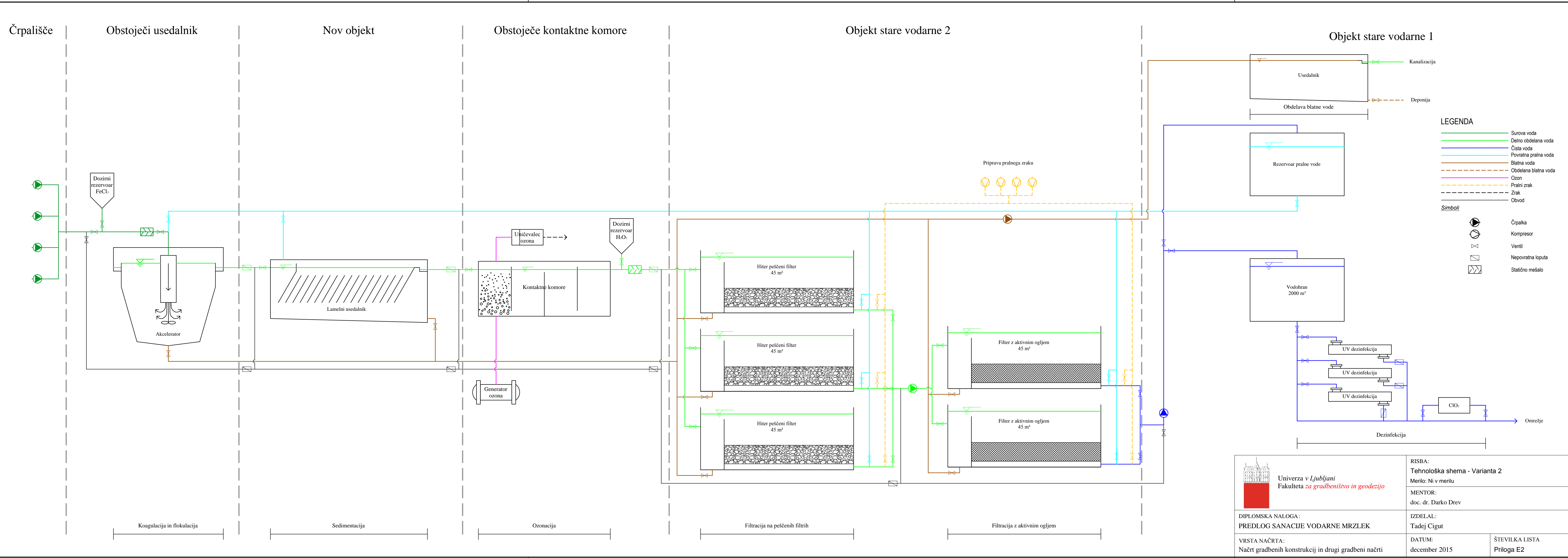
- Surova voda
 - Delno obdelana voda
 - Čista voda
 - Povratna pralna voda
 - Blatna voda
 - Obdelana blatna voda
 - Ozon
 - - - Pralni zrak
 - - - Zrak
 - Obvod
- Simboli**
- Črpalka
 - Kompressor
 - Ventil
 - Nepovratna loputa
 - Statično mešalo


<p>Univerza v Ljubljani Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo</p>	RISBA: Tehnološka shema - Varianta 1	
	Merilo: Ni v merilu MENTOR: doc. dr. Darko Drev	
DIPLOMSKA NALOGA: PREDLOG SANACIJE VODARNE MRZLEK		IZDELAL: Tadej Cigut
VRSTA NAČRTA: Načrt gradbenih konstrukcij in drugi gradbeni načrti	DATUM: december 2015	ŠTEVILKA LISTA Priloga D2

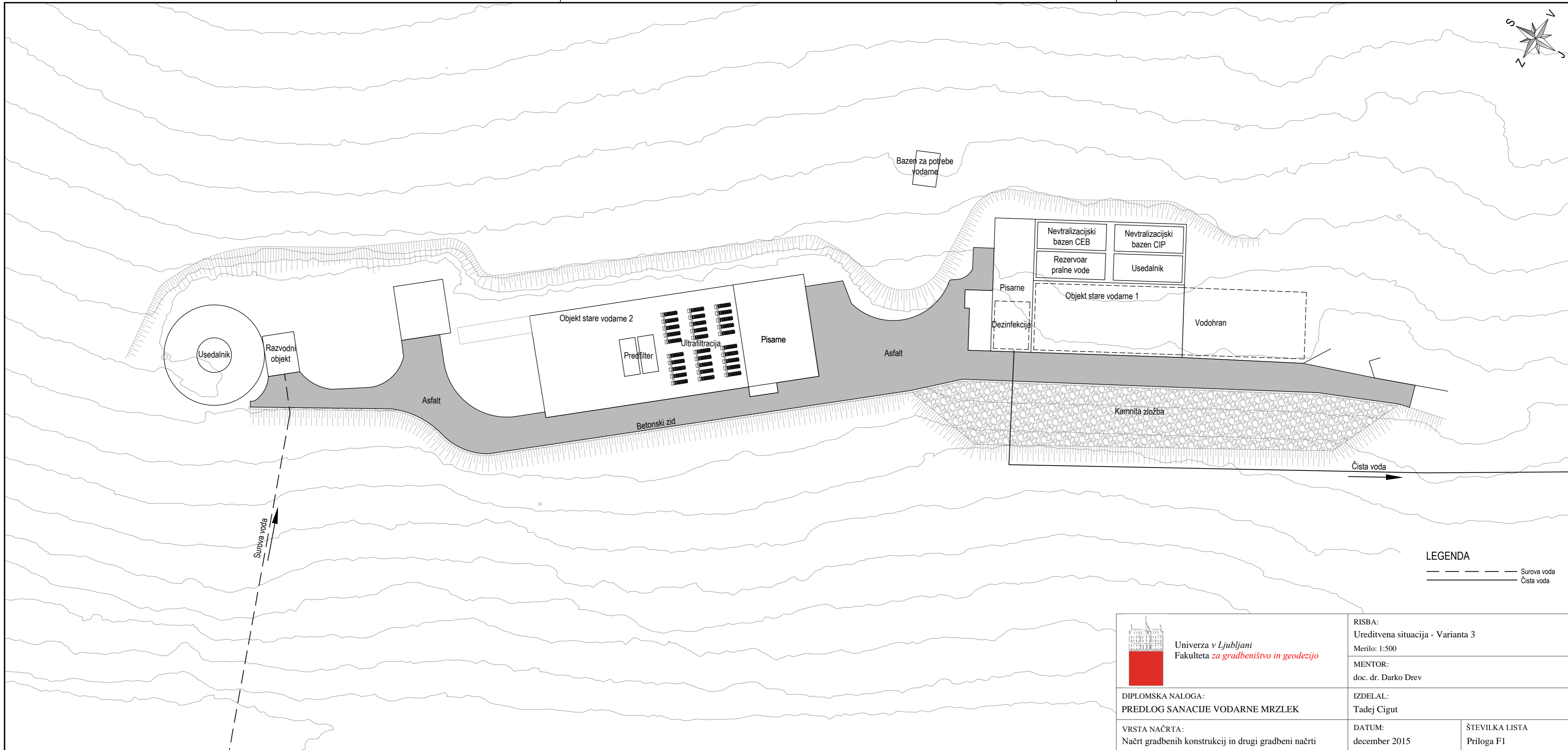
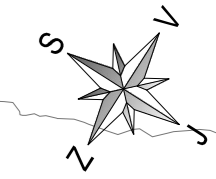


LEGENDA
 - - - - - Surova voda
 ————— Čista voda

 <p>Univerza v Ljubljani Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo</p>	<p>RISBA: Ureditvena situacija - Varianta 2 Merilo: 1:500</p>	
	<p>MENTOR: doc. dr. Darko Drev</p>	
<p>DIPLOMSKA NALOGA: PREDLOG SANACIJE VODARNE MRZLEK</p>	<p>IZDELAL: Tadej Cigut</p>	
<p>VRSTA NAČRTA: Načrt gradbenih konstrukcij in drugi gradbeni načrti</p>	<p>DATUM: december 2015</p>	<p>ŠTEVILKA LISTA Priloga E1</p>



 <p>Univerza v Ljubljani Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo</p>	RISBA: Tehnološka shema - Varianta 2	
	Merilo: Ni v merilu MENTOR: doc. dr. Darko Drev	
DIPLOMSKA NALOGA: PREDLOG SANACIJE VODARNE MRZLEK		IZDELAL: Tadej Cigut
VRSTA NAČRTA: Načrt gradbenih konstrukcij in drugi gradbeni načrti	DATUM: december 2015	ŠTEVILKA LISTA Priloga E2



LEGENDA

- Surova voda
- Čista voda

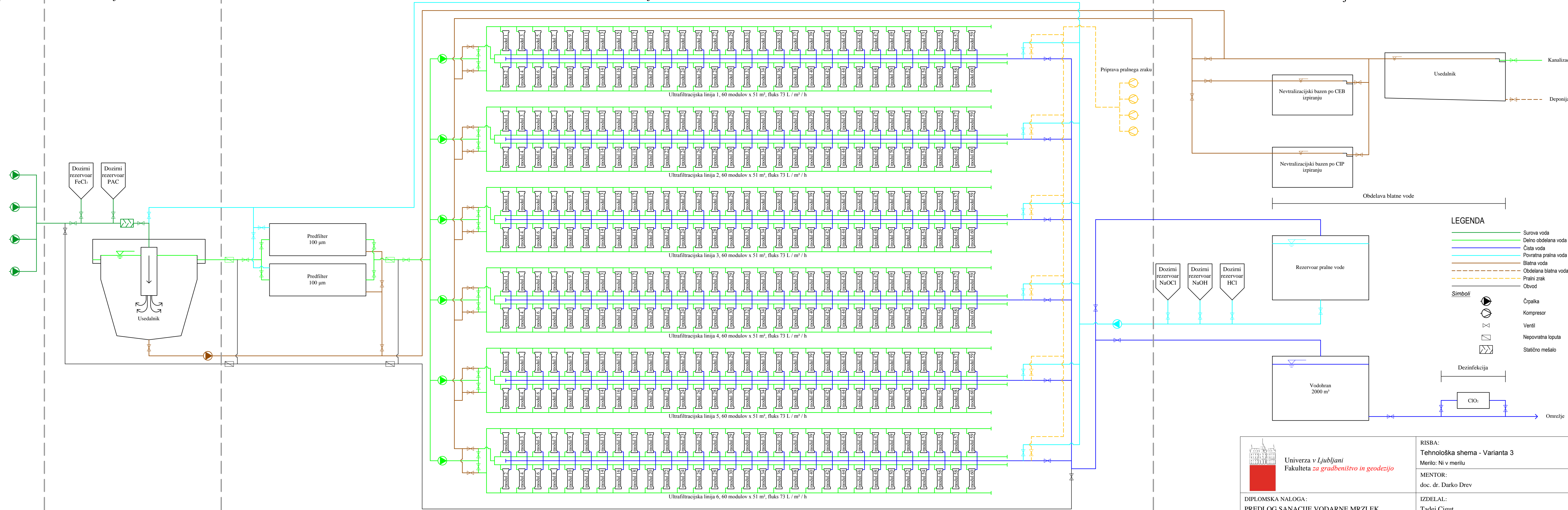
 <p>Univerza v Ljubljani Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo</p>	RISBA: Ureditvena situacija - Varianta 3 Merilo: 1:500	
	MENTOR: doc. dr. Darko Drev	
DIPLOMSKA NALOGA: PREDLOG SANACIJE VODARNE MRZLEK	IZDELAL: Tadej Cigut	
VRSTA NAČRTA: Načrt gradbenih konstrukcij in drugi gradbeni načrti	DATUM: december 2015	ŠTEVILKA LISTA Priloga F1

Črpalnice

Obstoječi usedalnik

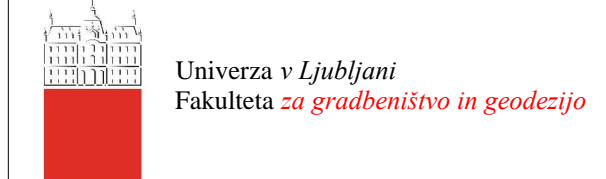
Objekt stare vodarne 2

Objekt stare vodarne 1



Sedimentacija Predfiltracija

Ultrafiltracija

 <p>Univerza v Ljubljani Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo</p>		<p>RISBA: Tehnološka shema - Varianta 3 Merilo: Ni v merilu MENTOR: doc. dr. Darko Drev</p>	
<p>DIPLOMSKA NALOGA: PREDLOG SANACIJE VODARNE MRZLEK</p>		<p>IZDELAL: Tadej Cigut</p>	
<p>VRSTA NAČRTA: Načrt gradbenih konstrukcij in drugi gradbeni načrti</p>		<p>DATUM: december 2015</p>	<p>ŠTEVILKA LISTA Priloga F2</p>