

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 Vodarstvo in
komunalno inženirstvo

Kandidat:

Boris Plohl

Priprava pitne vode iz vodnih virov na levem bregu Mure

Diplomska naloga št.: 110

Mentor:
prof. dr. Boris Kompare

Somentor:
Bogoslav Brezigar

Ljubljana, 2. 7. 2008

IZJAVA O AVTORSTVU

**Podpisani BORIS PLOHL izjavljam, da sem avtor diplomske naloge z naslovom:
»Priprava pitne vode iz vodnih virov na levem bregu Mure«**

Izjavljam, da se odpovedujem vsem materialnim pravicam iz dela za potrebe elektronske separatoteke FGG.

Ljubljana, _____ 2008

BIBLIOGRAFSKO – DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK

UDK:	628.16(043.2)
Avtor:	Boris Plohl
Mentor:	izr. prof. dr. Boris Kompare
Somentor:	Bogoslav Brezigar u.d.i.g.
Naslov:	Priprava pitne vode iz vodnih virov na levem bregu Mure
Obseg in oprema:	78 str., 6 pregl., 22 sl., 72 en.
Ključne besede:	čistilna naprava, pitna voda, podtalnica

Izvleček

V diplomski nalogi je predstavljena idejna zasnova čistilne naprave za vodni vir Črnske meje. Poleg tega so opisane že izdelane rešitve za vodne vire Dokležovje, Krog, Hraščice in Turnišče. Na začetku naloge je podano teoretično ozadje postopkov, ki se uporabljajo za odstranjevanje železa, mangana, nitratov in pesticidov iz podzemnih voda. Za čiščenje vode je predlaganih pet variant, ki vsebujejo različne tehnologije čiščenja. Obravnavane tehnologije so aeracija, filtracija z BIRM materialom, filtracija z zelenim peskom, adsorpcija na aktivnem oglju, odstranjevanje železa in mangana v vodonosniku, ultrafiltracija in odstranjevanje nitratov z nitratno selektivnimi smolami. Posamezne variante so med seboj primerjane z različnimi kriteriji, nakar je podana najboljša rešitev.

BIBLIOGRAPHIC – DOCUMENTALISTIC INFORMATION

UDC:	628.16(043.2)
Author:	Boris Plohl
Supervisor:	Assoc. Prof. Boris Kompare, Ph.D.
Cosupervisor:	Bogoslav Brezigar, u.d.i.g.
Title:	Drinking water treatment from the groundwater from left bank of river Mura
Notes:	78 p., 6 tab., 22 fig., 72 eq.
Key words:	water treatment plant, drinking water, groundwater

Abstract

The thesis treats an outline scheme for construction of water treatment plant Črnske meje. Beside this, already designed solutions for water sources Dokležovje, Krog, Hraščice and Turnišče, are described. The thesis begins with the presentation of basic theoretical background for water treatment technologies, that are used for removal of iron, manganese, nitrates and pesticides from groundwater. Five different technological lines are proposed for water treatment. The technics proposed in the technological lines are aeration, filtration with BIRM, filtration with greensand, activated carbon adsorption, ultrafiltration, in-situ iron and manganese removal and nitrate removal using nitrate selective resins for ion exchange. At the end the technological lines are compared and evaluated with several criteria to select the best solution.

KAZALO VSEBINE

IZJAVA O AVTORSTVU	II
BIBLIOGRAFSKO – DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK	III
BIBLIOGRAPHIC – DOCUMENTALISTIC INFORMATION	IV
KAZALO VSEBINE	V
KAZALO PREGLEDNIC	VII
KAZALO SLIK	VIII
KAZALO PRILOG	IX
1 UVOD	1
1.1 Namen diplomske naloge	2
2 TEORIJA	3
2.1 Železo in mangan v podtalnici.....	3
2.1.1 Pregled postopkov za eliminacijo železa in mangana iz vode.....	5
2.1.1.1 Odstranjevanje z aeracijo	6
2.1.1.2 Odstranjevanje s kemičnimi oksidanti	6
2.1.1.3 Odstranjevanje z uporabo katalitičnih materialov	8
2.1.1.4 Biološka metoda odstranjevanja	10
2.1.1.5 Odstranjevanje z nalivanjem v vodnjake.....	12
2.1.1.6 Ionska izmenjava in uporaba polifosfatov	13
2.2 Nitrati v podtalnici	14
2.2.1 Ionska izmenjava	15
2.2.2 Biološka denitrifikacija	18
2.3 Pesticidi v podtalnici.....	20
2.3.1 Odstranjevanje pesticidov z aktivnim ogljem.....	21
2.3.2 Aktivno oglje v kombinaciji z ozonom.....	24
2.3.3 Reverzna osmoza	25
2.4 pH pitne vode	28
3 ČIŠČENJE VODNIH VIROV NA LEVEM BREGU MURE.....	32
3.1 Pregled predlaganih tehnologij čiščenja za vodne vire na levem bregu Mure .	33

3.1.1	Vodni vir Krog	33
3.1.2	Vodni vir Dokležovje	41
3.1.3	Vodni vir Hraščice	45
3.1.4	Vodni vir Turnišče.....	46
4	IDEJNA ZASNOVA ČN ZA VODNI VIR ČRNSKE MEJE	48
4.1	Opis obstoječega stanja in ogroženost vodnega vira	48
4.2	Analiza vzorcev surove vode.....	48
4.3	Dimenzioniranje	50
4.4	Opisi posameznih variant čiščenja.....	60
4.4.1	Varianta 1.....	60
4.4.2	Varianta 2.....	63
4.4.3	Varianta 3.....	65
4.4.4	Varianta 4.....	66
4.4.5	Varianta 5.....	68
4.5	Primerjava in vrednotenje posameznih variant čiščenja.....	70
5	ZAKLJUČEK	74
VIRI	75
PRILOGE	79

KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1: Oksidacija železa in mangana [<i>Tworth, Ratnayaka, Brandt, 2000</i>]	6
Preglednica 2: Potrebne doze substrata [<i>WHO, 2004</i>]	18
Preglednica 3: Primerjava lastnosti različnih vrst membran [<i>Tworth, Ratnyaka, Brandt, 2000</i>].....	27
Preglednica 4: Uspešnost odstranjevanja različnih vrst pesticidov glede na vrsto membrane [<i>EPA, 2001</i>]	27
Preglednica 5: Vrednost investicije in okvirni letni stroški.....	70
Preglednica 6: Stroškovna cena za m ³ očiščene vode	70

KAZALO SLIK

Slika 1: Diagram Eh – pH za mangan [<i>Internetni vir 1</i>]	3
Slika 2: Diagram Eh – pH za železo [<i>Internetni vir 2</i>].....	4
Slika 3: Razželezenje vode z ozoniranim zrakom [<i>Lorber, 2001</i>]	7
Slika 4: Tehnološka shema kontinuirne regeneracije zelenega peska [<i>Lorber, 2001</i>]	9
Slika 5: Pogosti obliki železove bakterije: <i>Leptothrix ochracea</i> (1) in <i>Gallionella ferruginea</i> (2) [<i>Gage, O'Dowd, Williams, 2001</i>]	11
Slika 6: Stabilnostni diagram pri biološkem odstranjevanju železa in mangana [<i>Gage, O'Dowd, Williams, 2001</i>]	12
Slika 7: Vodnjaka za odstranjevanje železa in mangana.....	13
Slika 8: Primer izmenjevalnih smol [<i>Internetni vir 3</i>].....	15
Slika 9: Shematski prikaz procesa ionske izmenjave za odstranjevanje nitratov	16
Slika 10: Shematski prikaz procesa heterotrofne biološke denitrifikacije [<i>WHO, 2004</i>].....	19
Slika 11: Črpališča z neskladnimi vzorci pitne vode in kemijsko stanje vodnih teles podzemne vode v letu 2005 [<i>Krajnc, 2007</i>].....	21
Slika 12: Prikaz aktivnega oglja [<i>Internetni vir 4</i>]	22
Slika 13: Filtri z aktivnim ogljem [<i>Internetni vir 5</i>].....	24
Slika 14: Prikaz osmoze in reverzne osmoze [<i>Internetni vir 6</i>]	25
Slika 15: Spiralno navit modul [<i>Internetni vir 7</i>]	26
Slika 16: Modul iz votlih vlaken [<i>Internetni vir 8</i>]	26
Slika 17: Vodovarstvena območja vodnega vira Črnske meje [<i>ARSO, 2008</i>]	49
Slika 18: Lokacija vodnega vira Črnske meje [<i>ARSO, 2008</i>]	49
Slika 19: Shema poteka vode pri varianti 1	63
Slika 21: Shema poteka vode pri varianti 3	66
Slika 21: Shema poteka vode pri varianti 4	67
Slika 22: Shema poteka vode pri varianti 5	69

KAZALO PRILOG

Priloga A: Primer izračuna NSV (Varianta 1)

Priloga B: Tehnološka shema, Varianta 1

Priloga C: Tehnološka shema, Varianta 2

Priloga D: Tehnološka shema, Varianta 3

Priloga E: Tehnološka shema, Varianta 4

1 UVOD

Danes se problemi oskrbe prebivalstva s pitno vodo zaostrejejo. Potrebe po neoporečni pitni vodi sunkovito naraščajo, medtem ko je le-te vse manj in manj. Žal pa je tudi podtalnica kot najzaneslivejši in najvarnejši vir pitne vode vse bolj onesnažena. Onesnaženje je lahko posledica različnih ekoloških nesreč, pogosto pa je vzrok za onesnaženje intenzivna raba kmetijskih zemljišč.

V Pomurju je z leti postal vedno večji problem, kako zagotoviti zadostne količine neoporečne pitne vode. V Pomurju so tri vodna telesa podzemne vode: Goričko, Murska kotlina in Vzhodne Slovenske gorice. Vodni viri, ki so obravnavani v diplomu, se vsi nahajajo v Murski kotlini, na območju slovenskega dela aluvialnega prodnega zasipa reke Mure. Območje vodnega telesa zajema celotno nižino med Goričkim ter Lendavskimi in Slovenskimi goricami. Površina tega območja je 591 km². Največja dolžina telesa je približno 57 km, največja širina pa približno 18 km. Na vodnem telesu so določeni 4 aluvialni vodonosni sistemi: Apaško polje, Mursko–Ljutomersko polje, Dolinsko–Ravensko in Gornjeradgonsko polje [Krajnc, 2007].

Površina vodnega telesa je obremenjena z linijskimi in razpršenimi viri onesnaženja (gostota cest 381 m/km², gostota železnic 77 m/km², kmetijske površine 73,9 %, urbana območja 8,1 %) ter točkovnimi viri onesnaževanja (3 komunalna odlagališča, 24 izpustov in 7 IPPC zavezancev). Razpršeni viri onesnaževanja zavzemajo 82 % površine vodnega telesa.

Trenutno največji problem predstavljajo pesticidi, kjer izstopata atrazin in desetil-atrazin, in nitrati. Glavni krivec za povišane vrednosti nitratov in pesticidov je kmetijska dejavnost. Na nekaterih mestih so prekoračene tudi vrednosti za železo in mangan.

Da bi zaščitili vodne vire, je potrebno zmanjšati vnos pesticidov in nitratov v zemljinu, z izvajanjem integrirane kmetijske pridelave. Obenem se je potrebno strogo držati

vodovarstvenih pasov in ne posegati v njihovo območje. Od možnih metod čiščenja je najprimernejša aktivna zaščita podtalnice, kjer se lahko poslužujemo tudi površinskih vod.

1.1 Namen diplomske naloge

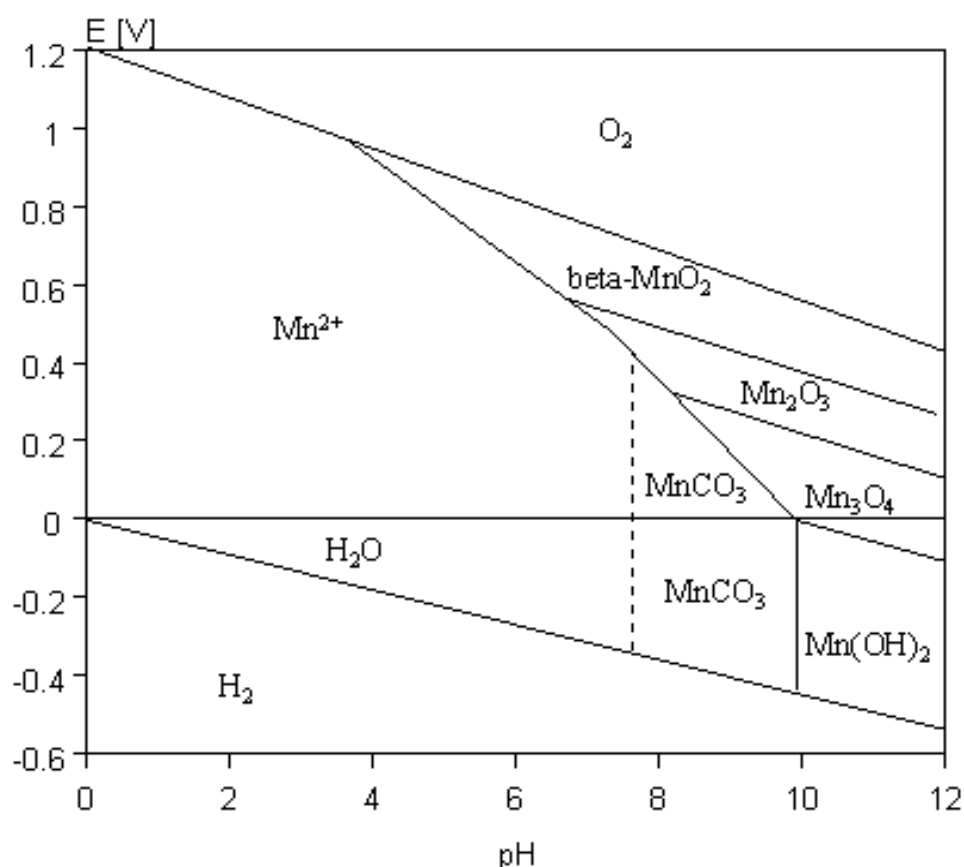
Za Pomurje, do pred kratkim, ni bilo izdelane strategije za oskrbo prebivalstva s pitno vodo in varovanja vodnih virov. Oskrba prebivalstva s kakovostno pitno vodo v Pomurju je precej pod doseženo ravnijsko v slovenskem prostoru ter predstavlja zdravstveni in socialni problem. V diplomu so opisane predlagane tehnološke rešitve za pripravo pitne vode iz vodnih virov na levem bregu Mure.

Glavni cilj diplome je izdelati idejno zasnovo čistilne naprave za vodni vir Črnske meje. Pri tem viru pitne vode se pojavlja vrsta različnih onesnaženj. V surovi vodi so prisotni nitrati, pesticidi in železo ter mangan. Za zasnovo čistilne naprave se izdelava več variant, z različnimi tehnologijami čiščenja, ki so med seboj primerjane glede na dane kriterije. Teoretične osnove, za posamezne tehnologije priprave pitne vode, so posebej obrazložene v drugem poglavju naloge.

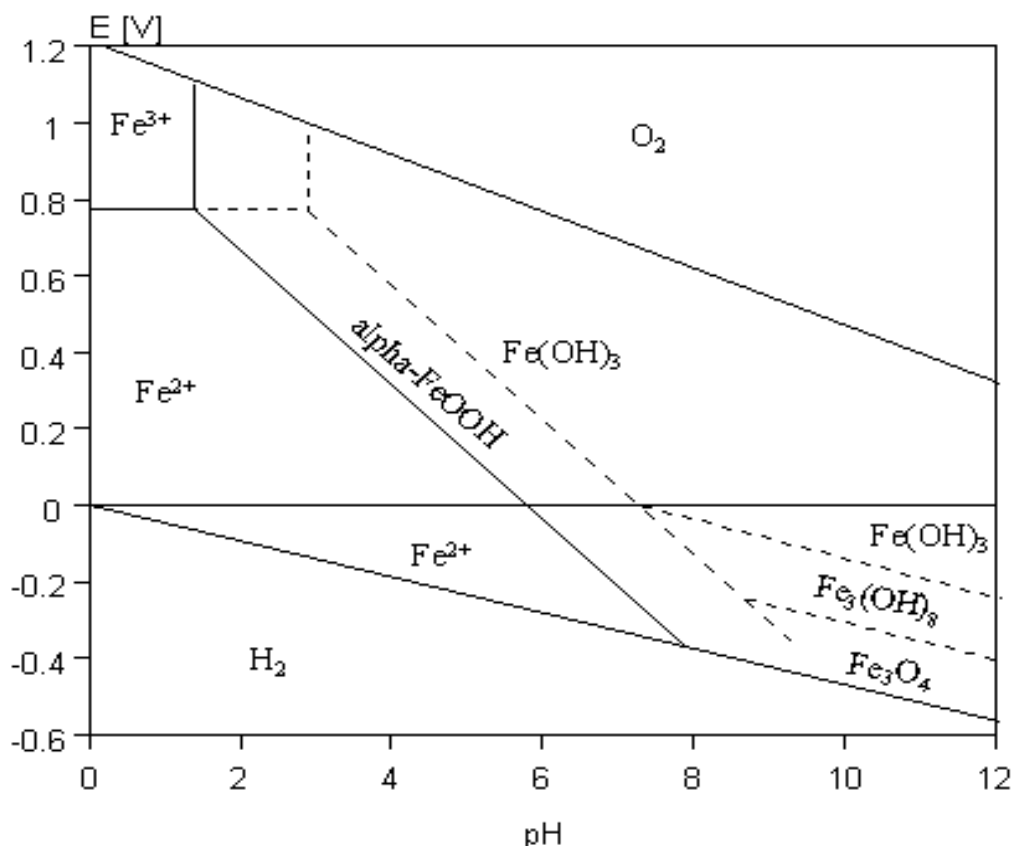
2 TEORIJA

2.1 Železo in mangan v podtalnici

Železo in mangan sta zelo razširjena elementa v zemeljski skorji. V večini primerov sta v oksidirani obliki (Fe^{3+} in Mn^{4+}) in sta netopna v naravnih vodah. V določenih pogojih (pomanjkanje kisika, velika koncentracija CO_2) pa se v podtalnici in anaerobnem hipolimniju jezer ali akumulacij lahko pojavi znatna količina železa in mangana. V tem primeru poteče redukcija železa in mangana, prisotnih v zemljini, iz netopne Fe^{3+} in Mn^{4+} v topno obliko Fe^{2+} in Mn^{2+} . V kakšni obliki se nahajata železo in mangan v vodi je odvisno predvsem od pH vrednosti in redoks potenciala (Slika 1, Slika 2).



Slika 1: Diagram Eh – pH za mangan [Internetni vir 1]



Slika 2: Diagram Eh – pH za železo [Internetni vir 2]

Vir železa in mangana v vodi je razkroj kamnin in zemljine, rudarjenje, industrija in korozija železnih ali jeklenih cevi. Železo se lahko nahaja v naravi tudi v kombinaciji z organskimi snovmi, to organsko vezano železo imenujemo kelatno ali organsko železo. Naslednja pojavna oblika v kateri je prisotno železo, so tako imenovane železove bakterije. Pod tem pojmom razumemo skupino mikroorganizmov, ki lahko spremenijo dvovalentni železov ion v trovalentnega kot del njihovega metabolizma. Z rastjo teh bakterij se tvorijo večje količine želatinastih in nitastih organskih spojin, ki fizikalno vežejo nastajajoči železov hidroksid. Znamo jih tako, da opazimo na površini rezervoarjev rjavo, sluzasto snov [Lorber, 2001]. Mnoge podzemne vode, predvsem tam kjer je okolje še čisto in ni večje naravne polucije z organskimi snovmi, ter tam kjer je vodonosni sloj iz apnenca in dolomita, so običajno brez mangana in tudi brez železa. V Sloveniji vsebujejo Fe in Mn in CO₂, ki običajno spremlja Fe in Mn v vodi, vodonosni sloji ob Muri, ki so pretežno iz kremena [Rismal, 1995]. Tipična vrednost koncentracije železa v podtalnici znaša od 0,1 do 10 mg/l in za mangan od 0,2 do 0,5 mg/l [Lee, Lin, 2000].

Železo in mangan sta esencialna elementa za življenje ljudi in mnogih drugih organizmov in sama po sebi ne predstavljata nevarnosti za zdravje ljudi. Problemi se pojavijo, ko ob stiku z zrakom železo in mangan oksidirata v netopno obliko. Železo v netopni hidratizirani oksid, kar izgleda kot rdeče rjavo obarvan mulj, mangan pa kot manganov temno rjavi do črni oksid. Mangan in železo torej predstavljata predvsem tehnično - estetski in ne zdravstveni problem [IVZ, 2008].

Težave, ki se pojavijo so sledeče:

- poslabšanje organoleptičnih lastnosti vode
- razvoj železove bakterije
- inkrustacija cevovodov
- obarvanje perila pri pranju
- neprimernost za živilsko industrijo

Kar se tiče zakonodaje sta železo in mangan v Pravilniku o pitni vodi (Ur.l. RS št.:19/04 in 35/04) uvrščena v Prilogo 1, del C, med indikatorske parametre. Mejna vrednost za mangan je 50 µg/l, za železo pa 200 µg/l in temelji na organoleptičnih učinkih. V skupini indikatorskih parametrov (del C) sta zato, ker mejna vrednost ne temelji na podatkih o nevarnostih za zdravje ljudi. Kot zdravstveno utemeljena dopustna koncentracija znaša, po stališču Svetovne zdravstvene organizacije, za železo 2 mg/l in za mangan 0,4 mg/l [IVZ, 2008].

2.1.1 Pregled postopkov za eliminacijo železa in mangana iz vode

Pri izboru in načrtovanju tehnologije za odstranjevanje železa in mangana iz vode se opiramo predvsem na kemično analizo surove vode. Pomembno je, da vemo v kakšni obliki se nahajata v vodi, prav tako pa moramo poznati analizo vseh pretežno prisotnih anionov in kationov v vodi. Da dosežemo optimalno pripravo vode, optimiziranje stroškov investicije, vzdrževalnih in obratovalnih stroškov, je potrebno zelo dobro poznavanje tehnologij in kompleksen pristop k rešitvi problema [Lorber, 2001].

Večina postopkov temelji na oksidaciji železovih in manganovih ionov, ki jih nato s pomočjo filtracije odstranimo iz vode. V začetku so za oksidacijo uporabljali v večini zrak, kasneje pa ozon in čisti kisik. Nastale produkte oksidacije so filtrirali skozi peščene filtre, kasneje skozi slojne mešane, skozi sloj hidroantracita in sloje različnih granulacij kremenčevega peska.

2.1.1.1 Odstranjevanje z aeracijo

V tem primeru se kot oksidacijsko sredstvo uporablja atmosferski zrak, ki ga v podzemno vodo uvajamo s pomočjo kompresorja ali injektorskega sistema. Oksidirano železo in mangan nato izločimo na peščenem ali slojnim filtru, ki ga očistimo s povratnim pranjem. Ob stiku železa in mangana potečeta naslednji kemijski reakciji:



2.1.1.2 Odstranjevanje s kemičnimi oksidanti

Kot kemični oksidanti se uporabljajo čisti kisik, klor, kalijev permanganat, klorov dioksid in ozon. Po končani oksidaciji se voda dokončno očisti z usedanjem in naknadnim filtriranjem, če koncentracija železa presega 5 mg/l, v nasprotnem primeru je dovolj že direktna filtracija. V Preglednici 1 je prikazana količina oksidanta potrebnega za oksidacijo železa ali mangana, optimalen pH za potek oksidacije in znižanje alkalitete, ki je posledica nastajanja vodikovih ionov [Tworth, Ratnyaka, Brandt, 2000].

Preglednica 1: Oksidacija železa in mangana [Tworth, Ratnyaka, Brandt, 2000]

Kovina	Oksidant	Količina oksidanta (mg/mg Fe ali Mn)	Znižanje alkalitete (mg CaCO ₃ /mg Fe ali Mn)	Optimalen pH
Fe(II)	O ₂	0.14	1.80	>7.5
Mn(II)	O ₂	0.29	1.80	>10.0 (a)
Fe(II)	Cl ₂	0.63	2.70	>7.0

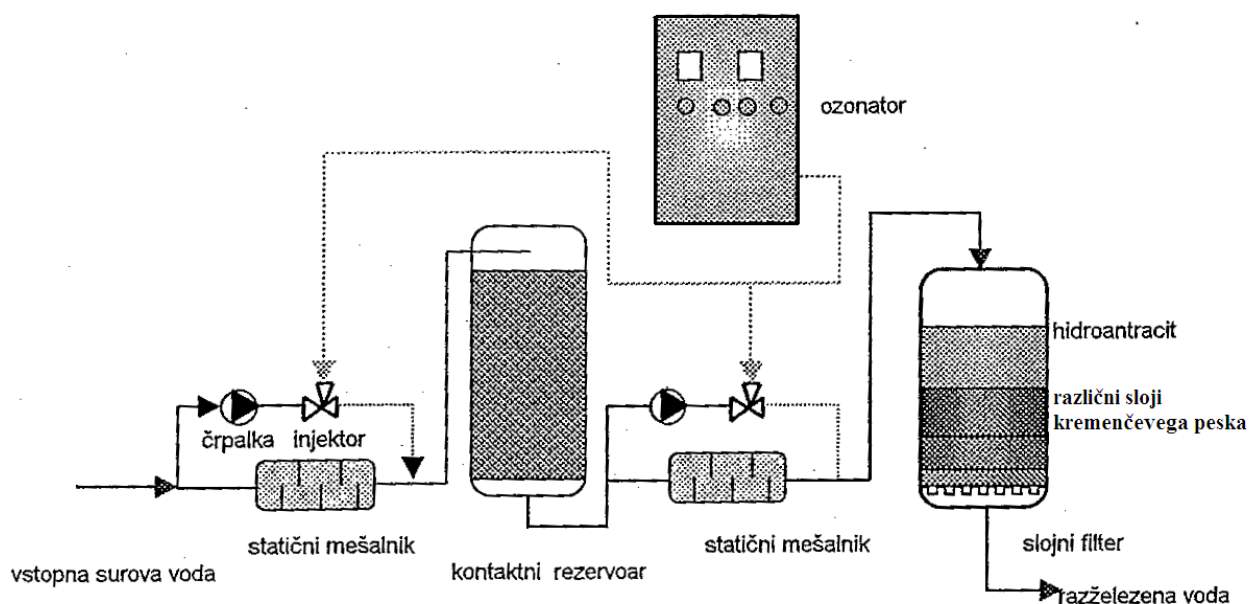
Mn(II)	Cl ₂	1.29	3.64	>9.0 (a)
Fe(II)	KmnO ₄	0.94	1.49	>7.0 (b)
Mn(II)	KmnO ₄	1.92	1.21	>7.0 (b)
Fe(II)	ClO ₂	0.24	1.96	>7.0
Mn(II)	ClO ₂	2.45	3.64	≤7.0
		0.49	2.18	≥7.5
Fe(II)	O ₃	0.43	1.80	(c)
Mn(II)	O ₃	0.87	1.80	(c)

(a) Uporaba katalitičnih filtrov lahko zniža pH na 7.5-8.5.

(b) Reakcija poteče pri pH > 5.5.

(c) Vrednost pH pri reakciji z ozonom ni tako pomembna, boljši rezultati so doseženi pri nižjih vrednostih pH.

Če voda vsebuje naravne organske snovi, pride pri uporabi klora do tvorjenja stranskih produktov (trihalometani). Pri uporabi ozona (Slika 3) pa ta najprej oksidira organske snovi šele nato železo in mangan (zelo se poveča potrebna doza ozona), zato je priporočljivo organske snovi najprej odstraniti s koagulacijo.



Slika 3: Razželezenje vode z ozoniranim zrakom [Lorber, 2001]

2.1.1.3 Odstranjevanje z uporabo katalitičnih materialov

Nekateri filtrni materiali imajo sposobnost, da s katalizo sprožijo oksidacijo in koagulacijo raztopljenih soli dvovalentnega železa. To so materiali na bazi mangana. Filtriranje vode preko teh materialov že zadostuje za deferizacijo vode, pod pogojem, da je na razpolago dovolj v vodi raztopljenega kisika, v nasprotnem primeru je potrebno dodajati kalijev permanganat. V praksi se uporabljata dva podobna materiala, ki se prodajata pod različnima trgovskima imenoma [Lorber, 2001].

Birm (vulkanski aluminijev silikat oplášen z manganovim dioksidom) je naravni material, ki omogoča enostavno reševanje problema v vodi prisotnega železa do 3 mg/l in mangana do 1,5 mg/l. Oprema je zelo enostavna, saj je reakcijska posoda hkrati filter za filtriranje nastalega železovega hidroksida. Ko pride z železom obremenjena voda v kontakt z zrnji Birm-a, pride do katalitične oksidacije železovega dvovalentnega iona v trovalentno obliko, oziroma nastane železov hidroksid, ki se prav tako odstrani s filtracijo preko Birm-a [Lorber, 2001]. Filter se potem očisti s povratnim pranjem.

Prednosti uporabe Birm-a so: majhni stroški (Birm se med procesom odstranjevanja ne porablja), za regeneracijo niso potrebne kemikalije, dolga obratovalna doba, visoka stopnja uspešnosti odstranjevanja. Omejitve pri uporabi Birm-a so: v vodi ne sme biti prisotno olje in H₂S, koncentracija raztopljenega kisika mora znašati najmanj 15 % koncentracije železa, uporaba klora zavira delovanje Birm-a, pH > 6.8, pri odstranjevanju mangana naj znaša pH med 8 in 9.

Manganov zeleni pesek je naravni temno zeleni zrnati glaukonit (naravni mineral zelene barve, po kemični sestavi je železov, kalijev silikat), ki ima sposobnost odstranjevanja železa, mangana in vodikovega sulfida iz vode z oksidacijo in filtracijo. Topno železo in mangan se oksidirata in oborita s kontaktom z višjimi manganovimi oksidi na granulah zelenega peska. Hidrogen sulfid se oksidira v sulfat in tvori netopno oborino. Nastale oborine, ki se filtrirajo skozi sloj zelenega peska, odstranimo z občasnim povratnim pranjem. Ko se oksidirajoča

plast zelenega peska iztroši, jo regeneriramo s šibko raztopino kalijevega permanganata. V uporabi sta dva tehnološka postopka uporabe manganovega zelenega peska [Lin, 2001].

Kontinuirna regeneracija

Pri delovanju proporcionalno doziramo oksidant ali kombinacijo oksidantov pred filtrom z zelenim peskom, običajno KMnO_4 in klor, oziroma raztopino NaOCl . Klor, ki ga večina priporoča, mora biti doziran najmanj 10-20 sekund pred kalijevem permanganatom. Klor oksidira delno železo in sulfide ($2\text{Fe}^{2+} + \text{Cl}_2 \rightarrow 2\text{Fe}^{3+} + 2\text{Cl}^-$), KMnO_4 pa oksidira še preostale sledi železa in mangana. Količina permanganata mora biti zadostna, da je voda pred filtrom rahlo roza barve. Ta majhna prebitna količina permanganata ali klora, ki bo prišla na zeleni pesek, je zadostna za pogoje kontinuirane regeneracije zelenega peska (Slika 4). Kontinuirna regeneracija je primerna predvsem za podtalnico, kjer železo predstavlja glavni problem, ob ali brez prisotnosti mangana [Lorber, 2001].

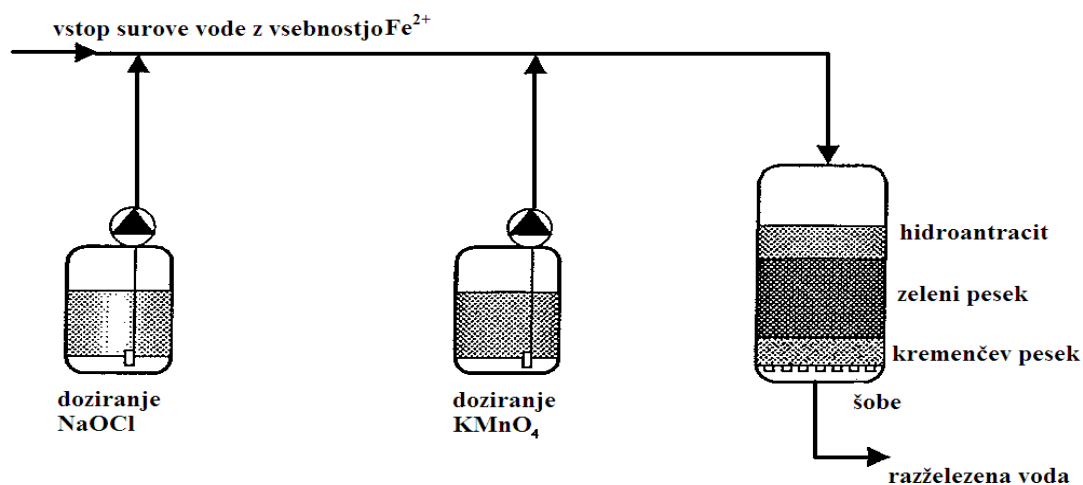
Potrebno količino klora in KMnO_4 določimo na sledeč način:

$$\text{mg/l Cl}_2 = \text{mg/l Fe} \quad [3]$$

$$\text{mg/l KMnO}_4 = (0,2 \times \text{mg/l Fe}) + (2 \times \text{mg/l Mn}) \quad [4]$$

Brez dodatka klora določimo potrebno količino KMnO_4 po sledeči formuli:

$$\text{mg/l KMnO}_4 = (1 \times \text{mg/l Fe}) + (2 \times \text{mg/l Mn}) \quad [5]$$



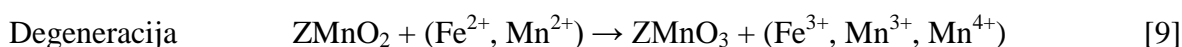
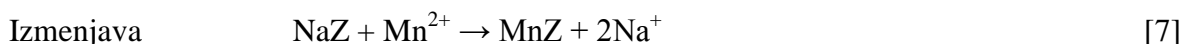
Slika 4: Tehnološka shema kontinuirne regeneracije zelenega peska [Lorber, 2001]

Šaržna oksidacija zelenega peska

Ta postopek se uporablja v primeru, ko voda vsebuje večje količine mangana, vsebnost železa pa je nizka. Ko voda vstopi v filter, pride na zelenem pesku do katalitične oksidacije železa in mangana. Nastale hidrokside občasno odstranimo s povratnim pranjem. Ko je filter iztrošen, ga je potrebno regenerirati s šibko raztopino KMnO_4 . Kako pogosto moramo filter regenerirati, je odvisno od vsebnosti železa in mangana v vodi. Potrebno količino KMnO_4 določimo na sledeč način:

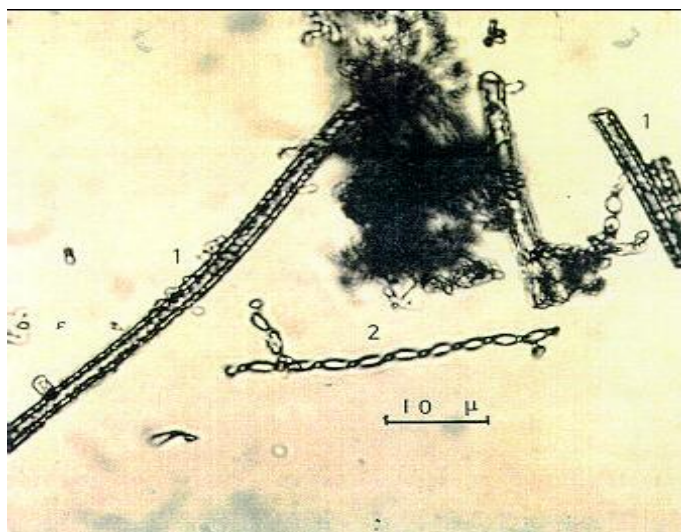
$$\text{mg/l KMnO}_4 = (1 \times \text{mg/l Fe}) + (2 \times \text{mg/l Mn}) \quad [6]$$

Kemične reakcije, ki potekajo med procesom čiščenja, so sledeče:



2.1.1.4 Biološka metoda odstranjevanja

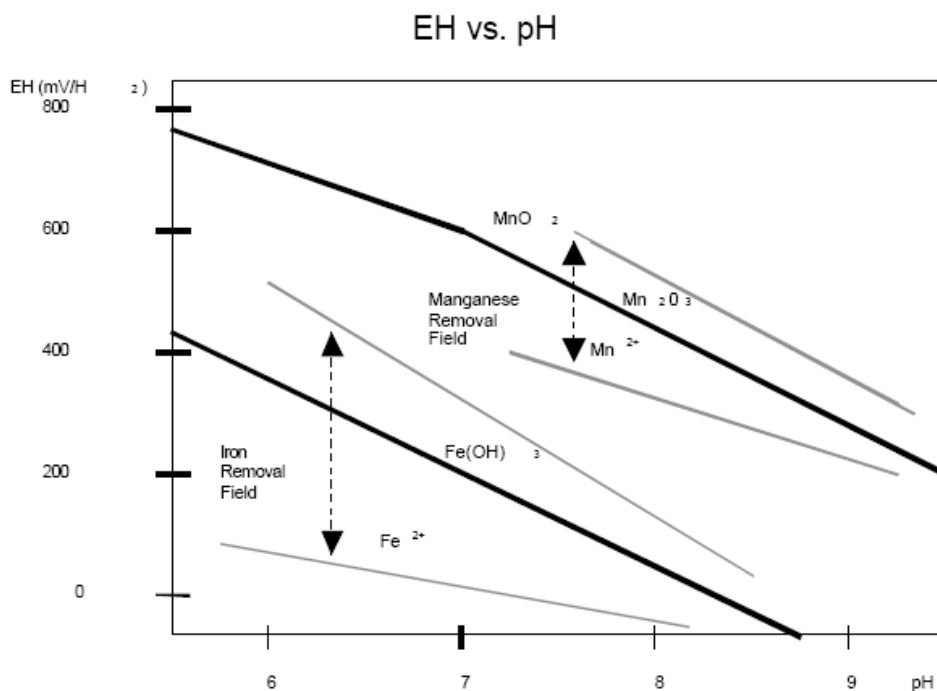
Bakterijam, ki so sposobne odstraniti železo in mangan iz vode, pravimo "železove bakterije" (Slika 5). V glavnem lahko te bakterije najdemo vsepovsod, kjer sta v vodi prisotna železo ali mangan. Metabolizem delovanja teh bakterij še ni popolnoma pojasnjen, dejstvo pa je, da je proces katalitičen in povzroča zelo hitro oksidacijo železa. Rdeče obarvani železovi hidroksidi, ki so produkt tega metabolizma, so v bolj kompaktni obliki od tistih, nastalih pri fizikalno kemijskih procesih [Gage, O'Dowd, Williams, 2001].



Slika 5: Pogosti obliki železove bakterije: *Leptothrix ochracea* (1) in *Gallionella ferruginea* (2) [Gage, O'Dowd, Williams, 2001]

Ključnega pomena pri delovanju teh bakterij sta pH in redoks potencial. Vrednosti teh dveh parametrov mora biti približno na sredini med tistimi v podtalnici in tistimi, ki so potrebni za klasično fizikalno kemijsko čiščenje (Slika 6). Uravnavamo ju z aeracijo vode in odstranjevanjem ogljikovega dioksida. Če sta železo in mangan hkrati prisotna v podtalnici, ju moramo čistiti enega za drugim. Najprej odstranimo železo, nato moramo povečati vrednost pH, da se lahko odstrani še mangan.

Na začetku delovanja biološke čistilne naprave je potrebno počakati, da se razvije naravna biomasa bakterij prisotnih v vodi. Ta biomasa se naravno obnavlja, občasno pa jo odstranimo s povratnim pranjem. V primeru odstranjevanja železa je čas, potreben za razvoj biomase, relativno kratek (1-7 dni), za mangan pa je potreben nekoliko daljši čas (3-12 tednov). Ko se enkrat biomasa razvije, so na iztoku koncentracije železa in mangana zelo majhne. Seveda pa ima ta način čiščenja tudi nekaj omejitev. Ob prisotnosti klora, H_2S , NH_4^+ in nekaj težkih kovin se biološki procesi upočasnijo. Včasih je tudi nemogoče doseči ustrezne pogoje za delovanje bioloških procesov, zato je pred načrtovanjem biološke naprave potrebna natančna analiza podtalnice [Gage, O'Dowd, Williams, 2001].



Slika 6: Stabilnostni diagram pri biološkem odstranjevanju železa in mangana [Gage, O'Dowd, Williams, 2001]

2.1.1.5 Odstranjevanje z nalivanjem v vodnjake

Tehnološki proces odstranjevanja mangana in železa z nalivanjem v vodnjake temelji na osnovi biokemične oksidacije, brez dodajanja kemikalij, z recirkulacijo dela ozračene in očiščene vode preko negativnih vodnjakov v vodonosni sloj. Voda se najprej črpa v bazene, kjer se obogati s kisikom, ki je glavni dejavnik za uspešno oksidacijo železa in mangana s strani mikroorganizmov, prisotnih v tleh. Vodo, obogateno s kisikom, se nato naliva nazaj v vodnjake. Sam proces odstranjevanja železa in mangana v vodonosniku še ni natančno pojasnjen [Appelo, Drijver, Hekkenberg, 1999].

V Sloveniji se na ta način odstranjuje železo iz pitne vode v občini Ljutomer, na črpališču Mota. Za zajem podtalnice sta zgrajena dva vodnjaka globine 14 m (Slika 7). Kapaciteta vsakega posameznega vodnjaka je 38 l/s. Vodnjaka obratujeta izmenično, ko se iz enega črpa voda, drugi miruje ali pa se v njega naliva voda. Ta način se je izkazal za zelo učinkovitega, pri čemer so edini stroški pri pripravi vode povezani s črpanjem in nalivanjem vode. Pri

procesu ni potrebno uporabljati nobenih kemikalij. Sistem deluje povsem avtomatsko, brez prisotnosti upravljalca.



Slika 7: Vodnjaka za odstranjevanje železa in mangana

2.1.1.6 Ionska izmenjava in uporaba polifosfatov

Ta dva postopka se bolj pogosto uporabljata v Združenih državah Amerike. Manjše količine železa in mangana, v skupni koncentraciji do 3 mg/l, lahko odpravimo z uporabo kompleksnih fosfatnih spojin, ki obkrožijo ione dvovalentnega železa in s tem preprečujejo oksidacijo dvovalentnih ionov v trovalentne. Fosfat mora biti dodan čim bližje vodnemu viru, dokler je železo še v dvovalentni obliki, saj samo tako ostane voda še naprej bistra in ne pride do obarjanja. Ker kompleksni fosfati v resnici ne odstranijo železa iz vode, voda še vedno zadrži kovinski okus. Dodajanje fosfatov ni priporočljivo, če potrebujemo zelo čisto vodo [Lorber, 2001].

Pri ionski izmenjavi se železo kot kation izmenja na močno kisli ionski smoli v Na^+ obliki, del pa se ga nereverzibilno odlaga v porah smole. Iz smole ga lahko izperemo s 15% raztopino

HCl pri 30°C in reakcijskim časom vsaj 30 min. Na ta način lahko odstranimo 1-5 mg/l železa iz vstopne vode. Ionske izmenjevalne naprave uporabljajo predvsem gospodinjstva v ZDA, da rešujejo probleme viškov železa v vodi. Neprimerne za uporabo so pri odstranjevanju oborjenega železa, organskih železovih kompleksov in železovih bakterij [Lorber, 2001].

2.2 Nitrati v podtalnici

Nitrati nastanejo kot končna stopnja oksidacije amonijaka in mineralizacije organskih snovi. Preobremenjenost podtalnice z nitrati in presežne vrednosti v pitni vodi so posledica intenzivnega razvoja živinoreje, neracionalnega in nekontroliranega gnojenja kmetijskih zemljišč, črnih odlagališč, neustreznih deponij gnoja na območju vodovarstvenih pasov in številnih greznic s ponikalnicami.

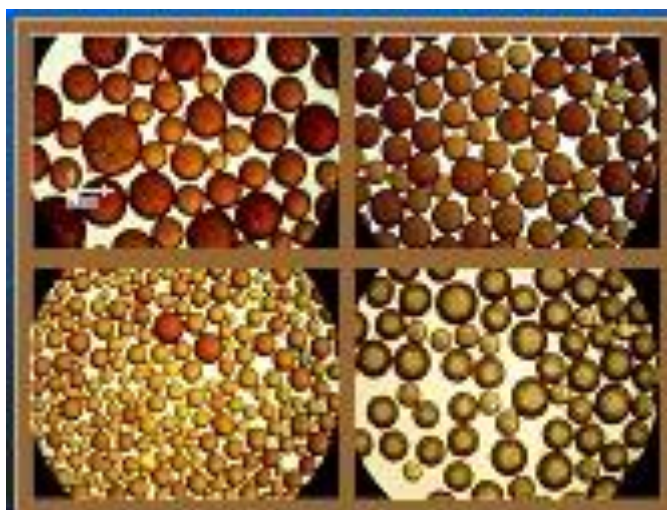
Nitrati so v večjih količinah škodljivi za zdravje ljudi. Voda, ki vsebuje velike količine nitratov, je lahko nevarna za dojenčke. Nitrati se najprej reducirajo do nitritov, ti pa oksidirajo hemoglobin v krvi (nastane methemoglobin). Posledično hemoglobin ne more več vezati kisika nase, nakar, zaradi pomanjkanja kisika v tkivih, postane koža modro obarvana. Ogrožene so lahko tudi nosečnice in ljudje s pomanjkanjem nekaterih encimov [Tworth, Ratnayaka, Brandt, 2000].

Po Pravilniku o pitni vodi (Ur.l. RS št.:19/04 in 35/04) znaša mejna vrednost za nitrate 50 mg/l (pri čemer mora veljati: $\text{nitrat}/50 + \text{nitrit}/3 \leq 1$), za nitrite pa mora biti dosežena vrednost 0,10 mg/l v vodi pri izstopu iz naprave za pripravo vode. Tiste podtalnice, ki ne presegajo teh vrednosti, moramo obvarovati pred povečanim vdorom nitratov. To dosežemo z uporabo preventivnih ukrepov. Podtalnico z zakonsko preseženimi vrednostmi pa moramo pred uporabo prečistiti. Najbolj preprosta metoda je razredčenje s čisto vodo, vendar v tem primeru nitratov ne odstranimo iz vode, ampak z dodajanjem čiste vode le zmanjšamo njihovo koncentracijo do dovoljene. Kjer ta metoda ni možna (v bližini ni virov čiste vode ali površinskih vod), se za odstranjevanje nitratov najpogosteje uporabljata ionska izmenjava in biološka denitrifikacija. Nitrate je mogoče odstraniti tudi z reverzno osmozo (RO) in

elektrodializo, vendar sta ta dva postopka, v primerjavi z ionsko izmenjavo in biološko denitrifikacijo, zaradi velikih obratovalnih stroškov in porabe energije, neekonomična.

2.2.1 Ionska izmenjava

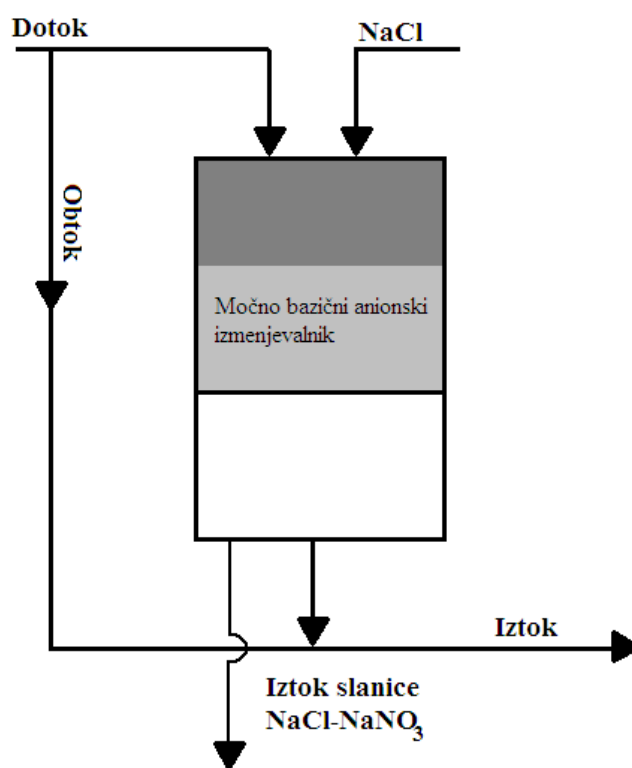
V procesu ionske izmenjave se onesnažena voda preceja skozi ionski izmenjevalec, ki je običajno v granulirani obliki. Ionska izmenjava na smolah omogoča odstranitev tako kationov kot anionov. Za izmenjavo se najpogosteje uporabljajo sintetični organski polielektroliti s fiksnimi skupinami za ioniziranje in izmenljivim kationom (kationski izmenjevalci) ali pa izmenljivim anionom (anionski izmenjevalci). Smole, ki se uporabljajo, imajo porozno, prepustno strukturo, da lahko vsako zrnce sodeluje pri procesu ionske izmenjave (Slika 8). So običajno sferične oblike in merijo od 0,8 do 0,4 mm. Približna izmenjevalna sposobnost večine kationskih smol je 2 miliekvivalenta na suh gram (mEq/g), za anionske smole pa je ta vrednost 1,3 mEq/g [Bertok, 2007].



Slika 8: Primer izmenjevalnih smol [Internetni vir 3]

Proces ionske izmenjave se ne uporablja samo za odstranjevanje nitratov iz zasičene vode, ampak tudi za mehčanje vode in demineralizacijo vode. To je tudi edini proces, ki iz vode v celoti odstrani mineralne snovi.

Pri odstranjevanju nitratov za pripravo pitne vode se uporablja močna anionska smola, ki za regeneracijo uporablja NaCl. Ko voda prehaja skozi smolnato posteljico v zaprti tlačni posodi, poteka izmenjava nitratov in drugih anionov s kloridnimi ioni iz smole. Ko je smola nasičena z nitrati (poveča se vsebost nitratov v očiščeni vodi), se mora postopek ustaviti, da se lahko smola regenerira z natrijevim kloridom (Slika 9). Po končani regeneraciji se lahko smola spet normalno uporablja. Med regeneracijo se izmenjalni proces obrne, na smoli absorbirani anioni se zamenjajo s kloridnimi ioni [Tworth, Ratnayaka, Brandt, 2000].



Slika 9: Shematski prikaz procesa ionske izmenjave za odstranjevanje nitratov



Pri odstranjevanju nitratov lahko uporabljamo dve različni vrsti smole, klasično anionsko izmenjevalno smolo in nitratno selektivne smole. Prva ima to slabo lastnost, da se nitrat slabše adsorbira od sulfata in posledično odstranitev nitratov hitro upade, ko je v surovi vodi prisotna večja količina sulfatov. Ne glede na nivo sulfatov v vodi, bo smolnata posteljica, ko

bo dosegla točko zasičenosti, začela izločati nitrate, ki jih bodo zamenjali sulfati, zaradi česar se bo v prečiščeni vodi povečala koncentracija nitratov. To lahko preprečimo z zgodnjo ustavitvijo pretoka [Tworth, Ratnayaka, Brandt, 2000].

Poleg tega, da prisotnost sulfatov zmanjša kapaciteto smole za nitrate, se posledično poveča tudi poraba NaCl za regeneracijo. Zato je za vodo, v kateri je razmerje med sulfati (SO_4) in odvečnimi nitrati (N) 3.43:1, bolj varčna uporaba nitrarno selektivnih smol. Te smole pri izmenjavi preferirajo nitrate, zaradi česar odpadejo prej opisane težave.

Površinska obremenitev za odstranjevanje nitratov znaša 30 m/h, torej znaša dnevna produktivnost 576 m³/dan·m, če upoštevamo 20% porabe časa za regeneracijo. Vrednost volumna procesa bi morala biti manjša od 40 volumnov posteljice na uro (BV)/h. Posteljica smole bi naj bila globoka približno 1,5 m, premer posode pa 1-4 m. Čas med dvema zaporednima regeneracijama je funkcija operativnih pogojev in smole. Po zaključenem pretoku je posteljica iz smole očiščena s povratnim pranjem, da se odstranijo odložene trdne snovi, nato pa sledi regeneracija z uporabo 6-10 % raztopine natrijevega klorida. Temu sledi še izplakovanje iz spodnje in nato še zgornje strani. Po tem postopku je smolnata posteljica spet pripravljena za uporabo. Običajno se surova voda uporablja za povratno pranje in prečiščena za izplakovanje. Potrebna količina NaCl za regeneracijo znaša za klasične smole 160 g/l in za selektivne 125 g/l [Tworth, Ratnayaka, Brandt, 2000].

Slabe lastnosti odstranjevanja nitratov z ionsko izmenjavo so:

- v vodi se poveča količina kloridov, zmanjša se alkaliteta vode,
- stranski produkt je odpadna voda z visoko vsebnostjo soli in nitratnih ionov,
- vode, ki vsebujejo velike vsebnosti železa, mangana in organskih substanc, je potrebno predhodno prečistiti, da se zmanjša nalaganje ionov teh snovi v smole.

2.2.2 Biološka denitrifikacija

Biološko denitrifikacijo lahko dosežemo tako z uporabo heterotrofnih kot avtotrofnih bakterij. Te bakterije imajo sposobnost, da za dihanje porabijo kisik vezan v nitratih. Na ta način se nitrati v vodi reducirajo do plinastega dušika.

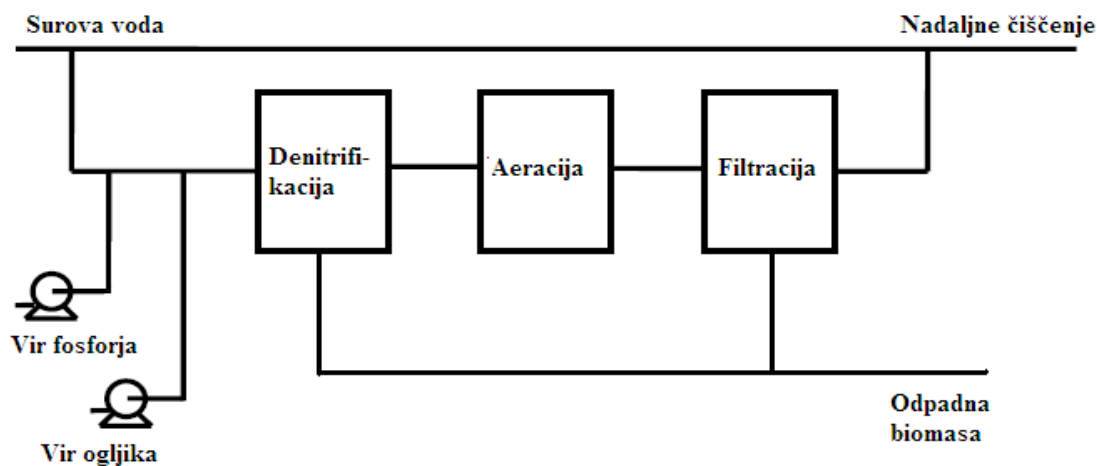
Pri heterotrofni denitrifikaciji bakterije za vir energije rabijo ogljik, zato je potrebno vodi dodati nek vir ogljika. V ta namen se ponavadi uporabljajo enostavni ogljkovodiki, kot recimo etanol, metanol ali očetna kislina, da jih bakterije lahko hitro uporabijo. Dozirati je potrebno zadostno količino teh snovi, da se odstrani raztopljen kisik in nitrati (Preglednica 2). Pri avtotrofni denitrifikaciji se za anorganski vir energije uporablja vodik, žveplo in reducirane oblike žvepla (tiosulfat). Za uspešno rast bakterij je treba včasih vodi dodati tudi fosfor [WHO, 2004].

Preglednica 2: Potrebne doze substrata [WHO, 2004]

Substrat	mg/mg raztopljenega kisika	mg/mg NO ₃
Metanol	1,0	0,56
Etanol	0,5	0,45
Očetna kislina	1,2	0,79

Biološki proces se ponavadi odvija v bioreaktorjih s fiksno posteljico (tok vode je lahko zgoraj ali spodaj) in fluidno posteljico (voda se čisti od spodaj navzgor). Za bioreaktorje s fiksno posteljico se uporabljajo porozni materiali (ekspandirana glina), medtem ko se za utekočinjene posteljice uporablja fin pesek (0,3-0,5 mm). Pri utekočinjeni posteljici teče voda zmešana s substratom od spodaj navzgor s 30 m³/hm², da se zagotovi 40-50 % ekspanzija posteljice in zadrževalni čas 5-10 min. Pred zagonom bioreaktorja je potrebno nekaj časa, da se ustvari biofilm iz bakterij. To lahko traja od štiri do šest tednov. Ko se biomasa poveča, se del peska občasno odstrani, očisti in nato vrne v uporabo. Bioreaktorji s fiksno posteljico delujejo na enak način kot konvecionalni peščeni filtri in se čistijo s povratnim pranjem. Ko voda priteče iz bioreaktorja, vsebuje raztopljen organski ogljik, flokule bakterij in je brez

raztopljenega kisika. Vodo je torej potrebno aerirati in prefiltrirati preko peščenega filtra in filtra z aktivnim ogljem (Slika 10) [WHO, 2004].



Slika 10: Shematski prikaz procesa heterotrofne biološke denitrifikacije [WHO, 2004]

Glede na običajno hkratno pojavljanja nitratov in pesticidov v podtalnici, na območjih, kjer je razširjeno intenzivno kmetijstvo, so se pojavila ugibanja o možni uporabi biodenitrifikacijskih organizmov za degradacijo pesticidov. Ti bi lahko namreč predstavljali tudi vir ogljika. Vendar pa med procesom biodenitrifikacije prihaja do prenizke biodegradacije pesticidov, da bi bilo možno hkratno odstranjevanje nitratov in pesticidov [Ivanuša, 2004].

Biološko denitrifikacijo je možno izkoristiti tudi pri umetnem bogatenju, vendar pa je dodajanje metanola, etanola ali očetne kisline vprašljivo zaradi nekontroliranih razmer v zemljini. Za heterotrofno denitrifikacijo s polnim izkoristkom ogljika so potrebne uravnotežene razmere, ki pa jih je zaradi naravne dinamike težko vzpostaviti [Ivanuša, 2004].

Glavna skrb, ki se pojavlja ob uporabi biološke denitrifikacije, je nevarnost kontaminacije očiščene vode z bakterijami, vir rezidualnega ogljika in možnost nastanka nitritov. Da ne pride do teh problemov, je potreben stalen monitoring in kontrola samega procesa.

2.3 Pesticidi v podtalnici

Fitofarmaceutvska sredstva oziroma pesticidi so snovi organskega, anorganskega ali biotičnega izvora. Glede na ciljno skupino mikroorganizmov jih delimo na insekticide, herbicide, fungicide, nematocide, akaricide, algicide, rodenticide in njihove relevantne razgradne in reakcijske produkte.

Po Pravilniku o pitni vodi (Ur.l. RS št.:19/04 in 35/04) znaša mejna vrednost za vsak posamezen pesticid 0,10 µg/l (za aldrin, dieldrin, heptaklor in heptaklor epoksid je mejna vrednost parametra 0,030 µg/l), mejna vrednost za vsoto vseh najdenih in količinsko določenih pesticidov pa znaša 0,50 µg/l.

Pesticidi pridejo v podtalnico zaradi njihove uporabe na obdelovalnih površinah, parkih, igriščih, cestah in železnicah. Najbolj ogrožena področja podtalnice so tam, kjer je prisotno intenzivno kmetijstvo. V Sloveniji je najslabše stanje v severovzhodnem delu, kjer se nahaja veliko kmetijskih površin (Slika 11). Prav tako je pomembna tudi prepustnost tal in globina podtalnice (pri tanjši plasti je manjša samočistilna sposobnost). Problem pesticidov in njihovih metabolnih produktov je v dolgem zadrževalnem času, procesi razgradnje pa zaradi stabilnega puferskega okolja potekajo počasi. Pri nekaterih pesticidih so njihovi razgradni produkti (metaboliti) celo bolj toksični kot originalni pripravki.

S konvencionalnim čiščenjem se pesticidov iz vode ne da odstraniti, uporaba nekaterih dezinfekcijskih sredstev povzroči transformacijo ali degradacijo pesticidov, nastanejo pa lahko tudi razgradni produkti pesticidov. Kot najprimernejši metodi sta se izkazali filtracija z aktivnim ogljem (v prahu ali granulah) in reverzna osmoza.



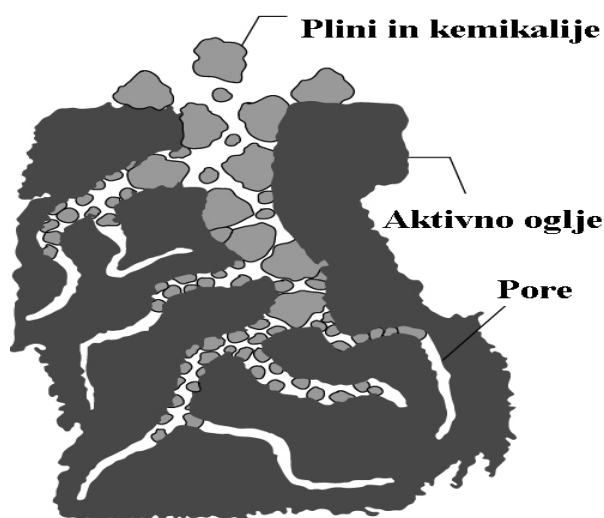
Slika 11: Črpališča z neskladnimi vzorci pitne vode in kemijsko stanje vodnih teles podzemne vode v letu 2005

[Krajnc, 2007]

2.3.1 Odstranjevanje pesticidov z aktivnim ogljem

Odstranjevanje pesticidov z aktivnim ogljem deluje na principu adsorpcije, ki je proces zgoščevanja plinastih ali raztopljenih snovi na površini trdne snovi. Adsorpcijski proces je odvisen od vrste površinsko aktivnega materiala, aktivne površine materiala, kemijske zgradbe in koncentracije nečistoč, ki jih čistimo, temperature, pH-ja, hitrosti pretoka in časa zadrževanja vode v filtru. Privlačne sile, ki omogočajo fizikalno vezavo delcev nečistoč na površino, sestavljajo naslednje medmolekularne privlačne sile: disperzijske sile, sile med dipoli, indukcijske sile, vodikove vezi in kapilarna kondenzacija. Pri aktivnem oglju so dominantne disperzijske sile (Van der Walsove) [Horvat, 2007].

Aktivno oglje (Slika 12) pridobimo s suho destilacijo premoga, kokosovih lupin, lesa ali šote. Pri segrevanju se brez pristopa zraka razvijajo plini, zato nastane porozna snov z veliko aktivno površino glede na volumen. Za dober učinek oglja je potrebno pravilno razmerje med makro, mezo in mikroporami. Makropore so namreč pomembne za čim hitrejšo pot organskih snovi do mikropor, kjer se z adsorpcijo zadrži večina organskih molekul. Z aktivnim ogljem lahko, poleg pesticidov, iz surove vode odstranimo tudi druga mikroonesnaževala in organske snovi, ki povzročajo težave z okusom in vonjem vode.



Slika 12: Prikaz aktivnega oglja [Internetni vir 4]

Z Freundlichovo empirično enačbo lahko določimo adsorpcijsko sposobnost aktivnega oglja.

$$q_e = KC^{1/n} \quad [12]$$

q_e ...adsorbirana količina onesnaževala

$K, 1/n$...karakteristične vrednosti za različne materiale

C ...koncentracija onesnaževala v raztopini

Aktivno oglje se lahko uporablja v obliki prahu (PAC-powdered activated carbon) ali pa granul (GAC-granular activated carbon). V preteklosti se je večinoma uporabljalo oglje v prahu, ki se doda na vtoku v čistilno napravo, za odstranitev dnevni ali sezonskih

onesnaženj. Cena oglja v prahu je sicer manjša od oglja v obliki granul, vendar pa se je zaradi možnosti ponovne reaktivacije oglja v granulah v zadnjem času povečala uporaba le-tega. GAC se torej uporablja, ko se onesnaženje podtalnice s pesticidi pojavlja čez celo leto. Na adsorpcijsko kapaciteto aktivnega oglja za odstranjevanje pesticidov vpliva koncentracija, temperatura, pH, druga organska onesnaževala, kontaktni čas in fizikalno-kemične lastnosti onesnaževala [EPA, 2001].

GAC se lahko reaktivira s segrevanjem na 800°C v vodni pari ali CO₂ ali pa kemično, v tem primeru se do 25% oglja uniči. Po reaktivaciji GAC pridobi skoraj enako adsorpcijsko kapaciteto. Problem, ki se pojavi pri reaktivaciji, je v tem, da se lahko prej adsorbirane kovine izločajo v filtrirano vodo in obenem zmanjšajo adsorpcijsko kapaciteto. Ta problem se reši tako, da se oglje pred uporabo očisti s kislino [Hammer, M. Jr., Hammer, M., 2004].

GAC se uporablja v filtrih (Slika 13), ki so po zasnovi podobni klasičnim hitrim gravitacijskim ali tlačnim filtrom. Namestimo jih za hitrimi gravitacijskimi filtri, ki odstranjujejo motnost vode, saj bi se v nasprotnem primeru, pri velikem vnosu organskih snovi, filtri prehitro mašili. [Hammer, M. Jr., Hammer, M., 2004].

Ko se GAC zasiči z odstranjenim materialom, izgubi adsorpcijske sposobnosti. Zaradi velike aktivne površine lahko postane po nasičenju tudi onesnaževalec vode. Posebno pomembno je to pri tistih filtrih, ki so občasno v uporabi in imajo majhne pretoke, saj lahko postanejo gojišče bakterij. Zato je redno pranje filtrov ključnega pomena. Pranje se izvaja na isti način kot pri peščenih filtrih, s povratnim tokom vode in zraka. Uporaba klora pri pranju ni priporočljiva, saj lahko povzroča probleme. S povratnim pranjem se izpere le del odstranjenega materiala, preostali del pa se nalaga v pore adsorbenta in se ga na ta način ne da očistiti. Po določenem času se pore zapolnijo in adsorpcijski material je treba zamenjati ali pa regenerirati [Horvat, 2007].



Slika 13: Filtri z aktivnim ogljem [Internetni vir 5]

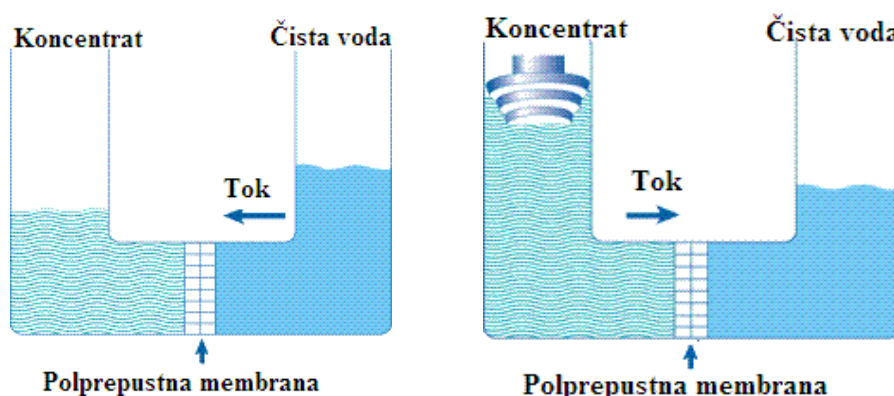
2.3.2 Aktivno oglje v kombinaciji z ozonom

Substance v vodi lahko razdelimo v štiri skupine, glede na to ali so biološko razgradljive in ali se adsorbirajo. Največ težav pri čiščenju je s novmi, ki se malo ali pa sploh ne adsorbirajo in so težko biološko razgradljive. Z dodajanjem ozona pred filtracijo postanejo bolj razgradljive in se jih lažje odstrani. Pravilna izbira lokacije aktivnega oglja in mesta ozoniranja lahko bistveno poveča učinek čiščenja.

Če vodo ozoniramo pred filtriranjem preko filtrov z aktivnim ogljem, s tem povečamo biološko aktivnost na aktivnem oglju. Voda je bogata s kisikom, kar omogoča dobre pogoje za razrast mikroorganizmov. Obenem se podaljša tudi življenska doba oglja, saj ozon razgradi pesticide in organske snovi na manjše (manjša molekulska teža) oziroma lažje razgradljive snovi. Kombinacija ozona in filtracije preko aktivnega oglja je najbolj uspešna metoda za odstranjevanje pesticidov iz vode.

2.3.3 Reverzna osmoza

Običajno normalna osmoza med dvema raztopinama poteče iz nižje koncentracije proti višji. Proces se konča takrat, ko je koncentracija snovi v obeh raztopinah enaka. V primeru reverzne osmoze pa na strani, kjer je koncentracija raztopine večja, povzročimo zunanji tlak, ki je večji od osmotskega, zaradi česar se pretok obrne in bolj koncentrirana raztopina se preko polprepustne membrane še bolj koncentrira (Slika 14).

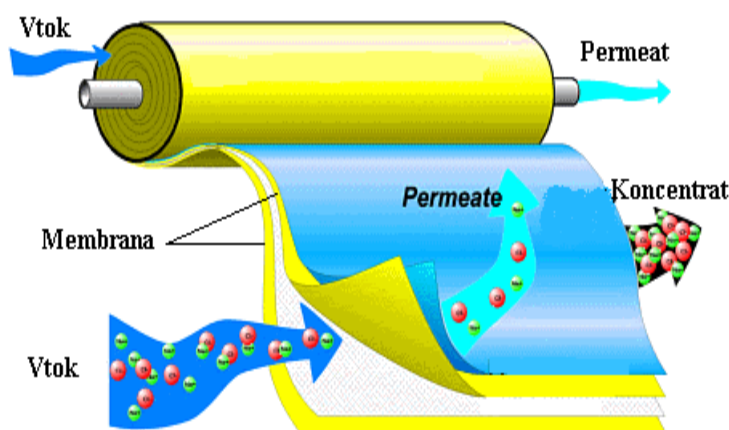


Slika 14: Prikaz osmoze in reverzne osmoze [Internetni vir 6]

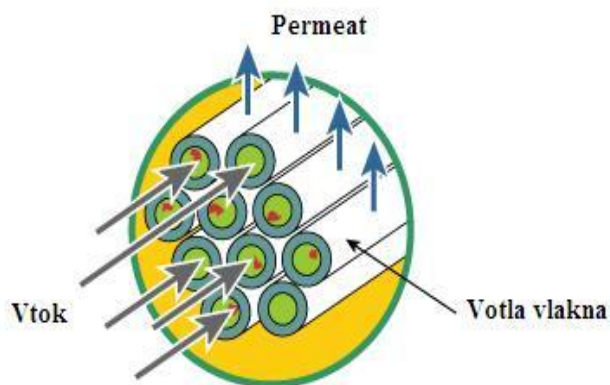
Pri reverzni osmozi se uporablja izključno dinamičen način filtracije (crossflow). V tem primeru napajalni tok teče vzporedno s površino membrane, kot produkt procesa pa dobimo permeat (filtrat) in retentat (koncentrat). Zaradi vzporednega toka pride do učinka odnašanja na površini membrane, kar preprečuje nabiranje snovi na membrani. Ker se ustvari ravnotežje med učinkom odnašanja in odlaganja, ostaja debelina prekrivnega sloja po nekem času konstantna.

V praksi se membrane vgradijo v module, da se prepreči poškodbe membran in omogoči enostavno čiščenje ter servisiranje membran. Najpogosteje se uporabljajo moduli iz votlih vlaken in spiralno naviti moduli (Slika 15, Slika 16). *Module z votlimi vlakni* sestavlja šop tankih vlaken, ki so vgrajena v valjastem ohišju. Ker morajo stene vlaken prenašati precejšnje hidrostatične tlake, imajo vlakna običajno majhne premere in debele stene. Filtracija poteka od zunaj navznoter. Napajalni tok teče po zunanji steni vlaken, kjer je aktivna površina membrane, permeat, ki pronica skozi, pa teče znotraj vlaken. Ti moduli omogočajo zelo

velike specifične površine in so poceni. *Spiralno navit modul* je sestavljen iz membran, porozne plošče za pretok permeata in distančnega elementa. Tak element je navit okoli sredinske perforirane cevi, v kateri se zbira permeat. Spiralni moduli imajo preprosto zgradbo, so kompaktni, imajo sprejemljivo specifično površino in so relativno poceni.



Slika 15: Spiralno navit modul [Internetni vir 7]



Slika 16: Modul iz votlih vlaken [Internetni vir 8]

Membrane so narejene iz celuloznega acetata in njegovih derivatov, poliamidov ali tankoplastnih kompozitov (Preglednica 3). Membrane iz celuloznega acetata dobro prenašajo rezidualni klor (do 1 mg/l), so pa občutljive na pH manjši od 4 in večji od 6,5 in temperature večje od 35°C. Prav tako pa so podvržene biodegradaciji. Poliamidne membrane ne prenesejo klora, delujejo v območju pH 4-9 in niso podvržene biodegradaciji. Kompozitne membrane prav tako ne prenesejo klora [Tworth, Ratnyaka, Brandt, 2000].

Preglednica 3: Primerjava lastnosti različnih vrst membran [Tworth, Ratnyaka, Brandt, 2000]

	Acetatna celuloza	Poliamid	Kompozitne
Pretok vode	N	S	V
pH toleranca	4-6,5	4-9	2-11
Temperaturna stabilnost	max 35°C	max 35°C	max 45°C
Toleranca do oksidantov	V	N	N
Kompaktnost	V	V	N
Biodegradacija	V	N	N
Cena	N	S	V
N = nizko S = srednje V = visoko			

S postopkom reverzne osmoze iz vode odstranimo delce velikosti 0,2-10 nm, soli, patogene mikroorganizme, kovinske ione, trdoto vode in nekatere organske snovi (pesticide, PCB-je, benzene, stranske produkte dezinfekcije,...). Iz vode pa se ne odstranijo raztopljeni plini. Pri odstranjevanju pesticidov je pomembna vrsta membrane. Raziskave so pokazale, da so pri tem najučinkovitejše kompozitne membrane (Preglednica 4).

Preglednica 4: Uspešnost odstranjevanja različnih vrst pesticidov glede na vrsto membrane [EPA, 2001]

Vrsta pesticida	Celulozni acetat	Poliamid	Kompozitne
Triazine	23-59	68-85	80-100
Acetanilide	70-80	57-100	98.5-100
Organochlorine	99.9-100		100
Organophosphorus	97.8-99.9		98.5-100
Urea Derivative	0	57-100	99-100
Carbamate	85.7	79.6-93	>92.9

Slabosti pri uporabi reverzne osmoze so:

- hitro mašenje membran (posledično je treba membrane pogosto čistiti),
- za delovanje so potrebni visoki delovni tlaki,
- visoki stroški,
- velike količine odpadne vode.

2.4 pH pitne vode

Vrednost pH je pomemben dejavnik pri skoraj vseh procesih čiščenja pitne vode. Je merilo za kislost oziroma bazičnost vzorca ali prisotnost vodikovih oziroma hidroksilnih ionov. Definiran je kot negativni dekadični logaritem koncentracije vodikovih ionov:

$$\text{pH} = -\log [\text{H}^+] = \log (1/[\text{H}^+]) \quad [13]$$

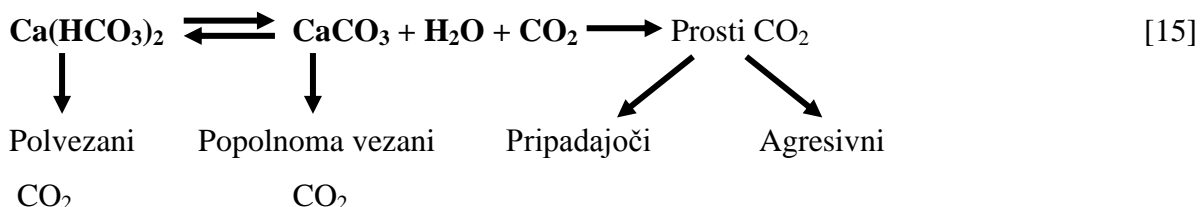
Ko je koncentracija vodikovih in hidroksilnih ionov enaka (1×10^{-7}), je pH raztopine nevtralen.

$$\text{pH} = -\log [\text{H}^+] = -\log (1 \times 10^{-7}) = -(-7) = 7 \quad [14]$$

Snovi s $\text{pH} < 7$ so kisle, ker vsebujejo višjo vsebnost H^+ ionov. Snovi s pH večjim od 7 so alkalne, ker vsebnostjo višjo vsebnost OH^- kot H^+ ionov. Skala pH je logaritemska in sprememba ene enote pH pomeni spremembo vsebnosti vodikovih ionov za faktor 10 [Lee, Lin, 2000].

V večini naravnih vod je pH povezan z ravnotežjem ogljikovega dioksida, hidrogenkarbonata in karbonata in s tem tudi s trdoto vode (mehke vode imajo nižjo pH vrednost, trde vode pa višjo). Običajni pH v podzemnih vodah je med 6 in 8,5. Ekstremne vrednosti v pitni vodi so lahko posledica nezdod, napak v pripravi vode ali sproščanja iz materialov v stiku z vodo (npr. cementne cevi) [IVZ, 2008].

Enačba 15 prikazuje razmerje med kemičnimi spojinami, ki v vodi določajo karbonatno razmerje [Rismal, 2001].



Določeni koncentraciji kalcijevega hidrogenkarbonata $\text{Ca(HCO}_3\text{)}_2$ (v raztopljeni obliki) pripada določena koncentracija CaCO_3 (v netopni obliki) in določena koncentracija proste ogljikove kisline. Ob znižanju koncentracije CO_2 preide hidrogenkarbonat v neraztopljeni CaCO_3 . Agresivni del CO_2 povzroča, odvisno od presežene koncentracije, korozijo na železnih ceveh in topi prisoten apnenec v betonskih (salonitnih) ceveh in drugih betonskih konstrukcijah. Če je koncentracija CO_2 v vodi manjša od pripadajoče, se karbonatno ravnotežje ponovno vzpostavi z znižanjem $\text{Ca(HCO}_3\text{)}_2$. Posledica je izločanje netopnega apnenca na ostenja vodovodnih cevi ali v peščenih filtrih čistilnih naprav [Rismal, 2001].

Karbonatno trdoto, ki jo poleg kalcijevih tvorijo tudi magnezijevi mono in bikarbonati, poimenujemo tudi kot prehodno, ker se kalcij in magnezij izločita pri segrevanju vode. Kloridi, nitrati, sulfati, fosfati in silikati kalcija ter magnezija, ki se iz vode ne izločijo, pa tvorijo "stalno trdoto" vode. Skupno trdoto vode tvori torej vsota karbonatne (prehodne) in nekarbonatne (stalne) trdote.

Karbonatno ravnotežje kontroliramo z Langelierjevim indeksom saturacije, ki je razlika med merjenim pH in pH_s , pri katerem sta CO_2 in CaCO_3 v ravnotežju.

$$I = \text{pH} - \text{pH}_s \quad [16]$$

Če je $I=0$, je voda v karbonatnem ravnotežju. Pozitivna vrednost I pomeni prezasičenost vode s CaCO_3 (prihaja do odlaganja CaCO_3), pri negativni vrednosti pa ima voda sposobnost raztapljanja CaCO_3 [Rismal, 2001].

V Pravilniku o pitni vodi (Ur.l. RS št.:19/04 in 35/04) je parameter koncentracija vodikovih ionov (pH vrednost) uvrščen v Prilogo 1, del C, med indikatorske parametre. Za pitno vodo je določena mejna vrednost med 6,5 in 9,5. V skupini indikatorskih parametrov je pH zato, ker mejna vrednost ne temelji na podatkih o nevarnostih za zdravje ljudi, pač pa na osnovi vpliva pH na materiale v stiku z vodo ter na učinkovitost dezinfekcije vode (za učinkovito dezinfekcijo s klorom naj bo pH manj kot 8).

Vpliv koncentracije vodikovih ionov (pH vrednost) na zdravje ljudi je lahko posreden ali neposreden. Neposredna izpostavljenost ekstremno visokemu ali nizkemu pH povzroča draženje oči, sluznic in kože ter okvaro tkiva. Ekstremne vrednosti, ki bi povzročile take poškodbe (npr. pod 4 ali nad 11), v sistemih za oskrbo s pitno vodo niso običajne. Med posredne vplive štejemo povečanje korozije materialov v stiku z vodo z nizko pH vrednostjo. Posledica korozije je lahko kontaminacija vode, sprememba okusa in videza ter tudi poškodbe na materialu [IVZ, 2008].

Pri čiščenju podtalne vode je pH torej pomemben zaradi korozije, učinkovitosti dezinfekcije s klorom in tudi oksidacije železa in mangana. Korekcijo pH dosežemo:

- z dodajanjem ogljikovega dioksida ali kislih raztopin (H_2SO_4) vodi,
- z dodajanjem alkalnih raztopin (natrijev karbonat, natrijev bikarbonat, apno, natrijev hidroksid) vodi,
- z zračenjem vode,
- s filtracijo vode preko razdrobljenega kalcita ali marmorja,
- s filtracijo vode preko magnomase.

Spremljanje vrednosti parametra pH v pitni vodi omogoča hitro in enostavno zaznavanje sprememb lastnosti vode na terenu. Zaradi vpliva na korozijo in postopke priprave je eden najpomembnejših operativnih (tehnoloških) parametrov. Pri obratovanju sistema za oskrbo s pitno vodo je potrebno stalno spremljanje in korekcija pH vrednosti vode v postopku priprave in pred vstopom vode v distribucijski sistem. V primeru odstopanj od predpisanih vrednosti mora upravljavec takoj ugotoviti vzroke neskladnosti pH vrednosti ter s pregledom celega

sistema za oskrbo s pitno vodo preveriti njegovo stanje in ukrepati v skladu z ugotovitvami. V kolikor pH doseže vrednosti pri porabniku manj kot 4 ali več kot 11, je potrebna prekinitev dobave vode[IVZ, 2008].

3 ČIŠČENJE VODNIH VIROV NA LEVEM BREGU MURE

Ureditev vodnih virov na levem bregu Mure se izvaja v sklopu priprave državnega lokacijskega načrta za ureditev celovite oskrbe prebivalstva s pitno vodo in varovanja vodnih virov Pomurja. Območje državnega lokacijskega načrta zajema 19 občin Prekmurja in 7 občin Prlekije.

Zaradi pomembnosti, zahtevnosti in celovitosti problematike sta oskrba prebivalstva s pitno vodo in varovanje vodnih virov v Pomurju uvrščena med prednostne naloge v programu izvajanja projektov državne infrastrukture, projekt pa je tudi med tistimi, ki jih bo financirala Evropska unija iz kohezijskih skladov. Oskrba prebivalstva s kakovostno pitno vodo v Pomurju je precej pod doseženo ravni v slovenskem prostoru ter predstavlja zdravstveni in socialni problem. Ti problemi so povezani s pomanjkanjem urejenih javnih vodovodnih sistemov v nekaterih pomurskih občinah (predvsem na območju Goričkega), zagotavljanjem zadostne količine pitne vode, zagotavljanjem zahtevane kakovosti vode iz nekaterih virov in neustrezno organizacijo upravljanja javnih vodovodnih sistemov. Zaradi naštetih problemov je Pomurje veliko deficitarno območje v Sloveniji [*Ur.l. RS, št. 40/2006*].

Cilj varne in dolgoročne oskrbe prebivalstva s pitno vodo in varovanja vodnih virov v Pomurju je nasloniti se na manjše število zajetij in zagotoviti nov ključni vodni vir, ki bo steber vodne oskrbe, ter vključiti vodne vire, ki bodo zagotavljali ugodne hidravlične razmere v vodovodnih sistemih.

Za dolgoročno obdobje do leta 2030 je predvidena poraba 150 l/oseba/dan, kar pomeni, da bo v letu 2030 za oskrbo pomurskega prebivalstva s pitno vodo potrebnih 700 l/s vode na dan. Celovita razvojna zasnova te oskrbe za vse Pomurje sloni na postopnem izključevanju vodnih virov, ki se nadomestijo s ključnimi večjimi vodnimi viri. Uvede se skupen regijski vodovodni sistem za Prekmurje in Prlekijo. V sistem celovite oskrbe prebivalstva s pitno vodo in varovanja vodnih virov v Pomurju je treba vključiti nova zajetja, količinsko razširiti obstoječe vodne vire, katerih kakovost je ustrezna, in zgraditi tranzitne cevovode s

spremljajočimi objekti. Del te kakovostne dolgoročne oskrbe mora zajeti tudi načrt ukrepov v izrednih razmerah [*Ur.l. RS, št. 40/2006*].

3.1 Pregled predlaganih tehnologij čiščenja za vodne vire na levem bregu Mure

Opisane tehnologije čiščenje so bile predlagane s strani podjetja Vodnar d.o.o. kot idejna zasnova v okviru projekta: Oskrba prebivalstva s pitno vodo in varovanje vodnih virov Pomurja. Opisani vodni viri so vsi na levem bregu Mure, razen vodnega vira Vučja vas, ki se nahaja na desnem bregu.

Pri izdelavi idejne zasnove je podjetje uporabilo obstoječe katastre vodovodov, tehnološke projekte za tretiranje vod iz vodnih virov Pomurja: "Strokovna izhodišča za izdelavo projektne in investicijske dokumentacije do faze PGD za investicijski projekt: Ureditev celovite oskrbe prebivalstva s pitno vodo in varovanje vodnih virov Pomurja" (prof. Mitja Rismal), delno ohranjeno projektno dokumentacijo, hidrogeološka poročila in analize vzorcev obdelane in neobdelane vode.

Za vodna vira Krog in Dokležovje je bilo na osnovi organoleptičnih, fizikalnih, kemijskih in bioloških analiz med seboj primerjanih več različnih variant varovanja vodnih virov in čiščenja surove vode. Variante so bile med seboj primerjane z različnimi kriteriji, ki so bili ovrednoteni z oceno od 1 do 10 in ponderirani glede na pomembnost.

3.1.1 Vodni vir Krog

Vodni vir Krog, ki ga dopolnjujeta vodna vira Črnske meje in Fazanarija, je glavni vodni vir vodovodnega omrežja Murska Sobota, ki pokriva celotno občino Murska Sobota in del občin Moravske Toplice, Cankova in Puconci. Lociran je JZ od naselja Krog v občini Murska Sobota, od reke Mure pa je oddaljen približno 250 m. Vodni vir napaja podtalnica, na gladino katere vplivajo padavine in gladina reke Mure. Zaledje vodnega vira je obremenjeno z

intenzivnim kmetijstvom in ponekod z neustrezno ali pomankljivo ureditvijo kanalizacijskega sistema na območjih poselitve.

Voda iz vodnega vira Krog je bila v preteklih letih dobre kvalitete in je bila v skladu s pravilnikom. V zadnjem času pa so se v vodi pojavile prekoračene vrednosti pesticidov (mejne vrednosti je prekoračil pesticid metolaklor-ESA), medtem ko mejne vrednosti nitratov niso bile nikoli presežene. Onesnaženje vode s pesticidi je posledica intenzivnega kmetijstva v bližini vodnega vira. Ostalih polutantov ni prisotnih v vodi.

Izdatnost obstoječega vodnega vira Krog je 100 l/s. Na samem vodnem viru je vodnjak z glavnim črpališčem in dve vrtini. V črpališču je locirana tudi naprava za dezinfekcijo s plinskim klorom. Ker se vsi objekti nahajajo na poplavnem območju, so vrtine z nasutjem dvignjene nad poplavno koto.

Izdelanih je 8 variant tehnoloških linij za pripravo pitne vode:

1. zajem vode v reki Muri, grobi filter, aeracija na kaskadah, ponikanje, črpanje, tlačni filtri z aktivnim ogljem (AC), dezinfekcija z plinskim klorom;
2. zajem vode v reki Muri, koagulacija in flokulacija, lamelni usedalnik, aeracija na kaskadah, ponikanje, črpanje, tlačni filtri z AC, dezinfekcija z plinskim klorom;
3. zajem vode v reki Muri, koagulacija in flokulacija, lamelni usedalnik, tlačni peščeni filtri, aeracija na kaskadah, ponikanje, črpanje, tlačni filtri z AC, dezinfekcija z plinskim klorom;
4. črpanje in demanganizacija vode v črpališču Vučja vas, ponikanje, črpanje, tlačni filtri z AC, dezinfekcija z plinskim klorom;
5. zajem vode v reki Muri, grobi filter, aeracija na kaskadah, ponikanje, črpanje, dodajanje aktivnega oglja v prahu (PAC), mikrofilter, ultrafiltracija (UF), dezinfekcija z plinskim klorom;
6. zajem vode v reki Muri, koagulacija in flokulacija, lamelni usedalnik, aeracija na kaskadah, ponikanje, črpanje, dodajanje PAC, mikrofilter, UF, dezinfekcija z plinskim klorom;

7. zajem vode v reki Muri, koagulacija in flokulacija, lamelni usedalnik, tlačni peščeni filtri, aeracija na kaskadah, ponikanje, črpanje, dodajanje PAC, mikrofilter, UF, dezinfekcija z plinskim klorom;
8. črpanje in demanganizacija vode v črpališču Vučja vas, ponikanje, črpanje, dodajanje PAC, mikrofilter, UF, dezinfekcija z plinskim klorom.

Varianta 1

Voda za zaščito vodnih virov Krog in Dokležovje se bo zajemala iz reke Mure in prečrpavala do predhodne čistilne naprave (ČN), kjer se bo očistila do te mere, da bo primerna za ponikanje. Zajemalo se bo 250 l/s vode. Zajetje vode bo izvedeno z zajemno glavo v strugi reke Mure. Lokacija in oblika zajemne glave bo izvedena tako, da ne bo spreminjala pretočnosti struge ali kako drugače kvarno vplivala na njene brežine. Na zajemni glavi bodo nameščene grobe rešetke, ki bodo preprečevale vstop večjim plavajočim kosom v črpališče. Voda bo od zajemne glave tekla po cevi DN 700 do armiranobetonskega črpalnega objekta.

Črpalni objekt, dimenzij 4 x 5 m, bo sestavljen iz podzemnega dela, kjer bo zgrajen peskolov in črpalni bazen ter iz nadzemnega dela, ki bo dvignjen nad poplavno koto. V nadzemnem delu bosta montirana elektro omarica in oprema za posluževanje z vodovodno armaturo in drugo strojno opremo črpališča. V peskolovu se bodo odstranili delci večji od 0,5 mm, voda bo nato iz peskolova odtekala v črpalni bazen, kjer bodo montirane tri potopne črpalke, vsaka s kapaciteto $Q = 85 \text{ l/s}$, $H = 8 \text{ m}$, ki bodo črpale vodo do predhodne ČN.

Objekt predhodne ČN bo zgrajen skupaj s končno ČN za poplavnimi nasipi Mure ob lokalni cesti Krog – Vučja vas. Skupaj bo objekt meril 74 x 45 m, od tega bo del pokrit (13 x 45 m), del z grobimi filtri pa bo odkrit (61 x 45 m). V sklopu objekta obeh ČN bodo zgrajeni tudi komandni prostor, pisarna, sanitarije, garderoba, bazen za čisto vodo, linija blata, skladišče za dezinfektant in prostor za črpalke.

- Predhodna ČN

Kapaciteta predhodne ČN za čiščenje vode za ponikanje bo 250 l/s vode. Voda bo najprej pritekala na štiri grobe filtre mer 20 x 30 m, povprečne višine 2,2 m, kjer bodo odstranjeni suspendirani delci. Filtri bodo polnjeni s pranim prodom premera 2 - 3 cm, 5300 m³ skupnega volumna. Po približno štirih do šestih letih bo potrebno celoten filtrski material zamenjati. Hidravlična obremenitev grobih filtrov bo 3,6 m/h. Iz grobih filtrov bo voda preko prelivnega roba gravitacijsko odtekala na kaskade, kjer bo ozračena. Voda nasičena s kisikom bo gravitacijsko odtekala na ponikovalna polja.

- Končna ČN

Kapaciteta končne ČN za pitno vodo bo 100 l/s. Surova voda se bo črpala iz obstoječega vodnjaka na tlačne filtre z AC. V filtrih se bodo odstranile organske snovi in razni mikropolutanti, med drugim pesticidi, ki trenutno presegajo mejne vrednosti za pitno vodo. Vgrajenih bo šest filtrov z AC premera 2,4 m, s površino vsakega 4,53 m². Skupaj bo imelo vseh šest filtrov 27,2 m² površine. Hidravlična obremenitev filtrov bo 12 m/h, zadrževalni čas v filtrih pa bo znašal 10 minut. Filtri se bodo prali s povratnim tokom vode in občasno s paro. Umazana voda od pranja filtrov bo tretirana v bazenu vode od pranja in s filtrskimi vrečami.

Prefiltrirana voda bo odtekala v bazen čiste vode, ki bo služil kot nabira za pranje filtrov in kot nabira za črpanje v omrežje. Volumen bazena čiste vode bo 150 m³. Črpališče, ki bo montirano v objektu končne ČN, bo pitno vodo iz bazena za čisto vodo prečrpavalo v omrežje. Pred črpanjem se bo voda dezinficirala s plinskim klorom.

Onesnažena voda od pranja bo odvedena v poseben kompenzacijski bazen umazane vode s koristno prostornino 80 m³, ki bo imel konusno izoblikovano dno in montirano potopno mešalo. V bazen se bo avtomatsko doziral flokulant. Na dnu odsedlo blato bo prečrpano v filtrske vreče. Na cevovodu za odvod blata bo v blato injektiran polielektrolit. Vreče, ki bodo napolnjene z blatom, bo pred odvozom na urejeno komunalno deponijo potrebno odcediti v posebnem delu objekta.

- Ponikovalna polja

Zgrajena bodo 4 ponikovalna polja, kjer bo ponikalo 100 l/s delno očiščene vode iz predhodne ČN. Do prvega ponikovalnega polja bo položena dovodna cev DN 350, nato bo ob ponikovalnih poljih položena cev DN 250. Da bo lahko vsako polje obratovalo zase, bo imelo urejen lasten dotok, na katerem bo montiran zasun z vgradno armaturo. Polja bodo široka do 5 m, skupne dolžine približno 1000 m, kar bo omogočalo preprosto vzdrževanje. Zaradi poplavnega območja bo nasip okoli ponikovalnih polj dvignjen za en meter nad koto okoliškega terena. Tako se bo preprečilo mešanje vode pri pogostejših preplavitvah okoliškega terena. Na nasipu bo urejena makadamska pot, ki bo namenjena vzdrževanju in kontroli ponikovalnih polj. Ponikovalna polja bodo sonaravno urejena in ne bodo izstopala iz okolice.

Varianta 2

Lokacija in zunanja ureditev predhodne in končne ČN ter objekta za zajem vode bosta enaki kot pri varianti 1. Tloris obeh ČN bo dimenzije 30 m x 22 m. Tehnološki in spremljajoči objekti bodo razporejeni v dveh etažah. V objektu bodo zgrajeni enaki spremljajoči objekti kot pri varianti 1.

- Predhodna ČN

Kapaciteta predhodne ČN za čiščenje vode za ponikanje bo 250 l/s vode. Voda bo najprej vtekala v reakcijske bazene. Zgrajeni bosta dve liniji s tremi reakcijskimi bazeni, v katerih bo potekala koagulacija in flokulacija. Surovi vodi bo v prvem reakcijskem bazenu, z vgrajenim mešalom za hitro mešanje, dodajan koagulant – aluminijev sulfat ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$) – pripravljen kot raztopina. Količina koagulanta bo dozirana avtomatsko in bo odvisna od motnosti vode. Prvi bazen bo kvadratne oblike s stranico dolžine 2.2 m in površino $S = 4,84 \text{ m}^2$. Globina bazena bo 2.5 m. Drugi bazen, ki bo služil za dodajanje pomožnega koagulanta ali popraviljanje pH, bo kvadratne oblike površine $4,84 \text{ m}^2$, globine 2.5 m in z vgrajenim mešalom za hitro mešanje. Zadrževalni čas v prvem in drugem bazenu bo 100 s. V tretjem bazenu, z vgrajenim počasnim mešalom, se bodo tvorile flokule. Njegova površina bo 20,25

m², globina 3 m, zadrževalni čas pa bo znašal 4 min. Iz bazena za flokulacijo se bo voda prelivala v lamelni usedalnik. Zgrajena bosta dva lamelna usedalnika kvadratne tlorisne oblike. Na dnu lamelnih usedalnikov bo prostor za nabiro in zgoščevanje ter izpust blata. Pri površinski obremenitvi 1,2 m/h bo imel vsak lamelni usedalnik površino 94,1 m² (9,7 m x 9,7 m). Globina usedalnika bo 7,3 m. Iz lamelnega usedalnika bo voda odtekala v aeracijski bazen. S kisikom obogatena voda bo gravitacijsko odtekala v ponikovalna polja.

Končna ČN in ponikovalna polja so že opisana pri varianti 1.

Varianta 3

Lokacija in zunanja ureditev predhodne in končne ČN ter objekta za zajem vode bosta enaki kot pri varianti 1. Tloris obeh ČN bo dimenzije 40 m x 22 m. Tehnološki in spremljajoči objekti bodo razporejeni v dveh etažah. V objektu bodo zgrajeni enaki spremljajoči objekti kot pri varianti 1.

- Predhodna ČN

Kapaciteta predhodne ČN za čiščenje vode za ponikanje bo 250 l/s vode. Bazeni za flokulacijo, koagulacijo in lamelni usedalnik bodo enaki kot pri varianti 2. Iz lamelnih usedalnikov se bo voda črpala na tlačne peščene filtre. Zgrajenih bo šest tlačnih peščenih filtrov s premerom 3.2 m in površino posameznega filtra 8 m². Površinska obremenitev filtrov bo 20 m/h. Filtri bodo polnjeni z belim kremenčevim peskom granulacije zrn $d = 0,84 - 1,2$ mm, debelina sloja filtra bo znašala 1,5 m. Po filtraciji bo voda ozračena na kaskadah, nakar bo gravitacijsko odtekala na ponikovalna polja.

Končna ČN in ponikovalna polja so že opisana pri varianti 1.

Varianta 4

Voda za zaščito vodnih virov Krog in Dokležovje se bo črpala na vodnem viru Vučja vas, ki se nahaja na desnem bregu reke Mure. Lokacija predvidenega črpališča pri Vučji vasi ima

večjo varnost zaradi naravnega poteka struge in posledično toka podzemne vode. V vodi je bila ugotovljena prisotnost mangana, zato bo na samem črpališču izvedeno čiščenje železa in mangana v vodonosniku. Tako bo voda očiščena do stopnje primerne za ponikanje.

Voda očiščena železa in mangana bo v predhodni ČN Vučja vas črpana po ceveh DN 500 na levi breg reke Mure proti vodnima viroma Krog in Dokležovje. Prečkanje reke Mure bo izvedeno z obešanjem na mostno konstrukcijo v dolžini približno 180 m. Na levem bregu bo ob obstoječi lokalni cesti zgrajen razcep proti vodnemu viru Krog in vodnemu viru Dokležovje. Proti vodnemu viru Krog bo položena cev DN 350 pod lokalno makadamsko cesto do ponikovalnih polj. Razvod vode med ponikovalnimi polji in oprema bosta enaka kot pri varianti 1.

- Končna ČN

Voda namenjena varovanju in bogatenju vodnega vira Krog bo črpana in očiščena v vodnem zajetju Vučja vas, zato bo potrebno zgraditi le končno ČN za vodo, ki bo distribuirana v omrežje. Lokacija bo enaka kot pri varianti 1. Tloris končne ČN bo dimenzije 20 m x 14,5 m.

Končna ČN in ponikovalna polja so že opisana pri varianti 1.

Variante 5-8

Pri variantah 5-8 bo predhodno čiščenje vode za bogatenje in samo varovanje in bogatenje vodnega vira Krog izvedeno na enak način kot pri prvih štirih variantah. Drugačno bo le končno čiščenje vode, ki bo potekalo z ultrafiltracijo (UF). Gradbeno bo objekt skupne ČN enak kot pri variantah od 1 do 4. Le pri varianti 6 bo objekt za 4 m daljši kot pri varianti 2 (34 x 22 m).

- Končna ČN

Kapaciteta končne ČN za čiščenje vode za porabo bo 100 l/s vode. Obogatena podtalnica bo iz obstoječega črpališča prečrpana do končne ČN v bazen za doziranje PAC (prah zrnastost <

1 mm), ki bo dodajan avtomatsko glede na meritve prisotnosti TOC. Bazen za doziranje PAC, v katerem bo vgrajeno potopno mešalo, bo imel volumen 50 m^3 . Poraba PAC je odvisna od vsebnosti organskih snovi v surovi vodi. Iz bazena bo voda črpana na tlačno mikrosito ($100 \mu\text{m}$) z avtomatskim pranjem. Po končani predfiltraciji bo voda odtekala na tri UF sklope, ki bodo sestavljeni iz modulov. Vsak sklop bo sestavljen iz 30 modulov in bo imel površino približno 15 m^2 . V modulih bodo membrane v obliki cevčic premera $0,8 \text{ mm}$. Hitrost vode v enem modulu bo $Q = 1,2 \text{ l/s}$.

Po ultrafiltraciji bo voda odtekala v bazen čiste vode, ki bo imel koristni volumen 150 m^3 . Pred vtokom v bazen se bo vodi dodajal plinski klor za dezinfekcijo. Črpališče, ki bo montirano v objektu končne ČN, bo pitno vodo iz bazena za čisto vodo prečrpavalo v omrežje.

Pranje UF membran bo potekalo s povratnim tokom vode in dodatki, ki jih predpiše proizvajalec membran. Umazana voda od pranja bo odtekala v bazen umazane vode, ki bo imel volumen 80 m^3 .

Zaključek

Po medsebojni primerjavi in ponderiranju ocenjenih kriterijev je najboljše ocenjena varianta 4. Kvaliteta vode namenjene ponikanju je pri tej varianti najboljša, kvaliteta vode namenjene potrošnji pa je ekvivalentna prvim trem variantam. Začetna investicija je druga najcenejša. Pri tej varianti bodo stroški vzdrževanja in stroški obratovanja (električne energije in kemikalij) najmanjši.

Kot druga najbolj ugodna varianta se je izkazala varianta 2. Ta varianta je najcenejša in ima, kot varianta 4, zelo majhne stroške vzdrževanja. Poleg naštetega je voda namenjena ponikanju, očiščena na predhodni ČN, zadovoljive kvalitete.

3.1.2 Vodni vir Dokležovje

To bo novi vodni vir, ki bo lociran gorvodno od naselja Dokležovje na poplavnem območju reke Mure. Območje, ki je predvideno za izgradnjo novega črpališča, je poraščeno z gozdom. Naselje Dokležovje se nahaja 750 m dolvodno od predvidenega vodnega vira. Blizu (dolvodno od naselja Dokležovje) lokacije predvidenega vodnega vira je bil izveden črpalni poizkus, med katerim je bil vzet tudi en vzorec za kakovostno analizo vode. Ugotovljeno je bilo, da le mangan presega mejne vrednosti pravilnika za pitno vodo (poleg mangana se bodo verjetno pojavile tudi prevelike vsebnosti železa). Povišane vrednosti mangana in železa so najverjetneje posledica kamninske sestave vodonosnika. Voda ni obremenjena z nitrati ali pesticidi.

Izdelane so 3 variante tehnoloških linij za pripravo pitne vode:

1. ponikanje, črpanje, aeracija v bazenu, nalivanje v vodnjake, odstranjevanje železa in mangana v vodonosniku, črpanje, tlačni filtri z aktivnim ogljem (AC), dezinfekcija s plinskim klorom;
2. ponikanje, črpanje, aeracija v bazenu, črpanje, tlačni BIRM filtri, tlačni filtri z aktivnim ogljem (AC), dezinfekcija s plinskim klorom;
3. ponikanje, črpanje, aeracija v bazenu, nalivanje v vodnjake, odstranjevanje železa in mangana v vodonosniku, črpanje, PAC, črpanje, mikrofilter, UF, dezinfekcija s plinskim klorom.

Varianta 1

Izdatnost vodnega vira bo 230 l/s. Črpanje vode bo urejeno v 12-ih vrtinah, ki bodo med seboj oddaljene 80 m. Linija vodnjakov bo potekala vzdolž struge reke Mure in bo od nje oddaljena od 90 do 260 m. Poleg vodovarstvanih pasov bo izvajano varovanje s ponikanjem vode na ponikovalnih poljih, s čimer se bo vodni vir tudi bogatil. Voda namenjena ponikanju bo zajeta in tretirana enako kot pri vodnem viru Krog (opisane so 4 različne variante). Voda bo od

skupne predhodne ČN, kjer bo očiščena do stopnje primerne za ponikanje, črpana po cevi DN 400 do ponikovalnih polj.

Objekt obeh ČN (ČN za demanganizacijo in končne ČN) bo površine 552 m² (24 x 23 m). V sklopu objekta obeh ČN bodo zgrajeni tudi komandni prostor, pisarna, sanitarije, garderoba, bazen za čisto vodo, linija blata, skladišče za dezinfektant in prostor za črpalke.

- ČN za demanganizacijo

Kapaciteta ČN za tretiranje vode za odstranjevanje mangana bo 300 l/s. Celoten proces bo potekal ciklično in bo sestavljen iz črpanja, aeriranja in nalivanja. En cikel bo sestavljen iz 10 ur črpanja v aeracijski objekt, nato iz 7 ur nalivanja nazaj v vrtino in za tem 3 ure mirovanja, da se zagotovi zadosten kontaktni čas, skupaj 20 ur. Proces bo nastavljen tako, da bodo sosednje vrtine delovale vsaka v svojem delu cikla. Ko se bo iz ene vrtine črpalo, se bo v sosednjo vrtino nalivalo ali pa bo mirovala in obratno. Prostornina bazena za aeriranje, v katerega bodo vgrajeni injektorji, bo 100 m³. Iz njega se bo voda prelivala v bazen za odzračevanje velikosti 50 m³. Od tu bo odtekala nazaj v vrtine, kjer bo nalivana nazaj v vodonosnik.

- Končna ČN

Kapaciteta končne ČN za pitno vodo bo 230 l/s. Surova voda bo črpana iz vrtin na 8 tlačnih filtrov z AC, premera 3,3 m in skupne površine 68,4 m. Hidravlična obremenitev filtrov bo 12 m/h, zadrževalni čas v filtrih pa bo 10 min. Tlačne filtre z AC se bo pralo s povratnim tokom vode in občasno s paro. Umazana voda od pranja filtrov bo tretirana v bazenu vode od pranja in s filtrskimi vrečami.

Prefiltrirana voda bo odtekala v bazen čiste vode, ki bo služil kot nabira za pranje filtrov, kot izravnalni volumen zaradi demanganizacije in kot nabira za črpanje v omrežje. Volumen bazena čiste vode bo 900 m³. Od tu bo voda preko dezinfekcije s plinskim klorom črpana v omrežje. Črpalnišče, ki bo montirano v objektu končne ČN, bo pitno vodo iz bazena za čisto vodo prečrpavalo v omrežje.

- Ponikovalna polja

Zgrajena bodo 4 ponikovalna polja povprečne širine 5 m, skupne dolžine 880 m, na katerih bo ponikalo 150 l/s delno očiščene vode. Do prvega ponikovalnega polja bo položena dovodna cev DN 400, nato bo ob ponikovalnih poljih položena cev DN 250. Da bo lahko vsako polje obratovalo zase, bo imelo urejen lasten dotok, na katerem bo montiran zasun z vgradno armaturo. Zaradi poplavnega območja bo nasip okoli ponikovalnih polj dvignjen za en meter nad koto okoliškega terena. Tako se bo preprečilo mešanje vode pri pogostejših preplavitvah okoliškega terena. Na nasipu bo urejena makadamska pot, ki bo namenjena vzdrževanju in kontroli ponikovalnih polj. Ponikovalna polja bodo sonaravno urejena in ne bodo izstopala iz okolice.

Varianta 2

Varovanje in bogatenje vodnega vira bo enako kot pri varianti 1. Lokacija in postavitve vrtin bosta tudi enaki kot pri varianti 1, vendar bo zaradi drugačne tehnologije odstranjevanja mangana potrebno zgraditi 6 vrtin. Lokacija in zunanja ureditev objekta obeh ČN bo enaka kot pri varianti 1. Floris obeh ČN bo dimenzije 33 m x 24 m. V istem objektu bo hkrati potekalo demanganizacija in končno poliranje vode na tlačnih AC filterih. V objektu bodo zgrajeni enaki spremljajoči objekti kot pri varianti 1.

- Končna ČN (skupaj z demanganizacijo)

Kapaciteta končne ČN za pitno vodo bo 230 l/s. Voda bo najprej iz vrtin pritekala v bazen za aeracijo. Aeracija bo izvajana z injektorji. S kisikom nasičena voda bo nato črpana na tlačne filtre polnjene z BIRM materialom. Pri površinski obremenitvi filtrov 8 m/h in zadrževalnemu času 6 min bo zgrajenih 8 filtrov s skupno površino 105 m². Iz BIRM filtrov bo voda odtekala v končno ČN. Pranje filtrov se bo izvajalo s povratnim tokom vode. Umazana voda od pranja filtrov bo odtekala v bazen umazane vode velikosti 140 m³. Iz tlačnih filtrov z BIRM materialom bo voda odtekala na AC filtre in končno dezinfekcijo. Tehnologija čiščenja pitne vode in linija blata bosta enaki kot pri varianti 1.

Varianta 3

Varovanje vodnega vira in demanganizacija bosta potekala enako kot pri varianti 1, prav tako bo enaka lokacija, postavitev in število vrtin. Tloris obeh ČN bo dimenzije 27 x 23 m. V istem objektu bo hkrati potekala demanganizacija in končna membranska filtracija.

- Končna ČN

Kapaciteta končne ČN za pitno vodo bo 230 l/s. Voda bo iz vodnjakov črpana v bazen za doziranje PAC (prah zrnavost < 1 mm), ki bo dodajan avtomatsko glede na meritve prisotnosti TOC. Iz bazena bo voda črpana na tlačno 100 µm sito z avtomatskim pranjem. Po končani predfiltraciji bo voda odtekala na šest UF sklopov, ki bodo sestavljeni iz modulov. Vsak sklop bo sestavljen iz 32 modulov in bo imel površino približno 16 m². V modulih bodo membrane v obliki cevčic premera 0,8 mm. Hitrost vode v enem modulu bo $Q = 1,2$ l/s.

Po ultrafiltraciji bo voda odtekala v bazen čiste vode, ki bo imel koristni volumen 500 m³. Pred vtokom v bazen se bo vodi dodajal plinski klor za dezinfekcijo. Črpališče, ki bo montirano v objektu končne ČN, bo pitno vodo iz bazena za čisto vodo prečrpavalo v omrežje. Pranje UF membran bo potekalo s povratnim tokom vode in dodatki, ki jih predpiše proizvajalec membran. Umazana voda od pranja bo odtekala v bazen umazane vode, ki bo imel volumen 100 m³.

Zaključek

Po medsebojni primerjavi in ponderiranju ocenjenih kriterijev je najboljše ocenjena varianta 1. Kot druga najbolj ugodna varianta se je izkazala varianta 2, pri kateri se bo odstranjevanje železa in mangana odvijalo v tlačnih filtrih z BIRM materialom. Kvaliteta očiščene vode je pri tej varianti ekvivalentna kvaliteti vode pri predlagani varianti 1.

3.1.3 Vodni vir Hraščice

Vodni vir Hraščice je lociran SV od naselja Hraščice v občini Beltinci, približno 4 km od naselja Beltinci. Je edini izkoriščani vodni vir v občini Beltinci in napaja celotno občino. Napaja ga podtalnica, na gladino katere vplivajo padavine. Zaledje vodnega vira je večinoma poraščeno z gozdom, delno pa ga obdajajo kmetijske površine. Zaradi bližine intenzivnega kmetijstva obstaja nevarnost kontaminacije s pesticidi. Izdatnost vira Hraščice, na katerem je zgrajena ena vrtina s črpalko in dozirna naprava za dezinfekcijo, je 30 l/s, predvideno pa je povečanje na 80 l/s.

Voda iz vodnega vira Hraščice je dobre kvalitete, saj so bili odvzeti vzorci v skladu s pravilnikom o pitni vodi. Analize vode so pokazale na prisotnost atrazina in njegovih razgradnih metabolitov ter nitratov, vendar je pri teh polutantih opaziti ternd upadanja. Občasno pade pH vrednost pod predpisano vrednost. Najverjetnejši vzrok onesnaženja s pesticidi in nitrati je posledica intenzivnega kmetijstva v bližini vodnega vira, medtem ko je nihanje vrednosti pH lahko posledica prisotnosti proste ogljikove kisline (CO_2) v vodi.

Predlagana tehnologija čiščenja v liniji čiste vode vsebuje naslednje tehnološke postopke:

- črpanje, tlačni filtri z aktivnim ogljem (AC), aeracija na kaskadah in dezinfekcija s plinskim klorom.

Podtalnica bo črpana iz vrtin v objekt ČN, ki bo lociran v bližini vrtin in bo tlorisnih mer 20 x 14,5 m. V ČN bo postavljenih 5 tlačnih filtrov premera 2,4 m, s površinsko obremenitvijo približno 12 m/h in zadrževalnim časom 10 min. Filtri bodo prani s povratnim tokom vode in občasno s paro. Umazana voda od pranja filtrov bo tretirana v bazenu vode od pranja in s filtrskimi vrečami.

Voda očiščena na AC filtrih bo odtekala v aeracijski bazen, kjer se bo voda aerirala na kaskadah. Od tu bo voda odtekala v bazen čiste vode, ki bo služil kot nabira za pranje filtrov in kot nabira za črpanje v omrežje. Volumen bazena čiste vode bo 150 m³. Od tu bo voda

preko dezinfekcije s plinskim klorom črpana v omrežje. Črpališče, ki bo montirano v objektu končne ČN, bo pitno vodo iz bazena za čisto vodo prečrpavalo v omrežje.

3.1.4 Vodni vir Turnišče

Vodni vir Turnišče je lociran na severnem robu naselja Turnišče v občini Turnišče. Je edini izkoriščani vodni vir v občini Turnišče in napaja celotno občino. Napaja ga podtalnica, na gladino katere vplivajo padavine. Zaledje vodnega vira je večinoma poraščeno z gozdom, delno pa ga obdajajo kmetijske površine. Zaradi bližine intenzivnega kmetijstva obstaja nevarnost kontaminacije s pesticidi. Izdatnost vira Hraščice, na katerem je zgrajena ena vrtina s črpalko, dozirna naprava za dezinfekcijo in stolpni vodohran, je 30 l/s.

Voda iz vodnega vira Turnišče je dobre kvalitete, saj so bili odvzeti vzorci v skladu s pravilnikom o pitni vodi. Analize vode so pokazale na prisotnost atrazina in njegovih razgradnih metabolitov ter nitratov, vendar je pri teh polutantih opaziti trend upadanja. Občasno pade pH vrednost pod predpisano vrednost. Najverjetnejši vzrok onesnaženja s pesticidi in nitrati je posledica intenzivnega kmetijstva v bližini vodnega vira, medtem ko je nihanje vrednosti pH lahko posledica prisotnosti proste ogljikove kisline (CO_2) v vodi.

Predlagana tehnologija čiščenja v liniji čiste vode vsebuje naslednje tehnološke postopke:

- črpanje, tlačni filtri z aktivnim ogljem (AC), aeracija na kaskadah in dezinfekcija s plinskim klorom.

Podtalnica bo črpana iz vrtin v objekt ČN, ki bo lociran v bližini vrtin in bo tlorisnih mer 18 x 12 m. V ČN bodo postavljeni 3 tlačni filtri premera 2 m, s površinsko obremenitvijo približno 12 m/h in zadrževalnim časom 10 min. Filtri bodo prani s povratnim tokom vode in občasno s paro. Umazana voda od pranja filtrov bo tretirana v bazenu vode od pranja in s filtrskimi vrečami.

Voda očiščena na AC filtrih bo odtekala v aeracijski bazen, kjer se bo voda aerirala na kaskadah. Od tu bo voda odtekala v bazen čiste vode, ki bo služil kot nabira za pranje filtrov in kot nabira za črpanje v omrežje. Volumen bazena čiste vode bo 70 m^3 . Od tu bo voda preko dezinfekcije s plinskim klorom črpana v omrežje. Črpališče, ki bo montirano v objektu končne ČN, bo pitno vodo iz bazena za čisto vodo prečrpavalo v omrežje.

4 IDEJNA ZASNOVA ČN ZA VODNI VIR ČRNSKE MEJE

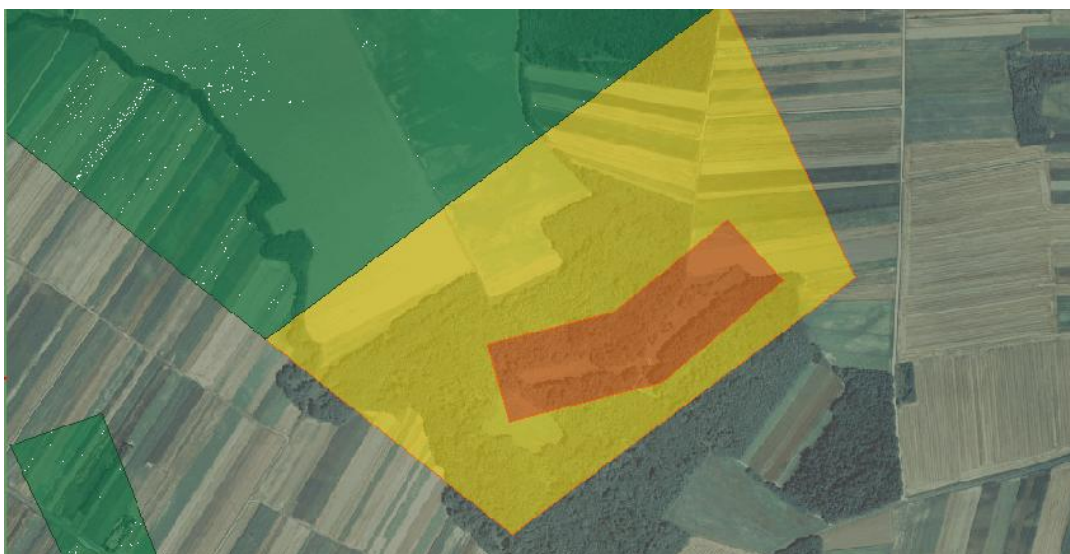
4.1 Opis obstoječega stanja in ogroženost vodnega vira

Vodni vir Črnske meje je starejše črpališče (staro približno 30 let), katerega pomembnost in zmogljivost sta se z leti precej zmanjšala. Napaja ga podtalnica, na gladino katere vplivajo padavine. Ima en centralni vodnjak s črpalno kapaciteto približno 60 l/s, v katerega se po principu natege steka voda še iz 10 manjših pomožnih vodnjakov. Leži ob glavni cesti, 4 km pred Mursko Soboto. V njegovem 2. vodovarstvenem pasu je približno 30 ha njiv (Slika 17).

Na isti lokaciji se nahaja računalniški center za avtomatsko nadziranje in upravljanje vseh funkcij delovanja vodovodnega sistema in skladišče rezervnih delov za popravila in vzdrževanje cevovodov. Ne izvajajo nobene čiščenja vode, razen občasne dezinfekcije s plinskim klorom (0,1 mg/l) v primeru večjih del na omrežju ali drugih nepredvidenih dogodkov (npr. v primeru večjega bakteriološkega onesnaženja vode).

4.2 Analiza vzorcev surove vode

Skladnost pitne vode z veljavno zakonodajo kontrolira ZZV Murska Sobota, ki v skladu z notranjo kontrolo (HACCP) na omrežju tedensko odvzame tri vzorce za redne mikrobiološke preiskave in enkrat mesečno en vzorec za kemijske preiskave, zlasti na vsebnost nitratov in pesticidov. Nadzor nad kvaliteto pitne vode se v obliki občasnih preizkušanj izvaja v okviru državnega monitoringa. Vsi ostali izredni pojavi v pitni vodi pa se spremljajo v okviru izrednega nadzora, katerega vrsta in obseg se prilagajajo glede na vzrok in lokacijo.



Slika 17: Vodovarstvena območja vodnega vira Črnske meje [ARSO, 2008]

V vzorcih vzeti v zadnjih letih so bile prekoračene vrednosti za nitrate in pesticide. Pojavljata se pesticida desetil-atrazin in metolaklor-ESA. Vzrok za prekoračene vrednosti pesticidov in nitratoev je v izvajanju kmetijskih dejavnosti v neposredni bližini (Slika 18). V vodi se pojavljajo tudi prevelike koncentracije železa in mangana, kar je verjetno posledica kamninske sestave vodonosnika. Analize kažejo, da znaša koncentracija železa 2 mg/l, mangana 0,1 mg/l, koncentracija nitratoev pa dosega vrednosti do 70 mg/l.



Slika 18: Lokacija vodnega vira Črnske meje [ARSO, 2008]

4.3 Dimenzioniranje

Aeracija z difuznimi aeratorji

Za uspešno odstranjevanje železa in mangana mora biti v vodi prisotna minimalno določena koncentracija kisika. Koncentracija kisika v vodi, ki se črpa iz vodnjaka, je blizu 0 mg/l. Za oksidacijo 1 mg/l železa je potrebno 0,14 mg/l kisika, za oksidacijo 1 mg/l mangana pa je potrebno 0,29 mg/l kisika. Glede na koncentracijo železa in mangana v črpani vodi, ki znaša 2 mg/l za železo in 0,1 mg/l za mangan, znaša minimalna potrebna koncentracija kisika v aerirani vodi 0,4 mg/l.

Difuzni aeratorji razpršijo zrak, da nastanejo fini majhni mehurčki, ki se nato dvigajo proti površini vode. Za aeracijo bodo potrebni 4 difuzorji, dolžine 2 m, s premerom 3,2 cm in teže 3 kg. Pretok zraka za posamezen difuzor znaša 6 m³/h, kar je dovolj za približno 0,3 kg/h prenosa kisika v vodo. Po koncu aeracije bo koncentracija kisika v vodi znašala 5 mg/l.

Ker so difuzorji narejeni iz fleksibilnega materiala, se razne obloge enostavno odluščijo od površine difuzorjev. Če bi prišlo do zamašitve zaradi oksidacije železa, se difuzorje enostavno potegne iz bazena in očisti s curkom vode ali upogibanjem z rokami. Podatke o difuzorjih sem pridobil s spletne strani podjetja Dryden Aqua [www.drydenaqua.com].

Tlačni filtri z aktivnim ogljem

V vodi se pojavlja pesticid metolaklor. Za filtre sem izbral kontaktni čas (EBCT) 10 min in površinsko obremenitev 12 m/h. Freundlichove kostante odčitam iz tabele [Mezzari, 2006]. Izračun je narejen po [Lin, 2001]. Izračun prikazujejo enačbe od [17] do [32].

$$\rho_{\text{GAC}} = 480 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{EBCT} = 10 \text{ min} = 600 \text{ s}$$

$$Q = 60 \text{ l/s} = 0,06 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$v_0 = 12 \text{ m/h} = 0,0033 \text{ m/s}$$

$$1/n = 0,125$$

$$K (\mu\text{g/g})(1/\mu\text{g})^{1/n} = 98,2$$

$$C_1 = 0,1 \mu\text{g}$$

Potrebna površina filtrov.

$$S = \frac{Q}{v_0} = \frac{0,06}{0,0033} = 18 \text{ m}^2 \quad [17]$$

Izberem 4 filtre.

$$S_{\text{filtra}} = 18/4 = 4,5 \text{ m}^2 \Rightarrow S = \pi \cdot r^2 \Rightarrow r = \sqrt{\frac{S}{\pi}} = 1,2 \text{ m} \Rightarrow d = 2r = 2,4 \text{ m} \quad [18]$$

Volumen aktivnega oglja.

$$V_{\text{GAC}} = \text{EBCT} \cdot Q = 600 \cdot 60 = 36 \text{ m}^3 \quad [19]$$

$$m_{\text{GAC}} = V \cdot \rho_{\text{GAC}} = 36 \cdot 480 = 17280 \text{ kg} \quad [20]$$

Višina filtra. Zaradi ekspanzije filterskega materiala pri povratnem pranju je celotna višina filtra za 40% večja od višine oglja.

$$h = \frac{V}{S} = \frac{36}{18} = 2 \text{ m} \quad [21]$$

$$h_k = h \cdot 1,4 = 2,8 \text{ m} \quad [22]$$

Efektivni premer zrna za izbrano oglje je 0,7 mm, koeficient enakomernosti pa znaša 1,7 (izbral sem oglje filtrisorb F400, proizvajalca Chemviron Carbon). Iz teh podatkov izračunam d_{60} [23] in d_{90} [24]:

$$d_{60} = \text{UC} \cdot d_{10} = 1,36 \text{ mm} \quad [23]$$

$$d_{90} = d_{10} \cdot (101,67 \cdot \log \text{UC}) = 1,94 \text{ mm} \quad [24]$$

Za določitev hidravličnega upora skozi GAC sloj uporabim Kozeny-jevo enačbo [25]:

$$\frac{h}{L} = \frac{k\mu(1-\varepsilon)^2}{g\rho\varepsilon^3} \left(\frac{A}{v}\right)^2 \nu \quad [25]$$

Pri čemer je:

h...hidravlični upor v filtrskem sloju

L...debelina filtrskega sloja

k...Kozeny-jeva konstanta, 5

g...težnostni pospešek

μ ...dinamična viskoznost vode

ρ ...gostota vode

ε ...poroznost, 0,5

v...hitrost filtriranja

A/V...razmerje površine in prostornine zrna

Razmerje površine in prostornine zrna določim z enačbo [26]:

$$\frac{A}{V} = \frac{6}{\Psi d_e} \quad [26]$$

Pri čemer je:

ψ ...koeficient okroglosti (0,7 za oglje)

Enačbo [26] vstavim v enačbo [25] in izračunam hidravlični upor v 2 m debelem GAC sloju:

$$h = \frac{2 \cdot 5 \cdot 1,13 \cdot 10^{-3} \cdot (1 - 0,5)^2}{9,81 \cdot 999 \cdot 0,5^3} \left(\frac{6}{0,7 \cdot 0,0007} \right)^2 \cdot 0,00333 = 0,56m$$

Za določitev hitrosti pralne vode [28] je potrebno izračunati Galilejevo število [27] ($\rho_{GAC} = 0,48g/cm^3$).

$$G_n = \frac{d_{90}^3 \cdot \rho(\rho - \rho_{GAC}) \cdot g}{\mu^2} = 19750 \quad [27]$$

$$v = \frac{\mu}{\rho \cdot d_{90}} (1135,69 + 0,0408 \cdot G_n)^{0,5} - \frac{33,7 \cdot \mu}{\rho \cdot d_{90}} = 0,68 \text{ cm/s} \quad [28]$$

Upoštevam še varnostni faktor.

$$v = 0,68 \text{ cm/s} \cdot 1,3 = 0,88 \text{ cm/s} = 31,8 \text{ m/h} \quad [29]$$

Življenska doba oglja. Izračun je narejen glede na prekoračene vrednosti pesticida metolaklor. Dejanska doba oglja se lahko bistveno razlikuje glede na ostala prisotna onesnaževala v črpani vodi.

$$q_e = K \cdot C_1^{1/n} = 98,2 \cdot 0,1^{0,125} = 73,64 \text{ mg/g} \quad [30]$$

$$Z = \frac{q_e \cdot \rho_{GAC}}{C_0 - C_1} = 207923 \text{ l vode/l GAC} \quad [31]$$

$$t_{\text{let}} = Z \cdot V_{\text{gac}} / V_{\text{vode}} = 4 \text{ leta} \quad [32]$$

Gravitacijski filtri z aktivnim ogljem

Izračun je narejen po [Lin, 2001], prikazujejo ga enačbe od [33] do [37].

$$\rho_{GAC} = 480 \text{ kg/m}^3$$

$$EBCT = 10 \text{ min} = 600 \text{ s}$$

$$Q = 60 \text{ l/s} = 0,06 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$v_0 = 10 \text{ m/h} = 0,0027 \text{ m/s}$$

Potrebna površina filtrov.

$$S = \frac{Q}{v_0} = \frac{0,06}{0,0027} = 21,6 \text{ m}^2 \quad [33]$$

Izberem 2 filtra.

$$S_{\text{filtra}} = 21,6/2 = 10,8 \text{ m}^2 \quad [34]$$

Izberem dolžino $L = 4,5 \text{ m}$ in širino $B = 2,4 \text{ m}$

Višina posteljice.

$$h = \frac{V}{S} = \frac{36}{21,6} = 1,7 \text{ m} \quad [35]$$

Volumen aktivnega oglja.

$$V_{GAC} = EBCT \cdot Q = 600 \cdot 60 = 36 \text{ m}^3 \quad [36]$$

$$m_{GAC} = V \cdot \rho_{GAC} = 36 \cdot 480 = 17280 \text{ kg} \quad [37]$$

Tlačni filtri z BIRM materialom

S filtri z BIRM materialom se iz vode obenem odstranita železo in mangan. Za filtre sem izbral kontaktni čas (EBCT) 6 min in površinsko obremenitev 8 m/h. Izračun je narejen po [Lin, 2001], prikazujejo ga enačbe od [38] do [42].

$$\rho_{\text{birm}} = 760 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{EBCT} = 6 \text{ min} = 360 \text{ s}$$

$$Q = 60 \text{ l/s} = 0,06 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$v_0 = 8 \text{ m/h}$$

Potrebna površina filtrov.

$$S = \frac{Q}{v_0} = \frac{0,06 \cdot 3600}{8} = 27 \text{ m}^2 \quad [38]$$

Volumen BIRM-a.

$$V_{\text{birm}} = \text{EBCT} \cdot Q = 360 \cdot 0,06 = 21,6 \text{ m}^3 \quad [39]$$

$$M_{\text{birm}} = V \cdot \rho_{\text{birm}} = 21,6 \cdot 760 = 16416 \text{ kg} \quad [40]$$

Izberem 4 filtre.

$$S = 27/4 = 6,75 \text{ m}^2 \quad \Rightarrow \quad S = \pi \cdot r^2 \quad \Rightarrow \quad r = \sqrt{\frac{S}{\pi}} = 1,47 \text{ m} \quad \Rightarrow \quad d = 2r = 2,93 \text{ m} \quad [41]$$

Dejanski premer filtrov bo znašal 3 m.

Višina posteljice. Zaradi ekspanzije filtrskega materiala pri povratnem pranju je celotna višina filtra za 40% večja od višine posteljice.

$$h = \frac{V}{S} = \frac{21,6}{27} = 0,8 \text{ m} \quad [42]$$

Gravitacijski filtri z BIRM materialom

Površinska obremenitev in kontaktni čas sta enaka kot pri tlačnih filtrih. Izračun je narejen po [Lin, 2001], prikazujejo ga enačbe od [43] do [47].

$$\rho_{\text{birm}} = 760 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{EBCT} = 6 \text{ min} = 360 \text{ s}$$

$$Q = 60 \text{ l/s} = 0,06 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$v_0 = 8 \text{ m/h}$$

Potrebna površina filtrov.

$$S = \frac{Q}{v_0} = \frac{0,06 \cdot 3600}{8} = 27 \text{ m}^2 \quad [43]$$

Izberem 2 filtra.

$$S_{\text{filtra}} = 27/2 = 13,5 \text{ m}^2 \quad [44]$$

Izberem dolžino $L = 5,2 \text{ m}$ in širino $B = 2,6 \text{ m}$

Volumen BIRM-a.

$$V_{\text{birm}} = \text{EBCT} \cdot Q = 360 \cdot 0,06 = 21,6 \text{ m}^3 \quad [45]$$

$$M_{\text{birm}} = V \cdot \rho_{\text{birm}} = 21,6 \cdot 760 = 16416 \text{ kg} \quad [46]$$

Višina posteljice.

$$h = \frac{V}{S} = \frac{21,6}{27} = 0,8 \text{ m} \quad [47]$$

Tlačni filtri z zelenim peskom

S filtri z zelenim peskom se iz vode obenem odstranita železo in mangan. Ker železo predstavlja glavni problem, se bo uporabljala kontinuirna regeneracija zelenega peska s kalijevim permanganatom. Površinska obremenitev filtrov bo 10 m/h . Izračun je narejen po [Lin, 2001], prikazujejo ga enačbe od [48] do [56].

$$\rho_{\text{birm}} = 1400 \text{ kg/m}^3$$

$$\rho_{\text{antracita}} = 800 \text{ kg/m}^3$$

$$Q = 60 \text{ l/s} = 0,06 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$v_0 = 8 \text{ m/h}$$

Potrebna površina filtrov.

$$S = \frac{Q}{v_0} = \frac{0,06 \cdot 3600}{8} = 27 \text{ m}^2 \quad [48]$$

Izberem 4 filtre.

$$S = 27/4 = 6,8 \text{ m}^2 \quad \Rightarrow \quad S = \pi \cdot r^2 \quad \Rightarrow \quad r = \sqrt{\frac{S}{\pi}} = 1,5 \text{ m} \quad \Rightarrow \quad d = 2r = 3 \text{ m} \quad [49]$$

Kontaktni čas. Višina posteljice bo znašala 1 m, 0,6 m bo zelenega peska in 0,4 m antracita. Zaradi ekspanzije filtrskega materiala pri povratnem pranju je celotna višina filtra za 40% večja od višine posteljice.

$$t = \frac{h}{v_0} = \frac{1}{8} = 7,5 \text{ min} \quad [50]$$

Volumen zelenega peska.

$$V = t \cdot Q = 7,5 \text{ min} \cdot 0,06 = 27 \text{ m}^3 \quad [51]$$

$$M_{\text{peska}} = V_{\text{peska}} \cdot \rho_{\text{peska}} = 16,2 \cdot 1400 = 22680 \text{ kg} \quad [52]$$

$$M_{\text{antracita}} = V_{\text{antracita}} \cdot \rho_{\text{antracita}} = 10,8 \cdot 800 = 8640 \text{ kg} \quad [53]$$

Določitev porabe KMnO_4 .

$$\text{Mg/l KMnO}_4 = (1 \text{ x mg/l Fe}) + (2 \text{ x mg/l Mn}) \quad [54]$$

$$\text{Mg/l KMnO}_4 = 2 + 0,2 = 2,2 \text{ mg/l}$$

Čas med pranjem filtrov. Zeleni pesek ima kapaciteto 700 g/m^2 oksidirane železa in mangana.

$$V_{\text{vode}} = \frac{\text{kapaciteta peska}}{\text{poraba}} \cdot \text{površina} = 700/2,2 = 318 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot 21,3 \text{ m}^2 = 6745 \text{ m}^3 \quad [55]$$

$$t = V/Q = 6745 \text{ m}^3 / 216 \text{ m}^3/\text{h} = 31 \text{ h} \quad [56]$$

Ionska izmenjava

Za odstranjevanje nitratov iz vode bomo uporabili nitratno selektivne smole, ki za regeneracijo potrebujejo 10 % raztopino NaCl. Delež vode, ki se bo čistil na smolah, je določen tako, da bo koncentracija nitratov v zmešani vodi 20 mg/l. Izračun je narejen po [Lin, 2001], prikazujejo ga enačbe od [57] do [70].

$$C_2 = 70 \text{ (mg/l)}$$

$$C_1 = 5 \text{ (mg/l)}$$

$$C = 20 \text{ (mg/l)}$$

$$Q = 60 \text{ l/s}$$

$$C_1 \cdot Q_1 + C_2 \cdot Q_2 = C \cdot Q \quad [57]$$

$$5 \cdot Q_1 + 70 \cdot Q_2 = 20 \cdot 60 \quad \Rightarrow \quad Q_2 = 60 - Q_1 \quad [58]$$

$$70 \cdot Q_1 = 3000$$

$$Q_1 = 46 \text{ l/s}$$

Količina odstranjenih nitratov na cikel, ki traja 24 ur.

$$C_e = 70 \text{ mg/l} = 1,13 \text{ meq/l}$$

$$C_i = 5 \text{ mg/l} = 0,08 \text{ meq/l}$$

$$(C_e - C_i) \cdot 3.974.400 \text{ l/cikel} = 4.166.710 \text{ meq/cikel} \quad [59]$$

Po podatkih proizvajalca (Rohm and Haas) znaša kapaciteta smole 900000 meq/m^3 . Iz tega podatka izračunam potreben volumen smole.

$$BV = \text{količina nitratov na cikel} / \text{kapaciteta smole} \quad [60]$$

$$BV = 4,64 \text{ m}^3$$

Minimalna višina posteljice smole je po podatkih proizvajalca [Rohm and Haas, 2008] 0,6 m, izberem 0,8 m. Iz višine posteljice izračunam površino filtrov in površinsko obremenitev.

$$S = BV/h \quad [61]$$

$$S = 4,64/0,8 = 5,8 \text{ m}^2$$

$$v_0 = Q/S = 29 \text{ m/h} \quad [62]$$

Izberem tri posode in izračunam premer posamezne posode. Pri hitrosti povratnega pranja 5 m/h znaša ekspanzija posteljice 50 % (Rohm and Haas). Iz tega podatka določim potrebno višino posode.

$$S_1 = S/2 = 2,9 \text{ m}^2 \quad [63]$$

$$d = \sqrt{\frac{S \cdot 4}{\pi}} = 1,9 \text{ m} \quad [64]$$

$$h = 0,8 \cdot 1,5 = 1,2 \text{ m} \quad [65]$$

Minimalna količina soli za regeneracijo znaša 80 g/l, ob kontaktnem času 20 min.

$$m_{\text{soli}} = V \cdot \rho_{\text{soli}} \quad [66]$$

$$m_{\text{soli}} = 4,64 \cdot 80 = 371,6 \text{ kg}$$

Ker se smola regenerira z 10% raztopino soli, izračunam skupno količino vode in soli. Nato še izračunam skupni volumen vode in soli.

$$\rho_{\text{soli}} = 690 \text{ kg/m}^3$$

$$\rho_{\text{vode}} = 999 \text{ kg/m}^3$$

$$m_{\text{skupna}} = m_{\text{soli}} \cdot 10 \quad [67]$$

$$m_{\text{skupna}} = 371,6 \cdot 10 = 3716 \text{ kg}$$

$$m_{\text{vode}} = m_{\text{skupna}} - m_{\text{soli}} \quad [68]$$

$$m_{\text{vode}} = 3716 - 371,6 = 3344,5 \text{ kg}$$

$$V_{\text{vode}} = m_{\text{vode}} / \rho_{\text{vode}} \quad [69]$$

$$V_{\text{vode}} = 3344,5/999 = 3,35 \text{ m}^3$$

$$V_{\text{smole}} = 371,6/690 = 0,54 \text{ m}^3$$

Volumen rezervoarja mora biti zadosti velik za vsaj tri regeneracijske cikle.

$$V_{\text{rezervoarja}} = 3 \cdot (V_{\text{vode}} + V_{\text{smole}}) = 3 \cdot (3,35 + 0,54) = 12 \text{ m}^3 \quad [70]$$

Ultrafiltracija

Ultrafiltracijski moduli so izdelani v tovarni in se jih nato običajno v ČN dostavi s tovornjaki. Različno število modulov je združeno v posamezen sklop. Te ultrafiltracijske enote so že opremljene s črpalkami in nadzornim centrom. Ultrafiltracijsko linijo sem dimenzioniral po podatkih proizvajalca, podjetja Degremont.

Izbral sem sistem, ki omogoča prečno (cross flow) filtracijo, saj bi uporaba aktivnega oglja v prahu pri čelni (dead end) filtraciji prehitro zamašila membrane. Izbral sem tri sklope z 22 moduli, skupaj 66 modulov. Posamezen modul ima kapaciteto med 5-6 m³/h, kapaciteta ČN pa znaša 216 m³/h. Skupna kapaciteta ultrafiltracijske naprave je torej 150% pretoka. Hitrost vode v modulu bo 1,4 l/s. Kvaliteta zadrževanja (cut-off) membranskega materiala mora biti 0,01 μm.

En sklop ima dimenzije 8,7 x 2,36 x 2,5 m in tehta 4,1 tone. Površina posameznega sklopa je 21 m². Pričakovana življenska doba membran je od 5 do 7 let. Voda za povratno pranje membran se bo črpala iz bazena čiste vode.

Dezinfekcija

Ker analize vode v preteklosti niso pokazale prisotnosti mikroorganizmov, se bo izvajala rezidualna dezinfekcija. Predpostavim, da je nivo prostega rezidualnega klora 0,5 mg/l. Koncentracije amonijaka v vodi so manjše od 0,02 mg/l, zato ni pričakovati formiranja kloraminov.

Urna količina klora je zmnožek urnega pretoka in koncentracije klora:

$$m(\text{Cl}_2) = 216000 \text{ l/h} \cdot 0,5 \text{ mg Cl}_2/\text{l} = 108 \text{ g Cl}_2/\text{h} \quad [71]$$

Na dan potrebujemo torej približno 3 kg Cl₂. Izberem klorinator z maksimalno kapaciteto do 10 kg/h, z možnostjo doziranja 0,1 kg/h Cl₂.

4.4 Opisi posameznih variant čiščenja

Predlaganih je pet variant tehnoloških linij za pripravo pitne vode:

1. črpanje vode, aeracija z difuzorji, tlačni BIRM filtri, tlačni filtri z aktivnim ogljem (AC), ionska izmenjava (odstranjevanje nitratov), dezinfekcija s plinskim klorom;
2. črpanje vode, tlačni filtri z zelenim peskom, tlačni AC filtri, ionska izmenjava, dezinfekcija s plinskim klorom;
3. črpanje vode, aeracija z difuzorji, gravitacijski BIRM filtri, gravitacijski AC filtri, ionska izmenjava, dezinfekcija s plinskim klorom;
4. črpanje vode, aeracija z difuzorji, nalivanje, odstranjevanje Fe in Mn v vodonosniku, tlačni AC filtri, ionska izmenjava, dezinfekcija s plinskim klorom;
5. črpanje vode, aeracija z difuzorji, tlačni BIRM filtri, dodajanje aktivnega oglja v prahu, ultrafiltracija, ionska izmenjava, dezinfekcija s plinskim klorom.

4.4.1 Varianta 1

Kapaciteta čistilne naprave za pitno vodo bo 60 l/s. V objektu bodo poleg filtrov in bazenov zgrajeni še komandni prostor, pisarna, sanitarije, skladišče za kemikalije in garderoba. Črpanje se bo izvajalo na obstoječi vrtini. Voda bo črpana v bazen za aeracijo velikosti 20 m³, ki bo obenem služil kot uravnavni bazen. Aeracija se bo izvajala z difuznimi aeratorji, ki bodo nameščeni na dno bazena. V bazen bodo nameščeni 4 difuzorji z dolžino dva metra, kar bo zadostovalo, da se koncentracija kisika v vodi zviša na 5 mg/l. Iz aeracijskega bazena se bo voda prelivala v bazen za odzračevanje velikosti 10 m³.

S kisikom obogatena voda bo nato črpana na tlačne filtre polnjene z BIRM materialom. Hitrost filtracije bo 8 m/h, zadrževalni čas bo znašal 6 minut. Skupna površina filtrov bo 28 m². Zgrajeni bodo 4 filtri, posamezen filter bo imel površino 7 m² in premer 3 m. Za delovanje BIRM filtra mora biti v vodi zadostna koncentracija kisika (15% koncentracije železa v vodi) in pH vode mora biti vsaj 6,8. Črpana voda ima pH okrog 7, z aeracijo se bo ta vrednost nekoliko zvišala. Pred črpanjem vode na filtre se bo izvajalo avtomatsko merjenje pH. Če bi se izkazalo, da je pH črpane vode prenizek za dobro delovanje filtrov, se bodo vodi dodajala sredstva za zvišanje pH.

Ko bo tlak za filtrom padel za 2 m, se bo filter opral s povratnim tokom vode hitrosti 30 m/h, da dosežemo 35% ekspanzijo posteljice. Po povratnem pranju bo sledilo še spiranje filtra v smeri filtracije. Voda od povratnega pranja in spiranja bo odtekala v bazen umazane vode velikosti 60 m³.

Iz BIRM filtrov bo voda odtekala na tlačne filtre z aktivnim ogljem. Hitrost filtracije bo 8 m/h, zadrževalni čas bo znašal 10 minut. Skupna površina filtrov bo 18 m². Zgrajeni bodo 4 filtri, posamezen filter bo imel površino 4,52 m² in premer 2,4 m. S filtriranjem preko aktivnega oglja se bodo iz vode izločili pesticidi in izboljšale organoleptične lastnosti vode. Aktivno oglje bo imelo efektivni premer zrna 0,7 mm, koeficient enakomernosti 1,7 in vsaj 1000 m²/g aktivne površine.

Filtre se bo pralo na vsake tri tedne, kar pa se lahko spremeni glede na dejanske razmere, ko bodo filtri obratovali. Pranje se bo izvajalo s povratnim tokom vode s hitrostjo 30 m/h, da dosežemo 30% ekspanzijo posteljice. Po povratnem pranju bo sledilo še spiranje filtra v smeri filtracije. Voda od povratnega pranja in spiranja bo odtekala v bazen umazane vode. Čez nekaj let, ko bo izgubilo adsorpcijske lastnosti, se mora oglje zamenjati.

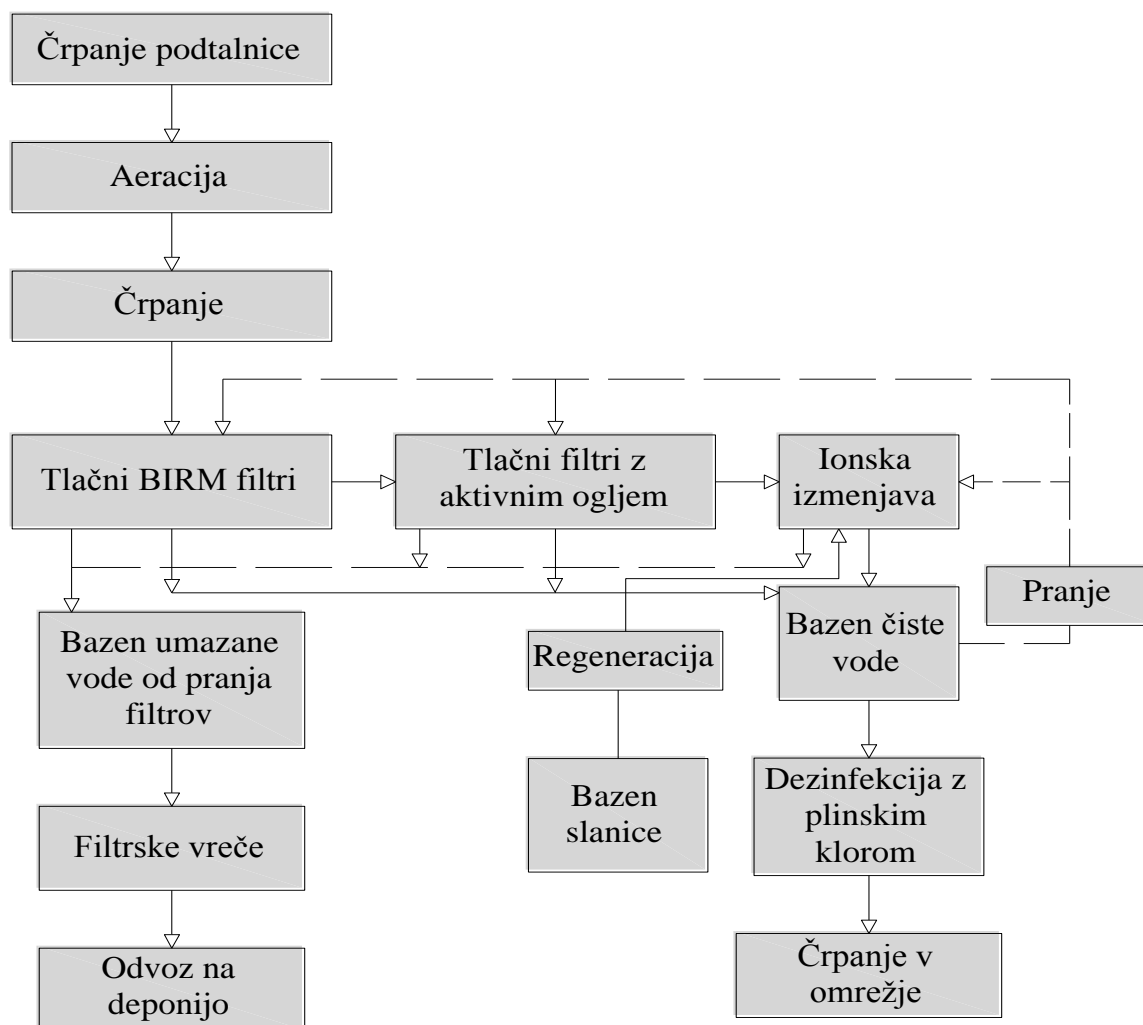
Iz filtrov z aktivnim ogljem bo voda odtekala na ionske izmenjevalce. Na ionskih izmenjevalcih se bo čistil le del skupne količine vode, ki bo po mešanju vsebovala 20 mg/l nitratov. Pretok za ionsko izmenjavo bo znašal 46 l/s. Koncentracija nitratov v čiščeni vodi se bo iz začetnih 70 mg/l zmanjšala na 5 mg/l. Posamezen cikel med regeneracijo bo trajal 24 ur. Zgrajeni bodo trije filtri, za normalno delovanje sta zadosti dva filtra, tretji filter bo služil kot

rezerva v primeru okvare in regeneracije filtrov. Površina posameznega filtra bo $2,9 \text{ m}^2$, višina posteljice bo $0,8 \text{ m}$, premer filtra bo $1,9 \text{ m}$, površinska obremenitev pa bo znašala 28 m/h .

Regeneracija in spiranje smole bo potekalo v nasprotni smeri toka, na ta način se občutno zmanjša uhajanje nitratov ob začetku ponovnega cikla, saj je smola, ki je najbližje dnu posode, najbolj regenerirana. Ob takšnem načinu regeneracije se prav tako zmanjša poraba vode za pranje. Za regeneracijo se bo uporabljala 10% raztopina NaCl, ki se bo črpala iz bazena za slanico velikosti 12 m^3 . Za odpadno vodo, ki bo nastala pri regeneraciji smole, se preveri možnost odtoka v kanalizacijsko omrežje. V primeru, da to ni možno, pa se poišče druga ustrezna rešitev.

Voda prečiščena na ionskih izmenjevalcih bo nato odtekala v bazen čiste vode, kjer se bo pomešala z vodo, ki bo pritekala direktno iz AC filtrov. Bazena za čisto vodo bo služil kot nabira za pranje filtrov in nabira za črpanje v omrežje. Volumen bazena čiste vode bo 140 m^3 . Pred črpanjem v omrežje se bo vodi dodajal še klor za rezidualno delovanje v omrežju.

Bazen umazane vode od pranja bo imel konusno oblikovano dno in montirano potopno mešalo. V bazen se bo avtomatsko doziralo flokulacijsko sredstvo. Na dnu odsedlo blato bo prečrpano v filtrske vreče. Na cevovodu za odvod blata bo v blato injektiran polielektrolit. Vreče napolnjene z blatom bo pred odvozom na komunalno deponijo potrebno odcediti v posebnem delu objekta.



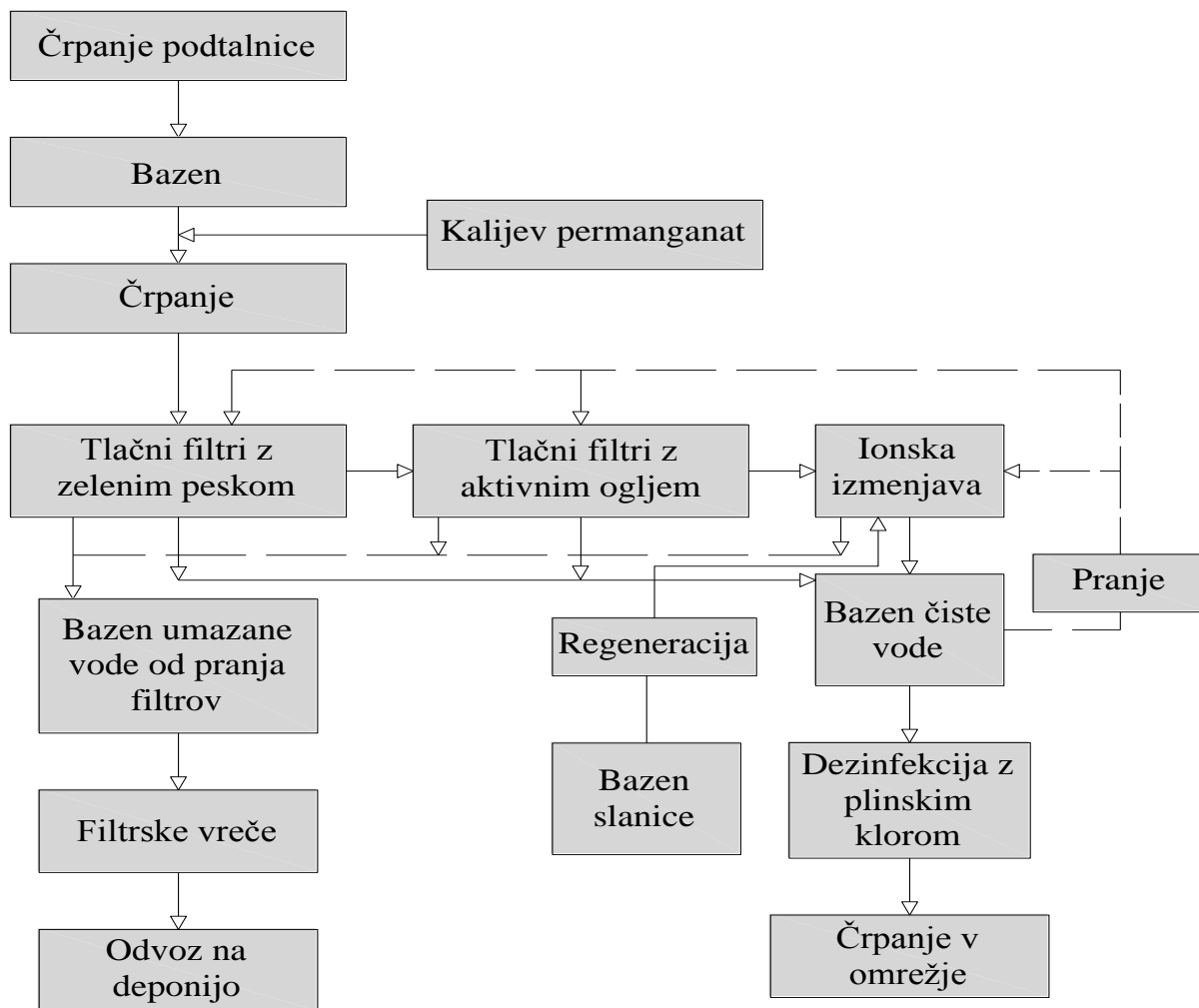
Slika 19: Shema poteka vode pri varianti 1

4.4.2 Varianta 2

Varinta 2 se bo od prve variante razlikovala le pri postopku odstranjevanja železa in mangana in aeracije, ki se ne bo izvajala, vse ostalo bo enako kot pri prvi varianti. Za odstranjevanje železa in mangana se bo uporabljal zeleni pesek (prodajan pod blagovno znamko greensand^{plus}). Hitrost filtracije bo 10 m/h, zadrževalni čas pa bo znašal 7,5 minut. Skupna površina filtrov bo 28 m². Zgrajeni bodo 4 filtri, posamezen filter bo imel površino 7 m² in premer 3 m. Za regeneracijo zelenega peska se bo vodi kontinuirno dodajal kalijev permanganat, koncentracije 2,2 mg/l vode.

Filtrska posteljica bo sestavljena iz dveh plasti. Na vrhu bo sloj antracita debeline 0,4 m, z gostoto 800 kg/m^3 in efektivnim premerom zrna 1,7-2 mm, spodaj pa bo sloj zelenega peska debeline 0,6 m, z gostoto 1400 kg/m^3 in efektivnim premerom zrna 0,3-0,35 mm. Kapaciteta zelenega peska znaša od 490-840 g/m^2 oksidirane železa in mangana. Pri vrednosti 700 g/m^2 bo čas med pranjem filtrov 31 ur, padec tlaka bo znašal približno 8 metrov. Filtre se bo pralo s povratnim tokom vode s hitrostjo 30 m/h.

Linija blata bo enaka kot pri prvi varianti. Pred črpanjem v omrežje se bo vodi dodajal še klor za rezidualno delovanje v omrežju.



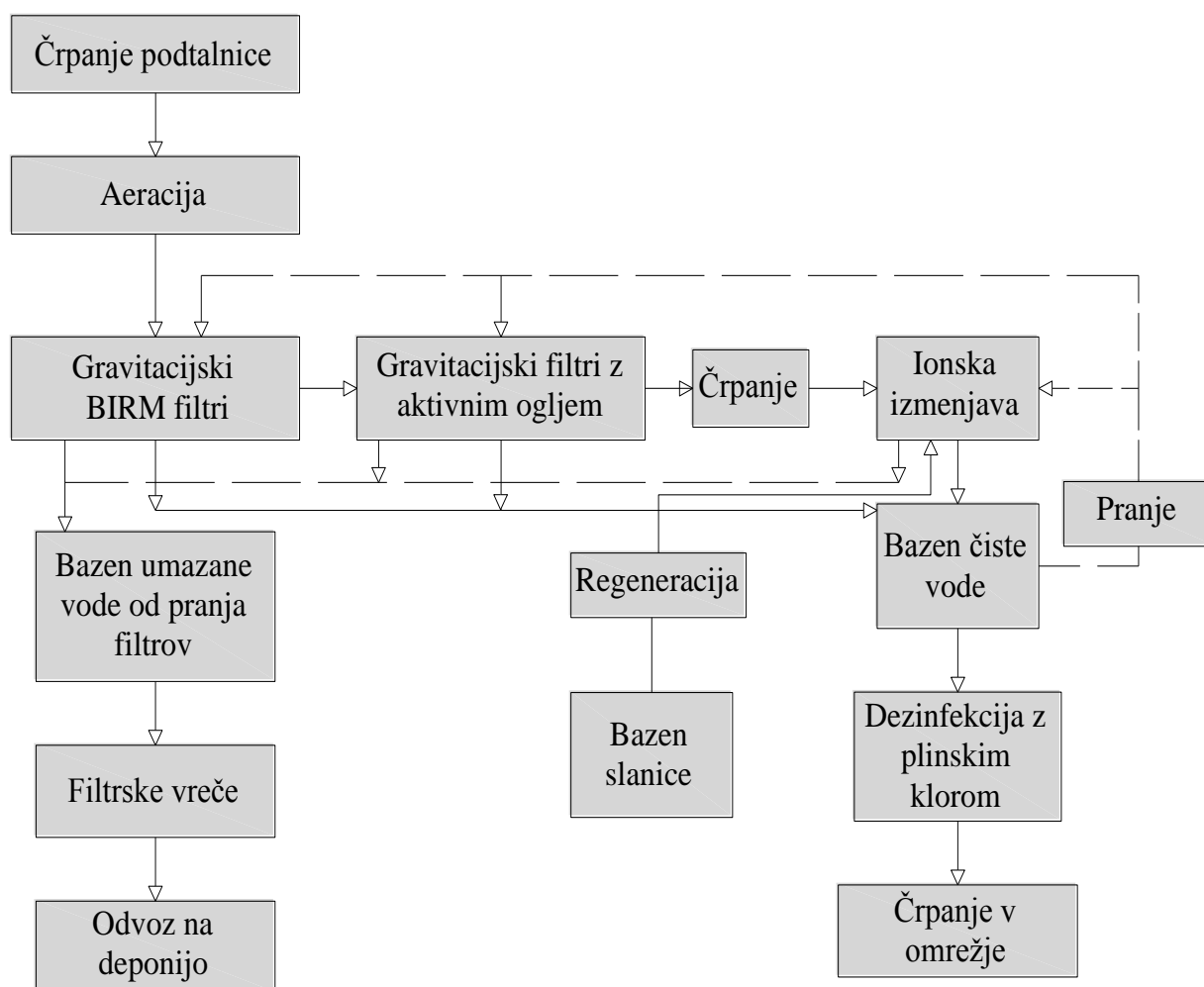
Slika 20: Shema poteka vode pri varianti 2

4.4.3 Varianta 3

Voda se bo črpala v aeracijske bazene, kjer bo obogatena s kisikom. Iz odzračevalnega bazena bo voda črpana na gravitacijska BIRM filtra. Površinska obremenitev filtrov bo znašala 8 m/h, zadrževalni čas 6 minut in skupna površina 27 m². Dimenzije posameznega filtra bodo 5,2 x 2,6 m. Efektivni premer zrna BIRM-a je 0,62 mm, koeficient enakomernosti pa znaša 1,7. Višina filtrskega materiala bo 0,8 m, gladina vode nad filtroma bo 1,5 m.

Iz BIRM filtrov bo voda gravitacijsko odtekala na filtra z aktivnim ogljem. Površinska obremenitev filtrov bo znašala 10 m/h, zadrževalni čas 10 minut in skupna površina 21,6 m². Dimenzije posameznega filtra bodo 4,5 x 2,4 m. Gladina vode nad filtroma bo 1,5 m.

Iz filtrov z aktivnim ogljem se bo del vode črpal na ionske izmenjevalce, drugi del pa bo odtekal v bazen čiste vode. Čiščenje z ionskimi izmenjevalci bo enako kot pri prvi varianti. Enaka kot pri prvi varianti bo tudi linija blata in povratno pranje filtrov. Pred črpanjem v omrežje se bo vodi dodajal še klor za rezidualno delovanje v omrežju.



Slika 21: Shema poteka vode pri varianti 3

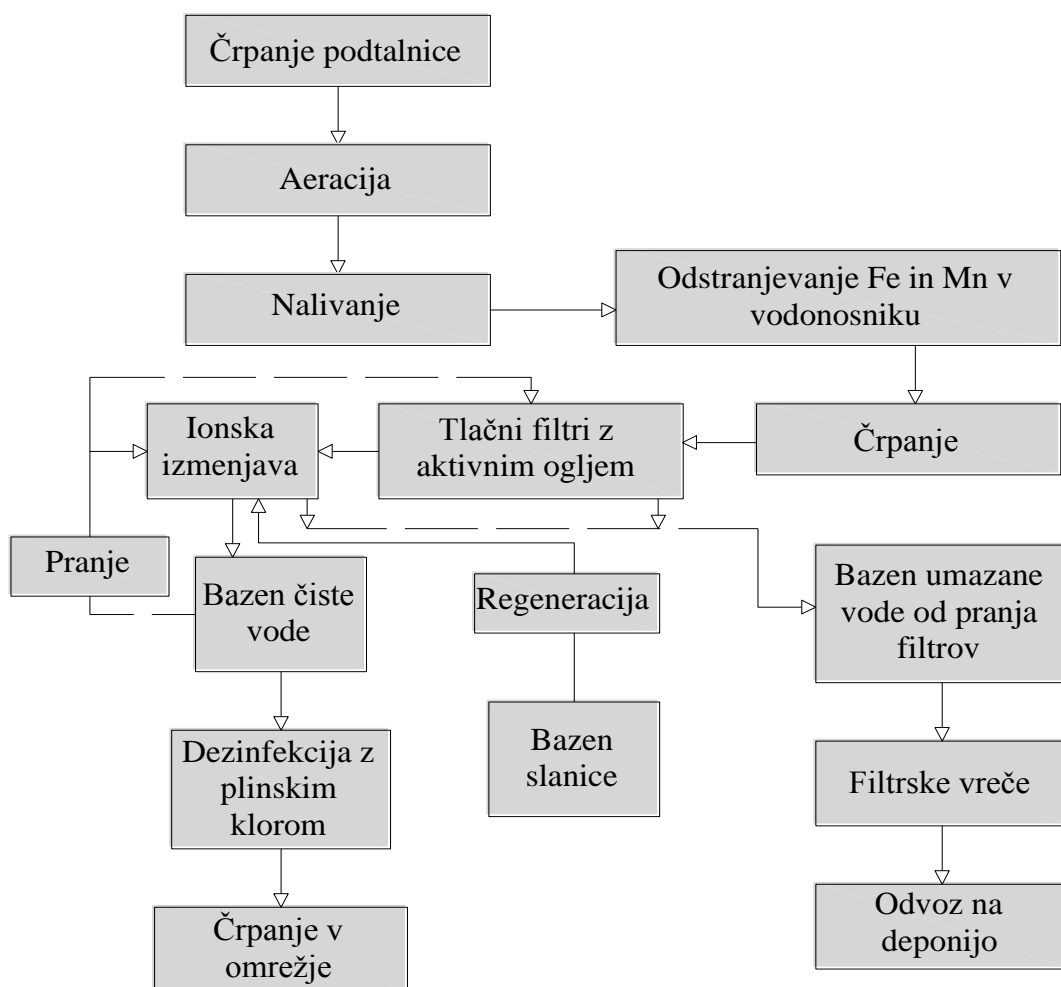
4.4.4 Varianta 4

Pri tej varianti se bosta železo in mangan odstranjevala v vodonosniku s črpanjem in nalivanjem vode v vodnjake. Odstranjevanje nitratov in pesticidov bo potekalo na enak način kot pri prvi varianti. Enaka kot pri prvi varianti bo tudi linija blata.

Črpanje in nalivanje bo urejeno v 4-ih vodnjakih, ki bodo med seboj oddaljeni po 20 metrov. Za oksidacijo železa in mangana v vodonosniku mora biti voda zasičena s kisikom. Aeracija se bo izvajala z difuznimi aeratorji v aeracijskem bazenu, ki bo imel volumen 30 m³. Sam proces bo potekal ciklično, posamezen cikel bo dolg 20 ur. Cikel bo sestavljen iz 10-ih ur

črpanja v kompenzacijski bazen, 7-ih ur nalivanja in treh ur mirovanja. Proces bo nastavljen tako, da bodo sosednje vrtine delovale vsaka v svojem delu cikla. Ko se bo iz ene vrtine črpalo, se bo v sosednjo vrtino nalivalo ali pa bo mirovala in obratno.

Kapaciteta posameznega vodnjaka za črpanje bo znašala 40 l/s, naenkrat se bo torej črpalo 80 l/s vode, kar pomeni 2880 m³ načrpane vode v destih urah. Obenem se bo voda nalivala v druga dva vodnjaka s pretokom 28 l/s, kar pomeni 700 m³ vode v sedmih urah. Da bi na čistilni napravi bil zagotovljen pretok 60 l/s, bo potrebno zgraditi kompenzacijski bazen, ki bo imel funkcijo zagotavljanja zadostne količine vode med nalivanjem v vodnjake. Volumen kompenzacijskega bazena bo 210 m³, skupaj z aeracijskim bazenom bo torej na voljo 240 m³.



Slika 21: Shema poteka vode pri varianti 4

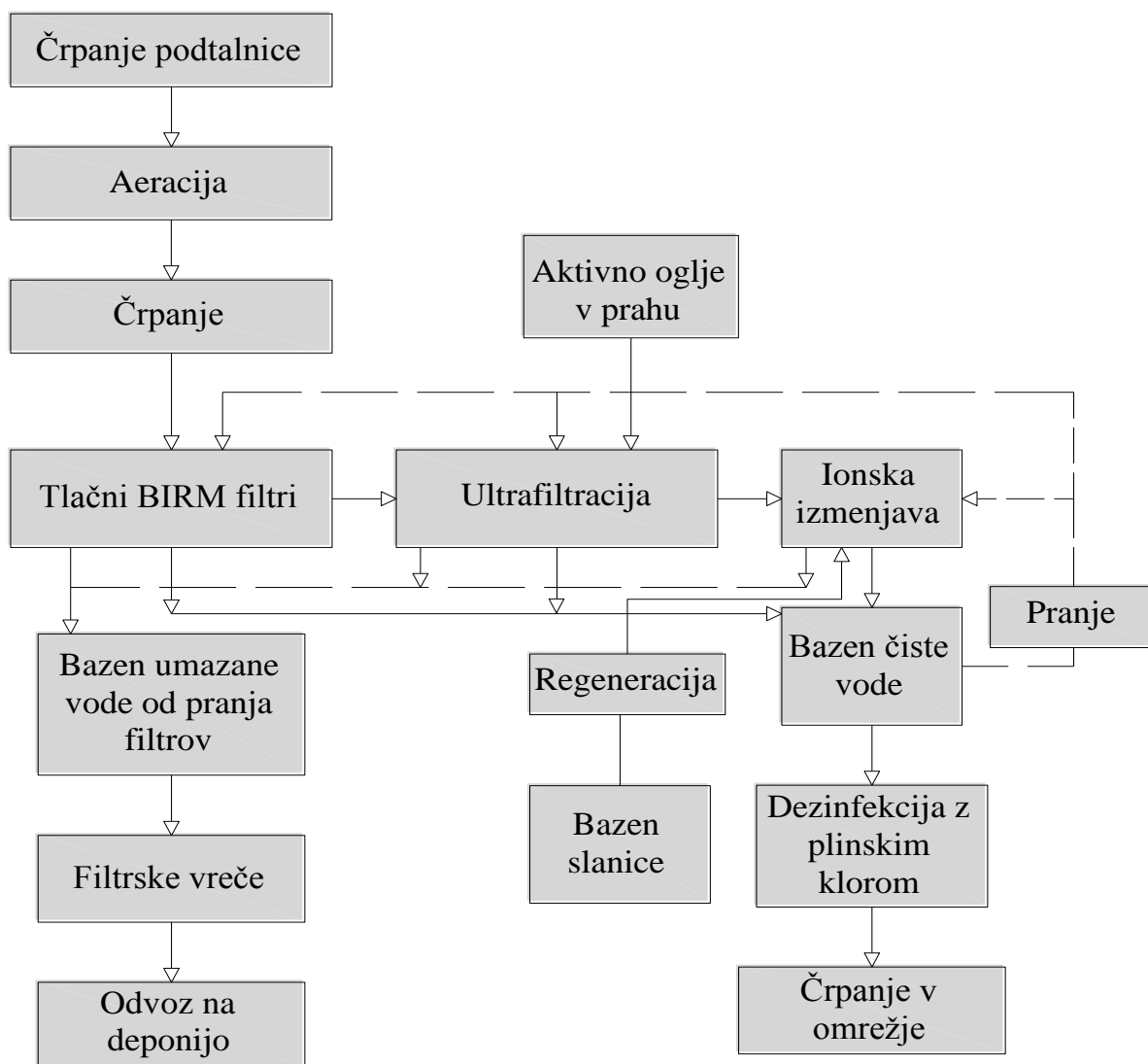
4.4.5 Varianta 5

Voda se bo črpala v aeracijske bazene, kjer se bo obogatila s kisikom. Iz odzračevalnega bazena bo voda črpana na BIRM filtre. Filtri bodo enaki kot pri prvi varianti. Iz BIRM filtrov bo voda odtekala na ultrafiltracijske module. Pred filtriranjem vode na ultrafiltracijskih modulih bo vodi dodano aktivno oglje v prahu. Ker voda ne vsebuje večjih količin organskih snovi, bo 10 mg/l oglja v prahu zadostovalo, da se iz vode izločijo prisotni mikropolutanti.

Ultrafiltracijska naprava bo sestavljena iz treh sklopov. Vsak sklop bo imel 22 modulov, skupaj 66 modulov. Posamezen modul ima kapaciteto med 5-6 m³/h, kapaciteta ČN pa znaša 216 m³/h. Skupna kapaciteta ultrafiltracijske naprave je torej 150% pretoka. Ta rezerva je namenjena za izmenično pranje modulov in za primer okvare. En sklop ima dimenzije 8,7 x 2,36 x 2,5 m in tehta 4,1 tone. Površina posameznega sklopa je 21 m².

Pranje ultrafiltracijskih modulov se bo izvajalo s povratnim tokom vode in dodatki, ki jih predpiše proizvajalec membran. Pranje se izvaja avtomatsko, glede na padec tlaka ali pa na določen časovni interval. Voda za povratno pranje membran se bo črpala iz bazena čiste vode.

Odstranjevanje nitratov na ionskih izmenjevalcih in linija blata sta enaka kot pri prvi varianti. Pred črpanjem v omrežje se bo vodi dodajal še klor za rezidualno delovanje v omrežju.



Slika 22: Shema poteka vode pri varianti 5

4.5 Primerjava in vrednotenje posameznih variant čiščenja

Za vsako varianto posebej je izračunana vrednost investicije in skupni letni stroški, ki zajemajo obratovalne stroške, stroške vzdrževanja in indirektno stroške (Preglednica 5). Iz teh podatkov je izračunana stroškovna cena za m³ očiščene vode (Preglednica 6).

Preglednica 5: Vrednost investicije in okvirni letni stroški

Varianta	V1	V2	V3	V4	V5
Ocena investicije	1.658.115	1.684.759	1.715.715	1.600.719	2.195.715
Obratovalni stroški					
Poraba elektrike	142.900	135.235	143.995	170.275	142.900
Poraba kemikalij	14.500	39.400	14.500	14.500	84.500
Strošek dela	87.600	87.600	87.600	43.800	87.600
Stroški vzdrževanja					
Osnovno vzdrževanje	6.190	5.690	6.250	6.220	6.250
Menjava filtrnega materiala	38.156	39.604	38.156	34.787	6.120
Menjava membran					40.000
Indirektni stroški					
Zavarovanje	20.726	21.059	21.446	20.009	27.446
Amortizacija	76.644	76.529	79.524	75.459	109.786
Skupaj (€)	386.716	405.116	391.471	365.049	504.602

Preglednica 6: Stroškovna cena za m³ očiščene vode

Varianta	V1	V2	V3	V4	V5
Stroškovna cena za m ³ očiščene vode (€)	0,204	0,214	0,207	0,193	0,267

Za vrednotenje posameznih variant je uporabljenih pet kriterijev (Preglednica 7), ki so nato še ponderirani glede na pomembnost posameznega kriterija (Preglednica 8). Kvaliteto očiščene vode sem določil po svoji lastni presoji glede na postopke čiščenja, ki so uporabljeni v določeni varianti. Ostali kriteriji so vsi povezani s stroški, ki se pojavljajo pri posamezni

varianti. Z oceno 10 sem, za posamezen kriterij, ovrednotil tisto varianto, ki je dosegla najbolj ugoden rezultat. Ostale variante sem ocenil tako, da sem denarno vrednost najugodnejše variante delil z denarnimi vrednostmi ostalih variant. Dobljen rezultat sem nato množil z 10 in po ponderiranju zaokrožil na dve decimaliki. Takšen način ocenjevanja se mi je zdel še najbolj smiseln.

V primeru, da bi z oceno 10 ocenil najboljšo varianto, z ena pa najslabšo in glede na ti dve varianti določil razrede od 1-10, bi lahko prišlo do prevelikih razlik, ki pa bi v realnosti lahko bile minimalne. V praksi bi to pomenilo, da bi variante, ki bi izkazovale stroške 800, 790 in 780 evrov, bile ocenjene z ocenami 1, 5, 10. To pa je prevelika razlika v ocenah, glede na dejansko denarno razliko, ki je minimalna. Sam se odločil za že prej opisan način ocenjevanja, po katerem bi bile variante ocenjene z ocenami 9.8, 9.9, 10.

Eden izmed kriterijev je neto sedanja vrednost (NSV), ki je standardna metoda za finančno oceno dolgoročnih projektov. Pri tej metodi se letna vlaganja, stroške in donose (letni neto denarni tok) s pomočjo diskontne stopnje preračuna v sedanje vrednosti, se jih sešteje in od vsote odšteje začetno investicijo. Ocene NSV sem izračunal za naslednjih 20 let s 6 % diskontno stopnjo. Predpostavil sem, da se zaradi izgub na omrežju proda 80% načrpane vode. Letni donos od prodaje očiščene vode je za vse variante enak, izračunan je glede na povprečje stroškovnih cen m³ očiščene vode vseh variant. Ocene NSV za vse variante so negativne, kot najboljšo sem ocenil tisto, ki je izkazovala najmanj negativno vrednost.

$$NSV = \sum_{i=1}^n \frac{C_i}{(1+r)^i} - C_0 \quad [72]$$

Kjer je:

- t...časovno obdobje (leto)
- n...celotno časovno obdobje
- r...diskontna stopnja
- C_t...neto denarni tok v časovnem obdobju
- C₀...začetna investicija

Preglednica 7: Kriteriji in ocene

Predlagane tehnološke variante so ocenjene s petimi kriteriji. Ti kriteriji so: kvaliteta očiščene vode, investicija, poraba kemikalij, stroškovna cena in neto sedanja vrednost za naslednjih 20 let. Ocenil sem jih z ocenami od 1 do 10, pri čemer 10 predstavlja najboljšo vrednost in 1 najslabšo.

Kriteriji \ Variante	1	2	3	4	5
Kvaliteta očiščene vode	8	9	8	9	7
Investicija	9,7	9,5	9,3	10	6,3
Poraba kemikalij	10	4	10	10	2
Stroškovna cena	9,5	9	9,3	10	7
Neto sedanja vrednost za naslednjih 20 let	8,7	7,8	8,3	10,0	4,8

Preglednica 8: Ponderiranje

V tabeli so ocenjene posamezne tehnologije glede na uspešnost v posameznih kriterijih. Ocena je določena na podlagi kriterijev in ocen iz Preglednice 7 in procentualne vrednosti pomembnosti posameznega kriterija.

Kriteriji \ Variante	1	2	3	4	5	Uteževanje (Ponder)
Kvaliteta očiščene vode	3,2	3,6	3,2	3,6	2,8	40%
Investicija	2,91	2,85	2,79	3	1,89	30%
Poraba kemikalij	1	0,4	1	1	0,2	10%
Stroškovna cena	0,95	0,9	0,93	1	0,7	10%
Neto sedanja vrednost za naslednjih 20 let	0,87	0,79	0,83	1	0,48	10%
SKUPAJ	8,93	8,54	8,75	9,6	6,07	100%

5 ZAKLJUČEK

Po primerjavi ponderiranih vrednosti posameznih kriterijev se je kot najustreznejša izkazala varianta 4 (ocena 9,6), sledijo ji varianta 1 (ocena 8,93), varianta 3 (ocena 8,75), varianta 2 (ocena 8,54) in varianta 5 (6,07). Varianta 4 je dosegla pri vseh kriterijih najboljše rezultate. Ta varianta je torej najugodnejša tako z ekonomskega vidika, kot z vidika dosežene kvalitete pitne vode.

Posamezne variante se med seboj razlikujejo predvsem v postopku odstranjevanja železa in mangana iz vode, saj za odstranjevanje pesticidov in nitratov ni na voljo ravno veliko ekonomsko upravičenih tehnoloških postopkov. Pesticidi in nitrati se torej pri vseh variantah čistijo s filtri z aktivnim ogljem in ionsko izmenjavo, razen pri varianti 5, kjer se pesticidi odstranjujejo z dodajanjem aktivnega oglja v prahu pred ultrafiltracijo. Prav tako je pri vseh variantah predlagano doziranje klora za rezidualno delovanje v omrežju.

Pri najboljše ocenjeni varianti, varianti 4, se železo in mangan iz vode odstranjujeta v vodonosniku, s črpanjem in nalivanjem vode v vodnjake. Prednost te metode je, da poteka oksidacija železa in mangana brez dodatkov kemikalij na povsem naraven način. Odpade tudi znatna količina odpadne vode in blata zaradi povratnega pranja filtrov, ki se pojavlja pri ostalih variantah. Odstranjevanje železa in mangana v vodonosniku se v Sloveniji uspešno že izvaja na dveh lokacijah, vseeno pa je potrebno predlagano tehnologijo preveriti s pilotnim preizkusom na predvideni lokaciji.

Da bi vodo iz vodnega vira Črnske meje očistili do te mere, da bi ustrezala vsem zakonsko predpisanim kriterijem, je potrebnih veliko različnih tehnoloških postopkov. Na območjih, ki so omejena z viri pitne vode, je uporaba predlaganih tehnoloških postopkov vsekakor potrebna. Glede na to, da je obravnavano območje precej bogato z viri vode, pa bi veljalo razmisliti tudi o iskanju alternativnega izvira vode, ki ne bi bil tako obremenjen s pesticidi in nitrati.

VIRI

Appelo, C. A. J., Drijver, B., Hekkenberg, R. 1999. Modeling in situ iron removal in groundwater. 6-GROUND WATER. Vol. 37: 6 str.

Bertok, I. 2006. Denitrifikacija pitne vode. Diplomaska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Hidrotehnična smer: 58 str.

Čerič, T. 2006. Odstranjevanje parazitov iz kraških površinskih voda z ultrafiltracijo. Seminarska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Študij vodarstva in komunalnega inženirstva: 73 str.

Mezzari, I. A. 2006. Predicting the Adsorption Capacity of Activated Carbon for Organic Contaminants from Fundamental Adsorbent and Adsorbate Properties. Magistrska naloga.

Alternative Disinfectants and Oxidants Guidance Manual. EPA 1999. EPA, Office of Water: str. 346.

EPA 2001. The Incorporation of Water Treatment Effects on Pesticide Removal and Transformations in Food Quality Protection. EPA, Office of Pesticide Programs: 50 str.

Gage, B., O'Dowd, D., Williams, P. 2001. Biological iron and manganese removal. Ontario Water Works Association conference, 3.5, 2001.

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

Horvat, M. 2007. Idejna študija sanacije čistilne naprave za pitno vodo mrzlek. Diplomaska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Hidrotehnična smer: 87 str.

<http://www.ivz.si/> (januar, 2008)

Ivanuša, B. 2006. Primerjava postopkov zmanjšanje koncentracije atrazina in nitratov na vodarni skorba. Diplomaska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Študij vodarstva in komunalnega inženirstva: 71 str.

Javornik, M. (ur.) 1998. Veliki splošni leksikon. Ljubljana, Državna založba Slovenije: knj. 8.

Kompare, B., Ravnikar, J. 2005. Problematika dezinfekcije pri pripravi pitnih vod. Vodni dnevi 2005. Portorož 12.-13. oktober 2005. Ljubljana, Slovensko društvo za zaščito voda: str. 98-111.

Kompare, B. 2001. Odstranjevanje parazitov v pripravi pitne vode. Zdravstvena ustreznost pitne vode in varnost oskrbe. Zbornica sanitarnih inženirjev Slovenije in Inštitut za sanitarno inženirstvo, 3.4.2001, Hotel Šport, Otočec ob Krki.

Krajnc, M. 2007. Poročilo o kakovosti podzemne vode v Sloveniji v letih 2004 in 2005. Ministrstvo za okolje in prostor, Agencija Republike Slovenije za okolje, 2007.

Lee, C. C., Lin, S. D. 2000. Handbook of environmental engineering calculations. New York, McGraw-Hill

Lin, S. D. 2001. Water and wastewater calculations manual. New York, McGraw-Hill: 854 str.

Lorber, B. 2001. Tehnologije odstranjevanja železa in mangana iz pitnih vod. Kakovost pitne vode 2001. Portorož 1.-2. oktober 2001. Ljubljana, ZTI: str. 71-83.

Nitrates and nitrites in drinking water. WHO, 2004.

http://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/chemicals/nitratesfull.pdf (januar 2008)

Nitrati in nitriti

<http://www.gov.si/pitna-voda/main/nitrati.html> (januar 2008)

Ormad, M.P., Miguel, N., Claver, A., Matesanz, J.M., Ovelleiro, J.L. 2007. Pesticides removal in the process of drinking water production. Department of Chemical Engineering and Environmental Technologies, University of Zaragoza.

Pravilnik o pitni vodi. UL RS št. 19/04, 35/04, 26/06, 92/06.

Program priprave državnega lokacijskega načrta za ureditev celovite oskrbe prebivalstva s pitno vodo in varovanja vodnih virov Pomurja. Ur.l. RS, št. 40/2006.

Radonjič, N. 1994. Problemi in dileme pri dezinfekciji pitne vode. Problematika kakovosti pitne in odpadne vode. Rogaška Slatina, 27-28 oktober 1994. Društvo za zaščito voda Slovenija: str. 135-142.

Ravnikar, J. 2004. Odstranjevanje parazitov v kraških pitnih vodah. Diplomaska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Študij vodarstva in komunalnega inženirstva: 138 str.

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

Rismal, M. 2001. Reševanje problematike karbonatnega ravnotežja pri oskrbi z vodo. Kakovost pitne vode 2001. Portorož 1.-2. oktober 2001. Ljubljana, ZTI: str. 63-69.

Twort, A.C, Ratnayaka, D.D., Brandt, M.J. 2000. Water Supply, Fifth edition. London, Arnold: 675 str.

Internetni viri:

<http://www.soils.wisc.edu/courses/SS325/stabilityMn.gif> (1)

<http://www.soils.wisc.edu/courses/SS325/stabilityFe.gif> (2)

<http://www.miexresin.com/files/images/RESIN.jpg> (3)

<http://www.peakpureair.com/images/CarbonAdsorb.gif> (4)

<http://www.eurowater.com/Products/Pressure%20filters/References-1.aspx> (5)

http://www.zenon.com/image/resources/glossary/reverse_osmosis/reverse_osmosis.jpg (6)

<http://www.water-technology.net/projects/perth/images/4s.jpg> (7)

http://www.norit.com/import/assetmanager/3/8013/350/Seaguard_kl.png (8)

PRILOGE

Priloga A: Primer izračuna NSV (Varianta 1)

investicija					1.658.115
diskontna stopnja					0,06
leto	letni stroški	letni donos	neto denarni tok	diskontirane vrednosti	
0					
1	386.716	328.473	-58.243	-54.947	
2	386.716	328.473	-58.243	-51.836	
3	386.716	328.473	-58.243	-48.902	
4	386.716	328.473	-58.243	-46.134	
5	386.716	328.473	-58.243	-43.523	
6	386.716	328.473	-58.243	-41.059	
7	386.716	328.473	-58.243	-38.735	
8	386.716	328.473	-58.243	-36.543	
9	386.716	328.473	-58.243	-34.474	
10	386.716	328.473	-58.243	-32.523	
11	386.716	328.473	-58.243	-30.682	
12	386.716	328.473	-58.243	-28.945	
13	386.716	328.473	-58.243	-27.307	
14	386.716	328.473	-58.243	-25.761	
15	386.716	328.473	-58.243	-24.303	
16	386.716	328.473	-58.243	-22.927	
17	386.716	328.473	-58.243	-21.630	
18	386.716	328.473	-58.243	-20.405	
19	386.716	328.473	-58.243	-19.250	
20	386.716	328.473	-58.243	-18.161	
vsota diskontiranih vrednosti				668.047	
NSV₁				-2.326.162	