

Univerza
v Ljubljani
Fakulteta
*za gradbeništvo
in geodezijo*

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



Univerzitetni program Gradbeništvo,
Komunalna smer

Kandidat:

Peter Stopar

Priprava pitne vode na zajetju Jama

Diplomska naloga št.: 2981

Mentor:
prof. dr. Boris Kompare

Somentor:
Alojz Medic

Ljubljana, 29. 10. 2007

STRAN ZA POPRAVKE

Stran z napako

Vrstica z napako

Namesto

Naj bo

IZJAVA O AVTORSTVU

Podpisani **PETER STOPAR** izjavljam, da sem avtor diplomske naloge z naslovom:
»PRIPRAVA PITNE VODE NA ZAJETJU JAMA«.

Izjavljam, da prenašam vse materialne avtorske pravice v zvezi z diplomsko nalogo na UL,
Fakulteto za gradbeništvo in geodezijo.

Ljubljana, 9.10.2007

Podpis: _____

BIBLIOGRAFSKO – DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK

UDK: 628.19 (043.2)
Avtor: Peter Stopar
Mentor: izr. prof. dr. Boris Kompare (mentor)
Somentor: Alojz Medic, univ. dipl. ing. kem. tehnol. (somentor)
Naslov: Priprava pitne vode na zajetju Jama
Obseg in oprema: 68 str., 10 pregl., 9 sl., 29 en., 7 pril.
Ključne besede: mikrobiološka onesnaženost, tlačni filtri, ultrafiltracija, UV dezinfekcija, dezinfekcija s ClO₂

Izvleček

Diplomska naloga predstavlja različne metode priprave surove vode, ki kaže stalno mikrobiološko onesnaženost ter občasno povečano motnost, kot je to v primeru na zajetju Jama, ki je eden izmed treh vodnih virov, ki preskrbujejo vodovodni sistem Kostanjevica na Krki. Glavni poudarek obdelave vode na omenjenem viru je na dveh metodah, in sicer s tlačnimi filtri (konvencionalna metoda) in z ultrafiltracijo (alternativna metoda). Obe metodi obdelave vode sta teoretično opisani ter nadalje zdimenzionirani za pretok 30 m³/h. Potrebna dezinfekcija vode, pred iztokom v distribucijsko omrežje, je opravljena kot kombinirana dezinfekcija UV obsevanja in dodajanja klorovega dioksida (rezidual). Odpadne vode, ki nastanejo pri pranju filtrov, se v primeru tlačnih filtrov odvedejo v usedalnik, v primeru ultrafiltracije pa najprej v nevtralizacijski bazen ter nato v usedalnik. Iz usedalnika se prečiščena voda prečrpa v odvodnik, odvečno blato pa odpelje na deponijo. Na koncu je, z ovrednotenjem obeh variant po različnih kriterijih (kvaliteta očiščene vode, vrednost investicije, idr.) in ponderiranjem le-teh, podana ocena in odločitev o najbolj primerni varianti priprave vode na zajetju Jama, to je metoda s tlačnimi filtri.

BIBLIOGRAPHIC – DOCUMENTALISTIC INFORMATION

UDC: 628.19 (043.2)
Author: Peter Stopar
Supervisor: Assoc. Prof. Boris Kompare, Ph. D. (supervisor)
Co-supervisor: Alojz Medic
Title: Water treatment of spring Jama
Notes: 68 p., 10 tab., 9 fig., 29 eq., 7 ann.
Key words: microbiological contamination, pressure filters, ultrafiltration, UV disinfection, ClO₂ disinfection

Abstract

Spring Jama is one of the three springs that provides sufficient amount of potable water for consumers in water system Kostanjevica na Krki. Main problem with water is its permanent microbiological contamination and periodically high turbidity. This graduation thesis – university studies presents several methods to cope mentioned problems. It focuses on two methods, conventional – pressure filters and alternative – ultrafiltration. Both methods are designed for flow of 30 m³/h. Before water enters distribution system it must be disinfected, which is done by combined disinfection with UV radiation and chlorine dioxide as residual. Water treatment at spring Jama ends with treatment of concentrated water that is produced by backwash. In case of pressure filters backwash water is drawn directly to sedimentation basin with retention time of 2 hours and then pumped out to stream. In case of ultrafiltration, membranes are washed also with chemicals. In this situation is build neutralization basin before sedimentation basin. Water from sedimentation basin is pumped out into stream. Sediments from sedimentation basin are taken to deposit. Both methods are evaluated by different criteria. Based on this criteria is given decision of most appropriate method for water treatment at spring Jama which is method with pressure filters.

ZAHVALA

Za pomoč in koristne napotke pri izdelavi diplomske naloge se zahvaljujem mentorju izr. prof. dr. Borisu Kompare, somentorju g. Alojzu Medic in sodelavcem iz podjetja CmC MAK, kemijsko inženirstvo d.o.o., ga. Andreji Cesar iz podjetja Kostak komunalno stavbno podjetje d.d., Krško ter zaposlenim iz podjetja Grundfos Slovenija.

Zahvalo namenjam tudi staršema, ki sta me skozi vsa leta šolanja spodbujala in mi nudila pomoč pri premagovanju vsakodnevnih zaprek.

KAZALO VSEBINE

1	UVOD	Napaka! Zaznamek ni definiran.
2	VODOVODNI SISTEM KOSTANJEVICA NA KRKI	Napaka! Zaznamek ni definiran.
2.1	Splošno o značilnostih in preskrbi z vodo v Kostanjevici na Krki in njeni okolici	Napaka! Zaznamek ni definiran.
2.2	Opis vodnih virov	Napaka! Zaznamek ni definiran.
2.3	Opis vodovodnega sistema Kostanjevica na Krki	Napaka! Zaznamek ni definiran.
2.4	Mikrobiološke značilnosti voda	Napaka! Zaznamek ni definiran.
2.5	Analize surove vode na zajetju Jama	Napaka! Zaznamek ni definiran.
3	MOŽNI NAČINI ČIŠČENJA	Napaka! Zaznamek ni definiran.
4	TEORETIČNE OSNOVE TEHNOLOGIJ ČIŠČENJA	Napaka! Zaznamek ni definiran.
4.1	Tlačni peščeni filtri	Napaka! Zaznamek ni definiran.
4.1.1	Materiali za sestavo filtrov in njihove značilnosti	Napaka! Zaznamek ni definiran.
4.1.2	Delovanje in zasnova filtrov	Napaka! Zaznamek ni definiran.
4.1.3	Čiščenje in vzdrževanje filtrov	Napaka! Zaznamek ni definiran.
4.2	Membranska filtracija – ultrafiltracija	Napaka! Zaznamek ni definiran.
4.2.1	Materiali, struktura in oblike membran	Napaka! Zaznamek ni definiran.
4.2.1.1	Materiali za membrane	Napaka! Zaznamek ni definiran.
4.2.1.2	Struktura membran	Napaka! Zaznamek ni definiran.
4.2.1.3	Oblike membran	Napaka! Zaznamek ni definiran.
4.2.2	Delovanje filtrov	Napaka! Zaznamek ni definiran.
4.2.3	Hidravlične nastavitve membran	Napaka! Zaznamek ni definiran.
4.2.4	Padec učinkovitosti delovanja membran in čiščenje le teh	Napaka! Zaznamek ni definiran.

4.3	Odstranjevanje odpadnih vod	Napaka! Zaznamek ni definiran.
4.4	Sedimentacija	Napaka! Zaznamek ni definiran.
4.5	Dezinfekcija	Napaka! Zaznamek ni definiran.
4.5.1	Dezinfekcija s klorovim dioksidom (ClO₂)	Napaka! Zaznamek ni definiran.
4.5.2	UV dezinfekcija	Napaka! Zaznamek ni definiran.
5	DIMENZIONIRANJE POSAMEZNIH POSTOPKOV IN NAPRAV	Napaka! Zaznamek ni definiran.
5.1	Varianta 1 (V1)	Napaka! Zaznamek ni definiran.
5.2	Varianta 2 (V2)	Napaka! Zaznamek ni definiran.
6	PRIMERJAVA IN VREDNOTENJE OBEH NAČINOV ČIŠČENJA	Napaka! Zaznamek ni definiran.
6.1	Ekonomska primerjava	Napaka! Zaznamek ni definiran.
6.2	Ocena kriterijev in ponderiranje	Napaka! Zaznamek ni definiran.
7	ZAKLJUČKI	Napaka! Zaznamek ni definiran.
VIRI		Napaka! Zaznamek ni definiran.
PRILOGE		Napaka! Zaznamek ni definiran.

KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1:	Povzetek mikrobioloških preiskav	Napaka! Zaznamek ni definiran.
Preglednica 2:	Stopnja inaktivacije cist <i>Giardie</i> in virusov pri povečanem številu let (Guidance manual for compliance with the filtration and disinfection requirements for public water systems using surface water sources, 1991)	Napaka! Zaznamek ni definiran.
Preglednica 3:	Materiali za membrane v odvisnosti od pH vrednosti (Wagner, 2001)	Napaka! Zaznamek ni definiran.
Preglednica 4:	Predvidene stopnje inaktivacije cist <i>Giardie</i> in virusov z različnimi postopki čiščenja po SWTR (Alternative disinfectants and oxidants guidance manual, 1999)	Napaka! Zaznamek ni definiran.
Preglednica 5:	CT faktor za inaktivacijo cist <i>Giardie</i> (Haas, 1999)	Napaka! Zaznamek ni definiran.
Preglednica 6:	CT faktor za inaktivacijo virusov (Haas, 1999)	Napaka! Zaznamek ni definiran.
Preglednica 7:	Predvideni letni stroški	Napaka! Zaznamek ni definiran.
Preglednica 8:	Stroškovne cene	Napaka! Zaznamek ni definiran.
Preglednica 9:	Ocena kriterijev	Napaka! Zaznamek ni definiran.
Preglednica 10:	Ponderiranje	Napaka! Zaznamek ni definiran.

KAZALO SLIK

- Slika 1: Lega Kostanjevice na Krki v širšem slovenskem prostoru **Napaka! Zaznamek ni definiran.**
- Slika 2: Lega zajetja Jama v širšem kostanjeviškem okolišu **Napaka! Zaznamek ni definiran.**
- Slika 3: Prikaz načina delovanja od znotraj navzven (Norit XIGA™, 2006) **Napaka! Zaznamek ni definiran.**
- Slika 4: Tlačni filter - INIF 9 **Napaka! Zaznamek ni definiran.**
- Slika 5: Dimenzije tlačnega filtra INIF 9 **Napaka! Zaznamek ni definiran.**
- Slika 6: Mikro sita - AMIAD 3" T **Napaka! Zaznamek ni definiran.**
- Slika 7: Dozirna naprava - PRODOS 6 **Napaka! Zaznamek ni definiran.**
- Slika 8: UV dezinfekcijska naprava tipa BX **Napaka! Zaznamek ni definiran.**
- Slika 9: Generator ClO₂ - Oxiperm 164D **Napaka! Zaznamek ni definiran.**

OKRAJŠAVE IN SIMBOLI

CEB	Kemično čiščenje UF membran (Chemically Enhanced Backwash)
DNK	Deoksiribonukleinska kislina
MF	Mikrofiltracija
NF	Nanofiltracija
NTU	Nefelometrične turbidimetrične enote
RNK	Ribonukleinska kislina
RO	Reverzna osmoza
SWTR	Zakon o površinskih vodah – ZDA (Surface Water Treatment Rule)
UF	Ultrafiltracija
USEPA	Ameriška okoljska agencija (US Environmental Protection Agency)
UV	Ultravijoličen
WHO	Svetovna zdravstvena organizacija (World Health Organization)

1 UVOD

Veliko mest in naselij, tako v Sloveniji kot v svetu, je zraslo ob ali celo na vodi. Že od samih začetkov človeškega razvoja so se ljudje zavedali dejstva, imeti v bližini stalen in kar se da čist vir vode. Skrb za čisto pitno vodo je tako prisotna že tisoče let. Od skromnih začetkov, ko so se majhne skupnosti nomadskih plemen naseljevale ob vodi in uživale tisto, kar jim je dajala neokrnjena narava, se je do danes na tem področju storilo že mnogo, vendar še zdaleč ne vse. Poleg neposrednega, fizičnega čiščenja oz. obdelave vode, predstavlja pomemben vidik tudi posredno delovanje na tem področju. Z izobraževanjem širše populacije, preko različnih medijev, je potrebno prebuditi zavedanje o vsesplošni povezanosti in nahajanju vode na vseh področjih človekovega življenja in delovanja. Na prekomerno porabo na eni ter pomanjkanje vode na drugi strani, zagotovitev nemotene in redne preskrbe s pitno vodo, onesnaževanje narave in ozračja ter s tem povezane ukrepe in druge, z vodo povezane stvari in težave, na vse to od leta 1992 opozarja tudi Svetovni dan voda (22. marec).

Razvoj znanosti in novih tehnologij ter spoznanje, da so izbruhi številnih epidemij povezani z onesnaženo pitno vodo in neurejenimi izpusti odplak, so privedla do tega, da so ljudje na sredini 19. stoletja začeli graditi prve čistilne naprave za pitno vodo, za širši krog ljudi. Do tedaj je bilo namreč čiščenje pitne vode urejeno oz. prepuščeno v večji meri posameznikom (prekuhanje, segrevanje na soncu, precejanje skozi oglje, idr.).

Dandanes se za čiščenje pitne vode uporabljajo različne metode (koagulacija, sedimentacija, filtracija, razplinjevanje, mehčanje, adsorbcija, deferizacija, demanganizacija, membranski postopki, ionska izmenjava, idr.). Odločitev o izbiri najprimernejšega procesa tako sloni predvsem na kvaliteti surove vode oz. onesnažilih, ki jih je potrebno iz vode odstraniti.

Rezultati analiz na zajetju Jama, v vodovodnem sistemu Kostanjevica, kažejo na stalno mikrobiološko onesnaženost ter občasno povečano motnost surove vode. Trenutno se za odstranjevanje mikroorganizmov in dezinfekcijo uporablja plinski klor, tudi v funkciji reziduala. Pri dodajanju večjih doz klora obstaja možnost tvorjenja stranskih (kancerogenih) produktov, zato je smotrno premisliti o drugačnih načinih priprave vode.

V diplomski nalogi so predstavljene različne možnosti priprave pitne vode, ki izkazuje stalno mikrobiološko oporečnost in občasno povečano motnost, pri čemer je glavni poudarek na pripravi pitne vode z metodama tlačnih filtrov (V1) in ultrafiltracije (V2), pri katerih se onesnažila, ki tvorijo kalnost, odstranijo fizično, ob minimalni porabi dodanih kemikalij. Obe metodi sta teoretično opisani in zdimenzionirani za pretok vode 30 m³/h. Primarna dezinfekcija vode pri obeh variantah je opravljena z UV obsevanjem, sekundarna pa s klorovim dioksidom, kot rezidualom. Odpadne vode, ki nastanejo pri čiščenju filtrov, se v primeru tlačnih filtrov odvedejo v usedalnik, v primeru ultrafiltracije pa najprej v nevtralizacijski bazen ter nato v usedalnik. Pri obeh variantah se po dve urnem zadrževalnem času v usedalniku prečiščeno vodo prečrpa v odvodnik, odvečno blato pa odpelje na deponijo. Obe varianti sta ovrednoteni z različnimi kriteriji (glede na kakovost očiščene vode, oceno investicije, stroškovno ceno, idr.), v zaključku pa je na podlagi ocen omenjenih kriterijev in ponderiranja le-teh podana odločitev o najbolj primerni varianti priprave pitne vode na zajetju Jama, to je varianta 1 – metoda s tlačnimi filtri.

2 VODOVODNI SISTEM KOSTANJEVICA NA KRKI

Po pregledu zgodovinskih opisov gradnje vodovodnih sistemov, ki so predstavljeni na spletnih straneh komunalnih podjetij Ljubljane, Maribora, Novega Mesta, Celja ter priobalnih mest Izole, Pirana in Kopra, ki se ukvarjajo s preskrbo s pitno vodo, lahko sklepamo, da se je gradnja vodovodnih sistemov v Sloveniji, kot jih poznamo danes, pričela v obdobju na prelomu 19. v 20. stoletje. Pred tem so sicer že Rimljani in prebivalci v srednjem veku položili cevi po katerih je tekla voda, vendar le do mestnih vodnjakov oz. fontan. Koncem 19. in v začetku 20. stoletja pa položijo prve metre cevi, ki jih speljejo do posameznih uporabnikov. Vodovod tako dobijo večja naselja. Ljubljana v letu 1890, Maribor leta 1901, Novo mesto leta 1903, Celje leta 1908, leta 1935 (z zajetjem izvira reke Rižane) pa tudi vodovod za priobalna mesta Kopra, Pirana in Izole. Kasneje javne vodovodne sisteme zgradijo tudi v ostalih naseljih po Sloveniji.

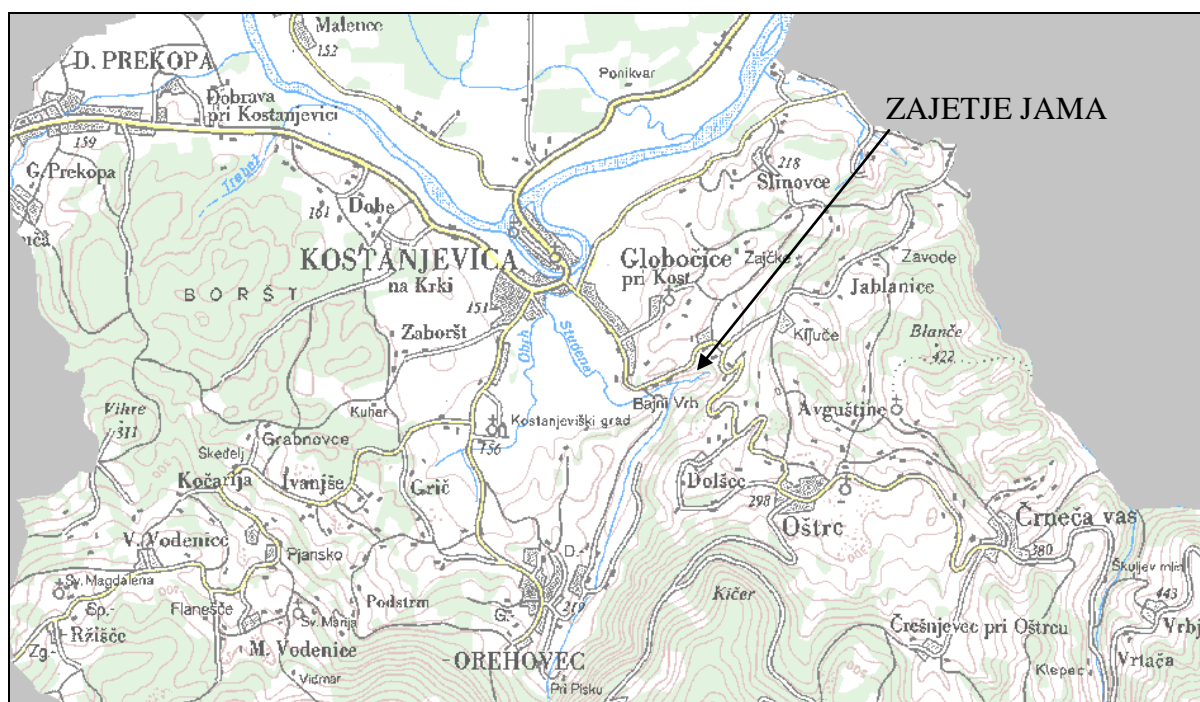
Zaradi velikih zalog podzemne vode v Sloveniji so vodo takrat in jo še danes v večji meri črpamo iz podtalnice. Le ta takrat zaradi skromne industrije, prometa in neuporabe kemikalij v kmetijstvu še ni bila močno onesnažena, posledično dovolj čista ter primerna za pitje in uporabo.

2.1 Splošno o značilnostih in preskrbi z vodo v Kostanjevici na Krki in njeni okolici

V jugovzhodnem delu Slovenije, na robu panonske nižine, je na enem izmed meandrov reke Krke zraslo naselje Kostanjevica na Krki. Zaradi številnih poplav se ga je prijelo tudi ime Dolenjske Benetke. S prekopom meandra na severni strani je nastal umetni otok, na katerem je zraslo naselje, ki ga s kopnim povezujejo trije leseni mostovi. Je najmanjše slovensko mesto in najstarejše mesto na dolenskem.



Slika 1: Lega Kostanjevice na Krki v širšem slovenskem prostoru



Slika 2: Lega zajetja Jama v širšem kostanjeviškem okolišu

Geološki razvoj ozemlja okoli Kostanjevice na Krki se je začel pred 210 do 220 milijoni let in je v tem svojem dolgem geološkem razvoju doživelo mnogo sprememb. Različne tektonske aktivnosti (ugrezanje, dvigovanje tektonskih blokov) so povzročile formiranje Krške udorine, ki je sestavljena pretežno iz ilovnatih in glinenih materialov, pomešanih s prodniki. Na jugu

pa so povzročili oblikovanje hribovja Gorjancev, katerih zgradba je sestavljena pretežno iz karbonatnih kamnin – apnenca, dolomita in laporja. (Premru, 2003)

Številne izvrtane vrtine so pokazale, da je področje okoli Kostanjevice, še posebej področje kjer Gorjanci prehajajo v Krško udorino, izrazito razpokano, kar dokazuje podzemni svet Kostanjeviške jame. Na prelomnicah in razpokah karbonatnih kamnin se zato nahajajo bazeni s podzemno vodo. Da je podzemlje v okolici Kostanjevice nasičeno z vodo, pričajo mnogi izviri (izviri Obrha in Studene) ter vrtine, iz katerih se pridobiva pitna voda (vrtine v Orehovcu).

O oskrbi mesta v preteklosti ni znano veliko. Nikjer niso omenjeni mestni vodnjaki, iz katerih bi se oskrbovalo mesto. Kljub temu pa se je na dvorišču pred nekdanjim gradom, v katerem so prebivali kostanjeviški gospodje ohranil vodnjak, ki pa je bil verjetno namenjen zasebni preskrbi tam stanujočih. V dobi mestne avtonomije se, po besedah Golca (2003), sleherni omemba vode nanaša le na Krko, predvsem na pogoste poplave in prizadejano škodo.

Kostanjevičani so bili od rečne vode življenjsko odvisni, saj mesto ni premoglo studencev in je imelo v neposredni bližini le še potok Studeno. Iz leta 1794 je znana tožba pred mestnim sodiščem zoper someščana – usnjarja, ki je pral in barval kože pod vrtom drugega meščana. Ob grožnji izgube meščanskih pravic so mu ukazali, da sme to početi le pod mostom in »ne tam, kjer se voda uporablja za kuho« (Golec, 2003).

Kraški pojavi so tesno povezani s prisotnostjo karbonatnih kamnin, katerih ne bomo našli v ožji okolici Kostanjevice, ker to območje prekrivajo debele plasti rečnih nanosov (ilovica, glina). Ravno nasprotno pa je na prehodu iz ravninskega v gričevnat in hribovit svet Gorjancev. Geološka sestava Gorjancev, kjer se menjavajo različno prepustne zakrasele karbonatne kamnine, dopušča tako površinski kot podzemni odtok vode. Kot dokaz temu so številni manjši izviri ob vznožju Gorjancev, iz katerih se je preskrboval samostanski kompleks ter okoliške vasi.

Kljub številnim izvirov vode pa so se ljudje tako v Kostanjevici, kot tudi v okoliških vaseh posluževali uporabe vode iz kapnic.

Opisani načini preskrbe so se ohranili vse do leta 1970, ko so najprej v Kostanjevici, nato pa še v okoliških vaseh začeli udarniško graditi vodovodni sistem, ki so ga gradili do leta 1975.

2.2 Opis vodnih virov

Vodozbirno območje, ki napaja vse vodne vire, predstavlja gričevnat in hribovit svet Gorjancev, ki se dvigajo nad Kostanjevico. Vodovodni sistem Kostanjevica se oskrbuje iz treh vodnih virov, ki zadovoljujejo trenutne potrebe po pitni vodi, to je 158 290 m³ prodane oz., z upoštevanjem 30-odstotnih izgub na omrežju, 226 130 m³ načrpane vode v letu 2006.

Prvi vodni vir je zajetje Jama, ki se nahaja pod vasjo Dolšce na nadmorski višini 158 m, 1,5 km jugovzhodno od Kostanjevice na Krki (slika 2), in je v uporabi od izgradnje vodovodnega omrežja leta 1971. Gre za izvir kraškega značaja, ki ima razmeroma velike zaloge vodonosnika. Vodni vir skozi vse leto zagotavlja zadostne količine vode. Izdatnost izvira Jama je 18 l/s.

Drugi vodni vir je vrtina Orehovec – Travnik in se nahaja na nadmorski višini 200 m. Projektirana kapaciteta vodnega vira je bila 5,5 l/s, dejansko pa je skozi vse leto zagotovljena izdatnost le 2,1 l/s.

Tretji vodni vir je vrtina Orehovec – Kamnolom, ki se nahaja na nadmorski višini 230 m. Njegova trenutna kapaciteta je 3,0 l/s. Po podatkih upravljavca vodovoda so na omenjenem vodnem viru prešli iz začetnih 14 l/s načrpane vode na 3 l/s načrpane vode. Druga težava z omenjenim vodnim virom pa je, da v sušnih obdobjih ne zagotavlja želene kapacitete 3 l/s.

2.3 Opis vodovodnega sistema Kostanjevica na Krki

Vodovodni sistem Kostanjevica na Krki (VS Kostanjevica) je opredeljen kot javni vodovodni sistem, katerega upravljalec je Kostak komunalno stavbno podjetje d.d., Krško. Sistem oskrbuje 99-odstotkov prebivalcev občine Kostanjevica na Krki. Gradnja omrežja, z različnimi objekti (črpališča, prečrpališča, vodohrani), se je začela v letu 1971 ter zaključila v letu 1975. Shema vodovodnega sistema Kostanjevica na Krki je prikazana v prilogi C.

Primarno omrežje sestavljajo polietilenske, litoželezne in duktil-litoželezne cevi premerov 50 do 200 mm. Dolžina primarnega omrežja znaša 39,5 km. Zaradi dotrajanosti omrežja so se v letih 1998, 2001 in 2002 izvajale sanacije primarnega vodovodnega omrežja. Na odsekih, kjer so bile leta 1971 položene azbestno-cementne cevi in na ostalih odsekih, so se dotrajane cevi zamenjale z novimi duktil-litoželeznimi ali polietilenskimi cevmi.

Sekundarna omrežja so bila deloma zgrajena v letu 1971, večina v letu 1972, nekaj pa še do leta 1975. Dolžina vseh sekundarnih omrežij v VS Kostanjevica znaša 45,0 km. Vsa sekundarna omrežja so iz polietilenskih cevi premerov 20 do 50 mm.

Razvojni cilji vodovodnega sistema so usmerjeni v zmanjšanje vodnih izgub, ki se kljub delni sanaciji primarnega omrežja gibljejo med 30-imi in 40-imi odstotki, za kar bo potrebno sanirati tudi sekundarno omrežje. Poleg tega so razvojni načrti usmerjeni tudi v pripravo pitne vode bodisi s konvencionalnimi postopki (npr. filtracija na hitrih ali počasnih peščenih filtrih) bodisi z alternativnimi metodami (npr. mikro ali ultrafiltracija) ter uporabo kemikalij v manjših količinah, zgolj za ohranjanje stabilne vode v omrežju.

2.4 Mikrobiološke značilnosti voda

Vse naravne vode so del bioloških življenjskih prostorov, v katerih se nahajajo tudi mikroorganizmi. Čeprav je populacija mikroorganizmov zelo obsežna, pa le majhen del mikroorganizmov predstavlja dejansko nevarnost za človeka. Ta podkategorija mikroorganizmov je znana pod imenom patogeni mikroorganizmi. Delijo se na bakterije, viruse in protozoe (parazite) ter s svojo prisotnostjo v gostitelju povzročajo bolezni in obolenja.

Bakterije so enocelični organizmi z velikostjo 0,1 do 10 μm , ki se glede na fizično zgradbo celice razlikujejo po obliki, velikosti, načinu rasti in sestavinah, ki tvorijo njihovo zgradbo.

Glede na obliko celice ločimo štiri kategorije. Bakterije z elipsoidno obliko – bakterije *cocci* s premerom 1-3 μm ; v obliki paličic – bakterije *bacilli* premera 0,3-1,5 μm in velikosti 1-10 μm ; spiralno obliko – bakteriji *vibrios* s premerom 0,6-1 μm ter dolžine 2-6 μm in *spiralla* dolžine 50 μm in bakterije v obliki vlaken dolžin do 100 μm . Različne bakterije so tako vzrok

različnim boleznim, kot so tifus (glavobol, nespečnost, povišana temperatura,...), griža (diareja, povišana temperatura,...), kolera (diareja, bruhanje, koma,...) in druge. Najpogosteje se prenašajo preko iztrebkov, urina in bruhanja.

Najbolj pogosta bakterija, ki je navedena tudi kot indikatorska v Pravilniku o pitni vodi, je *E. coli*. Najdemo jo v človeškem in živalskem blatu, posledično v odplakah (fekalijah), njena prisotnost v vodi pa nam pove, da je voda onesnažena z mikroorganizmi. Prvi izbruhi bolezni povezani z *E. coli* segajo v leta 1961 do 1970, ko je v ZDA prišlo do okužbe novorojenčkov zaradi nesterilnosti v porodnišnici. Kasneje je, z zaužitvijo onesnažene vode, prišlo do okužb, bolezni in obolenj tudi pri odraslih, kjer je bakterija povzročila diarejo (drisko), dehidracijo, želodčne težave in omotičnost. (Handbook of public water systems: 2nd ed., 2001)

Virusi so mikroorganizmi sestavljeni iz genskega materiala (DNA – deoksiribonukleinska kislina ali RNA – ribonukleinska kislina), ki ga obdaja zaščitni beljakovinski plašč. Velikosti virusov so 0,01-0,1 μm . Grupiramo jih glede na njihovo zgradbo. V vodi so bili tako najdeni adenovirusi, astrovirusi, calicivirusi, enterovirusi (polio, coxackie, echo, enterovirusi), virusi hepatitisa A, hepatitisa E in rota virusi. Prenos virusov je možen s hrano, osebnimi stiki (izmenjava telesnih tekočin) in vodo. Najpomembnejši so enterični virusi, ki se razmnožujejo v prebavnem traktu človeka, se izločajo z blatom in so pokazatelj fekalnega onesnaženja vode. Virusni so zajedavci, ki so močno odvisni od gostitelja, saj se zunaj celic gostitelja ne morejo razmnoževati. So pa zato zelo trdoživi, saj lahko v sladki vodi preživijo tudi več mesecev, preden pridejo v stik s gostiteljem. Odstranitev virusov iz pitne vode je zelo pomembna, ker le ti povzročajo različne bolezni in obolenja, kot so diareja, mišična obolenja, težave z dihanjem in druge. (Handbook of public water systems: 2nd ed., 2001)

Protozoe so enocelični mikroorganizmi, in za razliko od bakterij, brez zaščitne ovojnice, katero bakterije uporabljajo za hranjenje. So veliko večji kot bakterije (2-15 μm) in jih najdemo v naravi oz. naravnih zalogah vode. Del protozoj sestavlja skupina parazitov – zajedavcev, ki si poiščejo gostitelja (od primitivnih organizmov – alge do kompleksnih organizmov – človek), kjer jim je omogočeno razmnoževanje ter povzročitev različnih bolezni oz. obolenj. Izmed mnogih parazitov največ bolezni oz. obolenj, predvsem črevesnih, povzročita dva: *Giardia lamblia* in *Cryptosporidium parvum*. Večino parazitov najdemo v

obliki spor, cist in oocist. Te oblike jih naredijo bolj trdožive, odporne na dezinfekcijo in preživetje v naravi (npr. oociste kriptosporidija lahko preživijo v sladki vodi več mesecev).

Giardija je bičkasti parazit v obliki cist, ter kot tak odporen na spreminjajoče se vremenske vplive. Ciste giardije so razmeroma velike, merijo 8-14 μm . Vnos cist giardije je možen s hrano, vodo ali pa s stikom preko iztrebkov. Poleg ljudi so veliko bolj pogosti gostitelji toplokrvne domače in divje živali. Z naselitvijo v gostitelju se giardija začne razmnoževati ter tako okuži telo gostitelja. Posledica okužbe je bolezen giarditis, ki močno oslabi telo.

Drugi parazit, zelo podoben giardiji, je kriptosporidij. Tudi kriptosporidij tvori zelo odporne oociste, velikosti 4-6 μm . Najdemo ga v blatu živali (zlasti govedo in ovce) in človeka. Kriptosporidij se prenaša iz človeka na človeka fekalno – oralno, možen pa je tudi vnos z okuženo hrano, vodo ter ob stikih z živalmi. Okužbe s kriptosporidijem so sprožile veliko zanimanje moderne medicine, zato ker le te lahko povzročijo življenjsko nevarne infekcije, zlasti pri bolnikih z oslabljenim imunskim sistemom, majhnih otrocih in starejših. Prvi pokazatelj okužbe je diareja (driska), čemur lahko sledi bruhanje, bolečine v trebuhu in povišana telesna temperatura.

Pri odkrivanju mikroorganizmov v vodi je na voljo vrsta metod. Zaradi omejenega monitoringa in tehnoloških zadržkov so se že v preteklosti posluževali t.i. indikatorskih organizmov, ki pokažejo na morebitno onesnaženost vode. Da bi bilo možno z določeno verjetnostjo potrditi prisotnost mikrobov, bi morali indikatorski organizmi izkazovati določne značilnosti:

- Prisotni morajo biti v vseh vodah v naravi
- Prisotni morajo biti v fekalijah in drugih onesnaženih vodah
- Populacija naj bi bila povezana s stopnjo mikrobiološke onesnaženosti
- Niso prisotni v čistih, neonesnaženih vodah
- Zaslediti jih moramo s hitrimi in enostavnimi testi
- Znale morajo biti njihove biokemične in identifikacijske lastnosti
- Nenevarni za ljudi in živali

Ker pa dejansko noben organizem ali skupina organizmov nima vseh omenjenih lastnosti, opravimo detekcijo mikroorganizmov v vodi z različnimi bakterijami preko enostavnih testov, ki pa sami po sebi še ne potrdijo ali ovržejo prisotnosti mikrobov. Za natančnejše napovedi je potrebno izvesti analize, kot je npr. iskanje cist giardije ali oocist kriptosporidija pod mikroskopom, ki pa so dolgotrajne, utrudljive in zahtevajo izobraženega, izkušenega ter potrpežljivega laboranta. Zato je potrebno v bodoče uvesti nove metode (se že razvijajo) za detekcijo in analizo prisotnosti mikrobov, ki bodo hitre, učinkovite in enostavne. Posledica novih metod bodo lahko tudi strožji predpisi.

2.5 Analize surove vode na zajetju Jama

Masiv Gorjancev, ki se dviga južno od Kostanjevice predstavlja veliko vodozbirno območje, kar potrjujejo številni izviri ob vznožju, podzemni tokovi in jezera v Kostanjeviški in drugih jamah ter številne testne vrtine – iz nekaterih se črpa pitna voda. Zaradi tipičnega kraškega sveta padavinska voda hitro pronica v podtalje, kjer se pogosto zbere v podzemne tokove. Zaradi hitrega odtoka in velike prepustnosti je samočistilna sposobnost kraških voda nizka, kar se odraža na njeni kakovosti – voda je bolj ogrožena in slabše kakovosti. Slednje potrjujejo tudi rezultati analiz surove vode, ki so bili opravljeni na zajetju Jama pri izviru potoka Studene, v neposredni bližini Kostanjeviške jame.

Rezultati analiz so plod rednega in občasnega preizkušanja voda, o čemer govori Pravilnik o pitni vodi (Uradni list RS 19/2004, 35/2004, 26/2006, 92/2006), ki je usklajen z evropsko direktivo o kvaliteti pitne vode (98/C91/01). V skladu z omenjeno zakonodajo so bile na zajetju Jama med letoma 1999 in 2006 opravljene fizikalno – kemijske (temperatura, barva, okus, vonj, motnost, pH vrednost, trdota, električna prevodnost, vsebnost amonija in v določenih primerih vsebnost aluminija, železa in nitritov) in mikrobiološke preiskave (prisotnost bakterije *Escherichia coli* – *E. coli*, prisotnost koliformnih bakterij ter število kolonij pri 22°C in 37°C), katerih rezultati so podani v nadaljevanju.

Medtem ko je za površinsko vodo značilno nihanje v temperaturi, je za podtalnico značilna relativno konstantna temperatura vode, ki se giblje med 8°C in 14°C. Voda s tako temperaturo

je tudi najbolj primerna za pitje. Temperatura vode se na zajetju Jama giblje med 8,9 in 10,0°C.

Kakovost vode lahko ocenimo tudi s čutili (organoleptično). Ocenjujemo barvo, okus in vonj vode. Vse tri lastnosti ocenimo s čutili in podamo oceno o »sprejemljivosti za potrošnike«. Na zajetju Jama je voda z vidika barve, vonja in okusa »sprejemljiva za potrošnike«.

Električna prevodnost je odvisna od prisotnosti kovinskih in nekovinskih ionov, njihove koncentracije, gibljivosti, naboja in temperature ob merjenju. Je lastnost vode, da prevaja električni tok. Gre za indikatorski parameter, ki kaže na morebitno onesnaženost vode. Na zajetju Jama se giblje med 371 in 486 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (mejna vrednost je 2500 $\mu\text{S}/\text{cm}$).

Pri reakciji amoniaka z vodo nastane amonijev ion (NH_4^+), ki ga imenujemo amonij. Uvrščen je med indikatorske parametre s katerim lahko ugotovimo prisotnost komunalnega, kmetijskega ali industrijskega onesnaženja. Povečane koncentracije amonija vplivajo na okus in vonj vode. Koncentracije amonija se gibljejo med 0,014 in 0,05 mg/l (mejna vrednost je 0,5 mg/l).

S pH vrednostjo merimo vpliv oz. količino vodikovih ionov (H^+) v tekočini in kot taka izraža stopnjo kislosti oz. bazičnosti. Računsko jo zapišemo takole (1):

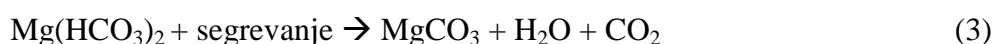
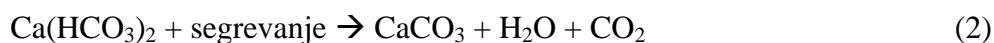
$$pH = -\log[H^+] \quad \text{ali} \quad pH = \log \frac{1}{[H^+]} \quad (1)$$

pH vrednosti vode na zajetju Jama se gibljejo med 7,31 in 7,88 in tipično nakazuje povišano karbonatno trdoto.

Iz rezultatov analiz opravljenih na zajetju Jama je razvidno, da surova voda z vidika barve, vonja, okusa, električne prevodnosti, vsebnosti amonija in pH vrednosti ustreza mejnim vrednostim, ki so podane v Pravilniku o pitni vodi.

Trdota predstavlja skupno koncentracijo kalcijevih in magnezijevih ionov v obliki kalcijevega karbonata (CaCO_3). Običajno se nanaša na skupno (celotno) trdoto, ki je seštevek karbonatne

in nekarbonatne trdote. Karbonatno (začasno, odstranljivo) trdoto predstavljajo odstranljive soli kalcijevega in magnezijevega karbonata (CaCO_3 , MgCO_3) in bikarbonata ($\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$, $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$), ki jih je možno s segrevanjem odstraniti. Kemična reakcija je prikazana z enačbama (2) in (3).



Nekarbonatno (trajno, neodstranljivo) trdoto predstavljajo ostale soli kalcija in magnezija (npr. sulfati, kloridi) razen karbonatov in bikarbonatov, ki jih s segrevanjem ni možno odstraniti. Izmerjena skupna trdota na zajetju Jama znaša 14,4 nemških trdotnih stopinj (to je 257 mg CaCO_3/l) in spada med trde vode.

Motnost predstavlja mero za fine, suspendirane (glina, usedline, odmrli organski delci, plankton, itd.) snovi v vodi. Merimo jo v NTU-jih, pri čemer 1 enota NTU predstavlja 1 mg SiO_2 v litru vode ($1 \text{ NTU} = 1 \text{ mg SiO}_2/\text{l}$) (De Zuane, 1997). Poda nam grobo oceno kakovosti vode, ki je pomembna za nadzor, pripravo in distribucijo vode. V Pravilniku o pitni vodi ni posebej navedeno kolikšna je mejna vrednost glede motnosti, ampak je zgolj podana ocena, da je »motnost sprejemljiva za uporabnike in je brez neobičajnih sprememb«. Svetovna zdravstvena organizacija (WHO), kot mejno vrednost navaja motnost 5 NTU, je pa zaželeno, da je le ta čim nižja. Tako je v Sloveniji za oceno skladnosti dogovorjena vrednost 1 NTU v primeru priprave vode in/ali če je voda površinska ali če površinska voda vpliva na podtalnico in vrednost 5 NTU če ni priprave in/ali voda ni površinska ali površinska voda ne vpliva na podtalnico. Motnosti se na zajetju Jama gibljejo med 0,26 in 3,85 NTU-ji. Iz tega je razvidno, da ima voda občasno povečano motnost, prihaja do zakalitev, predvsem ob večjih nalivih.

Glavna težava pri pridobivanju pitne vode iz izvira Jama je stalna mikrobiološka onesnaženost surove vode. To potrjujejo tudi rezultati mikrobioloških preiskav, katerih povzetek je predstavljen v preglednici 1.

Preglednica 1: Povzetek mikrobioloških preiskav

Parametri	Datum odvzema	<i>E. coli</i>	Koliformne bakterije	Št. kolonij 22°C	Št. kolonij 37°C
Mejna vrednost	/	0	0	< 100	< 100
Zap. št. / Enota	/	število/100 ml	število/100 ml	< 100/ml	<100/ml
1	29.11.1999	9.2	16	200	
2	18.7.2001	0	5	10	
3	20.11.2001				
4	10.9.2001	9.2	16	80	
5	5.10.2001	16	16	160	
6	10.12.2001	9.2	9.2	60	
7	9.10.2003	>16	>16	>300	>300
8	8.12.2003	>16	>16	130	60
9	14.1.2004	9,2	16	>300	>300
10	9.3.2004	16	>16	>300	180
11	24.6.2004	15	15	240	285
12	3.9.2004	66	66	>300	>85
13	25.10.2004	80	80	>300	70
14	14.12.2004	8	8	80	34
15	11.1.2005	9	>80	100	20
16	15.3.2005	>80	>80	>200	>200
17	5.4.2005	80	80	>200	114
18	20.5.2005	80	>80	>200	>200
19	1.6.2005	48	48	200	40
20	10.1.2006	50	>80	>200	>200
21	16.3.2006	12	12	>200	40
22	13.4.2006	20	20	>200	198
23	29.6.2006	4	8	43	27
24	3.10.2006	>80	>80	>200	51

V preglednici 1 je število mikroorganizmov v 1 ml (CFU/ml) oz. 100 ml (CFU/100 ml) izraženo v CFU enotah. CFU enota (Colony Forming Unit) predstavlja mero oziroma število živih enot (mikroorganizmov, bakterij), ki tvorijo kolonije (z rastjo in delitvijo celic).

Escherichia coli je bakterija, ki je prisotna v človeškem in živalskem blatu ter posledično v odplakah (fekalijah). Prisotnost bakterije v vodi je pokazatelj, da je voda onesnažena z mikrobiološkimi parametri. Slednjo ugotovitev potrjujejo tudi rezultati analiz (preglednica 1).

Koliformne bakterije so skupina različnih bakterij, ki jih najdemo tako v fekalijah kot tudi v naravnem okolju. Spadajo med indikatorske parametre onesnaženja in se uporabljajo v povezavi z *E. coli* – če ugotovimo prisotnost *E. coli* in/ali enterokokov, lahko zaključimo, da

je voda mikrobiološko oporečna. Prisotnost koliformnih bakterij potrjujejo tudi rezultati mikrobioloških analiz (preglednica 1).

Z analizo števila bakterij pri 22°C določamo število bakterij, ki so običajno prisotne v okolju (bakterije nefekalnega izvora), pri čemer temperatura 22°C pomeni temperaturo inkubacije. S tem preverimo učinkovitost postopkov priprave vode, razmnoževanje bakterij v sistemu zaradi zastojev ali spremembe temperature. Gre za indikatorske parametre in vsakršno nenadno povečanje števila bakterij je pokazatelj motenj v sistemu. Podobno, kot število bakterij pri 22°C, nam pove tudi število bakterij pri 37°C, s to razliko, da pri tem parametru ugotavljamo ali gre za onesnaženje z bakterijami fekalnega izvora.

Iz rezultatov analiz je razvidno, da oba parametra (število bakterij pri 22°C in 37°C) kažeta večje število bakterij, kot je določeno s Pravilnikom o pitni vodi (preglednica 1).

Ameriška okoljska agencija (USEPA) v svoji zakonodaji (SWTR) navaja, da je potrebno s postopki čiščenja in dezinfekcijo zagotoviti vsaj 3-log odstranitev cist giardije in 4-log odstranitev virusov. V primeru povečanih koncentracij števila cist giardije, kot je to v primeru na zajetju Jama (7 v 100 l vode), pa je potrebno upoštevati višjo stopnjo inaktivacije, to je 4-log odstranitev cist giardije in 5-log odstranitev virusov (preglednica 2).

Preglednica 2: Stopnja inaktivacije cist *Giardie* in virusov pri povečanem številu le-teh (Guidance manual for compliance with the filtration and disinfection requirements for public water systems using surface water sources, 1991)

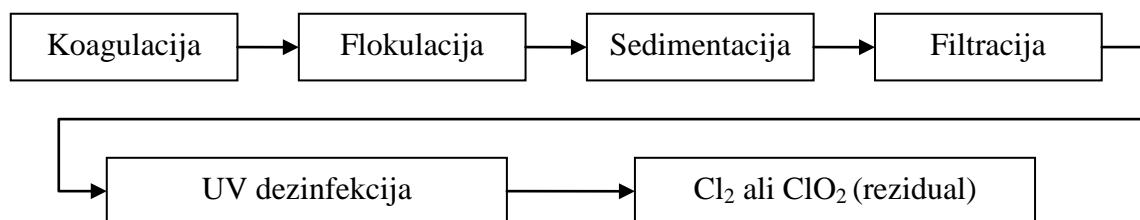
Število cist v 100 l vode	< 1	> 1 - 10	> 10 - 100
Inaktivacija cist <i>Giardie</i>	3-log	4-log	5-log
Inaktivacija virusov	4-log	5-log	6-log

3 MOŽNI NAČINI ČIŠČENJA

Za obdelavo surove vode, ki izkazuje mikrobiološko oporečnost in občasno povečano motnost so primerni konvencionalni postopki čiščenja, vse bolj pa se uveljavljajo tudi alternativne metode obdelave vode.

Prvi, konvencionalni, način priprave vode (shema 1) je koagulacija s flokulacijo, kateri sledi sedimentacija in filtracija na zrnavih filtrih. Koagulacija je proces, pri katerem z dodajanjem kemičnega sredstva (koagulant), s katerim spremenimo naboj delcem, ter kasnejšega intenzivnega mešanja (bazeni, in-line mešanje v cevi) sprožimo proces združevanja koloidnih delcev in mikroorganizmov v kosme, ki jih je mogoče iz vode odstraniti s filtracijo. S tem postopkom priprave je predvidena stopnja inaktivacije cist giardije 2,5-log, odstranitev virusov pa 2,0-log. (Guidance document: Slow sand filtration and diatomaceous earth filtration for small water systems, 2003)

Omenjenemu procesu sledi še kombinirana dezinfekcija. Na prvi stopnji, z UV dezinfekcijo inaktiviramo morebitne mikroorganizme, ki so se prebili skozi postopek koagulacije, na drugi pa vodo dezinfeciramo še s plinskim klorom ali klorovim dioksidom, kot rezidualom, za preprečitev nastanka biofilma v distribucijskem omrežju in ohranjanja stabilne vode do zadnjega uporabnika. Z dezinfekcijo je tako potrebno zagotoviti še 1,5-log odstranitev cist giardije in 3,0-log odstranitev virusov. (Alternative disinfectants and oxidants guidance manual, 1999)

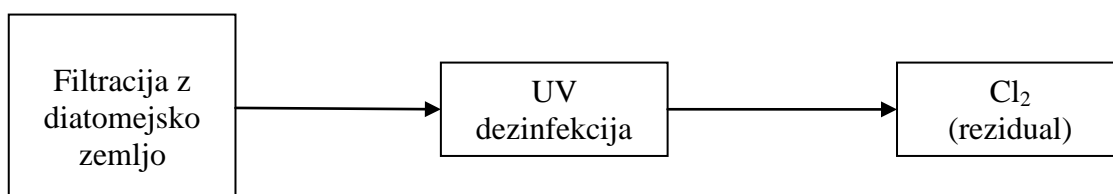


Shema 1: Konvencionalni postopek priprave pitne vode

Drugi način priprave vode je filtracija z diatomejsko zemljo (shema 2). Z omenjenim načinom je možno očistiti podzemne ali površinske vode z nizko stopnjo motnosti (pod 10 NTU), odstranjuje tudi ciste giardije (2,0-log) in viruse (1,0-log).

Glavno vlogo pri filtraciji igra plast diatomejske zemlje, debeline 3 mm (1/8"), ki je položena na vodoprepusten prekat. Večji del onesnažil se zadrži na površini filtra, nekaj pa jih tudi prodre v njegovo notranjost, kjer se ujamejo na zrna ali v praznih prostorih med zrna. Težave z ohranjanjem konstantne debeline plasti in pogosto pokanje le-te je omenjene filtre nekoliko potisnilo v ozadje. (Guidance manual for compliance with the filtration and disinfection requirements for public water systems using surface water sources, 1991)

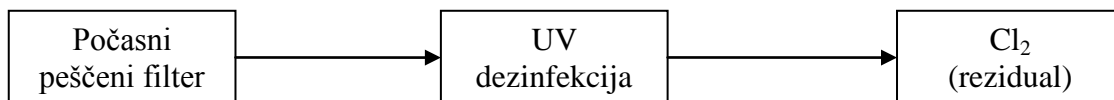
Za uničenje morebitnih mikroorganizmov se poslužimo kombinirane dezinfekcije z UV obsevanjem in kemično dezinfekcijo s plinskim klorom, kot rezidualom, s katero moramo zagotoviti 2,0-log redukcijo cist giardije in 4,0-log redukcijo virusov.



Shema 2: Priprava pitne vode z diatomejsko zemljo

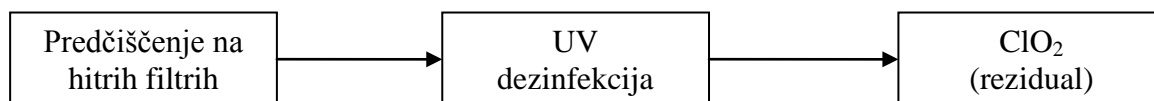
Proces obdelave vode s počasnimi peščenimi ali biološkimi filtri (shema 3) je primeren in finančno ugoden način čiščenja vod z nizko vsebnostjo suspendiranih snovi (do 50 mg/l), nizko stopnjo motnosti (do 10 NTU) in mikroorganizmov, za manjše vodovodne sisteme. Deluje pri nizkih filtracijskih hitrostih (0,1-0,4 m/h), zanj pa sta značilna fizikalno – kemični in biološki mehanizem odstranjevanja onesnažil. Na ta način odstranimo bakterije in viruse s stopnjo odstranitve 2-log. (Guidance document: Slow sand filtration and diatomaceous earth filtration for small water systems, 2003)

Tudi v tem primeru je dezinfekcija opravljena v dveh korakih, in sicer z UV obsevanjem in plinskim klorom, kot rezidualom. Z dezinfekcijo je potrebno zagotoviti inaktivacijo cist giardije s stopnjo odstranitve 2,0-log in viruse s stopnjo odstranitve 3,0-log.



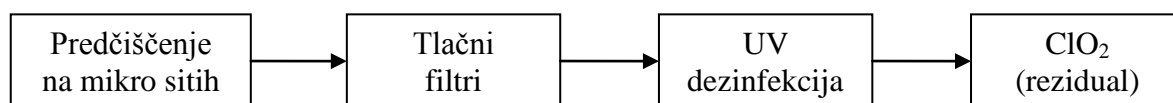
Shema 3: Priprava pitne vode s počasnimi peščenimi filtri

Možen način čiščenja je tudi filtracija na hitrih filtrih (shema 4), kateremu sledi UV dezinfekcija in dezinfekcija s klorovim dioksidom, kot rezidualom. Ta način se predlaga za primer kraških voda, ki izkazujejo nizko stopnjo motnosti, prisotnost fenolov, visokega skupnega organskega ogljika, železa in mangana. (Kompore, Ravnikar, 2005)



Shema 4: Priprava pitne vode iz kraške vode [Kompore, Ravnikar, 2005]

Zelo podoben način obdelave vode so tudi tlačni filtri, ki delujejo na istem principu kot hitri filtri, s to razliko, da je pri tlačnih filtrih pogonska sila, ki omogoča precejanje, tlak, ki ga ustvarijo črpalke. Pred filtre se postavi mikro sita, ki odstranijo alge in morebitne večje delce, pa tudi kvaliteta surove (vstopne) vode se izboljša, kar se odrazi v daljših filtracijskih ciklih. Omenjeni način je prikazan na shemi 5.



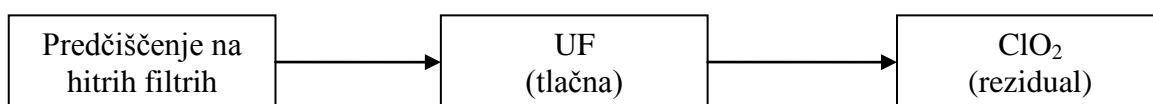
Shema 5: Priprava pitne vode s tlačnimi filtri – varianta 1

Med alternativne metode uvrščamo pripravo vode z membranskimi filtri, med katerimi je, za pripravo vode na zajetju Jama, najbolj primeren proces ultrafiltracije.

Naslednji način obdelave je priprava s tlačno ultrafiltracijo. Zaradi boljšega delovanja (preprečitev prehitrega mašenja), se pred UF napravo namesti zrnave filtre, s katerimi iz vode

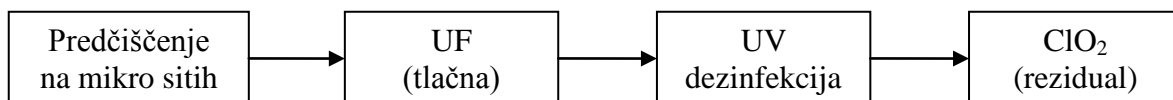
izločimo večje suspendirane delce (shema 6). Ostala onesnažila (motnost, mikroorganizme, itd.) izločimo iz vode z UF filtri. (Kompore, Ravnikar, 2005)

Z UF filtri dosežemo visoko kvaliteto očiščene vode, saj velja za najučinkovitejšo pri odstranjevanju mikroorganizmov. Le-ti omogočajo 6-log in višjo odstranitev bakterij in 4-log odstranitev virusov. V tem primeru z dezinfekcijo polovimo morebitne ubežnike po izvedeni fizikalni obdelavi, dezinfektant (klorov dioksid) pa ima tudi funkcijo reziduala, ki preprečuje nastanek biofilma v distribucijskem omrežju. (Kompore, Ravnikar, 2005)



Shema 6: Priprava pitne vode iz kraške vode [Kompore, Ravnikar, 2005]

Naslednja, možna varianta priprave vode je prikazana na shemi 7. Namesto hitrih filtrov je predčiščenje opravljeno na mikro sitih. Znova je uporabljena kombinirana dezinfekcija z UV obsevanjem in klorovim dioksidom, kot rezidualom.



Shema 7: Priprava pitne vode z UF – varianta 2

Iz zgoraj naštetih načinov priprave pitne vode sem za obdelavo vode na zajetju Jama izbral dve varianti. Prva varianta (varianta 1) je prikazana na shemi 5, druga (varianta 2) pa na shemi 7.

4 TEORETIČNE OSNOVE TEHNOLOGIJ ČIŠČENJA

V poglavju, ki sledi, so opisane teoretične osnove tehnologij čiščenja in njihove glavne značilnosti, ki se dotikajo prej omenjenih, izbranih variant (variante 1 in 2).

4.1 Tlačni peščeni filtri

Filtracija na zrnavih filtrih velja za konvencionalno (klasično) metodo obdelave surove vode. Med hitre zrnave filtre uvrščamo tudi tlačne peščene filtre, katerih delovanje temelji ravno na hitrih gravitacijskih zrnavih filtrih. Glavna razlika med obema je v gonilni sili, ki poganja vodo skozi filter, pri čemer je pri gravitacijskih ta sila, sila teže in hidrostatični tlak vode nad filtrsko površino, pri tlačnih pa tlak, ki ga ustvarijo črpalke.

Tlačni filtri so tako dobra rešitev za obdelavo manj onesnaženih podzemnih voda, za preskrbo manjših naselij.

4.1.1 Materiali za sestavo filtrov in njihove značilnosti

Za sestavo tlačnih peščenih filtrov se najpogosteje uporablja pesek, kremenčev pesek, antracit in drugi umetni materiali.

Običajno so ti filtri sestavljeni kot dvoslojni, iz spodnjega sloja kremenčevega peska in zgornjega sloja antracita, kot enoslojni ali kot troslojni.

V tlačne peščene filtre se običajno vgradi filtrski pesek z učinkovitim premerom zrn med 0,35 in 0,5 mm ter koeficientom enakomernosti filtrskega materiala 1,3 do 1,5. Koeficient enakomernosti predstavlja razmerje med učinkovitima velikostma zrn d_{60} in d_{10} ($n = d_{60}/d_{10}$), ki ju dobimo iz sejalne analize.

Kot filtrski medij je najbolje vgraditi oglate granule, ki pa jih je pred vgradnjo potrebno dobro očistiti ter odstraniti vse primesi blata in organskih snovi. Pomembni lastnosti filtrskega materiala sta tudi zadostna trdota oz. odpornost prosti mehanski obrabi (obrusi, raztapljanje,

krušljivost, itd.) ter zadostna specifična teža peska, ki prideta do izraza predvsem pri pranju s povratno čistilno vodo (ekspanzija filtrskega medija in medsebojno trenje granul).

4.1.2 Delovanje in zasnova filtrov

Najbolj pogost način postavitve tlačnih filtrov je vertikalna postavitve, tako da je tok vode usmerjen od zgoraj navzdol. Voda, pod določenim tlakom, vstopa v tlačno posodo na zgornji površini filtrskega peska in se s precejanjem skozi filtrski medij očisti nesnage. Odtok očiščene vode je na dnu tlačne posode, v rezervoar. Poleg omenjene postavitve je možno tlačne filtre postaviti tudi horizontalno, vse več pa se pojavljajo tudi tlačni filtri s tokom vode v obratni smeri (od spodaj navzgor, t.i. »upflow« filtri) ali celo v dve smeri (od zunaj proti sredini filtrskega medija, t.i. »biflow« filtri).

Tako pri hitrih gravitacijskih kot tudi tlačnih filtrihi sta glavna mehanizma čiščenja kemijsko – elektrolitski in mehanski način odstranjevanja onesnažil. Oba načina lahko še pospešimo oziroma ojačamo z dodajanjem koagulanta, ki spremeni naboje delcev in povzroči njihovo kosmičenje ter posledično lažje odstranjevanje večjih delcev – kosmov bodisi na sami površini filtrskega medija bodisi v porah med samimi zrni. Z dodajanjem koagulanta dosežemo, da se nesnaga iz vode odstrani čim bližje zgornji površini filtrskega medija, kar ima za posledico tanjšo debelino filtrskega medija in bolj učinkovito čiščenje s povratno čistilno vodo.

Filtracija je fizikalno – kemijski proces priprave vode. Na njeno učinkovitost vplivajo tudi lastnosti vode, lastnosti filtrskega medija ter hitrost filtracije.

Pomembna faktorja, ki se dotikata lastnosti surove vode sta temperatura in koncentracija nesnage v vodi. Kljub temu, da večina filtrskih aplikacij ne upošteva temperature vode, pa načeloma temperatura vpliva na precejanje. Hladno vodo, ki ima višjo viskoznost, je namreč težje filtrirati, kot toplo vodo. Pomemben faktor je tudi koncentracija snovi v surovi vodi ter s tem povezana odločitev o morebitni predpripravi surove vode.

Filtrski medij je pomemben faktor za učinkovito delovanje filtra. Z vgradnjo manjših granul ter večjo (optimalno) debelino filtrskega sloja se učinkovitost filtracije poveča. Manjše granule oz. drobnozrnati peski imajo veliko celotno površino zrn, ki predstavlja površino, na katero se lahko prilepijo koloidni delci in ostale nečistoče. Dejanska velikost granul se giblje med 0,25 in 2,4 mm. Učinkovito delovanje filtra dosežemo tudi z optimalno debelino filtrskega sloja. To pomeni, da mora biti debelina filtra tolikšna, da iz surove vode pripravimo filtrat s predpisano kvaliteto, po drugi strani pa preprečimo pregloboko penetracijo nesnage v filter. Pri filtrih brez predpriprave vode je običajna debelina filtrskega sloja 0,8-1,2 m.

Tlačni peščeni filtri delujejo pri visokih filtracijskih hitrostih. Običajne filtracijske hitrosti, značilne tudi za hitre gravitacijske filtre, se gibljejo med 5 in 25 m/h. Pri ostalih nespremenjenih pogojih pomeni nižja filtracijska hitrost večjo učinkovitost čiščenja, vpliva pa tudi na trajanje filtracijskega ciklusa in velikosti filtrov. Pri nižji filtracijski hitrosti se tako trajanje filtracijskega cikla podaljša, prav tako pa se povečajo tudi dimenzije samega filtra.

Valjaste posode, v katerih se izvaja tlačni način filtracije, so običajno postavljene vertikalno. Izdelane so iz kovinskih ali plastičnih armiranih materialov.

Pomemben faktor pri načrtovanju velikosti filtrov je potrebna količina vode za preskrbo uporabnikov, v kateri je potrebno upoštevati strukturo uporabnikov (gospodinjstva, industrija, obrt, idr.), izgube v vodovodnem omrežju ter nihanja vode v sistemu. Z upoštevanjem vseh navedenih faktorjev se določi urna poraba vode – Q , izbere filtracijska hitrost – v_f in določi celotna potrebna površina filtra – A (enačba 4).

$$A = \frac{Q}{v_f} \quad (4)$$

Kjer je: A celotna potrebna površina filtra [m^2]
 Q količina vode, ki jo je potrebno prečistiti [m^3/h]
 v_f hitrost filtracije [m/h]

Celotna površina filtra (A) po enačbi 4 naj bo enaka oz. večja kot kvocient urne porabe vode in hitrosti filtracije.

Število filtrov (n) lahko, glede na površino določimo tako, da celotno potrebno površino (A) delimo z želeno ali s prospekti določeno površino posameznega filtra (S), enačba 5.

$$n = \frac{A}{S} \quad (5)$$

Običajni čas obratovanja tlačnih filtrov – filtracijski cikel traja med 12 in 96 ur, odvisno od kvalitete surove vode in nastavitvev filtrov. Nekateri filtracijski ciklusi lahko trajajo tudi dlje, vendar se je potrebno zavedati, da lahko po daljših intervalih razrast mikroorganizmov, alg in drugih nezaželenih snovi poslabša kvaliteto prečiščene vode.

4.1.3 Čiščenje in vzdrževanje filtrov

V času obratovanja filtra se iz vode izloča nesnaga, ki se kopiči nad krovno plastjo filtra, prileplja na drobne granule peska ali pa ujame v prazne prostore med zrni. Zaradi tega se povečajo tlačne izgube skozi filter, kar ima za posledico slabše delovanje filtra. V izogib tem težavam je potrebno filtre po koncu obratovalnega cikla umakniti iz obratovanja ter jih očistiti. Čiščenje tlačnih filtrov poteka s povratno čistilno vodo, ob kateri lahko vpihujemo zrak. S tem se poraba vode za pranje zmanjša.

Čiščenje (tlačnih) filtrov s povratno čistilno vodo se vklopi, ko:

- Bodisi tlačne izgube skozi filter narastejo do predpisane absolutne vrednosti bodisi je razlika v tlakih pred in za filtrom višja od predpisane vrednosti
- Se kvaliteta filtrata zmanjša pod določeno predpisano vrednost
- Je dosežena določena predpisana časovna omejitev trajanja filtracijskega cikla

Glede na to, da so dandanes sistemi že popolnoma avtomatizirani, se čiščenje vklopi, ko je izpolnjen eden od zgoraj navedenih kriterijev.

Pri čiščenju s povratno čistilno vodo je tok le-te od spodaj navzgor. S tem dosežemo ekspanzijo filtrskega medija in trenutek v katerem se onesnažila, nabrana v in na filtrskem mediju, lahko odstranijo s tokom vode.

4.2 Membranska filtracija – ultrafiltracija

Membransko filtracijo uvrščamo med alternativne metode priprave vode. Deluje na principu fizičnega odstranjevanja najrazličnejših delcev in snovi (patogeni mikroorganizmi, motnost, itd.). Gonilna sila, ki omogoča delovanje in prehod vode skozi membrane, je tlak ali vakuum, ki ga ustvarijo črpalke.

V preteklosti se je membranska filtracija uporabljala predvsem v industriji (farmacevtska industrija, elektronika,...) za čiščenje in pripravo manjših količin vode. Po letu 1970 pa izboljšave v procesih reverzne osmoze (RO) in reverzne elektrodialize (EDR) privedejo do povečane rabe membranske filtracije tudi za pripravo pitne vode. Tako se razvijejo štiri aplikacije: reverzna osmoza, nanofiltracija, ultrafiltracija in mikrofiltracija, ki se ločijo med sabo po velikosti por oz. po tem, katere snovi zadržijo membrane.

Proces ultrafiltracije je namenjen čiščenju podzemnih in zmerno motnih površinskih voda. Z njim lahko nadomestimo konvencionalne postopke čiščenja, ki obsegajo koagulacijo, flokulacijo, sedimentacijo in filtracijo. Zaradi zelo učinkovitega odstranjevanja, predvsem cist giardije in oocist kriptosporidija, se zanimanje za omenjeni sistem močno povečuje. Prednost ultrafiltracije je v tem, da odstranjuje mikroorganizme in druga onesnažila fizično, na principu sit, to je brez oz. z minimalno uporabo kemičnih sredstev (koagulantov).

4.2.1 Materiali, struktura in oblike membran

Dandanes proizvajalci ponujajo na tržišču zelo različne membrane, ki se razlikujejo po vrsti materiala iz katerega so sestavljene, po strukturi (zgradbi) membran, velikosti por ter drugih lastnostih (vpliv temperature, pH vrednosti, prepustnosti za vodo, itd.).

4.2.1.1 Materiali za membrane

Celulozni acetat (CA) je bil prvi material za izdelavo membran in se uporablja še danes v procesih RO, NF in UF. Razlog za njegovo uporabo je nizka cena ter vodoprepusten material, ki ni tako zelo podvržen izpadom zaradi mašenja. Navkljub spreminjanjem njegove sestave z različnimi dodatki, z razlogom izboljšati njegove fizikalno – kemijske lastnosti, pa so

membrane iz celuloznega acetata močno podvržene poškodbam, ki jih povzročajo mikroorganizmi, pH vrednost in temperatura vode.

Celulozni acetat je material, na katerega močno vpliva temperatura. Zaradi tega je temperatura vode pri celulozno acetatnih membranah omejena na 35°C.

Polisulfon (PSO) se uporablja v procesih UF in MF. Odporne so na povišane temperature (tudi do 120°C) ter različne pH vrednosti, medtem ko so za odstranjevanje olj in maščob manj učinkovite.

Membrane iz polivinilenedifluorida (PVDF) niso zelo razširjene in pogosto uporabljene. Težavna izdelava membran, z dobrimi lastnostmi preprečevanja prehoda delcev, preprečuje širšo uporabo. Kljub temu pa so odporne na visoke temperature (do 95°C), ogljikovodike in oksidacijo.

Za izdelavo membran se uporabljajo tudi polipropilen (PP), poliakrilonitril (PAN), polietersulfon (PES), keramika (glina) in drugi polimerni materiali. (Membrane filtration guidance manual, 2005)

Visoka stopnja ranljivosti celulozno acetatnih membran je bila povod za razvoj kompozitnih oz. tankoslojnih sestavljenih membran, sprva le za proces RO (razsoljevanje). Glavne odlike kompozitnih membran so v visoki stopnji zavrnitve soli (do 99,5 %), omogočajo dokaj visoke hitrosti filtracije oz. pretoke, odporne so na visoke temperature (do 80°C) ter neobčutljive na pH vrednosti vode. Slabše pa delujejo v pogojih, kjer prihaja do oksidacije, saj je večina kompozitnih membran, le do določenih koncentracij odporna npr. na klor, natrijev hipoklorit ali peroksid. (Wagner, 2001)

Večina kompozitnih membran (TFM) je izdelana iz dveh tankih plasti. Prva, podporna, nekoliko debelejša in bolj prepustna plast (velikost por do 100 µm) je običajno iz polisulfona (PSO). Služi kot podlaga za drugo plast, ter daje sestavljeni membrani oporo in trdnost. Druga, nekoliko tanjša in manj prepustna plast (velikost por do 1 µm), pa se prilepi na prvo. Poleg dvoslojnih se izdelujejo tudi troslojne membrane. Njihova sestava je podobna

dvoslojnim, s to razliko, da sta, namesto ene, prilepljeni dve tanki plasti. Troslojne membrane so zaradi prevladujoče uporabe dvoslojnih pri pripravi pitne vode nekoliko potisnjene v ozadje in se uporabljajo pretežno pri industrijskih procesih, kjer so se pokazale kot bolj stabilne in manj dovzetne za mašenje oz. izpade.

4.2.1.2 Struktura membran

Vse membrane, ki se uporabljajo v procesih RO, NF, UF in MF imajo asimetrično strukturo. Druga možna oblika strukture membran je simetrična.

Simetrična struktura, ki je npr. značilna za kavne filtre, pomeni, da ima membrana enake lastnosti na obeh straneh. Njena gostota in razporeditev por skozi prečni prerez je enaka (homogena) oz. enakomerno razporejena.

Membrane z asimetrično strukturo nimajo enakomerno razporejenih por, ampak se razporeditev por ter gostota materiala skozi prečni prerez spreminja. Na strani, ki je izpostavljena surovi vodi je struktura bolj gosta, z manjšimi porami. Ta plast je zelo tanka, debela do 0,1 μm . Celotna debelina asimetrične membrane je 150 do 250 μm . S tega je razvidno, da je večji del membrane namenjen podpori (podlagi) zgornjega, tankega sloja. Z drugimi besedami, asimetrična oz. heterogena struktura membrane pomeni, da so večje pore in manj gosta struktura bolj odmaknjene od zgornje, tanke plasti in s tem manj podvržene zamašitvam. Velikosti por se za različne procese membranske filtracije razlikujejo in se v procesu ultrafiltracije gibljejo med 0,1 in 0,01 μm .

4.2.1.3 Oblike membran

Na tržišču se pojavljajo različne oblike membran za različne procese membranske filtracije. Za procesa mikro in ultrafiltracije se najpogosteje uporabljajo filtri iz votlih vlaken («hollow-fiber modules»), medtem ko za procesa nanofiltracije in reverzne osmoze spiralisti filtri oz. moduli («spiral-wound modules»). Poleg omenjenih oblik pa so na voljo tudi filtri s finimi votlimi vlakni («hollow-fine-fiber moduli»), cevni filtri («tubular moduli») in platneni filtri («flat sheet system»).

V procesu ultrafiltracije se najpogosteje uporabljajo votla vlakna (»hollow-fiber modules»). Kot že samo ime pove, so moduli sestavljeni iz več 100 do več 10 000 votlih vlaken. Votla vlakna so lahko izdelana iz katerega koli, zgoraj navedenega materiala ter povezana skupaj v različnih aplikacijah. Najbolj pogost način je, da vlakna povežemo v snop, ki ga na obeh koncih zatesnimo z epoksidno smolo ter vstavimo v tlačno posodo. Tako pripravljen modul lahko namestimo horizontalno ali vertikalno. Možne so tudi aplikacije brez tlačnih posod (vakuumski filtri), pri katerih snope vlaken potopimo v bazen z vodo.

4.2.2 Delovanje filtrov

Na načrtovanje in delovanje ultrafiltracijskih naprav (tlačno vodenih) vplivajo številni parametri od katerih sta najbolj pomembna hitrost filtracije (»flux«) ter tlak skozi membrane (»TMP«). V odvisnosti od obeh parametrov je pomemben faktor pri zasnovi in delovanju tudi prepustnost skozi membrane (»permeability«).

Ključno vlogo pri zasnovi ima hitrost filtracije, ki je definirana kot kvocient pretoka v eni uri in površine membran, in je prikazana z enačbo 6.

$$v_f = \frac{Q}{A_m} \quad (6)$$

Kjer je:

v_f	hitrost filtracije [lmh ali m ³ /(m ² h) ali m/h]
Q	pretok [m ³ /h]
A_m	površina membran [m ²]

Drugi, pomemben faktor pri zasnovi in delovanju ultrafiltracijskih naprav je tlak skozi membrane (*TMP*). Definiran je kot razlika tlakov pred membranami (P_f) in za membranami (P_p) in ga zapišemo z enačbo 7.

$$TMP = P_f - P_p \quad (7)$$

Kjer je:

TMP	tlak skozi membrane [bar]
P_f	tlak pred membranami – tlak filtrata [bar]
P_p	tlak za membranami – tlak permeata [bar]

Tretji faktor, odvisen od filtracijske hitrosti in tlaka skozi membrane, s katerim zajamemo tudi druge lastnosti vode, je prepustnost. Definirana je kot kvocient filtracijske hitrosti in tlaka skozi membrane ter pomnožena s temperaturnim korekcijskim faktorjem, zapišemo jo z enačbo 8.

$$p = \frac{v_f}{TMP} \cdot TF \quad (8)$$

Kjer je:	p	prepustnost membrane [lmh/bar ali m/h bar]
	v_f	filtracijska hitrost [m/h]
	TMP	tlak skozi membrane [bar]
	TF	temperaturni korekcijski faktor

Temperaturni korekcijski faktor zapišemo z enačbo 9.

$$TF = \frac{6,533 \cdot 10^{-4} \cdot T^2 - 5,596 \cdot 10^{-2} \cdot T + 1,855}{0,99712} \quad (9)$$

Kjer je:	TF	temperaturni korekcijski faktor [1]
	T	temperatura surove vode [°C]

Ultrafiltracijske naprave so popolnoma avtomatizirane, njihova zasnova in delovanje pa sloni na vzdrževanju konstantnih pretokov skozi membrane. Posledica tega je nenehno zviševanje obratovalnih tlakov do določene meje, kjer je potrebna zaustavitev obratovalnega cikla in začetek čistilnega cikla.

Kot sem omenil že zgoraj pa na delovanje filtrov vplivajo tudi drugi faktorji, ki jih je potrebno upoštevati bodisi v obliki korekcijskih faktorjev (enačba 9) bodisi kako drugače. Vplivne faktorje lahko razdelimo v dve skupini, in sicer na parametre, ki so povezani z lastnostmi vode, kjer gre za vpliv kvalitete surove vode, temperature vode, pH-ja ter karbonatne trdote vode in parametre, ki so povezani z lastnostmi materialov iz katerih so membrane izdelane.

Kvaliteta surove vode lahko močno vpliva na delovanje ultrafiltracijskih membran. V primeru bolj onesnaženih voda, z visoko vsebnostjo suspendiranih snovi, je potrebno razmisliti o različnih postopkih predpriprave vode, da se izognemo kratkim obratovalnim ciklom, pogostemu mašenju in izpadom membran ter nenazadnje veliki porabi, razmeroma dragih kemičnih sredstev za kemično čiščenje membran. Pri bolj čistih vodah zadostuje že postavitvev samočistilnih mikro sit, z velikostjo odprtin 100-300 μm . V primeru, da so koncentracije onesnažil v surovi vodi višje ($> 200 \text{ mg/l}$), pa je potrebno razmisliti o bolj obsežni predprilpravi, mehanski in/ali kemični (koagulacija, sedimentacija, filtracija), surove vode.

Na delovanje filtrov vpliva tudi temperatura surove vode (enačba 8). Znano je, da ima voda najvišjo viskoznost pri 0°C in z višanjem temperature viskoznost pada. Poglavitni vpliv temperature se torej kaže v spreminjanju viskoznosti in posledično v pretokih skozi filter, ki se pri enakem tlaku z naraščanjem temperature povečujejo in s padanjem temperature zmanjšujejo oz. je potrebno za konstanten pretok skozi membrano vzdrževati pri višji temperaturi 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 biološka aktivnost, ki povzroči slabše delovanje filtrov.

Glede na to, da imajo membrane visok prag tolerance, kar se tiče pH vrednosti, le te ni potrebno uravnavati z raznimi dodatki. Večina surovih voda ima pH vrednosti v mejah, ki so podane v preglednici 3. V primeru odstopanj pa je potrebno vodo pred vstopom v filtre pripraviti, da ustreza alkalitetam, ki jih membrane prenesejo. V nasprotnem primeru lahko pride do hidrolize, na začetek katere vpliva ravno pH vrednost vode, ki se sproži bodisi pri zelo nizkih ali pa zelo visokih pH vrednostih. Pri hidrolizi se acetilne skupine zamenjajo s hidroksilnimi, kar ima za posledico manj gosto, bolj načeto strukturo, ki dovoljuje prehod različnim delcem, predvsem bakterijam, ki razkrajajo membrano.

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
Polivinildenedifluorid (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.

Tudi karbonatna trdota vode vpliva na delovanje filtrov v filtracijskem ciklu. Izločanje in odlaganje kalcijevih in magnezijevih soli v obliki karbonatov oz. bikarbonatov na površino membran, kjer se tvori film oblog, povzroča krajše obratovalne cikle in posledično potrebo po čiščenju (mehanskemu, s povratno čistilno vodo, in kemičnemu).

Izbira materiala za membrane oz. omejitve pri izbiri materiala iz katerih bodo izdelane membrane lahko močno vpliva na delovanje filtrov.

Nekatere vrste bakterij lahko presnavljajo acetilne skupine ter za sabo pustijo odprto strukturo v membrani. Membrane tako postanejo podvržene razkroju, kar omogoči prehod mikroorganizmov in drugih onesnažil v očiščeno vodo (permeat). V poškodovano membrano vstopajo mikroorganizmi, ki s svojim metabolizmom tvorijo snovi, ki povzročajo mašenje, ali pa tvorijo plin – žveplov vodik, ki poslabša kvaliteto permeata.

Poleg tega pa material iz katerega so membrane lahko uničimo tudi z uporabo napačnih kemičnih sredstev, ki jih bodisi uporabljamo v ciklu kemičnega čiščenja membran bodisi so ostanek predpriprave vode (koagulacija), zato je zelo pomembno katera kemična sredstva lahko uporabljamo in kolikšna je maksimalna dovoljena količina posameznega kemičnega sredstva. Vrsto in količino običajno predpiše proizvajalec membran.

Učinkovitost delovanja membran oz. filtrov podamo z izkoristkom. Izkoristek je definiran kot kvocient povprečnega pretoka permeata in povprečnega pretoka surove vode in je izražen v odstotkih (enačba 10).

$$r = \frac{Q_p}{Q_f} \quad (10)$$

Kjer je:	r	izkoristek [%]
	Q_p	povprečni pretok permeata [m^3/dan]
	Q_f	povprečni pretok surove vode [m^3/dan]

Izkoristek naprave je odvisen od nastavitvev filtrov (enostopenjska ali večstopenjska nastavitvev), lastnosti surove vode, lastnosti membran in se giblje med 80 in 95 %.

Tudi življenjska doba membran ni odvisna le od enega parametra. Običajna življenjska doba membran je 2-5 let, v primeru čiščenja manj onesnaženih surovih voda tudi 3-10 let ali več. Vsekakor pa je potrebno membrane zamenjati v primeru poškodb, takrat, ko se filtracijske hitrosti toliko zmanjšajo, da ne omogočajo več učinkovitega čiščenja ali takrat, ko s čiščenjem oz. po čiščenju ne dosegamo več želenih rezultatov (zmanjšani izkoristki, slabša kvaliteta permeata).

4.2.3 Hidravlične nastavitve membran

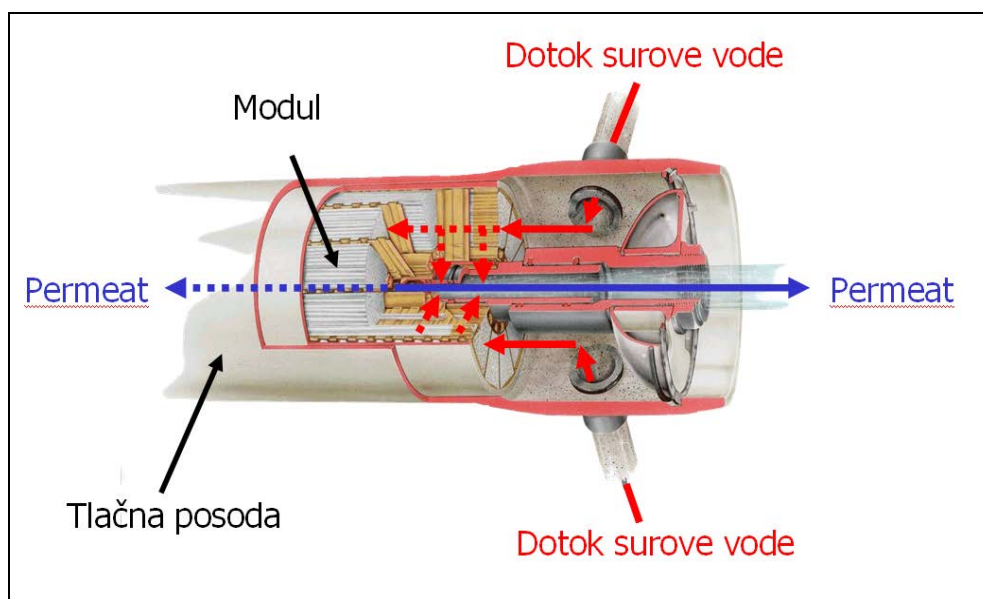
Hidravlične nastavitve membran opišejo način delovanja filtra oz. celotnega filtracijskega sistema. Filtri lahko delujejo v dveh načinih, na principu čelne filtracije, t.i. »mrtvi konec« (»dead-end«) ali na principu prečne filtracije – pretočni model (»crossflow«).

Pri prečnem načinu filtracije (pretočni model) se vzporedno s površino membran kontinuirano dovaja tok vode. Na ta način se med membranami ustvari turbulenten tok, ki omogoči hkratno precejanje vode ter čiščenje površine membran z odnašanjem delcev. Ker je zasnova in delovanje omenjenega načina dokaj zapletena, ter zaradi ohranjanja stalnega dotoka vode potratna z vidika porabe električne energije, so načrtovalci razvili postopek filtracije, ki deluje na principu čelne filtracije.

Filtri oz. sistemi, ki delujejo na principu čelne filtracije imajo to lastnost, da se znotraj membran ustvari laminarni tok pri katerem se nesnaga iz surove vode odloži na površino

membran, tvori plast onesnažil katero lahko očistimo s povratno čistilno vodo ali kemičnimi sredstvi. Zaradi manjše porabe električne energije deluje večina tlačno vodenih procesov mikrofiltracije in ultrafiltracije v tem načinu.

Ultrafiltracijske enote, opremljene z votlimi vlakni, lahko obratujejo na dva načina – v načinu od znotraj navzven ali v načinu od zunaj navznoter.



Slika 3: Prikaz načina delovanja od znotraj navzven (Norit XIGA™, 2006)

Pri načinu od znotraj navzven (slika 3) vstopa surova voda v notranjost vlakna ter se radialno, skozi steno membrane, očisti in zbere na zunanji površini vlaken. Od tod, po zunanji strani vlaken, odteče v sredinsko (perforirano cev) in dalje v bazen z očiščeno vodo.

Pri načinu od zunaj navznoter (vakuumsko vodeni proces) pa surova voda vstopa v modul na zunanji površini vlaken ter se skozi steno preceja v notranjost vlakna, kjer se zbere in odteče.

4.2.4 Padec učinkovitosti delovanja membran in čiščenje le teh

Glavni razlog za zmanjšano učinkovitost v delovanju membran in filtrov je nabiranje oblog na membranah in posledično njihovo mašenje. Največ zamašitev povzročijo organske spojine, bodisi z usedanjem na površino membran bodisi s tem, da omogočijo razrast mikroorganizmov. Zamašene membrane zmanjšujejo pretoke oz. povečujejo obratovalne tlake

in povečajo možnost prehoda delcev, ki bi jih sicer morale zaustaviti. Vendar pa krivec za mašenje por ni zgolj odlaganje usedlin na površini membran, ampak se nekateri delci (ioni, koloidni delci, mikroorganizmi) prebijejo tudi v pore membran, kjer jih mašijo. Za mašenje so tako bolj dovzetni moduli z votlimi vlakni, za razliko od spiralastih modulov.

Ob zmanjšani učinkovitosti delovanja filtrov je potrebno le te očistiti. Čiščenje membran je odvisno od hidravličnih nastavitev sistema. Pri prečni filtraciji – pretočnem modelu je že sam sistem načrtovan tako, da kar se da zmanjšamo možnost usedanja nesnage, s kontinuiranim tokom vode skozi filter. Pri čelni filtraciji pa usedlin ne čistimo kontinuirano, zato je potrebno filtre po končanem filtracijskem ciklu ustaviti ter jih očistiti.

Čiščenje membranskih filtrov v procesu ultrafiltracije poteka s povratno čistilno vodo. Za razliko od tlačnih peščenih filtrov, je potrebno membranske filtre čistiti bolj pogosto, v 15 do 60 minutnih intervalih. Samo čiščenje traja od 30 sekund do 3 minut. Čiščenje membranskih filtrov je popolnoma avtomatizirano in se vključi bodisi, ko razlika med vstopnim in izstopnim tlakom naraste do določene vrednosti (0,3 do 0,8 bar) bodisi preteče določen (nastavljen) čas filtracije. Čiščenje s povratno čistilno vodo omogočajo tlaki, ki se pri procesih ultrafiltracije gibljejo od 1 do 3 barov. Za čiščenje membranskih filtrov se običajno uporablja prečiščena voda, nekateri sistemi pa uporabljajo mešanico vode, zraka in/ali klora, kjer vrsta membran to dopušča (velika občutljivost CA membran na klor).

Poleg čiščenja membran s povratno čistilno vodo, pa se za čiščenje uporabljajo tudi kemična sredstva, ki odstranijo težje odstranljivo nesnago. Za kemično čiščenje membran se uporabljajo različna kemična sredstva, katerih izbira sloni na snoveh, ki jih želimo odstraniti in vrsti uporabljenega materiala, iz katerega je membrana izdelana. Na primer, za anorganske snovi se uporabljajo kisline (citronska kislina – $C_6H_8O_7$, klorovodikova kislina – HCl), za organske snovi in mikroorganizme pa baze ter oksidanti/dezinfektanti (natrijev hidroksid – NaOH, natrijev hipoklorit – NaOCl, plinski klor – Cl_2 , peroksid – H_2O_2) in podobno.

4.3 Odstranjevanje odpadnih vod

Pri pripravi pitne vode z membranskimi in tlačnimi peščenimi filtri nastajajo tudi odpadne vode. Le te je potrebno v skladu z različnimi predpisi tudi odstraniti.

Pri tlačnih filtrih predstavljajo večji del odpadne vode tokovi, ki nastanejo pri povratnem čiščenju in lahko vsebujejo tudi kemična sredstva, ki se uporabljajo pri predpripravi (koagulantni).

Največji del odpadnih voda v vodarnah, pri pripravi vode z membransko filtracijo predstavlja koncentrat, to je del vode in onesnažil, ki ga zadržijo membrane. Poleg tega pa pri obdelavi vode nastanejo tudi drugi tokovi z odpadno vodo (tokovi pri čiščenju filtrov in membran s povratno čistilno vodo in kemikalijami) ali pa voda, ki se uporablja v postopku predpriprave.

Količina koncentrata je odvisna od izkoristka filtrov (enostopenjski ali večstopenjski proces). Če imamo v mislih stopnjo očiščenja do 98% (večstopenjski proces), lahko vidimo, da količina koncentrata v skupni odpadni vodi, predstavlja zelo velik delež.

Kvaliteta koncentrata je odvisna od večjih parametrov. Na kvaliteto vplivajo stopnja očiščenja vode oz. stopnja zavrnitve onesnažil, kvaliteta surove vode ter morebitni postopki predpriprave vode. Tako se kvaliteta koncentrata pri RO, ki zadrži praktično vsa onesnažila, močno razlikuje od MF, ki odstranjuje le nekatera onesnažila. V primeru dodajanja koagulantov ali drugih kemikalij, ki vplivajo na kvaliteto koncentrata, je potrebno ostanke teh kemikalij tudi ustrezno obdelati.

Pri procesih mikro in ultrafiltracije se filtri očistijo s povratno čistilno vodo (»backwash«), z namenom odstranitve akumuliranih onesnažil na membranah. Pri tem se uporablja za čiščenje očiščena voda. Količina povratne čistilne vode je odvisna od kvalitete surove vode ter od tipa membranskega sistema, saj ponekod uporabljajo za čiščenje mešanico zraka in vode.

Občasno je potrebno membrane očistiti tudi s kemikalijami. Kljub temu, da je količina kemičnih čistil, v primerjavi s količino koncentrata ali količino povratne čistilne vode majhna

je potrebno uporabljene kemikalije popolnoma odstraniti ali pa razredčiti do še dovoljenih koncentracij.

V primeru zelo onesnaženih surovih voda, je potrebna predpriprava vode. Predpriprava vode je možna s postopki koagulacije, flokulacije, sedimentacije in/ali filtracije. V vseh teh procesih nastanejo odpadni tokovi bodisi pri čiščenju filtrov, čiščenju sedimentacijskih in flokulacijskih bazenov, ki jih je potrebno ravno tako odstraniti.

Za odstranitev odpadnih voda so na voljo naslednji načini odstranitve:

- Odtok v površinski odvodnik
- Izpust v kanalizacijo
- Aplikacije na zemeljskem površju (namakanje, hitri infiltracijski bazeni)
- Infiltracija preko vodnjakov
- Bazeni za izhlapevanje
- Izpusti v morje

Odtok v površinski odvodnik predstavlja najbolj pogost način odstranitve odpadne vode. Kvaliteta in količina odpadnih voda, lastnosti odvodnika ter lokalna zakonodaja oz. predpisi so le nekateri faktorji, ki vplivajo na izpuste odpadnih voda v površinski odvodnik. Tako je potrebno, za izpuščanje odpadne vode v odvodnik, pridobiti ustrezna dovoljenja, v katerih mora biti opisana tehnologija čiščenja, izvedene preiskave glede kvalitete odpadne vode, podana količina odpadne vode, določeni kritični pretoki in druge lastnosti v odvodniku ter nenazadnje predstavljen načrt monitoringa, ki ga bo izvajala vodarna glede izpustov. Navedena dejstva niso pomembna zgolj iz vidika varovanja in ohranjanja narave ter ekosistemov, temveč predstavlja potok ali reka, na koncu koncev, za nekoga odvodnik komunalnih odplak, za nekoga drugega pa vodni vir (predvsem v tujini).

Izpusti odpadnih voda v kanalizacijski sistem imajo nekatere omejitve, zato so primerni le za izpuste iz manjših vodarn. Glavni omejitvi sta v samem kanalizacijskem sistemu, ki lahko prepušča določeno količino odpadne vode ter v čistilni napravi, ki ima ravno tako določene

količinske omejitve. Vsekakor pa je potrebno pred izpustom odpadno vodo do določene stopnje očistiti, da ne povzročimo poškodb na kanalizacijskem sistemu in/ali čistilni napravi, zato je lahko v nekaterih primerih odločilni faktor o tem, kam odvesti odpadno vodo, ravno visok strošek priprave vode pred izpustom v kanalizacijski sistem.

Za izpuste odpadnih vod lahko uporabimo tudi metodi, s katerima odpadno vodo izlijemo na zemeljsko površino. Metodi, ki se trenutno uporabljata, sta poraba vode v namene zalivanja in hitri infiltracijski bazeni.

Z odpadno vodo lahko zalivamo parke, zelenice, igrišča za golf, vegetacijo ter na ta način prihranimo bolj čisto vodo za druge namene, običajno za pitno vodo. Pri uporabi omenjene metode je potrebno upoštevati nekatere omejitve, ki izhajajo iz kvalitete odpadne vode oz. koncentrata. Ugotoviti je namreč potrebno kako kvaliteta koncentrata vpliva na vegetacijo, da je ne poškoduje, zato je včasih potrebno koncentrat tudi redčiti. Drugo pa je vpliv koncentrata na podtalnico. Seznaniti se je potrebno s tokom podtalnice ter kvaliteto le te, zato je često s tem v zvezi prisotna izdelava programa monitoringa vplivov koncentrata na podtalnico.

V primeru, da se odpadna voda odstrani s hitrimi infiltracijskimi bazeni, je potrebno na prepustnih tleh zgraditi plitve bazene. Bazeni so ograjeni z zidovi tako, da omogočajo zgolj vertikalno infiltracijo oz. odtok. Nekaj vode se na ta način izgubi preko izhlapevanja, večina pa pronica v podtalje (se očisti) in jo je možno ponovno uporabiti s tem, ko jo črpamo iz vodnjakov.

Infiltracija preko vodnjakov je način izpusta odpadne vode oz. koncentratov globoko pod zemeljsko površino. V ta namen se izvrtajo globoki vodnjaki, ki segajo med 300 in 2400 m pod zemeljsko površino. Osnovni namen takšne infiltracije je izpust odpadne vode na način, da le ta ne ogroža vire podtalnice. Ker gre za zelo tvegan postopek so tudi vsi koraki pri izpustih strogo nadzorovani.

Metoda odstranjevanja odpadnih voda preko bazenov za izhlapevanje je relativno enostavna. V ta namen se, v bližini vodarne, zgradijo, na območjih z visoko stopnjo izhlapevanja, bazeni. Prednost takega odstranjevanja odpadnih voda je v enostavni izgradnji in vzdrževanju

bazenov ter nizkih stroških izpusta. Se pa lahko omenjene prednosti kaj hitro izničijo, če je potrebno za nakup zemljišč, katere potrebujemo za izgradnjo bazenov, vložiti veliko finančnih sredstev.

Izpusti v morje predstavljajo dobro alternativo za tiste vodarne, ki so locirane v bližini morja. Take izpuste je potrebno obravnavati ločeno, kot pa izpuste v sladkovodni odvodnik, zaradi količin in kakovosti morja ter uporabe sprejemnikov. V primeru, da se odpadne vode izpuščajo v morje, je potrebno izvesti takšne iztoke, da se omogoči mešanje in razredčitev odpadnih vod z morskovo vodo, zato so najbolj primerni iztoki v obliki slapa. Podobno kot pri sladkovodnih odvodnikih je potrebno tudi tukaj upoštevati naravne ekosisteme, za kar si morajo vodarne (v ZDA) pridobiti ustrezna dovoljenja.

4.4 Sedimentacija

Usedanje ali sedimentacija za namen izboljšanja kvalitete vode je poznana od takrat, ko so ljudje začeli vodo shranjevati v vrčih in drugih posodah. Sam princip usedanja se od takrat ni veliko spremenil, pač pa se je spremenila tehnologija usedanja (oprema, dodatki, itd.).

Proces sedimentacije je operacija v pripravi vode, pri kateri se odstranijo suspendirane snovi, ki so težje od vode. Pri tem velja, da je usedanje hitrejše v kolikor so delci, ki jih želimo odstraniti večji in težji. Samo hitrost usedanja pa lahko pospešimo tudi z dodajanjem raznih dodatkov – koagulantov, saj le-ti omogočijo zlepljanje manjših delcev v večje in težje flokule. Poleg velikosti in teže delcev, pa na usedanje vpliva tudi temperatura oz. viskoznost vode. Pri nižjih temperaturah, kjer je viskoznost vode večja, se delci usedajo počasneje kot v bolj toplih vodah. To tudi pomeni, da morajo biti posode v katerih se vrši usedanje – usedalniki pri nižjih temperaturah večji.

Glavni parameter pri dimenzioniranju horizontalnih usedalnikov je površinska obremenitev, ki jo zapišemo z enačbo 11.

$$v_0 = \frac{Q}{S}, \quad S = B \times L \quad (11)$$

Kjer je:	v_0	površinska obremenitev usedalnika [m/h]
	Q	pretok [m^3/h]
	S	potrebna površina usedalnika [m^2]
	B	širina usedalnika
	L	dolžina usedalnika

Pri dimenzioniranju je potrebno upoštevati tudi druge faktorje. Med njimi je pomemben zadrževalni čas, ki je definiran kot kvocient volumna usedalnika in pretoka (12). Običajni čas usedanja se giblje med 3 in 30 urami.

$$t_0 = \frac{V}{Q} \quad (12)$$

Kjer je:	t_0	zadrževalni čas [s]
	V	volumen usedalnika [m^3]

Poleg navedenih faktorjev, pa je potrebno upoštevati tudi razmerja med globino (H), širino (B) in dolžino (L) usedalnika, ki so podana z enačbama 13 in 14.

$$L/H = 20 - 40 \quad (13)$$

$$L/B = 2 - 4 \quad (14)$$

Suspendirani delci se iz usedalnika odstranijo (ročno, s strgali, s prečrpavanjem) in odpeljejo na deponijo.

4.5 Dezinfekcija

Pred distribucijo vode uporabnikom je potrebno le-to na primeren način dezinficirati. To lahko storimo s kemičnimi sredstvi (plinski Cl_2 , klorov dioksid – ClO_2 , itd.), drugimi sredstvi (ozon – O_3 , peroksid – H_2O_2), membransko filtracijo ali UV obsevanjem.

Glavni namen dezinfekcije je inaktivacija morebitnih patogenih mikroorganizmov, ki se prebijejo skozi postopke čiščenja, in izločiti oz. razgraditi morebitne preostale snovi (fenole,

pesticide, vonj, barvo, itd.). Dezinfekcijo opravimo pred iztokom v distribucijski sistem bodisi v enem koraku, kjer dodamo zadostno koncentracijo dezinfektanta (običajno plinski Cl₂ ali ClO₂), ki zadosti potrebam po rezidualu, bodisi s kombinirano dezinfekcijo v dveh korakih (npr. UV obsevanje – primarna dezinfekcija kateremu sledi Cl₂ – sekundarna dezinfekcija in druge kombinacije).

Po ameriški zakonodaji iz leta 1989 (SWTR) je potrebno s postopki čiščenja skupaj z dezinfekcijo zagotoviti vsaj 3-log (99,9 %) odstranitev cist giardije, 4-log (99,99 %) odstranitev virusov (preglednica 4) in 2-log (99 %) odstranitev oocist kriptosporidija. Našteti patogeni mikroorganizmi veljajo za najodpornejše in jih je tudi najtežje odstraniti.

Preglednica 4: Predvidene stopnje inaktivacije cist *Giardie* in virusov z različnimi postopki čiščenja po SWTR (Alternative disinfectants and oxidants guidance manual, 1999)

Postopek obdelave	Ciste <i>Giardie</i>	Virusi
Potrebna stopnja odstranitve (po SWTR)	3,0	4,0
Konvencionalna sedimentacija s filtracijo	2,5	2,0
Potrebna stopnja inaktivacije z dezinfekcijo	0,5	2,0
Direktna filtracija	2,0	1,0
Potrebna stopnja inaktivacije z dezinfekcijo	1,0	3,0
Filtracija s počasnimi peščenimi filtri	2,0	2,0
Potrebna stopnja inaktivacije z dezinfekcijo	1,0	2,0
Filtracija z diatomejsko zemljo	2,0	1,0
Potrebna stopnja inaktivacije z dezinfekcijo	1,0	3,0
Brez filtracije	0,0	0,0
Potrebna stopnja inaktivacije z dezinfekcijo	3,0	4,0

Ameriška okoljska agencija (USEPA) je v sklopu zakonodaje (SWTR) uvedla t.i. CT faktor, s katerim lahko določimo potrebno količino dezinfekcijskega sredstva. Definiran je kot produkt koncentracije dezinfekcijskega sredstva in kontaktnega časa (15):

$$CT = \text{rezidualna koncentracija [mg/l]} \times \text{kontaktni čas [min]} \quad (15)$$

Ob tem so v SWTR podane tudi vrednosti CT faktorja za inaktivacijo cist giardije in virusov z različnimi dezinfekcijskimi sredstvi. Povzetek le-teh je prikazan v preglednicah 5 in 6.

Preglednica 5: CT faktor za inaktivacijo cist *Giardie* (Haas, 1999)

Dezinfekcijsko sredstvo	Enota	Stopnja odstranitve		
		2-log	3-log	4-log
Klor*	mg min/l	3	4	6
Kloramini	mg min/l	643	1067	1491
Klorov dioksid**	mg min/l	4,2	12,8	25,1
Ozon	mg min/l	0,5	0,8	1,0
UV dezinfekcija	mWs/cm ²	21	36	/

* pri temperaturi vode 10°C, pH vrednosti 6-9, rezidualu 0,2-0,5 mg/l

** pri temperaturi vode 10°C in pH vrednostih 6-9

Preglednica 6: CT faktor za inaktivacijo virusov (Haas, 1999)

Dezinfekcijsko sredstvo	Stopnja odstranitve					
	0,5-log	1,0-log	1,5-log	2,0-log	2,5-log	3,0-log
Klor*	17	35	52	69	87	104
Kloramini	310	615	930	1230	1540	1850
Klorov dioksid**	4	7,7	12	15	19	23
Ozon	0,23	0,48	0,72	0,95	1,2	1,43

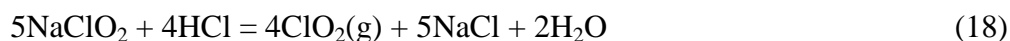
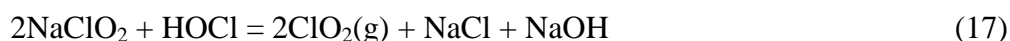
* pri temperaturi 10°C, prostem rezidualnem kloru ≤ 0,4 mg/l in pH vrednosti 7

** pri temperaturi 10°C in pH vrednosti 7

Za dezinfekcijo pitne vode na zajetju Jama sem izbral dva načina dezinfekcije, in sicer kloriranje s klorovim dioksidom in UV obsevanjem.

4.5.1 Dezinfekcija s klorovim dioksidom (ClO₂)

Klorov dioksid je zelo eksploziven rumenkasto zelen plin, ki se v zadnjem času vse več uporablja kot nadomestek za plinski klor. Zaradi njegove eksplozivnosti ga ni mogoče transportirati ali shranjevati, temveč ga je potrebno pripraviti na licu mesta, najpogosteje v reakciji z natrijevim kloridom (NaClO₂) in plinskim klorom (Cl₂(g)) (16) ali hipokloritno kislino (HOCl) (17) ali klorovodikovo kislino (HCl) (18).



Med drugim je klorov dioksid v baktericidnem smislu vsaj tako učinkovit kot Cl_2 , v viricidnem pa celo mnogo boljši. Poleg tega izkazuje še druge pozitivne značilnosti, predvsem v primerjavi s plinskim klorom, in sicer:

- Ne reagira z oksidirajočimi snovmi v trihalometane
- Uporaben pri dezinfekciji vode z nizkim pH, pri alkalnih vrednostih učinkovitejši
- Z njim uspešno kontroliramo slabšanje kvalitete pitne vode v distribucijskem sistemu. Rezidualni ostanki klorovega dioksida ostanejo v distribucijskem sistemu dlje kot Cl_2 , pri tem pa so bolj učinkoviti navkljub nižjim koncentracijam (Kompore, Ravnikar, 2005)

Slabosti uporabe klorovega dioksida v primerjavi s klorom so:

- Cena ClO_2 je petkrat višja kot cena Cl_2
- Težave s transportom in shranjevanjem
- Proizvedeni klorov dioksid lahko vsebuje nekaj prostega klora, kar lahko izniči prizadevanja, da bi z uporabo klorovega dioksida preprečili nastanek trihalometanov (Kompore, Ravnikar, 2005)

Potrebno količino klorovega dioksida, ki ga doziramo s generatorjem klorovega dioksida, lahko določimo takole (19):

$$D = C \cdot Q \quad (19)$$

Kjer je:	D	količina klorovega dioksida, ki ga doziramo [g/h]
	C	potrebna koncentracija (doza) [mg/l ali g/m ³]
	Q	pretok vode, ki jo čistimo [m ³ /h]

4.5.2 UV dezinfekcija

UV dezinfekcija je dezinfekcija vode pri kateri s fizikalno inaktivacijo mikroorganizmov dosežemo mikrobiološko neoporečno vodo. UV obsevanje onеспособi mikroorganizme (bakterije, viruse in parazite) s poškodovanjem njihovih nukleinskih kislin (DNK in RNK).

Poznanih je več vrst UV sevanja, ki se delijo, glede na valovno dolžino pri kateri oddajajo valove, takole:

- Vakuumsko sevanje (100 – 200 nm)
- UV – C sevanje (200 – 280 nm)
- UV – B sevanje (280 – 315 nm)
- UV – A sevanje (315 – 400 nm)

Za dezinfekcijo pitne vode se uporabljajo t.i. UV – C žarki, saj je inaktivacija mikroorganizmov najbolj učinkovita pri valovni dolžini 265 nm, ker je absorpcija UV žarkov molekul nukleinskih kislin največja.

Naprava za dezinfekcijo sestoji iz:

- UV svetila ali svetil
- Zaščitne cevi iz kremenčevega stekla
- Ohišja iz nerjavnega jekla
- Električne napajalne enote
- Dodatne opreme (enota za upravljanje črpalk in ventilov, senzor intenzitete sevanja UV svetil)

Najpomembnejši del UV naprave predstavljajo svetila. Uporabljajo se nizkotlačna živosrebrna, srednjetlačna živosrebrna svetila in pulzirajoče tehnologije UV obsevanja. Nizkotlačna svetila oddajajo maksimalno energijo pri valovni dolžini 254 nm, srednjetlačna pa v spektru 180 do 1 370 nm. Pri nizkotlačnih svetilih se približno 30 % dovedene električne energije dejansko pretvori v dezinfekcijsko učinkovito UV svetlobo, medtem ko je pretvorba pri srednjetlačnih svetilih le 10-odstotna. Življenjska doba nizkotlačnih svetil je 7 000 do 10 000 obratovalnih ur, srednjetlačnih pa 2 000 do 3 000 obratovalnih ur.

Zaščitna cev iz kremenčevega stekla služi kot zaščita UV svetila pred direktnim kontaktom z vodo.

Učinkovitost UV dezinfekcije je povezana z naslednjimi parametri:

- UV dozo
- UV intenziteto
- Pretokom vode
- Zadrževalnim časom in
- UV transmisijo

Stopnja inaktivacije patogenih mikroorganizmov je neposredno povezana z UV dozo (D). Definirana je kot (20):

$$D = I \cdot t \quad (20)$$

Kjer je:	D	UV doza [mWs/cm^2 ali mJ/cm^2 ali J/m^2]
	I	UV intenziteta [mW/cm^2 ali W/m^2]
	t	zadrževalni čas [s]

Pri srednjetačnih svetilih je za inaktivacijo mikroorganizmov potrebna višja intenziteta sevanja, ki vpliva tako na potrebno dozo, zadrževalni in tudi obratovalni čas posameznega svetila (življenjsko dobo). V predpisih (za območje Slovenije se glede UV dezinfekcije uporabljajo priporočila iz avstrijskih predpisov – ÖNORM M 5873) je priporočena minimalna sevalna doza za pitno vodo 400 J/m^2 (40 mJ/cm^2), ki mora biti presežena tudi po koncu uporabe UV svetil. Iz enačbe 20 lahko razberemo, da je za učinkovito inaktivacijo potrebna bodisi visoka intenziteta pri kratkih zadrževalnih časih bodisi nizka intenziteta pri daljših zadrževalnih časih.

Zadrževalni čas je tako funkcija pretoka in volumna reaktorja in je podana z enačbo 21:

$$t = \frac{V_r}{Q} \quad (21)$$

Kjer je:	t	zadrževalni čas [s]
	V_r	volumen reaktorja [l]

Q pretok [l/s]

Poleg zgoraj navedenih parametrov, pa na učinkovitost dezinfekcije vpliva tudi parameter UV transmisije, ki je povezan s kvaliteto vode (barva, koncentracija kovin (Fe, Mn), koncentracija organskih spojin, motnost, suspendirani delci, karbonatna trdota). V primeru prisotnosti različnih delcev (motnost) ali suspendiranih snovi v vodi, lahko le-ti zaščitijo mikroorganizme pred UV svetlobo oz. se prilepijo na svetila (karbonatna trdota), vplivajo na njihovo čistost in učinkovitost.

UV transmisija ($UV T$) je definirana kot razmerje izstopnega in vstopnega svetlobnega toka (fluksa) UV svetlobe pri valovni dolžini 254 nm in debelini sloja tekočine 100 mm (10 cm). Zapišemo jo takole (22):

$$UV T_{100} = \left[\frac{\Phi}{\Phi_0} \right] \cdot 100 \quad (22)$$

Kjer je: $UV T_{100}$ UV transmisija pri 100 mm debeli plasti tekočine [%]
 Φ izstopni svetlobni tok (fluks) [W]
 Φ_0 vstopni svetlobni tok (fluks) [W]

UV dezinfekcija je torej primeren postopek inaktivacije mikroorganizmov, pri kateri ne dobimo stranskih produktov dezinfekcije. Raziskave kažejo, da je v primeru uporabe nizko- in srednje-tlačnih živosrebrnih svetil dosežena 3-log inaktivacija oocist kriptosporidija (najbolj trdovraten in na dezinfekcijo odporen parazit) že pri dozah manjših od 10 mWs/cm² (podobne rezultate beležijo tudi v primeru inaktivacije giardije)(Kompore, Ravnikar, 2005). S predpisano sevalno dozo (40 mWs/cm²) tako dosežemo 4-log in višjo redukcijo bakterij, virusov in parazitov. Ker ne omogoča rezidualnega učinka, jo kombiniramo s sekundarno dezinfekcijo, ki le-to omogoča, in sicer s plinskim klorom ali klorovim dioksidom.

5 DIMENZIONIRANJE POSAMEZNIH POSTOPKOV IN NAPRAV

Velikost oz. dimenzije naprav določim glede na število uporabnikov oz. količino vode, ki jo je potrebno zagotoviti uporabnikom.

V letu 2006 se je iz vodovodnega sistema Kostanjevica oskrbovalo 2 519 uporabnikov, katerim je bilo prodane 158 290 m³ vode. Z upoštevanjem izgub na omrežju je bilo potrebno načrpati 226 130 m³ vode.

Pri načrtovanju naprav je potrebno vključiti tudi napovedi glede rasti prebivalstva v planiranem obdobju. Pri tem sem se opiral na Dolgoročno študijo preskrbe s pitno vodo v občini Krško, kjer so predpostavili 0,5-odstotno letno rast prebivalstva v spodnjeposavski regiji. Ob upoštevanju teh napovedi v planiranem obdobju za naslednjih 30 let, lahko po enačbi 23 izračunamo predvideno število prebivalcev v planiranem obdobju.

$$A_n = A_0 \cdot \left(1 + \frac{p}{100}\right)^n \quad (23)$$

Kjer je:	A_n	predvideno število prebivalcev čez n let
	A_0	število prebivalcev danes (2 519)
	p	letna rast števila prebivalstva (0,5)
	n	število let (30)

Ob upoštevanju rasti števila prebivalstva (2 926 prebivalcev) lahko določimo predvidene potrebe po pitni vodi v planiranem obdobju. Za potrebe izračuna, ob upoštevanju 30-odstotnih izgub vode na omrežju, je predvidena letna količina načrpane vode čez 30 let 262 800 m³ oz. 720 m³/dan oz. 30 m³/h.

5.1 Varianta 1 (V1)

Postopek priprave pitne vode z varianto 1 obsega:

- Mikro sito

- In-line koagulacija
- Tlačna peščena filtra
- Primarna UV dezinfekcija vode
- Sekundarna dezinfekcija vode s klorovim dioksidom (ClO_2)

Kot klasično metodo obdelave vode sem izbral tlačne filtre podjetja CmC MAK, tipa INIF, ki se z ozirom za namen uporabe delijo v štiri izvedbe (INIF K – filtriranje, INIF H – koagulacijsko filtriranje in filtriranje, INIF A – adsorpcija in dekloriranje ter INIF D – deferizacija in demanganizacija), po kapaciteti filtriranja pa na devet velikosti (INIF 1 do INIF 9). Izmed omenjenih izvedb sem za pripravo vode na zajetju Jama izbral izvedbo tipa INIF H ter, glede na velikost, tip filtra INIF 9. Omenjeni filter je prikazan na slikah 4 in 5.

Naprava za filtriranje vode – INIF 9 sestoji iz tlačne posode, filtrskega medija ter ostale opreme (večpotni hidravlični ventil, krmilnik, manometra, distributor, vzorčevalna pipa na vstopu in izstopu iz naprave).

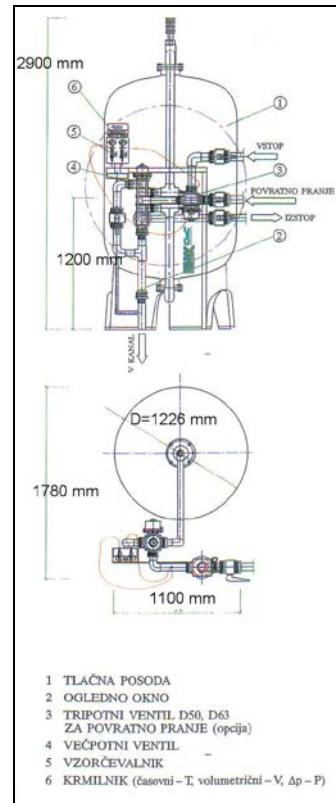
Tlačna posoda je izdelana iz armiranega polietilena, premera 1 226 mm in skupne višine 2 900 mm (ostale dimenzije omenjenega filtra so prikazane na sliki 5).

V tlačno posodo je vstavljen dvoslojni filtrski medij iz zgornje plasti antracita, granulacije 0,6-1,6 mm, in spodnje plasti kremenčevega peska, granulacije 0,4-0,8 mm. Površina filtriranja v enem filtru znaša $1,15 \text{ m}^2$.

Vse avtomatske naprave za filtriranje vode tipa INIF so zasnovane za obratovanje pri delovnih tlakih do 8 barov in delovni temperaturi do 40°C .



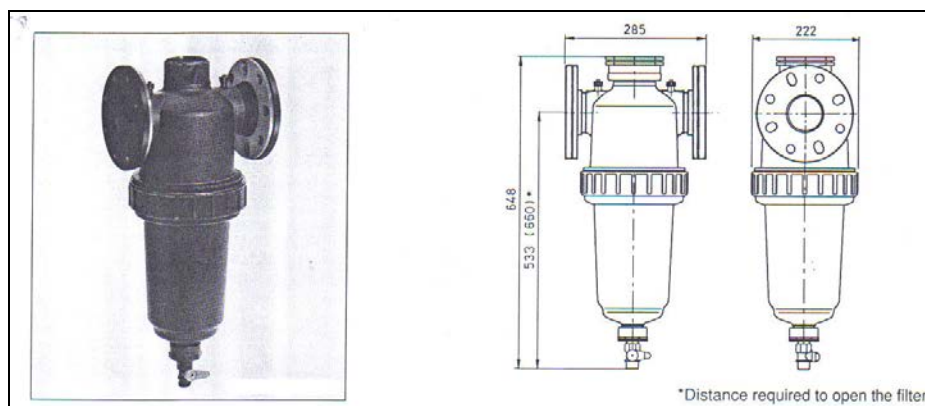
Slika 4: Tlačni filter - INIF 9



Slika 5: Dimenzije tlačnega filtra INIF 9

Dotok surove vode iz zajetja Jama omogoča črpalka. Na začetku sistema se vgradi reducirni ventil, ki morebitne previsoke tlake povzročene s črpalko zreducira na delovni tlak v filterih, to je 3 bare.

Takoj za reducirnim ventilom se vgradi mikro sito (slika 6), ki odstranijo morebitne večje delce. Omenjeno mikro sito nosi komercialno ime AMIAD 3" T filter, z velikostjo odprtin 130 μm. Zasnovano je za pretoke do 50 m³/h. Odstranjene delce se odvede v usedalnik.



Slika 6: Mikro sito - AMIAD 3" T

Po enačbi 4, je tako celotna potrebna površina filtra (24):

$$A = \frac{Q}{v_f} = \frac{30m^3/h}{15m/h} = 2m^2 \quad (24)$$

V naslednjem koraku je potrebno izbrati število tlačnih filtrov, saj površina enega meri 1,15 m². Po enačbi 5 je potrebno za filtriranje postaviti 2 tlačna filtra INIF 9 (25):

$$n = \frac{A}{S} = \frac{2m^2}{1,15m^2} = 1,74 \rightarrow \text{potrebna sta 2 filtra} \quad (25)$$

Po filtraciji vode skozi filtrski medij prečiščena voda odteče preko UV dezinfekcijske naprave BX 30 (slika 8), podjetja Wedeco, in se iztoči v manjši rezervoar prečiščene vode (25 m³), ki je v prvi vrsti namenjen hrambi čiste pralne vode.



Slika 8: UV dezinfekcijska naprava tipa BX

Za filtri in pred UV napravo sta postavljena manometer in merilnik motnosti. Slednji je zelo pomemben za kontrolo stopnje motnosti, saj le-ta vpliva na stopnjo inaktivacije morebitnih (preostalih) mikroorganizmov z UV obsevanjem, kateri niso bili odstranjeni s filtracijo.

Na podlagi višje razlike v tlakih od predpisane (pred in za filtri) ali vsakih 12 ur se ustavi filtracijski in zažene čistilni cikel. Čiščenje filtrov se izvaja samo s prečiščeno vodo, ki doteka iz rezervoarja. Tok vode v filtru, pri čiščenju, je od spodaj navzgor. Pri tem dosežemo

ekspanzijo filtrskega medija, iz katerega se lahko izločijo onesnažila. Vsa onesnažila, ki se izločijo pri pranju filtra se odvede v usedalnik.

Po čiščenju filtrov s povratno čistilno vodo se zažene t.i. začetno filtriranje. To je operacija pri kateri se ponovno vzpostavi kvaliteta izstopne vode, ki je enaka tisti pri procesu filtriranja in traja okoli 5 minut (Čehovin, Medic, 2007). Vsa količina vode pri začetni filtraciji odteče v usedalnik.

Pred iztokom vode v odvodnik, se onesnažena voda zadrži v 15 m³ velikem usedalniku z zadrževalnim časom dve uri. Suspendirani delci se usedejo na dnu usedalnika, le-te postrgamo in odvedemo v kontejner (deponija), medtem ko očiščeno vodo spustimo v odvodnik – potok Studeno.

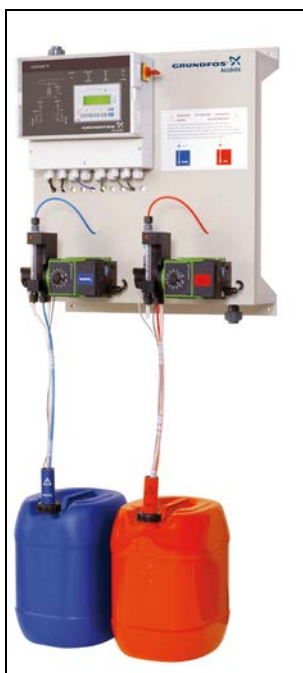
Pred iztokom ostale prečiščene vode v distribucijsko omrežje se le-tej dozira sekundarni dezinfektant – klorov dioksid.

Pri varianti 1 predpostavljam, da je s postopkom obdelave vode s tlačnimi filtri dosežena stopnja odstranitve giardije in virusov 2-log in s primarno UV dezinfekcijo preostali del inaktivacije, to je 3-log. S tem je zagotovljena predpisana stopnja inaktivacije (5-log). Kot sekundarno dezinfekcijo sem izbral klorov dioksid v koncentraciji 0,2 mg/l.

Z upoštevanjem pretoka 30 m³/h, doze 0,2 mg ClO₂/l in enačbe 19, lahko izračunam potrebno urno oz. dnevno količino dezinfekcijskega sredstva (26):

$$D(\text{ClO}_2) = 0,2 \text{ g ClO}_2/\text{m}^3 * 30 \text{ m}^3/\text{h} = 6 \text{ g ClO}_2/\text{h} \text{ oz. } 144 \text{ g/dan} \quad (26)$$

Za omenjeno dezinfekcijo sem izbral generator klorovega dioksida podjetja Grundfos Alldos, ki nosi komercialno ime Oxiperm 164-010D (slika 9), z maksimalnim urnim doziranjem do 10 g/h ClO₂. Omenjeni generator pridobiva klorov dioksid z mešanjem 7,5 % raztopine NaClO₂ (modra posoda) in 9 % raztopine HCl (rdeča posoda), na licu mesta (kemično reakcijo prikazuje enačba 18).



Slika 9: Generator ClO₂ - Oxiperm 164D

5.2 Varianta 2 (V2)

Postopek priprave pitne vode z varianto 2 obsega:

- Mikro sito
- In-line koagulacija
- Tlačna UF (čelna filtracija)
- Primarna UV dezinfekcija vode
- Sekundarna dezinfekcija vode s klorovim dioksidom (ClO₂)

Kot drugo varianto sem za obdelavo vode na zajetju Jama izbral ultrafiltracijsko napravo za manj onesnaženo vodo in manjše vodovodne sisteme – NORIT XIGA™, podjetja NORIT N.V. iz Nizozemske.

S konkretno napravo dobimo zelo dobro kvaliteto permeata. Iz surove vode se odstranijo trdi delci, katerih količina po čiščenju znaša manj kot 0,5 mg/l, motnost se zniža pod 0,1 NTU, bakterije se odstranijo s 6-log redukcijo oz. višjo in virusi s 4-log redukcijo oz. višjo.

Dotok v vodarno je omogočen iz zajetja Jama preko črpalke. Predenj voda vstopi v UF enote je najprej potrebno z reducirnim ventilom vzpostaviti delovni tlak 1,5 bara. Za omenjenim ventilom se postavi 130 µm sito (AMIAD 3" T filter) z odtokom zadržanih onesnažil v usedalnik. Pred vstopom surove vode v UF enote se preko dozirne naprave PRODOS 6 dozira koagulant – PACl.

Norit XIGA je ultrafiltracijska naprava, ki deluje na principu čelne filtracije (»mrtvi konec« oz. »dead-end«) in v načinu od znotraj navzven (»inside-out«). Osrednji element naprave predstavlja v snop povezan filtrirni element z votlimi vlakni premera 0,8 mm, nominalno velikostjo por (odprtini) 10 nm (0,01 µm) oz. maksimalno velikostjo por 20-25 nm in dolžine 150 cm (60"), ki se ga vstavi v standardno tlačno posodo premera 20 cm (8") in dolžine, za konkretni primer, 363,2 cm (143"). Votla vlakna se v tlačno posodo vložijo v posamezne segmente, ki so med seboj ločeni z valovito pregrado, da prečiščena voda lažje in hitreje odteče v perforirano cev na sredini filtrirnega elementa. Za predvideni pretok je potrebno za konkretni primer vgraditi 8 tlačnih posod v katere je skupno vstavljeno 16 filtrirnih elementov (element predstavlja snop votlih vlaken). Tlačne posode so pri tem enostopenjskem sistemu postavljene horizontalno.

Asimetrične kompozitne membrane so izdelane iz polivinildenfluorida (tanki plast) in poliestra (kot nosilec tanke plasti). Tako sestavljene membrane so odporne na različna kemična sredstva, neobčutljive na pH vrednosti v intervalu 2-10 in temperature v razponu od 1 do 70°C.

Ultrafiltracijski proces Norit XIGA je nizko tlačni postopek čiščenja vode, ki deluje pri filtracijski hitrosti 0,06 m/h (60 lmh) in obratovalnem tlaku 1,5 bar. Obratovalni cikel oz. čas filtracije traja 30 min. Za UF enotami je vgrajen merilnik motnosti in manometer. Pred vstopom vode v rezervoar, se le-ta pretoči skozi UV dezinfekcijsko enoto (BX 30), s katero onesposobimo morebitne mikroorganizme, ki so se prebili skozi ultrafiltracijo.

Po filtracijskem ciklu, ko se prepustnost membran zmanjša in tlak skozi membrane poveča oz. vsakih 30 minut, se filtracija ustavi in začne čistilni cikel samo s povratno čistilno vodo v smeri od zunaj navznoter ter tako odstrani plast delcev, ki so se nabrali na notranjem ostenju

vlakna. Čistilni interval se izvaja pri filtracijski hitrosti 0,25 m/h (250 lmh), tlaku 2,5 bara in traja 45 sekund. Po čiščenju z vodo se popolnoma avtomatizirani sistem vrne v stanje, ko zopet začne s filtracijo. Nesnaga, ki jo odstranimo s povratno čistilno vodo – koncentrat, odteče najprej v zadrževalni bazen ter od tam v usedalnik.

Sistem XIGA je zasnovan tako, da šteje intervale čiščenja. Po preteku določenega števila pranj z vodo, za konkretni primer je izračunano število 46, se v naslednjem ciklu vklopi čiščenje UF enot s kemikalijami, nastopi t.i. CEB 1 (Chemical Enhanced Backwash) cikel čiščenja – kemično čiščenje. Le-ta nastopi na vsakih 46 pranj s povratno čistilno vodo oziroma približno vsakih 24 ur.

Interval CEB 1 je sestavljen iz treh korakov. V prvem koraku očistimo membrane samo s povratno čistilno vodo. V drugem koraku, t.i. CEB 1A intervalu, pa v membrane doziramo kemikalijo – NaOCl in pustimo določen čas, da se membrane »namilijo«, nakar membrane speremo s čisto vodo. Tretji korak – CEB 1B je identičen drugemu, s to razliko, da namesto NaOCl doziramo HCl. Doziranje kemikalij v obeh korakih se izvaja pri hkratnem dotoku čiste vode, vendar pri polovični hitrosti (0,125 m/h oz. 125 lmh). Skupen čas pranja s kemikalijami traja 65 sekund. Po kemičnem čiščenju se števec pranj zopet prestavi v začetni položaj in začne znova odštovati pranja s povratno čistilno vodo, do naslednjega čiščenja s kemikalijami.

Celotno količino vode, ki se porabi pri čiščenju s povratno čistilno vodo, ujamemo v zadrževalni bazen prostornine 4 m³. Od tod se nato prečrpa v usedalnik prostornine 15 m³. Po procesu usedanja, z zadrževalnim časom dveh ur, se iz usedalnika voda izlije v odvodnik – potok Studeno, nabrana nesnaga pa odpelje na deponijo blata.

Drugi del vode, to je voda, ki jo porabimo pri kemičnem čiščenju, se odvede v t.i. nevtralizacijski bazen z mešalom, prostornine 3 m³. Pred vstopom vode v omenjeni bazen se le-tej dozira kemikaliji – NaOH (nevtralizacija pH-ja) in Na₂SO₃ (redukcija klora). Po mešanju v nevtralizacijskem bazenu se voda prečrpa v usedalnik in od tam odvede v odvodnik, blato pa odpelje na deponijo.

Pred iztokom prečiščene vode v distribucijsko omrežje se dozira tudi sekundarni dezinfektant – klorov dioksid, ki zagotovi stabilno vodo v omrežju.

Predpisana stopnja inaktivacije cist giardije je 4-log, virusov pa 5-log. S postopkom ultrafiltracije je zagotovljena višja stopnja odstranitve od predpisane. Ker je v slovenski zakonodaji predpisana uporaba dezinfekcijskega sredstva, kot reziduala, za dezinfekcijo distribucijskega sistema in ohranjanja stabilne vode v omrežju izberem klorov dioksid v koncentraciji 0,2 mg/l.

Z upoštevanjem pretoka $30 \text{ m}^3/\text{h}$, doze $0,2 \text{ mg ClO}_2/\text{l}$ in enačbe 19, lahko izračunam potrebno urno oz. dnevno količino dezinfekcijskega sredstva (27):

$$D (\text{ClO}_2) = 0,2 \text{ g ClO}_2/\text{m}^3 * 30 \text{ m}^3/\text{h} = 6 \text{ g ClO}_2/\text{h} \text{ oz. } 144 \text{ g/dan} \quad (27)$$

Za omenjeno dezinfekcijo sem prav tako izbral generator klorovega dioksida podjetja Grundfos Alldos, ki nosi komercialno ime Oxiperm 164-010D, z maksimalnim urnim doziranjem do 10 g/h ClO_2 . Omenjeni generator pridobiva klorov dioksid z mešanjem 7,5 % raztopine NaClO_2 in 9 % raztopine HCl , na licu mesta (kemično reakcijo prikazuje enačba 18).

6 PRIMERJAVA IN VREDNOTENJE OBEH NAČINOV ČIŠČENJA

Tlačni filtri in proces ultrafiltracije imata v smislu delovanja nekaj skupnih točk. Namenjena sta pripravi zmerno onesnaženih površinskih in podzemnih voda. S fizičnim odstranjevanjem nesnage, na principu sit, in z minimalnim dodajanjem različnih kemikalij pri obratovanju (koagulant), oba procesa odstranjujeta delce, ki povzročajo motnost in patogene mikroorganizme. Poleg tega pa literatura navaja tudi, da sta obe metodi primerni za obdelavo vode v manjših naseljih, saj potrebujeta malo prostora za postavitev vse potrebne opreme.

Oba procesa obdelave vode sta popolnoma avtomatizirana in vodena s pomočjo programske opreme. Zaradi tega je potrebno zaposliti manjše število, nekoliko bolj izurjenih operaterjev, ki skrbijo za brezhibno delovanje sistema.

Prav tako je potrebno za delovanje obeh procesov zgraditi energetski priključek. Slednje lahko predstavlja pomanjkljivost oz. slabost, saj bi lahko v prihodnosti vse večje potrebe po električni energiji ter posledično dražje pridobivanje in cene le-te pomenile višje stroške obratovanja ter večjo verjetnost za izpade iz omrežja (npr. električni mrki v ZDA – avgust 2003 in zahodni Evropi – november 2006 ter drugi).

Kljub številnim podobnostim med obema procesoma, pa med njima obstajajo tudi razlike, slabosti in prednosti, ki vplivajo na odločitev o izbiri najbolj primerne metode priprave pitne vode na določeni lokaciji.

Zelo pomembna razlika med procesoma je v dejstvu, da z ultrafiltracijo dobimo bolj očiščeno vodo kot z tlačnimi filtri. To vsekakor predstavlja prednost UF pred tlačnimi filtri.

Čiščenje tlačnih filtrov izvajamo z očiščeno povratno čistilno vodo. V primerjavi z UF, kjer izvajamo čiščenje tudi s kemikalijami, so tlačni filtri v prednosti. V obeh primerih pa je potrebno poskrbeti za odpadno vodo (usedalnik), pred izpustom v odvodnik. Pri izbiri metode obdelave lahko igra pomembno vlogo tudi poraba pralne vode, še posebej na vodno deficitarnih območjih.

6.1 Ekonomska primerjava

Primerjavo obeh variant bom nadaljeval z oceno investicije in dolgoletnega obratovanja v času amortizacijske dobe objekta 30 let. Le-ta se odraža z izračunom predvidenih letnih stroškov, ki vključujejo obratovalne stroške, stroške vzdrževanja, indirektno stroške ter amortizacijo, in so prikazani v preglednici 7. Pri izračunu letnih stroškov sem se opiral na podatke iz strokovne literature ter na podatke, predloge in nasvete strokovnih sodelavcev.

Preglednica 7: Predvideni letni stroški

Varianta	V1 [€]	V2 [€]
Ocena investicije		
Gradbeni objekti	24 000	32 000
Tehnološka oprema	73 000	190 000
Obratovalni stroški		
Električna energija	600	1 000
Strošek dela	6 000	12 000
Kemikalije	4 500	5 900
Odpadne vode	5 300	34 200
Strošek vzdrževanja		
Menjava filtrskega peska	50	/
Menjava UV svetil	800	800
Menjava UF membran	/	5 800
Indirektni stroški		
Zavarovanje	1 250	2 800
Tuji stroški	2 000	2 000
Amortizacija		
Amortizacija gradbenih objektov	800	1 100
Amortizacija strojne opreme	4 900	12 700
Skupaj	26 200	78 300

Pri izračunu predvidenih letnih stroškov sem predvidel, da so pri obeh variantah vsi gradbeni objekti (zgradba, usedalnik, zadrževalni in nevtralizacijski bazen) izdelani iz armiranega betona, pri čemer sem upošteval ceno armiranega betona 125 €/m³.

V primeru variante 1 se izvede izkop gradbene jame, prostornine 60 m³, po ceni 25 €/m³. Strošek izkopa gradbene jame znaša 1 500 €. Skupna poraba betona znaša 72 m³, tako da je strošek vgradnje armiranega betona 9 000 €. Z upoštevanjem drugih dejavnikov pri gradnji

(strošek dela, opazovanje in druga dela ter nepredvidene situacije) znaša skupni strošek izgradnje gradbenih objektov pri varianti 1, 24 000 €

Izračun stroškov pri drugi varianti poteka na analogen način kot pri prvi, le da je pri varianti 2 potreben izkop gradbene jame, prostornine 86 m^3 , katerega strošek znaša 2 150 €. Poraba betona znaša 100 m^3 , strošek vgradnje pa 12 500 €. Kot pri prvi varianti, se tudi tukaj upoštevajo drugi dejavniki, ki vplivajo na gradnjo, tako da je strošek izkopa gradbene jame in izgradnje objektov 32 000 €

Osrednji del čistilne naprave predstavlja strojna oz. tehnološka oprema. Skupni strošek nakupa tehnološke opreme je sestavljen iz stroškov nakupa posameznih komponent, ki sestavljajo celotno čistilno napravo.

Pri varianti 1, kjer je tehnološka oprema sestavljena iz mikro sita (500 €), naprave za doziranje koagulanta (1 900 €), naprave za UV dezinfekcijo (8 600 €), črpalk (12 400 €), dozatorja klorovega dioksida (27 000 €) ter dveh tlačnih filtrov (22 000 €), znaša skupni strošek nakupa tehnološke opreme 73 000 €. Za cene navedene v oklepajih velja, da so v njih vključeni tudi stroški transporta in montaže opreme ter stroški povezani z izobraževanjem operaterjev na navedenih napravah oz. celotni čistilni napravi.

Pri varianti 2 pa je tehnološka oprema sestavljena iz mikro sita (500 €), naprave za doziranje koagulanta (1 900 €), naprave za UV dezinfekcijo (8 600 €), črpalk (21 100 €), dozatorja klorovega dioksida (27 000 €) ter UF naprave (130 000 €). Skupni strošek nakupa znaša 190 000 €. Tudi v tem primeru velja za cene navedene v oklepajih, da so v njih vključeni stroški transporta in montaže opreme ter stroški povezani z izobraževanjem operaterjev na navedenih napravah oz. celotni čistilni napravi.

Pri porabi električne energije je pri prvi varianti upoštevan strošek električne energije za povratno pranje filtrov ($0,00029 \text{ €/m}^3$ prečiščene vode), UV dezinfekcijo ($0,001 \text{ €/m}^3$) in doziranje klorovega dioksida ($0,00091 \text{ €/m}^3$). Izračunane cene v oklepajih predstavljajo kvocient med zmnožkom upoštevane cene za kWh električne energije ($0,091 \text{ €/kWh}$) ter porabe energije posamezne naprave (kWh) in količine prečiščene vode v enoti časa. Z

množenjem cen v oklepajih z letno količino prečiščene vode ($262\,800\text{ m}^3$) tako dobimo letni strošek porabe električne energije, ki znaša 600 €.

Analogno velja izračun električne energije tudi za drugo varianto, kjer so prav tako upoštevani stroški električne energije za povratno pranje ($0,0017\text{ €/m}^3$), UV dezinfekcijo ($0,001\text{ €/m}^3$) in doziranje klorovega dioksida ($0,00091\text{ €/m}^3$). Letni strošek porabe električne energije znaša 1 000 €

Ker pri obeh variantah za delovanje celotnega sistema (filtriranje, pranje filtrov, doziranje kemikalij) skrbi računalniški program, obe napravi sta popolnoma avtomatizirani, ni potrebna stalna prisotnost operaterja – operater z rednimi (vsakodnevnimi) kontrolami nadzoruje delovanje čistilne naprave. Zaradi manj zahtevne konfiguracije celotnega sistema pri tlačnih filtrih, zadostuje za upravljanje sistema že nekoliko manj izobražen kader, kar se odrazi pri letnih stroških zaposlenih, ki so nekoliko nižji, kot v primeru variante 2. Strošek dela je prikazan v preglednici 7.

Pri prvi varianti se v procesu obdelave vode uporabljajo različne kemikalije, in sicer PACl (koagulant) ter HCl in NaClO_2 (komponenti ClO_2). Strošek porabe PACl znaša $0,006\text{ €/m}^3$, HCl $0,0018\text{ €/m}^3$ ter NaClO_2 $0,0092\text{ €/m}^3$. Posamezne stroške porabe sem dobil tako, da sem dnevno porabo posamezne kemikalije (l/dan) pomnožil z njeno gostoto (kg/m^3) in ceno za posamezno enoto (€/kg) ter vse skupaj delil z dnevno količino prečiščene vode (m^3/dan). Z množenjem omenjenih stroškov porab kemikalij z letno količino prečiščene vode ($262\,800\text{ m}^3$) ter seštevkom stroškov za posamezno kemikalijo sem dobil skupni letni strošek porabe kemikalij, ki znaša 4 500 €

Pri varianti 2 se v procesu obdelave vode uporabijo PACl (koagulant), HCl in NaClO_2 (komponenti ClO_2), HCl in NaOCl (kemično pranje UF membran), NaOH (nevtralizacija pH) ter Na_2SO_3 (redukcija klora). Strošek porabe PACl znaša $0,006\text{ €/m}^3$, HCl (ClO_2) $0,0018\text{ €/m}^3$, NaClO_2 (ClO_2) $0,0092\text{ €/m}^3$, HCl (pranje) $0,0010\text{ €/m}^3$, NaOCl (pranje) $0,0012\text{ €/m}^3$, NaOH $0,0006\text{ €/m}^3$ in Na_2SO_3 $0,0023\text{ €/m}^3$. Tako posamezne, kot tudi skupni letni strošek kemikalij sem dobil na analogen način kot je opisano v prejšnjem odstavku. Skupni letni strošek porabe kemikalij za varianto 2 znaša 5 900 €

Odpadne vode predstavljajo del vod, ki nastanejo pri povratnem pranju filtrov. Pri tem sem strošek porabe odpadnih vod dobil tako, da sem dnevno količino odpadnih vod (m^3/dan) pomnožil s ceno na enoto za čiščenje odpadnih vod (1 €/m^3) in vse skupaj delil z dnevno količino prečiščene vode (720 m^3).

Za prvo varianto znaša strošek porabe $0,02 \text{ €/m}^3$, za drugo varianto pa $0,13 \text{ €/m}^3$. Skupni letni strošek odpadnih vod znaša v prvem primeru $5\,300 \text{ €}$ v drugem pa $34\,200 \text{ €}$

Vzdrževanje tlačnih filtrov je v večji meri osredotočeno na menjavo filtrskega peska. Pri čiščenju vode s tlačnimi filtri se predvideva izguba 50-ih litrov antracita. Letni strošek menjave 50-ih litrov antracita po ceni za enoto $0,9 \text{ €/l}$ tako znaša 50 €

Pri vzdrževanju UF naprave je predvidena menjava UF membran vsakih 5 let. V tlačnih posodah je vgrajenih 16, v snop povezanih, filtrirnih elementov (po dva v vsaki tlačni posodi). Cena enega filtrirnega elementa znaša $1\,800 \text{ €}$. Strošek menjave filtrirnih elementov znaša $28\,800 \text{ €}$. Če omenjeni strošek prevedemo na letni strošek menjave membran, dobimo znesek $5\,800 \text{ €}$

Pri vzdrževanju naprave za UV dezinfekcijo je glavni poudarek na menjavi svetil. Le-te je potrebno po $7\,000$ do $10\,000$ delovnih urah, to je enkrat na leto, zamenjati z novimi. V UV dezinfekcijsko napravo, ki je predvidena na zajetju Jama, so vgrajena tri svetila. Cena enega svetila je 266 € . Skupni strošek menjave svetil znaša 800 € in je enak pri obeh variantah.

Poleg ostalih stroškov, ki sem jih omenil zgoraj, sem pri oceni investicije upošteval še indirektne stroške. Strošek zavarovanja predstavlja $1,25 \%$ investicijske vrednosti gradbenih objektov in tehnološke opreme ter za varianto 1 znaša $1\,250 \text{ €}$ za varianto 2 pa $2\,800 \text{ €}$. Med indirektne stroške sem prištel tudi strošek drugih, to je strošek, ki ga povzročijo zunanji sodelavci, pri čemer sem imel v mislih stalne in občasne ter mikrobiološke in fizikalno-kemijske preiskave že omenjenih zunanjih sodelavcev. Ocenjeni strošek znaša $2\,000 \text{ €}$

Zelo pomembna postavka pri ocenjevanju letnih stroškov je tudi amortizacija gradbenih objektov in tehnološke opreme. Pri izračunu letnih stroškov amortizacije sem za gradbene

objekte upošteval amortizacijsko dobo 30 let, za tehnološko opremo pa 15 let. Izračun enoletnega zneska amortizacije prikazuje enačba 28.

$$A = \frac{1}{m} \cdot FF \quad (28)$$

Kjer je:

A	enoletni znesek amortizacije
$1/m$	amortizacijska stopnja
FF	investicijska vrednost osnovnega sredstva

Amortizacijska stopnja znaša za primer gradbenih objektov 3,33 % (1/30), za primer tehnološke opreme pa 6,67 % (1/15). Upošteva se enačbo 28 znašajo letni amortizacijski zneski, kot je prikazano v preglednici 7.

Oskrba s pitno vodo spada med komunalne dejavnosti, ki se v slovenskem pravnem redu zaenkrat izvajajo v sistemu javnih gospodarskih služb, kot neprofitne dejavnosti. Za neprofitne dejavnosti je značilno zadovoljevanje (javnih) potreb pred ustvarjanjem dobička. Pri vrednotenju investicijskih projektov, ki so povezani z oskrbo s pitno vodo in drugimi, neprofitnimi dejavnostmi (odvajanje in čiščenje odpadnih in meteornih vod, idr.) je značilno, da se moramo za oceno o najbolj primerni variantni rešitvi kar se da izogibati podjetniškemu načinu (značilen za profitne dejavnosti) vrednotenja investicijskih projektov, z izračunom neto sedanje vrednosti (NSV), interne stopnje donosa (r) ali dobe vračanja investicije (n). Ker pa so tudi neprofitne dejavnosti močno vpete v tržno gospodarstvo sem navkljub opisanim dejstvom za enega izmed kriterijev pri odločanju izbral neto sedanjo vrednost (NSV). Obe izračunani vrednosti NSV sta negativni, zato je kot najugodnejšo varianto izberem tisto z najmanj negativno vrednostjo.

Za odločanje o izbiri investicije so na voljo statične in dinamične metode vrednotenja investicij. Za dolgoročne investicije so bolj primerne dinamične metode, ki v nasprotju s statičnimi, upoštevajo različne časovne dinamike investicij in različne življenjske dobe investicij (Žnidaršič Kranjc, 1995).

Največkrat uporabljena dinamična metoda, je metoda neto sedanje vrednosti (NSV), ki jo zapišemo takole (29):

$$NSV = \sum_{i=1}^n \frac{D_i}{(1+r)^i} - V_0 \quad (29)$$

Kjer je:	NSV	neto sedanja vrednost
	D_i	donos v i-tem obdobju
	V_0	začetna investicija (vložek)
	t	življenjska doba naložbe
	r	diskontna stopnja

Pri več variantnih rešitvah se odločimo za tisto, ki izkazuje najvišjo pozitivno neto sedanjo vrednost. Pri neprofitnih dejavnostih je primarna naloga le-teh zadovoljevanje potreb pred ustvarjanjem dobička, zato je pri prodaji vode (neprofitna dejavnost) logično pričakovati nižje dohodke od prodaje vode, kar se odraža na izračunu NSV – izračunane vrednosti NSV so negativne. Pri odločitvi o najbolj primerni varianti izberem tisto z najmanj negativno vrednostjo, to je varianta 1. Izračunane vrednosti NSV, v prilogah A in B, so določene skladno z enačbo 29, pri čemer je upoštevana 6-odstotna diskontna stopnja.

Na vrednost neto sedanje vrednosti vpliva tudi diskontna stopnja. Izbor oz. izračun le-te je možno opraviti na več načinov, eden od teh je tudi upoštevanje priporočenih vrednosti. Različne evropske države priporočajo različne diskontne stopnje, večina od 4 do 8%, nekatere tudi do 10%. Pri izboru diskontne stopnje sem upošteval priporočila iz Priročnika za izdelavo analize stroškov in koristi investicijskih projektov in izbral diskontno stopnjo 6 %.

Pri neprofitnih dejavnostih se v ceni za komunalne proizvode in storitve, med katere spada tudi priprava in distribucija pitne vode, upoštevajo tisti stroški, ki zagotavljajo enostavno reprodukcijo dejavnosti. Tako ceno za komunalne proizvode in storitve, ki krije vse proizvodne stroške (investicijski stroški, stroški obratovanja in vzdrževanja, stroški upravljanja) in amortizacijo, imenujemo lastna ali stroškovna cena. Stroškovne cene za obe varianti prikazuje preglednica 8.

Preglednica 8: Stroškovne cene

Varianta	V1	V2
Stroškovna cena za m³ očiščene vode	0,100	0,298

6.2 Ocena kriterijev in ponderiranje

Pri odločanju o najbolj primerni variantni rešitvi sem se oprl na sledeče kriterije:

- Dosežena kakovost vode s posameznim postopkom obdelave
- Investicijska vrednost posamezne variantne rešitve
- Obratovanje in vzdrževanje
- Vplivi na okolje (potreba po prostoru, velikost objekta, emisije, hrup)
- Poraba kemikalij v celotnem procesu čiščenja (koagulant, kemikalije za čiščenje membran in dezinfektant)
- Stroškovna cena
- Neto sedanja vrednost (*NSV*)

Posamezen kriterij sem ovrednotil z ocenami od 1 do 10 (preglednica 9), pri čemer ocena 1 predstavlja najnižjo, ocena 10 pa najvišjo vrednost.

Preglednica 9: Ocena kriterijev

Kriterij za odločanje	V1	V2
Kvaliteta očiščene vode	7	10
Vrednost investicije	9	6
Obratovanje in vzdrževanje	9	6
Vplivi na okolje	9	8
Poraba kemikalij	9	7
Stroškovna cena	10	6
NSV	8	6

Posamezne ocene kriterijev sem ponderiral, pri čemer sem upošteval, da predstavlja kvaliteta vode 40%, vrednost investicije 30%, obratovanje in vzdrževanje 10% ter vplivi na okolje, poraba kemikalij, stroškovna cena in *NSV* 5% celotne končne ocene (preglednica 10).

Preglednica 10: Ponderiranje

Kriterij za odločanje	Ponder [%]	V1	V2
Kvaliteta očiščene vode	40	2,80	4,00
Vrednost investicije	30	2,70	1,80
Obratovanje in vzdrževanje	10	0,90	0,60
Vplivi na okolje	5	0,45	0,40
Poraba kemikalij	5	0,45	0,35
Stroškovna cena	5	0,50	0,30
NSV	5	0,40	0,30
Skupaj	100	8,20	7,75

7 ZAKLJUČKI

Na podlagi primerjave značilnosti obeh variant, predvidenih letnih stroškov ter različnih kriterijev in ponderiranja sem kot najbolj primerno varianto za obdelavo vode na zajetju Jama izbral varianto 1 – tlačne filtre (ocena 8,20) pred varianto 2 – ultrafiltracijo (ocena 7,75).

V konkretnem primeru imajo tlačni filtri številne prednosti pred UF napravo. Kot je razvidno iz preglednice 7 je začetna investicija v tlačne filtre 2,3-krat manjša kot v UF napravo.

Obratovalni stroški so pri varianti 1, upoštevajoč nižjo porabo električne energije – za povratno pranje potrebujemo manj zmogljive (močne) črpalke, manjšo porabo kemikalij – kemikalije niso potrebne niti pri čiščenju s povratno čistilno vodo niti za obdelavo odpadne vode pred izpustom v odvodnik, kot je to v primeru variante 2, nižjega stroška za delo – manj zapleten sistem, ki ga lahko upravlja manj izobražen kader ter manjše količine odpadnih vod, za 3,2-krat nižji kot pri varianti 2.

Tudi stroški vzdrževanja so predvsem na račun cenejšega medija, skozi katerega se preceja voda, nižji pri varianti 1 in to za kar 7,8-krat. Pri tlačnih filtrih je namreč potrebno nadomestiti majhno količino filtracijskega medija – antracita, katerega strošek je minimalen (zanemarljiv) v primerjavi z menjavo UF membran vsakih 5 let. Letni strošek menjave antracita je namreč kar 116-krat nižji kot letni strošek menjave membran.

Prav tako so skupni predvideni letni stroški in stroškovna cena 3-krat nižji pri varianti 1, kot pri varianti 2.

Poleg omenjenih stroškovnih razlik je v prid odločitvi za varianto 1 tudi potreba po prostoru za objekt v katerem bo tehnološka oprema in spremljajoče objekte (usedalnik). Pri varianti 1 je namreč potrebno zgraditi nekoliko manjši objekt za tehnološko opremo kot je to v primeru variante 2. Kar se tiče izgradnje dodatnih objektov, v obeh primerih je potrebno zgraditi usedalnik, pa je poleg usedalnika potrebno pri varianti 2 zgraditi tudi dodatna bazena za obdelavo koncentrirane odpadne vode, pred izpustom v odvodnik.

Upoštevajoč vse kriterije v poglavju 6, je edini kriterij, ki je v prid ultrafiltraciji, kvaliteta očiščene vode. Kljub temu, da je kvaliteta surove vode na zajetju Jama relativno dobra, je možno s tlačnimi filtri doseči le 2-log redukcijo mikroorganizmov, medtem ko je odstranitev pri UF ocenjena na 4-log in višjo, prav tako pa UF zadrži mnogo več nesnage kot filtri s peščenimi mediji.

Poleg filtracije, bodisi skozi tlačna filtra bodisi skozi UF napravo, je v obeh primerih sestavni del priprave vode na zajetju Jama tudi kombinirana dezinfekcija z UV obsevanjem ter dodajanjem klorovega dioksida, kot reziduala. S kombinirano dezinfekcijo dosežemo inaktivacijo mikroorganizmov, ki so se morebiti prebili skozi tlačna filtra ali UF napravo, in v obeh primerih zadostimo skupnim, predpisanim vrednostim inaktivacije cist giardije (4-log) in virusov (5-log). Za preostali del inaktivacije (do predpisane) cist giardije (2-log) ter virusov (3-log) pri tlačnih filtrih in 1-log inaktivacijo mikroorganizmov pri UF napravi, v obeh primerih zadošča UV obsevanje s sevalno dozo 40 mWs/cm^2 in doziranje klorovega dioksida v koncentraciji 0,2 mg/l. Kljub nižji (delni) stopnji inaktivacije mikroorganizmov pri filtraciji skozi tlačna filtra, pa s kombinirano dezinfekcijo, ki sledi filtraciji, inaktiviramo morebitne preostale mikroorganizme in zadostimo predpisani stopnji inaktivacije mikroorganizmov tudi pri tlačnih filtrih – varianta 1.

VIRI

Alternative disinfectants and oxidants guidance manual. 1999. Washington, D.C., US EPA: 327 str.
http://www.epa.gov/safewater/mbdp/alternative_disinfectants_guidance.pdf (11.7.2007)

Cleasby, L. J., Logsdon, S. G. 1999. Granular bed and precoat filtration. V: Letterman, D. R. (ur.) Water quality and treatment. New York, McGraw-Hill, Inc.: str. 8.1-8.99.

Čehovin, A., Medic, A. 2007. Naprave za filtriranje in dezinfekcijo pitne vode manjših naselij. Energetika, gospodarstvo in ekologija skupaj (EGES) 11, 3/2007: 42-44.

Čerič, T. 2007. Priprava pitne vode v vodarni Frankolovo. Diplomaska naloga. Ljubljana, fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Vodarstvo in komunalno inženirstvo: 64 str.

De Zuane, J. 1997. Handbook of drinking water quality: 2nd ed. New York, John Wiley & Sons, Inc.: 575 str.

Dolgoročna študija oskrbe s pitno vodo Občine Krško: Poglavji 7 in 8. 2007. Krško, Region d.o.o. Brežice.

Golec, B. 2003. Glavni poudarki k topografiji Kostanjevice v stoletjih mestne avtonomije. V: Smrekar, A. (ur.) Vekov tek. Kostanjevica na Krki, KS Kostanjevica na Krki: 145-178.

Gregory, R., Zabel, F. T., Edzwald, K. J. 1999. Sedimentation and flotation. V: Letterman, D. R. (ur.) Water quality and treatment. New York, McGraw-Hill, Inc.: str. 7.1-7.87.

Guidance document: Slow sand filtration and diatomaceous earth filtration for small water systems. 2003. Washington, Washington State Department of health: 118 str.
http://www.doh.wa.gov/ehp/dw/Publications/331204_04_15_03_Slow_Sand_Filtration_Etc_for_Small_Water_Systems.pdf (25.7.2007)

Guidance manual for compliance with the filtration and disinfection requirements for public water systems using surface water sources. 1991. Washington, D.C., US EPA: 580 str.
<http://www.epa.gov/safewater/mbdp/guidsws.pdf> (12.7.2007)

Haas, N. C. 1999. Disinfection. V: Letterman, D. R. (ur.) Water quality and treatment. New York, McGraw-Hill, Inc.: 14.1-14.60.

Handbook of public water systems: 2nd ed. 2001. New York, John Wiley & Sons, Inc.: 1136 str.

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

Kompare, B. 2001. Odstranjevanje parazitov v pripravi pitne vode. Otočec ob Krki, Zbornica sanitarnih inženirjev Slovenije in Inštitut za sanitarno inženirstvo.

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

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

Kraut, B. 1973. Strojniški priročnik: osma predelana in izpopolnjena izdaja. Zagreb, Tehnička knjiga: 574 str.

Membrane filtration guidance manual. 2005. Washington, D.C., US EPA: 332 str.
http://www.epa.gov/safewater/disinfection/lt2/pdfs/guide_lt2_membranefiltration_final.pdf/
(31.7.2007)

Pajk, M. 1976. Kalkulacije gradbenih del: peta predelana in dopolnjena izdaja. Ljubljana, Fakulteta za arhitekturo, gradbeništvo in geodezijo: 228 str.

Pravilnik o pitni vodi. UL RS št. 19/2004, 35/2004, 26/2006, 92/2006.

Premru, U. 2003. Geološki razvoj ozemlja okoli Kostanjevice na Krki. V: Smrekar, A. (ur.) Vekov tek. Kostanjevica na Krki, KS Kostanjevica na Krki: 283-291.

Priročnik za izdelavo analize stroškov in koristi investicijskih projektov: Strukturni skladi EU v Sloveniji. 2004. Ljubljana, Služba Vlade RS za strukturno politiko in regionalni razvoj: 155 str. <http://euskladi.gov.si/skladi/3dok/dn6024.pdf> (25.7.2007)

Rakar, A. 1994. Komunalno gospodarstvo. Ljubljana, Fakulteta za arhitekturo, gradbeništvo in geodezijo: 184 str.

Rebernik, M. 1997. Ekonomika podjetja: 3., dopolnjena izdaja. Ljubljana, Gospodarski vestnik: 445 str.

Rismal, M. 1995. Čiščenje pitne vode. Ljubljana, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: 152 str.

Taylor, J. S., Wiesner, M. 1999. Membranes. V: Letterman, D. R. (ur.) Water quality and treatment. New York, McGraw-Hill, Inc.: 11.1-11.71.

Wagner, J. 2001. Membrane filtration handbook – practical tips and hints: 2nd ed., revision 2. Minnetonka, Osmonics, Inc.: 127 str. <http://www.gewater.com/pdf/1229223-%20Lit-%20Membrane%20Filtration%20Handbook.pdf> (31.7.2007)

Žemva, Š. 2006. Gradbene kalkulacije in obračun gradbenih objektov: priročnik za prakso. Ljubljana, Gospodarska zbornica Slovenije, Center za poslovno usposabljanje: 366 str.

Žnidaršič Kranjc, A. 1994. Ekonomika podjetja. Postojna, Dej: 272 str.

Lega Kostanjevice na Krki v širšem slovenskem prostoru.
<http://www.answers.com/topic/municipalities-of-slovenia> (13.4.2007)

Lega zajetja Jama v širšem kostanjeviškem okolišu.
http://www.geoprostor.net/piso/ewmap.asp?obcina=KOSTANJEVICA_NA_KRKI
(12.4.2007)

Zgodovina ljubljanskega vodovoda.
<http://www.jh-lj.si/index.php?p=3&k=304> (15.4.2007)

Zgodovina novomeškega vodovoda.
<http://www.komunala-nm.si/index2.php?stran=25> (15.4.2007)

Zgodovina mariborskega vodovoda.
<http://www.mb-vodovod.si/?id=7> (15.4.2007)

Zgodovina rižanskega vodovoda.
<http://www.rvk-jp.si/index.cgi?m=51&id=501> (15.4.2007)

Zgodovina celjskega vodovoda.
<http://www.vo-ka-celje.si/podjetje/zgodovina.htm> (15.4.2007)

Avtomatske naprave za filtriranje vode, tip INIF. CmC MAK, kemijsko inženirstvo d.o.o..

Mikro sita AMIAD 3" T. CmC MAK, kemijsko inženirstvo d.o.o..

Naprava za UV dezinfekcijo pitne vode »Wedeco BX 30«.
http://itt.wedeco.de/UV_Systems_BX.447.0.html?&L=0%252523%22%20onfocus%3D%22b%28this%29%3B (26.7.2007)

NORIT XIGA™: Tehnology overview document rev 1.1.

Oxiperm C164 fully-automatic chlorine dioxide generation system D164-005D, 010D:
Operation and service manual.
<http://www.grundfosalldos.com/pdf/164-D-5-10g-GB-15.710125-V7.0.pdf> (25.7.2007)

Podatki o vodovodnem sistemu Kostanjevica na Krki in rezultati kemijskih in mikrobioloških preiskav na zajetju Jama. Kostak komunalno stavbno podjetje d.d., Krško.

Proporcionalne dozirne naprave, tip PRODOS. CmC MAK, kemijsko inženirstvo d.o.o..

Tehnicl bulletin: XIGA™ H-type automatic programs.

PRILOGE

- Priloga A IZRAČUN NSV ZA VARIANTO 1
- Priloga B IZRAČUN NSV ZA VARIANTO 2
- Priloga C SHEMA VODOVODNEGA SISTEMA KOSTANJEVICA NA KRKI
- Priloga D TEHNOLOŠKA SHEMA TLAČNIH FILTROV
- Priloga E DISPOZICIJA TLAČNIH FILTROV (tloris, prereza)
- Priloga F TEHNOLOŠKA SHEMA ULTRAFILTRACIJSKE NAPRAVE
- Priloga G DISPOZICIJA ULTRAFILTRACIJSKE NAPRAVE (tloris, prereza)

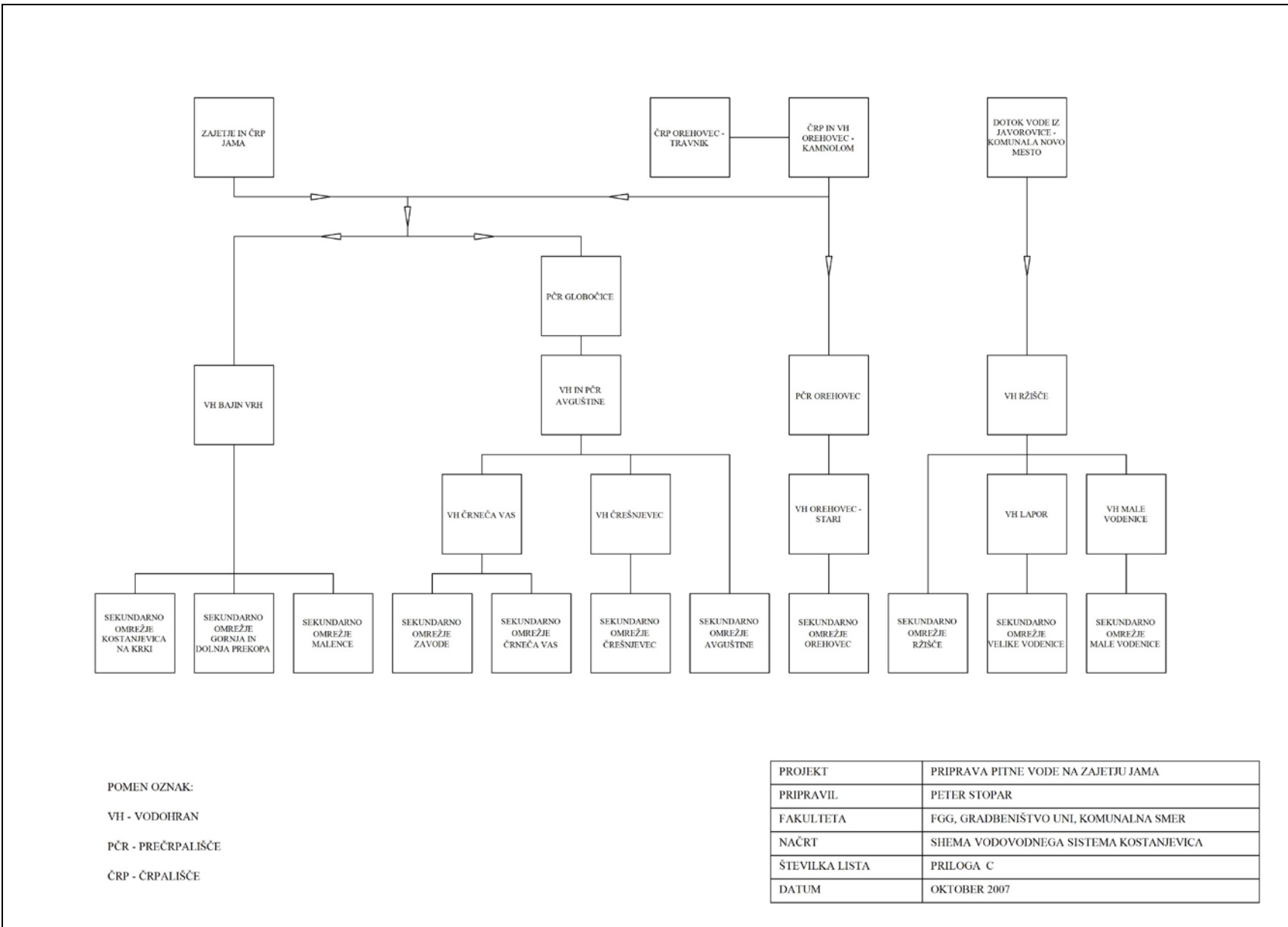
PRILOGA A: IZRAČUN NSV ZA VARIANTO 1

<i>i</i>	<i>D_i</i>	$1/((1+r)^i)$	<i>V₀</i>	<i>NSV_i</i>
1	18396.0	0.943	97000	-79645.283
2	18396.0	0.890	97000	-80627.625
3	18396.0	0.840	97000	-81554.364
4	18396.0	0.792	97000	-82428.645
5	18396.0	0.747	97000	-83253.439
6	18396.0	0.705	97000	-84031.546
7	18396.0	0.665	97000	-84765.609
8	18396.0	0.627	97000	-85458.122
9	18396.0	0.592	97000	-86111.436
10	18396.0	0.558	97000	-86727.77
11	18396.0	0.527	97000	-87309.217
12	18396.0	0.497	97000	-87857.752
13	18396.0	0.469	97000	-88375.237
14	18396.0	0.442	97000	-88863.431
15	18396.0	0.417	97000	-89323.992
16	18396.0	0.394	97000	-89758.483
17	18396.0	0.371	97000	-90168.38
18	18396.0	0.350	97000	-90555.076
19	18396.0	0.331	97000	-90919.883
20	18396.0	0.312	97000	-91264.04
21	18396.0	0.294	97000	-91588.717
22	18396.0	0.278	97000	-91895.016
23	18396.0	0.262	97000	-92183.978
24	18396.0	0.247	97000	-92456.583
25	18396.0	0.233	97000	-92713.757
26	18396.0	0.220	97000	-92956.375
27	18396.0	0.207	97000	-93185.259
28	18396.0	0.196	97000	-93401.188
29	18396.0	0.185	97000	-93604.894
30	18396.0	0.174	97000	-93797.07
NSV				-2656782.17

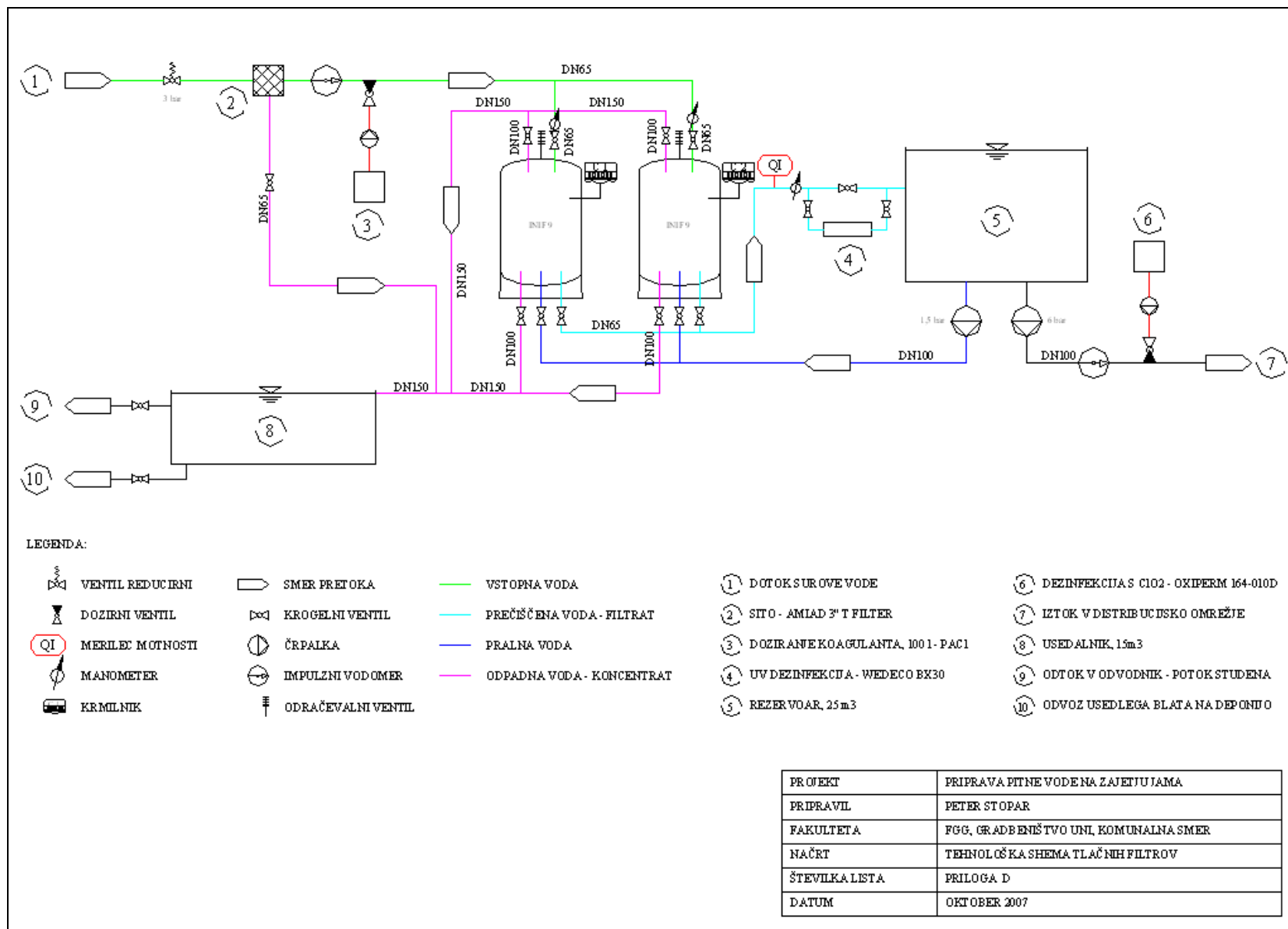
PRILOGA B: IZRAČUN NSV ZA VARIANTO 2

<i>i</i>	<i>D_i</i>	$1/((1+r)^i)$	<i>V₀</i>	<i>NSV_i</i>
1	54820.08	0.943	222000	-170282.94
2	54820.08	0.890	222000	-173210.32
3	54820.08	0.840	222000	-175972
4	54820.08	0.792	222000	-178577.36
5	54820.08	0.747	222000	-181035.25
6	54820.08	0.705	222000	-183354.01
7	54820.08	0.665	222000	-185541.52
8	54820.08	0.627	222000	-187605.2
9	54820.08	0.592	222000	-189552.08
10	54820.08	0.558	222000	-191388.75
11	54820.08	0.527	222000	-193121.47
12	54820.08	0.497	222000	-194756.1
13	54820.08	0.469	222000	-196298.21
14	54820.08	0.442	222000	-197753.03
15	54820.08	0.417	222000	-199125.5
16	54820.08	0.394	222000	-200420.28
17	54820.08	0.371	222000	-201641.77
18	54820.08	0.350	222000	-202794.13
19	54820.08	0.331	222000	-203881.25
20	54820.08	0.312	222000	-204906.84
21	54820.08	0.294	222000	-205874.38
22	54820.08	0.278	222000	-206787.15
23	54820.08	0.262	222000	-207648.25
24	54820.08	0.247	222000	-208460.62
25	54820.08	0.233	222000	-209227
26	54820.08	0.220	222000	-209950
27	54820.08	0.207	222000	-210632.07
28	54820.08	0.196	222000	-211275.54
29	54820.08	0.185	222000	-211882.58
30	54820.08	0.174	222000	-212455.27
NSV				-5905410.86

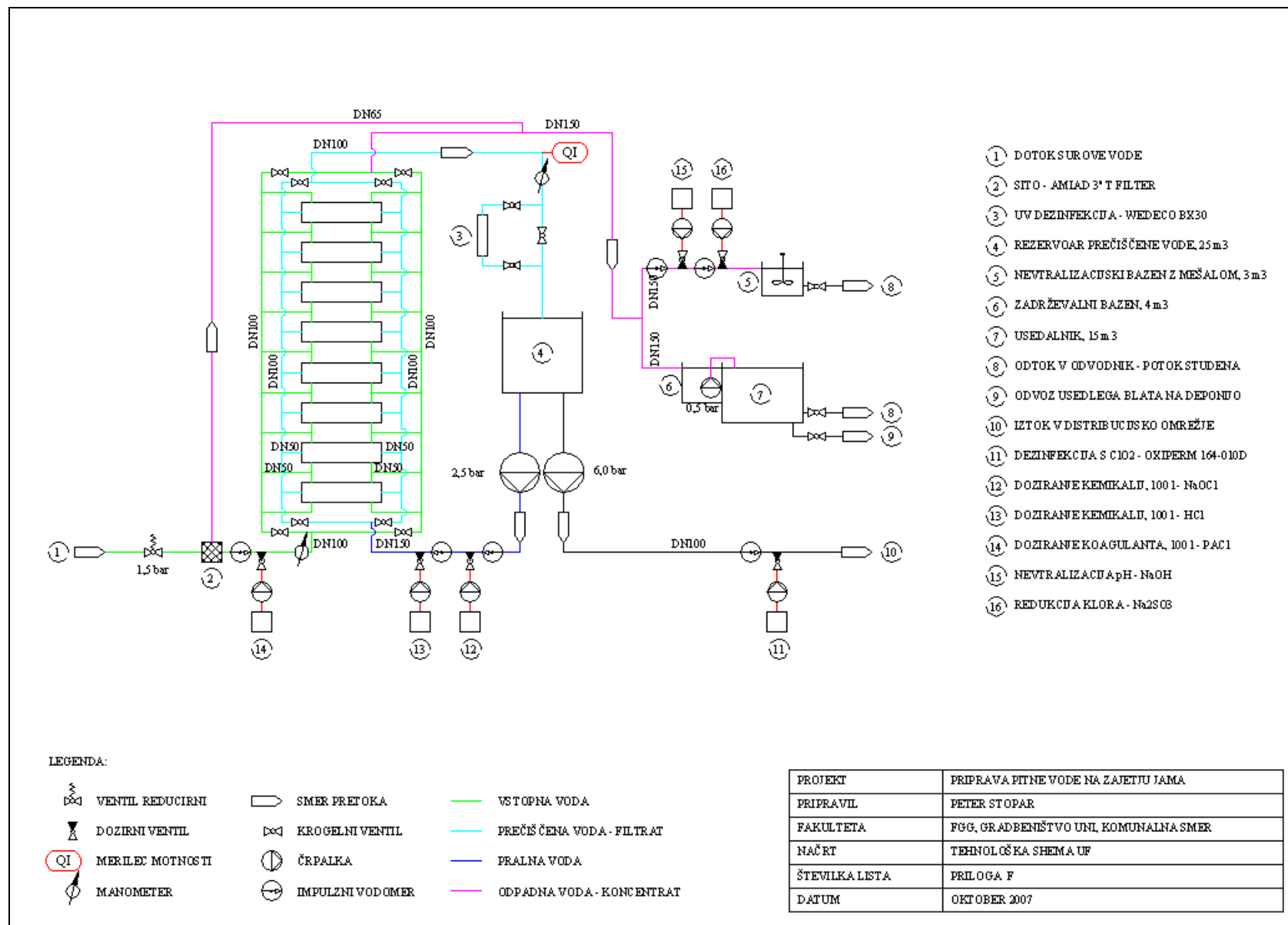
PRILOGA C: SHEMA VODOVODNEGA SISTEMA KOSTANJEVICA NA KRKI



PRILOGA D: TEHNOLOŠKA SHEMA TLAČNIH FILTROV



PRILOGA F: TEHNOLOŠKA SHEMA ULTRAFILTRACIJSKE NAPRAVE



PRILOGA G: DISPOZICIJA ULTRAFILTRACIJSKE NAPRAVE

