



1918

TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL
TARTU KOLLEDŽ

Säästva tehnoloogia õppetool

VIRTSU REOVEEPUHASTI TÖÖPROTSESSI OPTIMEERIMINE
JA LIIGSE VAHUTAMISE PÕHJUSED

Optimization of Virtsu wastewater treatment plant's work process and
the reasons of an excessive foaming

Magistritöö

materjalide taaskasutuse erialal

Üliõpilane: Eero Siida

Juhendajad: Kristo Kärmas, MSc

Egge Haiba, MSc

Tartu, 2014

ABSTRACT

The present paper Optimization of Virtsu wastewater treatment plant's work process and the reasons of an excessive foaming was written by Eero Siida under the supervision of Mr. Kristo Kärmas and Ms. Egge Haiba to pursue the M.Sc. degree in environmental engineering. The thesis consists 68 pages, 17 figures, 17 tables, 35 references and 4 appendixes. The paper has been written in Estonian.

This master's thesis analyses Virtsu wastewater treatment plant's treatment process. For optimization, a thorough analysis of the different technological processes of treatment plant was performed. To analyse the treatment process's different treatment phases Virtsu wastewater treatment plant's care instructions and technical project were used. Also observations on sight – 30.09.2013, identified technological shortcomings. Finding the reasons for foaming in 2013 summer in the Virtsu wastewater treatment plant was carried out based on the earlier lab results from the wastewater entering and exiting the treatment plant. Additionally in 29.04-5.05.2014, samples were taken on sight from the wastewater entering Virtsu wastewater treatment plant and from the discharges of the Virtsu port. The results confirmed the earlier results of lab analysis, showing very high concentration in all waste substance compositions and also higher pH level from typical household wastewater.

When analysing Virtsu wastewater treatment plant's work processes, variety of technological shortcomings were discovered. The biggest shortcoming was that the work of sludge pumps was not optimized, as a result there was lack of stable ratio between dispatching excess sludge and return sludge's resending to the treatment system. Additionally, sludge pumps were placed in the middle part of the secondary clarifier, causing an anaerobic environment under the cone for the activated sludge. To remove these deficiencies the sludge pumps should be placed to the position showed in the project – to the bottom part of the cones and to ensure sending off of excess sludge. To avoid washing-out of the treatment plant during the high water, it is necessary to build a bypass piping for the Virtsu wastewater treatment plant to ensure the stable work process of the treatment plant.

To find out possible reasons for the foaming, it was necessary to give a thorough literary overview. As a result of the literary overview the reasons for excess foaming in the aeration tank were discovered. In addition for the reasons, options for identifying the primary cause

were presented and solutions were proposed to avoid or reduce it. The main reasons that cause foaming are proliferation of filamentous organisms in the mixed liquor suspended solids; lack of nutrients; aging of return sludge; the rise of surface active substances that haven't solved; increased alkalinity; toxicity; occurrence of greases, oils or lubricants in the wastewater. The initial identification of the foaming takes place by examining the foam's physical properties. To affirm the causes of the initial foaming, additional lab analysis and studies under a microscope are needed.

According to the operator, the foam that occurred in the Virtsu wastewater treatment plant in 2013 – was billowy white. The results of the lab analysis revealed high concentrations of contaminated substances in the water entering the treatment plant. Additionally, the wastewater of the ships in Virtsu port is pumped to Virtsu wastewater treatment plant. The results of lab analysis taken from the wastewater in the port showed high concentrations, especially in general nitrogen – exceeding ordinary household wastewater up to 10 times. Additionally, wastewater disposed from the port exceeded the requirements established by Government's Regulation nr 171 for treatment plants in the case of nitrogen up to 9 times. It can be concluded from the results of analysis that, the foaming in the Virtsu wastewater treatment plant was probably caused by the increase of alkalinity in the incoming wastewater because of high concentration of general nitrogen and pH level. Due to that, the conditions for the process worsened and lots of young active sludge appeared in the aeration tank, producing white loose foam was produced.

Solving the foaming problem based on literature had various possibilities – depending on the problem's initial cause, also the measures or actions varied. The most common possibility for reducing temporary foaming was spraying foam with wastewater. If the occurrence was enduring, to resolve the problem it was necessary to use solution proposals in order to eliminate the problem or at least reduce it enough for the normal work of treatment plant.

Keywords: wastewater treatment plant, work process optimization, excessive foaming, filamentous organisms, increased alkalinity, sludge age, toxicity.

ABSTRACT

SISSEJUHATUS.....	6
1. TEOREETILINE ÜLEVAADE UURIMISTEEMAST	8
1.1 Reovee omadused ja erinevad puhastustehnoloogiad	8
1.1.1 Reovesi ja selle omadused.....	8
1.1.2 Reovee puhastamise tehnoloogiad	9
1.1.3 Levinumad reoveepuhastite tehnoloogilised lahendused Eestis	11
1.2 Reoveepuhastite vahutamiseiga seotud probleemid	13
1.2.1 Vahutamiseiga seotud probleemide ajalugu	13
1.2.2 Liigse vahu ja saasta tekkimine puhastusprotsessis	14
1.2.3 Vahu identifitseerimine	16
1.2.4 Võimalused vahutamise vähendamiseks või kõrvaldamiseks.....	23
2. TÖÖ EESMÄRK JA ÜLESANDED.....	30
2.1 Virtsu reoveepuhasti tööprotsessi optimeerimine.....	30
2.2 Aktiivmudasuspensiooni vahutamise põhjuste selgitamine	30
3. MATERJAL JA METOODIKA	32
3.1 Laborianalüüside metoodika.....	32
3.2 Proovide võtmine Virtsu reoveepuhastist.....	34
3.3 Proovide võtmine Virtsu sadamast	35
4. TULEMUSED JA ARUTELU	38
4.1 Virtsu reoveepuhasti projektkoormus.....	38
4.2 Virtsu reoveepuhasti tehnoloogilise protsessi kirjeldus	39
4.2.1 Reovee mehaaniline puhastus	40
4.2.2 Reovee bioloogiline puhastus.....	40
4.2.3 Mudakäitlus	41
4.3 Varasemalt võetud reoveeproovide analüüsitulemused	41
4.4 Täiendavate reo- ja heitveeproovide analüüsidetulemused	42
4.4.1 Virtsu reoveepuhastisse siseneva reovee laborianalüüside tulemused.....	42
4.4.2 Virtsu sadam – laevadelt purgitava reovee laborianalüüside tulemused.....	43
4.4.3 Virtsu reoveepuhasti ja sadama reovee – pindaktiivsete ainete ning naftasaaduste laborianalüüside tulemused	44
4.4.4 Virtsu reoveepuhastist väljuva heitvee laborianalüüside tulemused.....	45
4.5 Laborianalüüsidele ja hüdraulilisele koormusele tuginevad järeldused	46
4.5.1 Virtsu reoveepuhasti projektkoormus ja mõõdetud reovee koormuse analüüs..	46

4.5.2	Virtsu sadamas purgitava reovee reostuskoormuse analüüs	48
4.5.3	Projektkoormust ületav hüdrauliline koormus suurvee perioodil	49
4.6	Virtsu reoveepuhasti vahutamise põhjused	51
4.6.1	Toitainete puudus	51
4.6.2	Pindaktiivsed ühendid	52
4.6.3	Leelisuse tõus	52
4.7	Olemasoleva reoveepuhasti tehnoloogilised puudused ja lahendusettepanekud.....	54
4.7.1	Tagastus- ja liigmudapumbad	54
4.7.2	Eelsetiti ja aeratsioonikambri vaheline torustik	56
KOKKUVÕTE.....		60
KIRJANDUSE LOETELU		62
LISAD		65
Lisa 1. Vahu identifitseerimise plokkskeem		
Lisa 2. Virtsu reoveepuhastist väljuva heitvee laborianalüüside tulemused		
Lisa 3. Virtsu reoveepuhasti tehnoloogiline skeem		
Lisa 4. Virtsu reoveepuhasti vooluhulgad		

SISSEJUHATUS

Käesolevas magistritöös käsitletakse Virtsu reoveepuhastil mitmeid esinevaid opereerimisega seotud probleeme, mille tulemusel ei suudeta heitveeväljavoolus tagada vee-erikasutusloa nõuetele vastavaid tulemusi. Virtsu asula reoveepuhasti omanikuks on Läänemaa piirkonna vee-ettevõtte AS Matsalu Veevärk.

Käesoleva töö eesmärk on teostada Virtsu reoveepuhasti puhastusprotsessi põhjalikum analüüs, mille käigus selgitatakse välja puhastusprotsessi tehnoloogilised puudused ning leitakse lahendused puhastusprotsessi optimeerimiseks. Magistritöö raames analüüsitakse eelnevatel aastatel reoveepuhasti sissevoolust võetud reoveeproovide analüüsitulemusi, leidmaks võimalikke viiteid reoveepuhasti puhastusprotsessi häiringute ja aeratsioonimahuti vahutamise seotud küsimustes. Lisaks varasemalt reoveepuhasti sissevoolust teostatud reoveeproovide analüüsidele teostati käesoleva magistritöö raames perioodil 29.04.-5.05.2014 täiendav kohapealne reoveeproovide võtmine Virtsu reoveepuhastisse sisenevast reoveest ja Virtsu sadama purgimismahutist reoveepuhastile pumbatavast reoveest. Teostatud reoveeproovide analüüsitulemuste ja reoveepuhasti reostuskoormuse analüüsi põhjal on selgitatud põhjused, mis häirivad stabiilse puhastusprotsessi kujunemist reoveepuhastis ning võivad suure tõenäosusega põhjustada perioodilist vahutamist reoveepuhasti bioloogilise puhastusprotsessi osa aeratsioonikambris. Reoveeproovide analüüsid BHT₇, KHT, N_{üld}, P_{üld}, ja heljuvaine osas teostati AS Pärnu Vesi laboris, pindaktiivsete ainete analüüs AS Tallinna Vesi Heitveelaboris ja naftaproduktide sisalduse analüüs Terviseameti Kesklaboris.

Akviivmudaprotsess ning selle erinevad modifikatsioonid ja bioloogilise puhastusprotsessi läbiviimisega seotud probleemid on olnud aluseks paljudele uurimustöödele, -artiklitele, raamatutele ning bakalaureuse-, magistri-, doktoritöödele. Põhjalikult on uuritud ka aeratsioonikambris vahutamise seotud probleeme. Kuna aga põhjuseid, mis vahutamist põhjustada võivad on väga palju ning nende tuvastamine enamikel juhtudel on keeruline, ei ole suudetud leida kindlat ühtset lahendusviisi vahutamise tuvastamiseks ja ärahoidmiseks.

Käesolev magistritöö koosneb neljast peatükist. Esimeses peatükis antakse ülevaade reoveest, reoveepuhastis toimuvatest protsessidest ning levinumatest puhastuse tehnoloogilistest lahendustest Eestis. Samuti analüüsitakse kirjandusallikatele tuginedes vahutamise põhjuseid aeratsioonikambris ning tuuakse välja lahendused vahutamise vältimiseks või vähendamiseks. Teises peatükis püstitatakse magistritöö eesmärk ja kirjeldatakse lühidalt probleemide

olemust, mis häirivad bioloogilise aktiivmudapuhastuse tööprotsesse. Kolmandas peatükis kirjeldatakse töö metoodikat ja Virtsu reoveepuhasti sissevoolust ning Virtsu sadamast reoveeproovide võtmise metoodikat. Uurimusliku töö tulemused ja arutelu tuuakse välja neljandas peatükis. Kirjeldatakse 29.04.-5.05.2014 toimunud kohapealsel proovivõtmisel saadud reoveeproovide laborianalüüside tulemusi ning võrreldakse mõõdetud reostuskoormusi Virtsu reoveepuhasti projekteeritud reoainete koormustega. Lähtuvalt eeltoodust tuuakse välja põhjused, mis suure tõenäosusega põhjustavad perioodiliselt, sealhulgas 2013. aasta suveperioodil, reoveepuhasti aeratsioonimahutis liigset vahutamist ning pakutakse välja lahendused vahutamise vältimiseks või vähendamiseks. Vahutamisega seotud probleemide analüüsil leiti Virtsu reoveepuhasti tehnoloogilises lahenduses erinevaid puudusi, millele pakutakse välja lahendustepanekud, et optimeerida reoveepuhasti tööprotsess. Töö lisades on leitav vahutamise põhjuste esmaseks identifitseerimiseks koostatud plokkskeem, Virtsu reoveepuhastisse siseneva reovee ja väljuva heitvee laborianalüüside tulemused, reoveepuhastisse sisenevast reovee vooluhulkade andmed ja reoveepuhasti tehnoloogiline skeem.

Kokkuvõtvalt on käesoleva magistritöö eesmärkideks:

- anda teoreetiline ülevaade reoveest ja reovee omadustest ning reovee puhastamiseks kasutatavatest Eestis enim kasutusel olevatest tehnoloogilistest protsessidest;
- selgitada välja Virtsu reoveepuhasti tehnoloogilise lahenduse ja opereerimise puudused;
- anda soovitused Virtsu reoveepuhasti tehnoloogilise protsessi ja tehnoloogiliste seadmete töö optimeerimiseks;
- selgitada välja Virtsu reoveepuhasti aeratsioonikambris perioodiliselt esineva liigse vahutamise võimalikud põhjused;
- pakkuda võimalikke lahendusi vahutamise vältimiseks või vähendamiseks Virtsu reoveepuhastis.

1. TEOREETILINE ÜLEVAADE UURIMISTEEMAST

1.1 Reovee omadused ja erinevad puhastustehnoloogiad

1.1.1 Reovesi ja selle omadused

Veevarukasutamise eesmärgiks on tagada kogu elanikkonna varustamine kvaliteetse veega. Vee puhtus on ülimalt oluline mage- ja merevee-elustikule. Vesi võib kanda edasi erinevaid haigusi, mistõttu peab tõvestatud organismid reovee puhastusprotsessi käigus kõrvaldama (Mölder, 1998). Kindlasti on reostust targem vältida, kui selle tagajärgi likvideerida, mis võivad osutuda väga kestvaks ja raskesti parandatavaks (Maastik, 1984).

Reovesi on üle kahjutuspiiri rikutud vesi, heitvesi või saastunud sademevesi, mis vajab puhastamist. Heitvesi on kasutusel olnud ja loodusesse tagasijuhitud vesi või sademevesi, mida juhitakse ära kanalisatsiooni kaudu (Veeseadus, 1994). Kanalisatsioonisüsteemi jõuab reovett kolmel viisil: olmereovesi elamutest, kommunaalettevõtetest ja ühiskondlikest hoonetest, tootmisreovesi tööstusettevõtetest ja põllumajandusest ning sademevesi asulate ja ettevõtete territooriumilt. Pahatihti imbub kanalisatsioonisüsteemi ka reostamata vett, mis suurendab reoveepuhastile saabuva reovee vooluhulka ehk hüdraulilist koormust ning teeb tüli reovee puhastamisel (Maastik, 1984).

Reovee omadused liigitatakse füüsikalisteks, keemilisteks ja mikrobioloogilisteks. Füüsikalistest suurustest saab määrata reovee temperatuuri, heljumisisaldust, värvust ja lõhna. Temperatuur mõjutab bakterite ja veorganismide ainevahetust ning kasvu kiirust, hapniku lahustuvust vees ja organismide tundlikkust erinevate mürkide, haiguste ning parasiitide vastu. Sogasust tekitab reovees silmaga nähtav heljum ehk kõikvõimalikud savi- ja mudaosakesed, tööstusheitmed, hõljum ja reovesi. Heljum neelab soojust, tõstes sellega reovee temperatuuri ja vähendades vee hapnikusisaldust. Keemiline reovee koosseis võib olla väga erinev, sõltudes kas sisalduvatest lahustunud või lahustamata orgaanilistest ja anorgaanilistest ainetest (Mölder, 1998; Maastik, 1984).

Reostuskoormust ehk reoainete hulka on peale reovee vooluhulga vajalik teada puhastusseadmete dimensioneerimiseks või veereostusohu suuruse määramiseks. Seda saab määrata mistahes reoaine kohta, avaldub massihulgana ajaühikus ning võrdub reovee hulga ja ainesisalduse korrutisega. Hinnatakse reovees hapnikutarvet (BHT, KHT, oksüdeeritavus), toitainesoolasisaldust (N, P) või mõnda muud huvipakkuvat näitajat (Alasi jt, 2001).

Reoveepuhastuse üks peamisi eesmärke on vähendada biokeemilist hapnikutarvet (BHT), mis on hapniku hulk milligrammides, milleks kulub mikroorganismidel kindlates katsetingimustes ühes liitris vees oleva orgaanilise aine lagundamiseks. Eestis leitakse enamasti BHT₇ ehk seitsmepäevane hapnikutarve. Keemiline hapnikutarve (KHT) on hapniku hulk, mis kulub mitte ainult biokeemiliselt lagundatava, vaid igasuguse reovees leiduva orgaanilise aine lagundamiseks. Lisaks leidub reovees väetusaineid – lämmastiku- ja fosforiühendeid, mis soodustavad veekogudes taimestiku kasvu. Sünteetiliste orgaaniliste ühendite hulka kuuluvad erinevad tööstuskemikaalid ja nende tootmisjäägid, majapidamiskemikaalid, detergendid ja pestitsiidid. Tööstusest, kaubandusest ja kodumajapidamistest võib kanalisatsioonisüsteemi sattuda raskemetalle – elavhõbedat, kroomi, pliid, tsinki ja kaadmiumi (Mölder, 1998).

1.1.2 Reovee puhastamise tehnoloogiad

Olmereovesi ja tootmis- ning töötlemisettevõtete reovesi on reostunud peamiselt orgaaniliste ainetega. Samuti satub kanalisatsiooni mürkkemikaale, naftasaadusi ja mineraalaineid (liiv, savi, jm). Reoveepuhastuseks võib nimetada reoainete kõrvaldamist veest mehaaniliste, bioloogiliste ja/või füüsikalise-keemiliste võtetega. Reovett puhastatakse mehaaniliselt ja bioloogiliselt ning kui puhastatud heitvesi suunatakse veekogusse, mille rikastamine taimetoitainetega võib põhjustada veetaimestiku vohamist, tuleb reovett töödelda ka keemiliselt (Maastik, 1984; Alasi jt, 2001).

Tabel 1.1 Heitvee reostusnäitajate piirväärtused ja reovee puhastusastmed, 300-1999 ie reostuskoormusel (Vabariigi Valitsuse määrus nr 99, Lisa 1)

Reoaine	Reoaine piirväärtus	Minimaalne puhastusefektiivsus
BHT₇, mgO₂/l	25	80%
Heljuvaine, mg/l	35	70%
N_{üld}, mg/l	60	30%
P_{üld}, mg/l	2	70%
KHT_{Cr}, mgO₂/l	125	75%

Tabelis 1.1 on esitatud Vabariigi Valitsuse määrusest nr 99 „Reovee puhastamise ning heit- ja sademevee suublasse juhtimise kohta esitatavad nõuded, heit- ja sademevee reostusnäitajate piirmäärad ning nende nõuete täitmise kontrollimise meetmed“ lisa 1 välja toodud heitvee reoainete suurimad lubatud piirväärtused ning minimaalsed puhasti puhastusefektiivsuse

protsendilised väärtused. Kirjeldatud tabeli andmed kehtivad puhastile, mille koormus on 300-1999 ie. Inimekvivalent ehk ie on ühe inimese põhjustatud keskmise ööpäevase tinglik veereostuse ühik. Biokeemilise hapnikutarbe (BHT_7) kaudu väljendatuna on inimese kohta ie väärtus 60 grammi hapnikku ööpäevas (Veeseadus, 1994).

Reovee mehaaniline puhastus

Mehaanilise puhastuse eesmärgiks on igasuguste vees lahustumatute võõraste (liiv, heljuvaine, ujupraht), eemaldamine reoveest füüsikaliste võtetega, milleks võivad olla setitamine, sõelumine või kurnamine. Mehaaniline puhastus jaguneb omakorda veel algpuhastuseks ja eelselituseks. Võrele või sõeltele jääb pidama ujupraht, liivapüünisesse mineraalsed võõrised ning septikusse orgaaniline heljuvaine (Alasi jt, 2001).

Reovee keemiline puhastus

Reovee keemilisel puhastusel lahustunud ained seotakse keemiliste reaktsioonidega mittelahustuvaks sademeks. Seejärel mittelahustuv sade settib veest välja. Peamiselt kasutatakse keemilist sadestamist fosfori ärastamiseks, kuna tavalises bioloogilises puhastuses väheneb fosfori sisaldus reovees vaid kuni 30%. Tõhus fosfori eemaldamine põhineb fosforiühendite keemilisel sadestamisel lubja, alumiiniumi- või rauasooladega. Sellega väheneb nii ortofosfaatide kui ka orgaaniliselt seotud fosfori hulk. Fosfori ärastamist on võimalik teostada igas puhastusetapis. Eristatakse lähtuvalt (kemikaali lisamise) asukohast – eelsadestus, kus kemikaal lisatakse enne aeratsioonimahutit; simultaansadestus, milles kemikaal doseeritakse otse aerotanki ning viimaseks järelsadestus, kus fosfori ärastamine kemikaaliga toimub peale aktiivmudaprotsessi (Alasi jt, 2001).

Väikepuhastite puhul kasutatakse fosforikeemilist ärastamist ainult siis, kui loodusesse tagasijuhitav heitvesi juhitakse reostustundlikku suublasse. Eramute reoveepuhastuses fosforiärastust ei nõuta, kuid seda võib siiski teha, näidates välja hoolivust ja lugupidamist looduse vastu (Alasi jt, 2001).

Reovee bioloogiline puhastus

Bioloogiline reovee puhastus on protsess, kus mikroorganismide abil lahustunud orgaanilised ained hapendatakse ja kolloidsed heljumiosakesed sorbeeritakse aktiivmuda poolt. Sellele järgneb biomassi eraldamine setitamisega või flotatsiooni abil. Ideaalsetes tingimustes laguneb orgaaniline aine süsihappegaasiks ja veeks (Alasi jt, 2001; Kuusik, 1995).

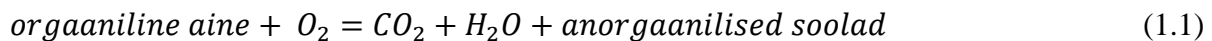
Bioloogilisi puhastusprotsesse võib liigitada järgmiselt:

- aktiivmudaprotsessid, milles mikroobid on vabalt ujuvad vees;
- biokileprotsessid, milles mikroobid kinnituvad tugiaine külge.

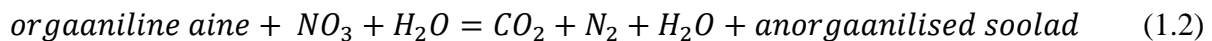
Orgaaniline aine laguneb biopuhastuses nii aeroobses (hapnikurikkas) kui ka anoksilises (hapnikuvabas) ja anaeroobses keskkonnas. Anoksiliseks nimetatakse keskkonda, milles lahustunud hapnik puudub, küll aga leidub seda nitraatides ja nitritites. Anaeroobses keskkonnas ei ole lahustunud hapnikku ega ka nitraate, nitriteid (Alasi jt, 2001).

Järgmised reaktsioonid kirjeldavad orgaanilise aine lagunemist biopuhastuses:

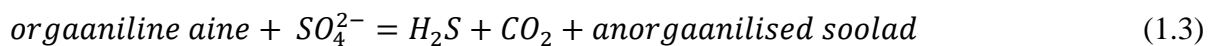
- aerobne keskkond:



- anoksiline (hapnikuvaba) keskkond:



- anaerobne keskkond:



Bioloogiline puhastusprotsess võib olla aerobne või anaerobne. Vahel rakendatakse selle käigus vaheldumisi mõlemat keskkonda. Bioloogilised puhastid jagunevad looduslähedasteks ning tehnilisteks. Tehnilised omakorda aktiivmudapuhastiteks, biokilereaktoriteks ja täidisega aktiivmudapuhastiteks. Reovee puhastuses on kasutatud orgaaniliste reoainete lagundamist aastakümneid, toitesoolade bioloogiline ärastamine ehk aktiivmudaprotsess on suhteliselt uus meetod. Lämmastiku ärastamine toimub nitrifikatsiooni ja denitrifikatsiooni teel, mille alguses bakterid oksüdeerivad hapnikurikkas keskkonnas lämmastikuühendid energia saamiseks nitrititeks ja nitraatideks ehk toimub nitrifikatsioon. Seejärel hapnikuvabas keskkonnas redutseerivad denitrifitseerivad bakterid ehk toimub denitrifikatsioon. Nende tagajärjel lämmastik vabaneb ja lendub. Fosforiärastusel seovad bakterid fosfori aeratsioonikambri hapnikuvabas tsoonis aktiivmudahelvestesse, mis eemaldatakse protsessist koos liigmudaga (Alasi jt, 2001).

1.1.3 Levinumad reoveepuhastite tehnoloogilised lahendused Eestis

Eestis on kokku üle 730 reoveepuhasti. Rohkem kui 60% reoveepuhastitest kasutab aktiivmudatehnoloogial baseeruvat puhastusprotsessi. Ligikaudu 10% kasutatakse

reoveepuhastuseks ainult mehaanilist puhastust ning sarnane protsendiline suurusjärk on ka biokilehnoloogia rakendamisel (Saarniit, 2010).

Aktiivmudapuhastid

Kui mahutisse kogutud orgaanilise ainega sisalduvat reostunud vett intensiivselt õhustada ja segada, tekib selles helbeline biomass, mida nimetatakse aktiivmudaks. Selle koostiseks on orgaanilisest peenheljumi, kolloidide ja mikroorganismide kogumid. Sissetöötatud aktiivmudaprotsessis viiakse reovesi, mis on enamasti eeslitatud, aeratsioonikambris kontakti aktiivmudaga, samal ajal hoolitsedes piisava juurdeõhustamise eest. Aktiivmudamenetlusel on erinevaid modifikatsioone, kuna see on väga paindlik puhastusprotsess. Klassikaline aktiivmudamenetlus koosneb eeslitist, aeratsioonikambrist ja järelsetitist (Maastik, 1984).

Aktiivmudaprotsessi jätkusuutlikus sõltub mudatagastusest. Tagastusmuda vooluhulk võrdne või kuni 1,5 korda suurem reovee keskmisest juurdevooluhulgast aeratsioonikambrisse. Mudatagastus peab olema pidev, kuna järelsetiti põhjas olev anaeroobne keskkond pärsib aktiivmudaorganismide elutegevust. Anaeroobses keskkonnas tekib järelsetitis denitrifikatsiooniprotsess, mille käigus täitub aktiivmuda väikeste N_2 ja CO_2 sisalduvate gaasimullidega, mis põhjustab mudatükide pinnalekerkimist. See suurendab aktiivmuda järelsetitist väljakandumist, vähendades puhasti tööefektiivsust ning suurendades reoveepuhasti väljavoolus heljumi ning orgaanilise aine sisaldust. Selleks, et denitrifikatiooni järelsetitis vältida, tuleb hoolitseda puhastusseadmes küllaldase aeratsiooni ja mudatagastuskiiruse eest (Kuusik, 1995; Alasi jt, 2001).

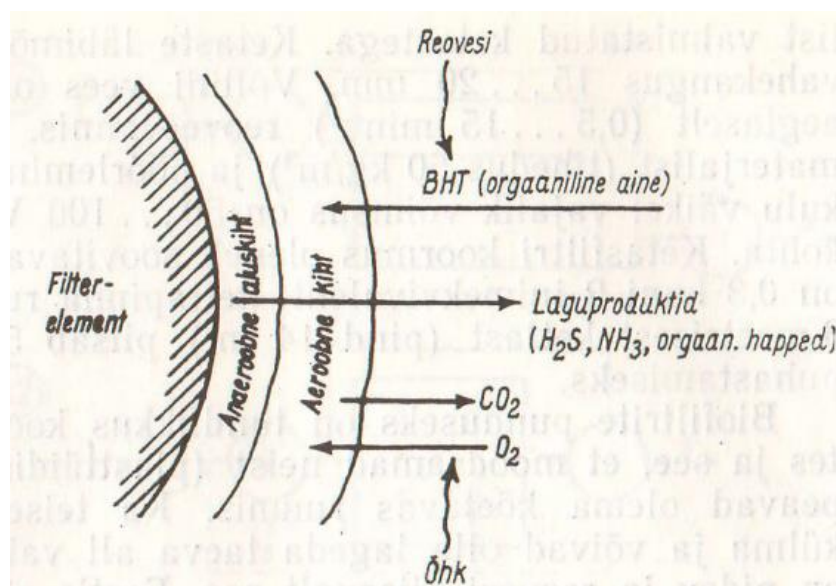
Aktiivmudaprotsessi tööprotsessi efektiivsust hinnatakse erinevate reoainete sisalduse vähenemise järgi. Enamikel juhtudel on selleks BHT alanemise protsent. Aktiivmudapuhasti töötab hästi, kui biokeemilist hapnikutarvet suudetakse alandada vähemalt 85%. Puhastusprotsessi efektiivsus sõltub keskkonna pH-st ja temperatuurist ning fosfori, lämmastiku, mikroelementide olemasolust, mis aktiveerivad fermente. Optimaalne tarbitava N ja P hulk sõltub siseneva reovee BHT-st, enamikel juhtudel on selleks soodsaks vahekorraks BHT : N : P – 100 : 5 : 1 (Kuusik, 1995).

Aktiivmudapuhasti kõige tähtsamaks elemendiks on selle aereerimisseade, kuna protsess toimub ainult aeroobses keskkonnas. Õhustusseadmel on kaks ülesannet – varustada reovees olevaid mikroorganisme hapnikuga ja tagada aeratsioonimahutis aktiivmudasuspensiooni ja

reovee läbisegamise. Aereerimiseks kasutatakse pneumaatilisi ehk surveõhustusega või mehaanilisi õhustusseadmeid (Maastik, 1984).

Nõrg- ja biofiltrid

Bio- ja nõrgfiltrid on poorse täidisega mahutid, mille sisuks on keramsiit, räbu või erinevad plastelemendid. Tööpõhimõte seisneb selles, et neist nõrgub läbi selitatud reovesi ning filtrielementide pinnale hakkab moodustuma 2 kuni 3 mm paksune bioloogiline kile, milles elavad mikroorganismid toituvad reovees sisalduvaist aineist. Biokile filterelemendi peal on üldjuhtudel kahekihiline – esimese ehk aeroobse pealiskihi all on anaeroobne aluskiht (joonis 1.1). Biokile kasvab filtri pinnal pidevalt ning osa sellest irdub ja kandub veega välja. Seetõttu peab olema nõrg- ja biofiltri tehnoloogia kasutamisel ka järelsetiti, et väljakanduvate kihtide osakesed settimise abil protsessist eemaldada. Biokile kasv tugimaterjalil kestab mõnest päevast mõne nädalani. Protsess on väga tundlik erinevatele mürgistustele, mis avaldub enamasti biokile kiire irdumisega. (Maastik, 1984; Alasi jt, 2001).



Joonis 1.1. Biokiles toimuvad protsessid (Maastik, 1984)

1.2 Reoveepuhastite vahutamisega seotud probleemid

1.2.1 Vahutamisega seotud probleemide ajalugu

Aktiivmudaprotsess töötati algselt välja 20. sajandi alguses Inglismaal (Martins, 2003). Esmakordselt kirjeldas protsessi Arden aastal 1919 kui „helbelise iseloomuga“ ja loomuliku

võimega hästi settida. Olmereoveekäitlemise aktiivmudaprotsessi algusaastatel ei olnud tõsiseks probleemiks halb settivus ega liigne vahutamine (Foot ja Robinson, 2003).

Järgmine kümnend juba näitas juba varajasi märke aktiivmudaprotsessi tulevikuprobleemidest. „Soovimatud filamentsed organismid“ tuvastasid aastal 1928 Morgan ja Beck, järeldades, et need on põhjuseks halvale settivusele. Neli aastat hiljem (1932) kirjeldas Donaldson filamentset kasvu kui „aktiivmuda umbrohtu“ ja väitis, et selle olemasolu pärsib kindlasti normaalset aktiivmudaprotsessi kulgu (Foot ja Robinson, 2003).

Üks esimesi väljaandeid, kus mainiti liigset vahutamist kui probleemi, oli nn Milwaukee mõistatus (Anon, 1969). USA-s 1979. aastal tehtud uuring näitas, et 66%-l aktiivmudapuhastitest oli olnud probleeme vahutamiseega. Samal ajaperioodil toimunud Prantsuse teadlaste poolt läbiviidud uuring tuvastas, et uuritud 6000-st reoveepuhastist esines vahutamiseega probleeme rohkem kui pooltel. Suurbritannias hakkas vahutamine laialdaselt levima 1980. aastatel. Kuid selle ajani polnud vahutamise põhjuseid seletatud ühegi kindla reoveepuhasti tüübi, suuruse või konfiguratsiooni puhul. Täheledatai ainult, et enamasti on liigse vahutamiseega probleeme püsiohutusega bioloogilistel puhastitel (Foot ja Robinson, 2003).

Vahutamist seostas esmakordselt, peamiselt kolme erineva filamentse mikroorganismiga, härra Wanner 1994. aastal. Tuvastatud mikroorganismideks olid:

- *Microthrix parvicella*, mida esines kõige sagedamini;
- *Nocardia*;
- *Nostocoidia limilocola*, Tüüp 0041 ja Tüüp 0092.

Wanner väitis, et filamentsete organismide esinemine bioloogilises vahus muutub pidevalt ajas ning erineb nii hooajaliselt kui ka riikide vahel (Foot ja Robinson, 2003).

1.2.2 Liigse vahu ja saasta tekkimine puhastusprotsessis

Vahu ja saasta tekkimine ning kuhjumine aktiivmudaprotsessis viitab vähemalt ühele muutusele keskkonnatingimuses (tabel 1.2). Selle tagajärjel võib aktiivmudaprotsessis tekkida mitmeid opereerimisega seotud probleeme:

- alanenud puhastusefektiivsus;
- suurenenud opereerimiskulutused;
- halb aktiivmuda settivus;
- terviseriskid;

Tabel 1.2. Keskkonnamuutuse tagajärjel vahu ja saasta kuhjumine (Gerardi, 2002)

Keskkonnatingimus	Muutus	Vahu või saasta teke
Filamentsed organismid	Bioloogiline	Vaht
Toitainete puudus	Bioloogiline	Vaht
Aktiivmuda vananemine	Bioloogiline	Vaht
Zoogloea kasv	Bioloogiline	Vaht
Pindaktiivsete ainete kasv	Keemiline	Vaht
Leelisuse kasv	Keemiline	Vaht
Katioonsete polümeeride olemasolu	Keemiline	Vaht
Toksilisus	Keemiline	Saast
Rasvad, õlid, määrded	Füüsiline	Vaht

Muda vanusel on samuti suur mõju iseloomustamiseks vahutamist, sellisel juhul ei ole isegi oluline, kas ja millised teised keskkonnatingimused on muutunud. Muda vanuse vähenedes, muutub aeratsioonikambri tekkiva vahu värv heledamaks ja tekstuur kohevamaks. Muda vanuse suurenedes, muutub aga vahu värvus tumedamaks ja tekstuur viskoossemaks. Mitmete keskkonnatingimuste muutuse tagajärjel tekib reovee ja aktiivmudasuspensiooni vahutamine, mille tagajärjel tekib veepinnale nn saasta kiht. Seda põhjustab suure hulga bakterite kiire suremine suhteliselt lühikese ajavahemiku jooksul ning tavaliselt seostatakse seda toksiliste ainete sattumisega reovette (Gerardi, 2002).

Vaht on tahke aine kiht, näiteks lipiidide, mis koosneb neeldunud õhu- või gaasimullidest. Levinumad vahus leiduvad gaasid on süsihappegaas (CO₂), molekulaarne lämmastik (N₂) ja lämmastikoksiid (NO). Kui lõksus olevad gaasi- ja õhumullid vabanevad vahust, siis vaht kukub kokku ning seda kutsutakse saastaks. Aeratsioonikambri vee pinnale tekkivat vahtu iseloomustatakse kahe tunnuse – vahu värvi ja tekstuuri, järgi (tabel 1.3) (Gerardi, 2002; Kõrgmaa, 2010).

Tabel 1.3. Vahu värv ja tekstuur (Gerardi, 2002)

Keskkonnatingimus	Vahu värv ja tekstuur
1	2
Filamentsed organismid	Viskoosne, pruun
Toitainete puudus	Kohev valge või hallikas rasvane

1	2
Aktiivmuda vananemine	Kohev või kähar valge/pruun, viskoosne tumepruun või vahajas tükiline tumepruun
Zooglea kasv	Kohev valge
Pindaktiivsete ainete kasv	Kohev valge
Leelisulisuse kasv	Kohev valge
Katioonsete polümeeride olemasolu	Kohev valge
Rasvad, õlid, määrded	Viskoosne tumepruun või must

1.2.3 Vahu identifitseerimine

Aktiivmudaprotsessi vahutamise vältimiseks või vähendamiseks on vajalik tuvastada selle tekkepõhjus. Vahutamise põhjuste tekkeallikad ja karakteristikad on edasise probleemi lahendamisel väga tähtsal kohal. Seega on vajalik esmalt vahu välimus identifitseerida ning teha kindlaks arvatav liigse vahutamise põhjus (lisa 1). Tihtipeale on vahu identifitseerimisel vajalik teostada vahu ja aktiivmudasegu mikroskopeerimine, torreovee laborianalüüsimine ning uurida reoveepuhasti operatiivseid andmeid (Gerardi, 2002; Martins jt, 2003).

Filamentsed organismid

Tänapäeval on teada umbes 30 erinevat filamentset organismi, millest ligi 10 tekitavad vohamisega erinevaid opereerimisprobleeme. Filamentsed organismid on bakterid, vetikad ja seened, kelle rakud peale pooldumist üksteisest ei eraldu. Nad avaldavad aktiivmudaprotsessile nii positiivset kui ka negatiivset mõju. Positiivse külje pealt osalevad filamendid aktiivmudahelveste moodustamisel, andes neile juurde tugevust ja suurust, mis omakorda aitavad kaasa järelsetis mudahelveste väljasettimisele (Kõrgmaa, 2010).

Nendel filamentsetel organismidel, mis põhjustavad vahutamist, on vett-tõrjuvad ehk hüdrofoobsed rakuseinad, mis on kaetud vahaja kihiga. Nende mõju settivusele on suhteliselt minimaalne ja samuti ei osale nad reovee puhastuses, kuid liigse vahutamise tõttu võivad häirida puhastusprotsessi töökindlust (Kõrgmaa, 2010).

Filamentsete organismide kasvu põhjustavad opereerimistingimuste muutused on:

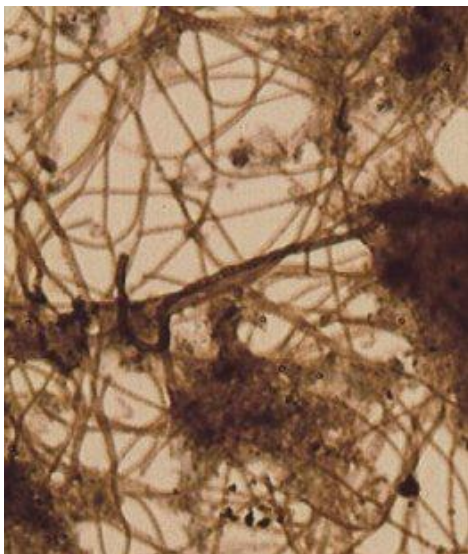
- külm temperatuur;
- madal lahustunud hapniku kontsentratsioon;
- madal toitainete sisaldus aktiivmudasegus;

- madal mudakoormus;
- toitainete puudus lämmastiku- ja väevliühenditele;
- liigne rasvade, õlide või määrete kuhjumine;
- liiga madal/kõrge pH;
- kõrge muda vanus;
- liiga pikk muda viibeaeg.

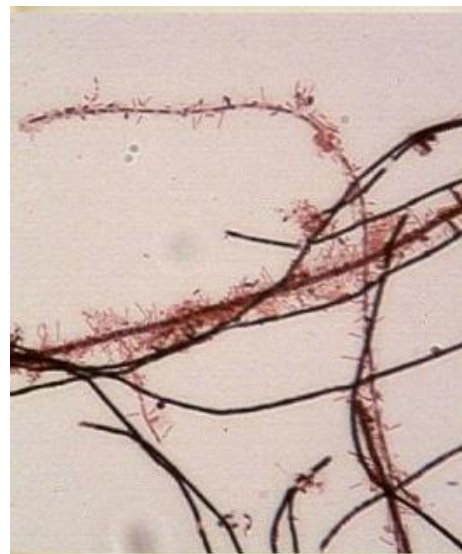
Iga tingimuse muutus on seotud ainult kindla filamendi vohamisega ning sellest tulenevate vahutamisprobleemidega (Gerardi, 2002; Kõrgmaa, 2010).

Vaht, mis on filamentsete organismide poolt põhjustatud on enamasti viskoosne ja pruun. Mikroskopeerimisel on tavaliselt filamentset organismid nähtaval tihedamalt kui aktiivmudasegus olevad filamendid. Tuvastamiseks, kas vahutamine on aktiivmudaprotsessis filamentsete organismide poolt tekitatud, soovitab Gerardi (2002) järgmisi protseduure:

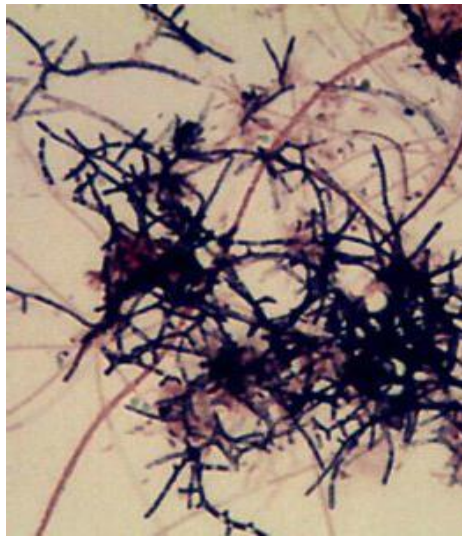
1. Aktiivmudasegu märglahuse mikroskopeerimine. Subjektiivselt hinnata filamentsete organismide olemasolu tihedust.
2. Probleemse vahuproovi mikroskopeerimine. Subjektiivselt hinnata filamentsete organismide tihedust vahus.
3. Kui aktiivmudasegus esineb filamentseid organisme rohkem kui vahus, siis suure tõenäosusega ei ole liigne vahutamine põhjustatud filamentsete organismide vohamisest.
4. Kui filamentseid organisme esineb vahus rohkem kui aktiivmudas, siis on tõenäoliselt vahu tekkepõhjuseks filamentsete organismide vohamine.



Joonis 1.3. *Microthrix parvicella* bakter (Environmental Leverage Inc. Nocardia, 2003)



Joonis 1.2. Tüüp 1863 bakter (Environmental Leverage Inc. Type 1863, 2003)



Joonis 1.4. Nocardia bakter (Environmental Leverage Inc. Microthrix parvicella, 2003)

Lisaks on tähtis välja selgitada domineeriv filamentne organism, kuna kõik vahutamisprobleeme ei tekita. Peamised teadaolevad vahutekitajad on *Microthrix parvicella* (joonis 1.2), *Nocardia* (joonis 1.4) ja tüüp 1863 (joonis 1.3) filamentseid organismid. Kõige tihedamalt on esinenud *Nocardia* poolt põhjustatud vahutamist, umbes 40% filamentide poolt põhjustatud vahutamise juhtudest. Kõige harvemini esineb tüüp nr 1863 filamenti poolt põhjustatud vahutamist (Richard, 2003).

Kui filamentseid organisme on vahus rohkem esindatud kui aktiivmudasegus, siis suure tõenäosusega ongi filamendid vahutamise põhjuseks (joonis 1.5 ja 1.6) (Gerardi, 2002).



Joonis 1.5. Nocardia poolt põhjustatud filamentne vahutamine (Re ja Young, 2010)



Joonis 1.6. Microthrix parvicella poolt põhjustatud filamentne vahutamine (Re ja Young, 2010)

Lisaks võib filamentset vahutamist esineda valge voogava vahuna (joonis 1.7). Seda kirjeldatakse kui ohjeldamatut vahutamist, mis võib katta kogu aeratsioonikambri veepealse osa ning levida isegi väljapoole veepiire. Sellist intensiivset mitte-bioloogilist vahutamist põhjustavad enamikel juhtudel bioloogiliselt mittelagunevad detergendid ehk sünteetilistes pesuvahendites kasutatavad pindaktiivsed ained (Hug, 2006; Kragelund jt, 2005).



Joonis 1.5. Ohjeldamatu filamentne vahutamine - tüüp 1863 (Hug, 2006)

Toitainete puudus

Vahutamine, mille põhjustab toitainete puudus (tagastusmuda nappus) on kohev valge noore muda ning vahajas hall vana muda korral (Kroehn jt, 2010). Et kindlaks teha, kas vahutamise põhjuseks on toitainete nappus aeratsioonikambris, soovib Gerardi (2002) järgmisi protseduure:

1. Võtta aktiivmudasegust proov reoveepuhastile kõige suurema pealevoolu ajal ning see filtreerida. Analüüsida laboris filtreeritud aktiivmudasegu, et kindlaks teha, kas ammoniumioonide ja ortofosfaatide kogused vastavad soovitatud toitainete kogusele. Soovitatud minimaalne kontsentratsioon filtreeritud proovist on 1,0 mg/l NH_4 ja 0,5 mg/l HPO_4 .
2. Identifitseerida aktiivmudasegu proovist dominante filamentne organism ning uurida, kas see võib samuti vahutamist põhjustada.

Toitainete nappusest põhjustatud vahutamist aeratsioonikambris võib põhjustada ülekoormatud reoveepuhasti (joonis 1.8). Ülekoormatud puhasti puhul sarnanevad opereerimistingimused kui reoveepuhasti käivitamise puhul, millega kaasneb madal aktiivmuda keskmine viibeaeg ja kõrgeenenud mudakoormus (Re ja Young, 2010).



Joonis 1.6. Reoveepuhasti käivitamisel või puhasti ülekoormamise tagajärjel tekkinud valge kohev vahutamine (Re ja Young, 2010)

Aktiivmuda vananemine

Tihti on bioloogilise vahu tekkepõhjuseks tagastusmuda vanus. Sellest tingitud vaht võib olla kohev valge, kähär valge, kähär pruun, viskoosne tumepruun või vahajas tükiline tumepruun, mille täpsemate põhjuste allikaid on kirjeldatud järgmiselt:

- **Koheva valge vahu** – esinemise aeratsioonikambris põhjustavad võrdlemisi madala populatsiooniga bakterite esinemine või madal orgaanilise aine kontsentratsioon aktiivmudasegus. Kui bakterite populatsioon on väga madal aktiivmudasegus, siis seal leiduvad erinevad pindaktiivsed ühendid ei lagune piisavalt. Mitte-lagunenud pindaktiivsed ühendid hakkavad tekitama seebivahtu või kohevat valget vahtu.
- **Käharat valget vahutamist** – võib esineda korralikult töötavas aktiivmudaprotsessis, kus on olemas just niipalju baktereid, et lagundada erinevaid pindaktiivseid ühendeid, mis tulenevad reoveest. Kuid aga enamik pindaktiivsed ühendid lagundatakse bakterite poolt ära, jääb bioloogilist ainet aktiivmudahelvestesse vähe, mis tekitab valget käharat vahtu.
- **Käharat pruuni vahtu** – põhjustab vana muda, mille helvestesse on imendunud suur hulk lipiide ja rasvu. Need imendunud sekreedid hakkavad endas kinni hoidma õhumulle ja gaase, mis tekitab tumeda kähara vahu. Kähara pruuni vahu esinemine on tavaline kestuspuhastus-režiimis korralikult töötavale aktiivmudaprotsessile.

Tavapärasel väljatõrjerežiimis töötavale aktiivmudaprotsessile on sellise vahu esinemine ainult väga vana muda korral tõenäoline.

- **Viskoosne tumepruun vaht** – esineb aktiivmudaprotsessis juhul kui muda vanus on juba väga kõrge. Muda vanuse tõttu on väga tõenäoline, et seal esineb palju aeglaselt kasvavaid ning vahtu tekitavaid filamentseid organisme. Suur lipiidide hulk filamentsetest organismidest, helvestesse imendunud rasvad ja lõksus olevad gaasid ja õhumullid – nende keskkonnatingimuste tagajärjel tekib viskoosne tumepruun vaht (Gerardi, 2002; Wanner, 1994; Kroehn jt, 2010).

Zoogloea kasv

Zoogloea kasvust tingitud vahutamise viitab suurele mudakoormusele. Esineb kõrge orgaaniline happelisus ja madal hapnikutase. Zoogloea kasv põhjustab aeratsioonikambris kohevat valget vahutamist. Tegemaks kindlaks, kas vahutamise tekkepõhjuseks aktiivmudaprotsessis on zoogloea kasv, soovitatakse järgmisi protseduure:

1. Võtta aeratsioonikambrist aktiivmudasegu proov ning analüüsida seda laboris, tuvastamaks amorfset zoogloea kasvu.
2. Kui täheldatakse zoogloea baktereid, tuleb määratleda – kas see juurdekasv on märkimisväärne või tühine.

Kui laborianalüüs tuvastab zoogloea märkimisväärse kasvu ning aeratsioonikambris esineb õhulist valget vahutamist, tuleks kahtlustada just seda probleemi põhjustajaks (Gerardi, 2002; Richard, 2003).

Pindaktiivsete ainete kasv

Liigsete pindaktiivsete ainete esinemine reovees või halvenenud protsessitingimused, mis tingivad samuti pindaktiivsete ainete suurenenud kontsentratsiooni (näiteks toksilisus), võivad põhjustada seebivahu või õhulise valge vahutamise teket. Et saada kinnitust, kas vahutamist põhjustab pindaktiivsete ainete kasv, on vajalik teostada laborianalüüs. Kui analüüside tulemused näitavad kõrget pindaktiivsete ainete kontsentratsiooni, sealjuures aktiivmudasegu oleva orgaanilise aine hulk ei ole tõusnud, siis on suure tõenäosusega vahutamise põhjustajaks just liigne pindaktiivsete ainete kasv (Fryer ja Gray, 2012).

Leelisuse (pH) tõus

Leelisuse tõus aktiivmudaprotsessis toob kaasa muutuse pindpinevuses aerotanki veepinnal. Pindpinevuse muutusega kaasneb enamasti valge vahuline vahutamine. Leelisuse tõus võib

olla põhjustatud liigse leelisusega toorreoveest, kust näiteks liigsed ammooniumioonid satuvad aktiivmudaprotsessi. Samuti orgaanilise lämmastikuühendite nagu valkude lagunemisel vabanevatest ammooniumioonidest võib olla põhjustatud leelisuse tõus (Wanner, 1994).

Kontrollimaks, kas leelisuse tõusu tagajärjel on reoveepuhasti töö häiritud tänu liigsele vahutamisele, tuleb teostada laborianalüüs, millega määratakse leelisus ja lämmastiku üldsisaldus. Lämmastiku üldsisaldus näitab orgaaniliste ühendite kogust reovees. Reoveepuhastisse siseneva reovee proovist saab üldlämmastiku hulgast eeldada hinnanguliselt, palju orgaanilise lämmastiku lagunemisel ammooniumioone vabastatakse. Ligikaudu 2 mg/l ammooniumioone vabaneb iga 5 mg/l orgaanilise lämmastiku lagunemisel. Selgudes, et reoveepuhastisse siseneva reovee laborianalüüs näitab märkimisväärset tõusu leelises ja lämmastiku üldsisalduses, tuleks kahtlustada liigse vahutamise tekkepõhjusti just nendes muutunud keskkonnatingimustes (Gerardi, 2002).

Katioonsete polümeeride esinemine

Katioonseid polümeere, enamasti polüakrüülamiidi, kasutatakse aktiivmudaprotsessis reoveesette tihendamiseks ja veetustamiseks. Polüakrüülamiid-polümeer sisaldab akrüülamiidi ja akrüülhapet. Aerotankis polüakrüülamiidi lagundamise tagajärjel vabaneb aminorühm ($-NH_2$) ja akrüülhappes sisalduv kvarternaarne amiid. Need vabanenud komponendid muundatakse aerotankis kiiresti ammooniumi ionideks (NH_4^+). Ammooniumi ionide tõus toob kaasa leelisuse kasvu ning muutuse pindpinevuses aerotanki veepinnal, mille tagajärjeks on kohev valge vahutamine (Gerardi, 2002; Mamais, 2011).

Et kindlaks teha, kas koheva valge vahutamise põhjuseks on polüakrüülamiidi polümeeri esinemine aerotankis, tuleb sooritada järgmine katse:

- 1) Tuleb võtta polümeeriga kokkupuutumiskahtlusega reoveest proov. See on soovitatav võtta pärast mehaanilise puhastuse väljavoolu, vahetult enne aeratsioonikambrit.
- 2) Seejärel võtta proov jääkaktiivmudast (liigmudast) kohas, kus seda pumbatakse mudatihendisse. Tuleb olla kindel, et proov võetakse sellisest kohast, mis ei ole veel polümeeriga kokku puutunud ehk proov tuleb võtta enne kui liigmuda mudatihendajasse jõuab.
- 3) Aeglaselt kokku valada ja segada läbipaistvasse anumasse 50 ml pärast mehhaanilist puhastusprotsessi võetud proov ning 50 ml jääkaktiivmuda proov. Kui jääkaktiivmuda hakkab helvestuma, tuleb kahtlustada liigse polümeeri olemasolu reovees.

Enamikel juhtudel satub katioonne polümeer aerotanki selle vääril doseerimisel või puhasti tehnoloogiliselt mittekorrektse tööprotsessi puhul (Gerardi, 2002).

Rasvad, õlid, määrded

Erinevate rasvade, õlide ja määrete kuhjumise tagajärjel tekib aeratsioonikambri pinnale viskoosse tumepruuni või musta vahu kiht. Vahutamist tingivad organismid kasvavad rasvade, õlide ja määretega kokkupuututes, kuna neil on sarnane vett tõrjuv väliskiht. Petrooleumõlid ja –määrded põhjustavad viskoosse musta vahu teket. Kontrollimaks, kas vahutamise põhjuseks on erinevate rasvade, õlide või määrete kuhjumine, soovitatakse järgmisi protseduure:

- 1) Võtta aeratsioonikambrist aktiivmudasegu proov ning analüüsida seda laboris, tuvastamaks liigset õli ja rasvasisaldust reovees.
- 2) Aktiivmudasegu orgaanilise aine sisalduse analüüs tuleks samuti teha, et tuvastada, ega see ei ole ebamääraselt kõrge.

Kui laborianalüüsid näitavad rasvade suurenenud kuhjumist reovees ning aktiivmudasegu orgaanilise aine sisaldus on samuti tõusnud, tuleks kahtlustada rasvade, õlide või määrete liigset esinemist aktiivmudaprotsessis viskoosse tumepruuni või musta vahu tekkimisel (Gerardi, 2002; Griffiths ja Stratton 2010).

1.2.4 Võimalused vahutamise vähendamiseks või kõrvaldamiseks

Viimastel aastakümnetel on läbi viidud mitmeid uurimustöid seoses vahutamise ja selle kontrolli all hoidmisega. Paraku ei ole suudetud välja töötada täiesti kindlat ja ühtset süsteemi selleks, et liigse vahutamise põhjused aerotankis oleksid lihtsasti tuvastatavad ja ärahoitavad. Samas leidub mitmeid võimalusi vahutamise kontrolli all hoidmiseks, selle vähendamiseks ning samuti ärahoidmiseks aeratsioonikambri. Teatud meetmed, näiteks vee piserdusseade, mille ülesandeks on vahu kokkuvaristamine või selle taseme alandamine, sobib mitme erineva vahutamisprobleemi lahenduseks. Teiselt poolt aga pindaktiivsete ainete lagundamiseks mõeldud lisandeid võib kasutada ainult juhul, kui on tegemist pindaktiivsete ainete kasvust tingitud vahutamise ja (Fryer, O'Flaherty ja Gray, 2010).

Filamentsete organismide poolt põhjustatud vahutamine

Mittesoovitud filamentsete organismide kasvuga seotud vahutamise korral iseloomustab vahtu tavaliselt selle viskoosne koostis ning pruun värvus. Filamentseid organisme leidub sellises

vahus tavaliselt rohkem kui aktiivmudasegus (Kragelund jt, 2005). Kindlaid kontrollimeetmeid filamentsete organismide poolt tekitatud vahutamise peatamiseks ei ole, küll aga on mõningaid meetmeid ja vahendeid filamentsete organismide populatsiooni vähendamiseks. Filamentsete organismide poolt tekitatud vahutamine tuleb reoveepuhastis kontrolli alla saada ning tingimused, mis filamentide kasvu tingivad, tuleb identifitseerida ja parandada (Rossetti, 2005).

Teatud filamentsete organismide vohamise poolt tekitatud liigse vahutamise vastu on pakutud välja järgmisi protseduure:

- 1) Piserdada vahtu heitveega, näiteks spetsiaalse vihmuti või piserdussüsteemi abil. Selle tagajärjel alaneb vahu tase aerotanki pinnal. Vahu piserdamisel heitveega see lahjendab vahtu, mis võimaldab vahul kokku variseda.
- 2) Vahtu võib eemaldada aeratsioonikambri pinnalt vaakumpumbaga ära imedes või käsitsi kokku kraapides. Kuna aga vaht sisaldab palju elujõulisi filamentseid organisme, siis tuleb sellise vahu eemaldamisviisi puhul järgida, et toimuks asjakohane edasine vahu töötlus või kõrvaldamine. Kindlasti tuleb vältida kõrvaldatud vahu sattumist tagasi aktiivmudaprotsessi.
- 3) Kuna vaht koosneb bioloogilistest lipiididest, võib selle vähendamiseks või kokku varistamiseks kasutada sobivat polümeeri. Kokku varisenud vahtu võib aerotankist eemaldada punktis 2 soovitud meetodil. Lipiididest koosneva vahu kui ka lipiidikihi kaetud helveste töötlemiseks aktiivmudasegus sobib hästi bioaugmentatsioon. Bioaugmentatsiooni põhimõte seisneb spetsiaalsete mikroorganismide lisamisega vette, mille tagajärjel lagundatakse mikrobiopopulatsiooni (Vee- ja mullamikrobioloogia..., 2005). Sellele meetodile tuginedes tuleks aktiivmudasegule aerotankis lisada lipaasi ehk rasvu lagundavaid ensüüme, mis vähendavad bioloogilisi lipiide ning sellega ka vahutamist.
- 4) Vahutamise vähendamiseks saab kasutada punktis 1 esitatud meetodit – vahu piserdamist heitveega, kuid seda 10-15%-lise naatriumhüpokloriidi lahusega. Hüpokloriidi lahus peab vahuga, mis on tänu piserdamisele kokku varisenud, olema kokkupuutes 2 kuni 3 tundi. Selle ajaga naatriumhüpokloriid oksüdeerib lipiidide keemilised sidemed ja vähendab filamentsete organismide arvu vahus. Pärast lahusega piserdamist kukub vaht kergemini kokku ja elujõuliste filamentsete organismide arv on tunduvalt vähenenud.
- 5) Aktiivmudaprotsessis võib vahutamise vähendamiseks aerotankis kasutada spetsiaalset vahuärastamise lisandit. Filamentsete organismide vohamisega seotud vahutamise

probleemi lahendamiseks kasutatakse vahuärastamise lisandit suhteliselt sageli. Enamasti kasutatakse selleks polüglükooli baasil valmistatud lisandit. Petrooleumi baasil valmistatud lisand vahutamise vähendamiseks küll alandab vahu mahtu, kuid võib olla substraadiks edasi kasvavatele vahtutekitavatele filamentsetele organismidele (Gerardi, 2002; Kragelund jt, 2005).

Toitainete puudusest põhjustatud vahutamine

Toitainete puudumisest aktiivmudaprotsessis tingitud vahutamist iseloomustab tavaliselt õhulise valge vahu teke (noore aktiivmuda korral) ning vahane hallikas vaht (kõrge vanusega aktiivmuda korral). Sellist toitainete puudusest tingitud vahutamist põhjustavad aktiivmudasegu helvestes lahustumatud polüsahhariidid (Gerardi, 2002; Re ja Young, 2010).

Kontrollimaks toitainete puudumisest tingitud vahutamise tekkimist ja kuhjumist saab kasutada järgmisi meetodeid:

- 1) Tuleb korrigeerida aktiivmudasegu helvestes olevate polüsahhariidide lagundamiseks vajalikke toitaineid, neid vajadusel juurde lisada. Samuti tuleb välja selgitada, milline opereerimistingimuse muutus on põhjustanud toitainete puudumise aktiivmudasegus ja see parandada.
- 2) Vahu koguse vähendamiseks saab kasutada piserdamist heitveega, mida on täpsemalt kirjeldatud eelnevalt.
- 3) Vahtu võib eemaldada aeratsioonikambri pinnalt seda vaakumpumbaga ära imedes või käsitsi kokku kraapides. Kuna aga vaht sisaldab palju elujõulisi filamentseid organisme, siis tuleb sellise vahu eemaldamisviisi puhul järgida, et toimuks asjakohane edasine vahu töötlus või kõrvaldamine. Kindlasti tuleb vältida kõrvaldatud vahu sattumist tagasi aktiivmudaprotsessi (Gerardi, 2002; Kroehn jt, 2010).

Aktiivmuda vanusest tingitud vahutamine

Aktiivmuda vanus on mitme bioloogilise vahu tekkepõhjuseks. Sellest tingitud vaht võib olla kohev valge, kähar valge, kähar pruun, viskoosne tumepruun või vahajas tükiline tumepruun. Järgnevalt kirjeldatakse võimalusi sellist tüüpi vahutamise vähendamiseks või kõrvaldamiseks:

- 1) Õhulist valget vahutamist võib olla põhjustanud tagastusmuda noor vanus. Sellisel juhul tuleb suurendada aktiivmuda vanust, mille saab saavutada vähendades protsessist väljuva liigmuda normi.

- 2) Käär valge vaht on tüüpiline korrektselt töötavale aktiivmudaprotsessile ning see ei vaja muutust tagastusmuda vanuse suhtes.
- 3) Viskoosne tumepruun ja vahajas tükiline tumepruuni vaht on iseloomulik kõrgele aktiivmuda vanusele. Sellist vahutamist saab vähendada tagastusmuda vanuse vähendamise, mille saab saavutada suurendades aktiivprotsessist väljuva liigmuda normi (Gerardi, 2002; Kroehn jt, 2010).

Zoogloea kasvust tingitud vahutamine

Liigse zoogloea kasvu tagajärjel tekkinud vahutamisel on vaht kohev ning valget värvi. Selle vahu tekkepõhjuseks on ülemääraste želatiinjaste ainete poolt põhjustatud õhumullide ja gaaside lõksu jäämine. Opereerimistingimused, mis on seotud zoogloea kasvuga, tuleb kindlaks teha ning korrigeerida. Vahutamisele, mis on tekkinud zoogloea kasvust aktiivmudaprotsessis, on pakutud välja järgmisi ettepanekuid, mis võiksid vähendada või isegi kõrvaldada sellest tulenevad probleemid:

- 1) Kõige levinum viis vahu koguse vähendamiseks on selle piserdamine heitveega, kirjeldatud eelnevalt.
- 2) Kuna mitmed aktiivmudahelbeid moodustavad bakterid vajavad kindlasti hapnikku, saab hapnikuvabade perioodide või hapnikuvabade aladega aeglustada nende kiiret kasvu. Hapnikuvaba tsoon või periood ajaga vähemalt 1 kuni 2 tundi, võib olla piisavalt efektiivne zoogloea kasvu kontrollimiseks ning sellega kaasneva koheva valge vahutamise piiramiseks. Kasutada võib selleks hapnikuvaba mahutit - *plug-flow* ehk läbivoolureaktori meetodit. Selle meetodiga bakterite mass ehk heljum ning nitraatioonid eemaldatakse aktiivmudaprotsessis järelsetiti põhjast ning tagastatakse esimesse aerotanki (hapnikuvabasse tsooni), kus aktiivmudasegu segatakse, seda täiesti ilma aereerimiseta või kõigest vähese, segunemist tagava, aereerimisega. Eelsetitis olev kõrge BHT₇ sisaldusega reovesi juhitakse samuti esimesse aerotanki, milles aereerimist ei toimu. Aktiivmudahelveste moodustamiseks vajavad bakterid hapnikku, seetõttu ei suuda nad alandada BHT₇ taset nitraatioone kasutades ning sellega on zoogloea kasv pidurdunud.
- 3) Želatiinjaste ainete poolt põhjustatud õhumullide ja gaaside lõksu jäämist ja sellega vahutamist tekitanud probleemi võib lahendada spetsiaalse polümeeri lisamisega. Valitud polümeer võib olla katioonne või anioonne, sõltuvalt želatiinjaste ainete kogusest (Gerardi, 2002; Calhoun, 2012).

Pindaktiivsete ainete poolt põhjustatud vahutamine

Liigsete pindaktiivsete ainete esinemine aktiivmudaprotsessis võib põhjustada seebivahu või õhulise valge vahutamise teket aeratsioonikambri pinnal. Seda võivad põhjustada ka halvenenud protsessitingimused, mille tagajärjel on suurenenud pindaktiivsete ühendite esinemine aerotankis. Parim meetod kontrollimaks pindaktiivsete ühendite poolt põhjustatud vahutamist on nende regulatsioon ja eeltöötlemine. Suurenenud pindaktiivsete ainete esinemine reovees tuleb tuvastada ja need eemaldada reoveest enne puhastusprotsessi või eeltöödelda. Eeltöötlusprotsess võib sisaldada bioaugmentatsiooni meetodil kasutatavaid mikroorganisme, mis lahjendavad pindaktiivsete ühendite kontsentratsiooni reovees. Kui aga kanalisatsioonisüsteemi heidetakse pidevalt suuri koguseid pindaktiivseid aineid, näiteks erinevaid pesuvahendeid, mis sisaldavad lämmastikuühendeid, peaks sissevool reoveepuhastisse olema võrdsustatud võimalikult pika aja peale (Gerardi, 2002; Fryer ja Gray, 2012)

Järgnevalt on välja pakutud ettepanekud, mis võiksid vähendada või kõrvaldada pindaktiivsete ühendite poolt põhjustatud vahutamise probleeme:

- 1) Pindaktiivse vahu taseme alandamiseks ehk selle kokku varisemiseks võib kasutada vahu piserdamist heitveega.
- 2) Aktiivmudasegu orgaanilise aine sisalduse tõstmine. Kui seda ei ole võimalik teostada, tuleb lisada bioaugmentatsiooni meetodil mikroorganisme, mis on ensümaatilise suutlikkusega lagundada pindaktiivseid ühendeid.
- 3) Halvenenud või valed opereerimistingimused, mille tagajärjel on aerotankis väga noor aktiivmuda või suhteliselt madal orgaanilise aine sisaldus, tuleb tuvastada ja parandada. Need tingimused hõlmavad ka toksilisust ja ülemäärast orgaanilise aine raiskamist, näiteks tagastusmuda optimeerimata tagasisuunamist aktiivmudaprotsessi (Gerardi, 2002).

Leelisuse (pH) tõusust tingitud vahutamine

Leelisuse tõusuga aktiivmudaprotsessis muutub aeratsioonikambri veepinna pindpinevus. Veepinna pindpinevuse muutusega kaasneb enamasti valge vahuline vahutamine. Parim meetod kontrollimaks leelisuse kasvust tingitud vahutamise vähendamiseks või ärahoidmiseks on leelisuse ja leeliseliste jääkainete regulatsioon ning eeltöötlemine. Need jääkained sisaldavad ammooniumioone või lämmastikuühendeid, mis lagunedes aerotankis vabastavad ammooniumioone. Näiteks on lämmastikuühendeid sisaldavad jääkained, mille lagundamisel vabaneb ammoonium - on valgud, katioonsed polümeerid ja pindaktiivsed ained. Järgnevalt

on välja toodud ettepanekud, mis võiksid vähendada või kõrvaldada leelisuse tõusust tingitud vahutamise probleeme:

- 1) Kõige levinum viis vahu alandamiseks aerotanki pinnal – piserdamine heitveega.
- 2) Muuta hüdraulilist viibeaga aeratsioonikambris. Alandades see takistab lämmastikuühendite lagundamisel vabanevate ammooniumioonide teket. Vähendades aerotanki mahtu või kui on kasutusel mitu aeratsioonikambrit ning ühe välja lülitamisel, alaneb hüdrauliline viibeag. Hüdraulilise viibeaja pikendamine soodustab nitrifikatsiooni ja ammooniumi oksüdatsiooni nitraatideks. Kui vähendada tagastusmuda normi või suurendada aerotanki mahtu, pikeneb hüdrauliline viibeag aeratsioonimahutis (Seviour ja Nielsen, 2010; Gerardi, 2002).

Katioonsete polümeeride poolt põhjustatud vahutamine

Katioonseid polümeere kasutatakse aktiivmudaprotsessis enamasti reoveesette tihendamiseks ja veetustamiseks. Reoveesete, mida töödeldakse katioonse polümeeriga, koosneb enamasti bakteritest ning on tugevalt reostunud. Kuna aga bakterite karakteristika muutub koos keskkonnatingimuste muutustega, muutub ka sette tihendamiseks ja veetustamiseks kuluva polümeeri kogus. Seepärast tuleb perioodiliselt teha mõõtmisi (näiteks niiskus), et välja selgitada sobiv polümeeri doseerimise norm ja õige sisestuskoht. Seda selleks, et vältida olukorda, mil polümeer võib mingil vael doseerimise põhjusel sattuda aeratsioonikambrisse (Gerardi, 2002; Mamais, 2011).

Rasvade, õlide ja määrete poolt põhjustatud vahutamine

Rasvade, õlide ja määrete kuhjumise tagajärjel jäävad aktiivmudahelvestesse lõksu õhumullid ja gaasid, mis tekitab aeratsioonikambri pinnale viskoosse tumepruuni või musta vahu kihi. Sellise vahutamise vältimiseks või kontrolli all hoidmiseks, mis on põhjustatud rasvade, õlide või määrete kuhjumisest, on pakutud järgmisi lahendusi:

- 1) Kui vähegi võimalik, siis probleemne reoveeallikas tuvastada ning seejärel see eeltöödelda või eemaldada ülejäänud reoveest enne reoveepuhastile andmist. Kui aga reoveepuhastil on lubatud rasvu vastu võtta, tuleks see võrdsustada võimalikult pika aja peale.
- 2) Viskoosse tumepruuni või musta vahu taseme alandamiseks ehk kokku varisemiseks võib kasutada vahu piserdamist heitveega, spetsiaalse vihmuti või piserdussüsteemiga.
- 3) Vahu koguse vähendamiseks võib abi olla ka tagastusmuda normi tõstmises. Rasvad, õlid ja määrded imenduvad kiiresti ja kergelt aktiivmudasegus olevatesse helvestesse.

Seega, tõstes tagastusmuda normi, moodustub aeratsioonikambris ka rohkem helbelist biomassi, millesse imenduvad rasvad, õlid ja määrded ning sellega vähendades ka viskoosset tumedat vahtu aerotanki veepinnal.

- 4) Eeltöötlusel lisada bioaugmentatsiooni meetodil mikroorganisme, mis on ensümaatilise suutlikkusega lagundada rasvade, õlide ja määrete ühendeid. Samuti lisaks eeltöötlemisele, lisada samu mikroorganisme ka aktiivmudaprotsessi. Ensüümid lagundavad rasvu, õlisid ja määrded, mille tagajärjel väheneb ka tumeda viskoosse vahu kogus, kuna lõksus olevaid õhumulle ja gaase ei teki enam nii palju (Gerardi, 2002; Seviour ja Nielsen, 2010).

2. TÖÖ EESMÄRK JA ÜLESANDED

2.1 Virtsu reoveepuhasti tööprotsessi optimeerimine

Käesoleva magistritöö käigus tuuakse välja reoveepuhasti tehnoloogilise lahenduse ja opereerimise puudused, mis takistavad reoveepuhasti efektiivse puhastusprotsessi tööd. Virtsu reoveepuhastil on esinenud 2012. aasta lõpust mitmeid opereerimisega seotud probleeme. Magistritöö üheks eesmärgiks on uurida, kas opereerimisprobleemide põhjuste allikaks on muutused reovee koostises ja koormuses või on probleemid põhjustatud reoveepuhasti tehnoloogilistest puudustest, mis on tinginud olukorra, kus reoveepuhasti heitveeväljavool ei vasta Vabariigi Valitsuse (VV) määruse nr 99 „Reovee puhastamise ning heit- ja sademevee suublasse juhtimise kohta esitatavad nõuded, heit- ja sademevee reostusnäitajate piirmäärad ning nende nõuete täitmise kontrollimise meetmed“ ning vee-erikasutusloas ettenähtud saasteainete piirnormidele.

Magistritöö esimeseks ülesandeks on teostada Virtsu reoveepuhasti tehnoloogilise protsessi analüüs, mis hõlmab reoveepuhasti reostuskoormuse ja hüdraulilise koormuse analüüsi. Vastavalt Virtsu reoveepuhasti hooldusjuhendile, tehnilisele projektile ja AS-ist Matsalu Veevõrk saadud andmetele eelnevate aastate hüdrauliliste koormuste kohta, kontrollitakse puhasti erinevate tööprotsesside vastavust reoveepuhasti projektandmetele. Tuginedes eelnevatel aastatel võetud reoveeproovide analüüsi andmetele ja reoveepuhasti hüdraulilise koormuse andmetele ning käesoleva aasta kevadel teostatud analüüsile, tuuakse välja Virtsu reoveepuhasti tehnoloogilist protsessi pärssivad tegurid.

Aktiivmudapuhastusprotsessi kirjeldamiseks antakse kirjandusallikatele tuginev ülevaade uurimistest. Toetudes Virtsu reoveepuhasti puhastusprotsessi analüüsitulemustele ja kirjanduslikule ülevaatele, kirjeldatakse Virtsu reoveepuhasti tööprotsessi optimeerimiseks lahendusettepanekud. Optimaalse reoveepuhasti koormuse ja reoveepuhasti tööprotsesside tagamisel on tõenäoline saavutada reoveepuhasti heitveeväljavoolus vastavus VV määruises nr 99 ja vee-erikasutusloas ettenähtud reostusnäitajate piirnormidele.

2.2 Aktiivmudasuspensiooni vahutamise põhjuste selgitamine

Periodiliselt, kuid intensiivsemalt 2013. aasta suveperioodil, on Virtsu reoveepuhasti aeratsioonikambris esinenud tavapärasest intensiivsemat vahutamist, mis on olnud

kontrollimatu ja mille tagajärjel on vaht tuuliste ilmadega lendunud reoveepuhasti naaberkinnistutele ning piirnevale Risti-Virtsu maanteele. Kokkupuuted kõrvaliste isikutega võivad tekitada ebameeldivusi nii puhasti omanikule kui vahuga kokku puutunud isikutele.

Virtsu reoveepuhasti ülevaatusel 30.09.2013 selgitati operaatoriga vesteldes välja vahu välimus, mille alusel teostati vahu esmane identifitseerimine. Operaatori väidetel oli vaht õhuline kohev ja valge. Vahu kõrgus aeratsioonibasseini kohal varieerus, ulatudes kuni 1,5 meetrini. Vahutamisprobleem ilmnes pärast ilmade soojenemist, kus temperatuur ületas pidevalt vähemalt +10 °C.

Magistritöö teiseks ülesandeks on teostada Virtsu reoveepuhasti vahutamise põhjuste väljaselgitamine kirjandusallikate põhjal. Lisaks kirjeldatakse tegevusi ja meetmeid, mis aitavad vahutamist aeratsioonikambris vähendada või vältida. Probleemi põhjuste väljaselgitamiseks uuritakse reoveepuhastisse siseneva reovee parameetreid ja analüüsitakse reoainete ööpäevaste koormuste vastavust Virtsu reoveepuhasti projektkoormustele, millepõhjal tehakse järeldused reoveepuhastisse siseneva reovee mõju osas vahutamisele aeratsioonikambris. Reoveepuhastile juhitava reovee analüüsimiseks kasutatakse Virtsu reoveepuhasti omanikult ja operaatorilt, AS-ilt Matsalu Veevärk, saadud eelnevate aastate reoveepuhastisse sisenevate ja väljuvate reo- ja heitveeproovide laborianalüüside tulemusi. Lisaks teostati käesoleva magistritöö koostamise raames täiendavaid uuringuid reoveepuhastisse sisenevast reoveest, kuna esines kahtlus, et Virtsu sadamas laevadelt purgitav reovesi avaldab reoveepuhasti tööprotsessidele negatiivset mõju, mistõttu teostati täiendavad laborianalüüsid ka sadamas purgitava reovee osas. Kirjeldatud kahtlused tuginesid teadmisele, et talveperioodil – laevaliikluse ja turismi madalhooajal, ei ole reoveepuhasti aeratsioonimahutis liigset vahutamist esinenud. Komplektne seitsmepäevane reoveeproovide võtmine ja reovee vooluhulkade mõõtmine teostati ajaperioodil 29.04.-5.05.2014, millest esimesel kolmel päeval võeti reoveeproove ka Virtsu sadama puhgimismahutist.

3. MATERJAL JA METOODIKA

Käesolevas magistritöös on kirjeldatud 30.09.2013 toimunud Virtsu aleviku reoveepuhasti külastusel visuaalsel vaatlusel ja tehnilise dokumentatsiooni – reoveepuhasti hooldusjuhendi ja ehitusprojekti – analüüsil tuvastatud olulisemad puudused. Puuduste mõjul ei võimaldunud eraldiseisvalt kui ka komplekselt saavutada optimaalset bioloogilist reovee puhastusprotsessi ja tagada heitvee väljavoolus seadusandlusega nõutud heitvee parameetreid. Täiendavalt teostati käesoleva magistritöö koostamise raames perioodil 29.04-5.05.2014 – seitsmepäevane süsteemne reoveeproovide võtmine reoveepuhastisse sisenevast reoveest ja Virtsu sadamast, laevadelt purgitud reoveest.

Virtsu reoveepuhasti 2013 ja 2014 aasta jooksul varasemalt heitveeväljavoolust võetud proovide laborianalüüside tulemused on esitatud lisas 2. Proovide analüüsimine toimus AS Pärnu Vesi laboris. Lisaks on esitatud lisas 4 aastatel 2010-2013 Virtsu reoveepuhastil mõõdetud vooluhulgad, mis on vajalikud reostuskoormuse ja hüdraulilise koormuse määratlemiseks.

3.1 Laborianalüüside metoodika

Virtsu reoveepuhasti tööprotsesside hindamiseks teostati seitsmepäevane reoveeproovide võtmine reoveepuhasti reostuskoormuse määramiseks. Täiendava proovivõtmise eesmärgiks oli kontrollida reoveepuhastisse siseneva reovee reostusnäitajate kontsentratsioone. Lisaks reoveest tavapäraselt määratavatele reoainete kontsentratsioonidele – BHT₇, heljumi, KHT, N_{üld} ja P_{üld}, uuriti reovee pindaktiivsete ainete ja naftasaaduste sisaldust.

Kõige sagedamini analüüsitakse järgmisi vee reostusnäitajaid:

- heljumisisaldus (orgaaniline või mineraalne aine, mis jääb filtrile pärast vee filtreerimist);
- orgaanilise aine sisaldus, mõõdetuna järgmiste näitajate kaudu:
 - BHT ehk biokeemiline hapnikutarve;
 - KHT ehk keemiline hapnikutarve. Määratakse kas dikromaatne (KHT_{Cr}) või permanganaate (KHT_{Mn}) oksüdeeritavus. Määratakse hapniku hulk, mis kulub reo- või heitvees sisalduva orgaanilise aine oksüdeerimiseks tugeva oksüdandi (Cr, Mn) toimele;
- taimetoitesoolade, enamasti fosfori ja lämmastiku üldsisaldus uuritavas vees (Andersmaa jt, 2005).

Virtsu sadamast laevade poolt purgitava reovee proovivõtmiste liigiks oli üksikproovi võtmine. Üksikproov ehk punktproov iseloomustab vee kvaliteeti proovivõtmise kohas kindlal ajahetkel. Erinevatel aegadel võetud heit- või reoveeüksikproovidest saab ettekujutuse vee hetkelise, mitte aga keskmistatud saasteainete koostisest. Selline proovivõtmise meetod võib olla piisav kui reo- või heitvee koostis ega vooluhulk ajas oluliselt ei muutu. Kuna reoveeproovide võtmine toimus Virtsu sadama kai peal olevast reoveemahutist, võib järeldada, et teatud osas oli proov ühtlustunud. Virtsu reoveepuhastisse siseneva reovee proovivõtmise meetodiks oli ühendproovide ehk keskmistatud proovide võtmine. Keskmistatud proovivõtmine on kahe või enama üksik- või sariproovi segu kindlas vahekorras. Eesmärgiks on uuritavate näitajate keskmiste väärtuste määramine. Keskmistatud prooviga määratakse uuritavast veest näiteks reoveepuhasti koormust, heljumisisalduse vähenemist reoveepuhastis, heitvees sisalduvate toitesoolade jt ainete koormust. Ajakeskmine proov võetakse ühtlase vee vooluhulga korral ilma suuremate kõikumisteta. Selle saamiseks võetakse kindla aja tagant ühesuguse mahuga üksikproovid ja segatakse kokku ning seejärel võetakse saadud segust analüüsimiseks vajalik kogus, mis saadetakse laborisse. Sellise proovivõtmise tulemusel saab ülevaate reo- või heitvee keskmisest koostisest ning reoainete sisaldusest uurimisaja jooksul (Andersmaa jt, 2005).

Virtsu reoveepuhastist ja sadamast võetud proovide analüüsimine toimus kolmes laboris:

- AS Pärnu Vesi – BHT₇, KHT, pH, heljuvaine, N_{üld} ja P_{üld};
- AS Tallinna Vesi Heitveelaboris – pindaktiivsed ained;
- Terviseameti kesklabori keemialaboris – naftasaaduste koostis.

Reo- ja heitveeproove võetakse reoveepuhasti tööefektiivsuse kontrollimiseks või reoainete leviku jälgimiseks. Reoveepuhasti efektiivsuse või keskkonda juhtiva heitvee kontrollimisel on proovivõtmise eesmärkideks:

- reoveepuhasti terviku või üksikute protsessietappide töö hindamine, milleks uuritakse puhastatava vee saasteainesisaldust nii enne kui pärast kontrollitavat puhastiosat;
- heitveeväljavoolus reoainete kindlakstegemine, nende maksimaalsete ja keskmiste kontsentratsioonide väljaselgitamine;
- vee-erikasutusloas või keskkonnakompleksloas seatud reovee puhastamise kohta nõuete täitmise kontrollimine, sealhulgas ka heitvee saasteainesisalduse ja suubla reostuskoormuse määramine;
- reoveepuhasti ehitamiseks või rekonstrueerimiseks andmete kogumine;

- nõuete ületamisel, saastetasude arvutamiseks (Andresmaa jt, 2005).

3.2 Proovide võtmine Virtsu reoveepuhastist

Proovide võtmine Virtsu reoveepuhasti reovee sissevoolust algas 29.04.2014 kell 11.00. Proovivõtmisteks kasutati automaatset proovivõtuseadet „3700 Standard Portable Sampler,“ millega teostati reoveepuhastisse sisenevast reoveest keskmistatud proovide võtmine. Intervalliks seadistati proovivõtmisseadmel kaks tundi ning proovivõtmise ajal täitis proovivõtja ühe pudeli 800 ml reoveega. Kokku oli proovivõtuseadmel 24 pudelit (joonis 3.2), millest ööpäevase proovivõtmise perioodil täideti 12.

Automaatse proovivõtuseadme proovivõtukohta paigaldamise eesmärgiks oli see seada reoveepuhasti siseruumidesse, et oleks tagatud pidev juurdepääs ning igapäevane proovide kokkusegamine toimuks võimalikult mugavalt. Parim koht selleks oli asetada seade treppvõre peale (joonis 3.1), kuhu paigutati seadme toestamiseks puidust alus. Vastavalt kasutusjuhendile pidi proovivõtu toru olema, pidevalt langevas asendis. Sellest tulenevalt paigutati proovivõtuseadme toru, mille kaudu seade võtab proove, treppvõre voolurahustis.



Joonis 3.2. Proovivõtuseade „3700 Standard Portable Sampler,“ asetatud treppvõre peale



Joonis 3.1. Täidetud proovivõtupudelid pärast ööpäeva möödumist

Ööpäevase proovivõtmise perioodi käigus täidetud 12 reoveeproovi segati piisavalt suures ning puhtas anumus üheks prooviks. Proovid segati kokku võrdsetes osades. Kokkusegatud ehk keskmistatud proov valati seejärel ettenähtud proovipudelitesse ja toimetati laborisse analüüsimiseks. Kui laborisse toimetamine ei olnud käesoleval ajahetkel koheselt võimalik, säilitati proovid külmkapis (joonis 3.3). Proovivõtupudelid valmistati ette proove teostava labori poolt ning kui enamasti võetakse proovid plastpudelitesse, siis teatud reoainete määramiseks tuleb eelistada klaaspudeleid. See oli vajalik ka Virtsu reoveepuhastist ja

sadama purgimismahutist võetud reoveeproovide naftasaaduste ja pindaktiivsete ainete määramiseks. Mainitud reoveeproovid koguti AS Tallinna Vesi Heitveelabori ja Terviseameti kesklabori keemialabori poolt ettevalmistatud klaaspudelitesse (joonis 3.3 – siniste korkidega proovivõtupudelid).



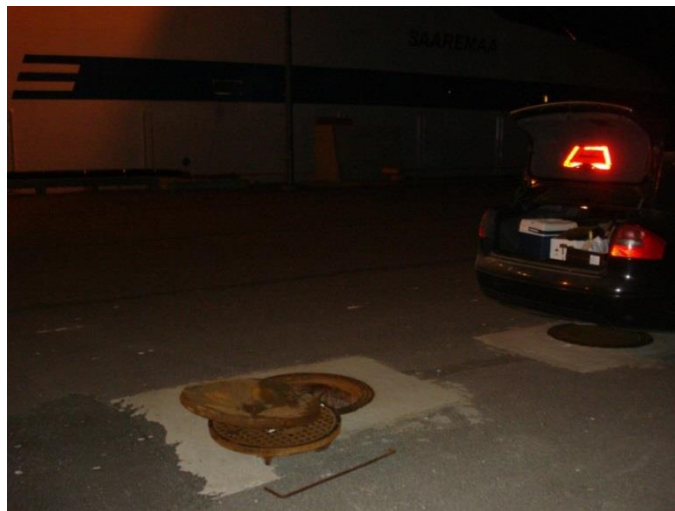
Joonis 3.3. Täidetud proovivõtupudelite hoiustamine jahedas ja pimedas

Lisaks reoveeproovide võtmisele määrati reoveepuhasti reostuskoormus mõõtes reoveepuhastisse siseneva reovee vooluhulka. Virtsu reoveepuhasti vooluhulga mõõtmiseks kasutati reoveepuhasti sissevoolutorustikule paigaldatud statsionaarse kulumõõtja mõõdetud väärtusi. Kulumõõtja võimaldas määrata hetkeliselt reoveepuhastile pumbatavat reovee vooluhulka kui ka vastaval perioodil mõõturit läbinud reovee vooluhulka. Proovivõetuperioodi alguses kulumõõturi perioodipõhine reovee vooluhulga näit nulliti. Igal proovivõtmise päeva alguses ja lõpus fikseeriti kulumõõturi näit, mille põhjal arvutati ööpäevane reoveepuhasti hüdrauliline koormus.

3.3 Proovide võtmine Virtsu sadamast

Virtsu sadama laevade poolt purgitava reovee uuringu teostamiseks võeti proove otse purgimismahutist. Virtsu sadamas purgivad laevad reovett kai peal olevasse 15 m³ mahutisse. Purgimismahutist võetud reoveeproovide analüüsitulemused näitavad ainult laevadelt pärit oleva reovee mõju Virtsu reoveepuhasti puhastusprotsessile, kuna mahutisse pumbatav reovesi ei ole segunenud muu olmereoveega.

Virtsu sadamast võeti proove kolmel päeval. Proovivõtmise meetodiks olid üksikproovid, kuna keskmiselt purgiti proovivõtmise perioodil sadamas üks kord päevas ning keskmistatud proovivõtmine ei oleks andnud teisi tulemusi. Turismihooaja elavnedes ja soojemate ilmade saabudes on reisijaid rohkem ning sellel perioodil purgivad laevad mitmeid kordi päevas. Reoveeproovide võtmine algas 29.04.2014 kell 23.30, pärast Virtsu – Kuivastu liinil oleva parvlaeva purgimist sadama kai peal olevasse mahutisse. Teisel ja kolmandal proovivõttupäeval toimus proovivõtmine samuti kell 23.30, vahetult peale parvlaeva purgimist.



Joonis 3.4. Virtsu sadamast reovee proovivõtmine 30.04 kell 23:30, vahetult peale laeva purgimist

Proovivõtmise eesmärk oli võtta reoveeproov vahetult pärast parvlaeva purgimist (joonis 3.4). Kui laevameeskond oli purgimise lõpetanud, eemaldati kai peal asuva mahuti kaevuluuk ning alustati proovivõtmist (joonis 3.5).



Joonis 3.5. Laevadelt purgitava reovee mahuti, vahetult enne reoveepuhastile pumpamist

Proovi võtmiseks kasutati varrega proovivõtunõud, millega äsja purgitud reovesi lehtri abil proovivõtupudelitesse ümber valati. Kui reoveeproovid olid pudelitesse valatud ja tihedalt suletud, toimetati proovid kiirelt laborisse või hoiustati eelnevas peatükis kirjeldatud viisil. Lisaks märgiti pärast igat proovivõtmist üles Virtsu sadama operaatoriruumist laeva poolt purgitud reovee vooluhulk, et analüüsida reovee laborianalüüsitulemustest reostuskoormuste väärtusi.

4. TULEMUSED JA ARUTELU

4.1 Virtsu reoveepuhasti projektkoormus

Virtsu reoveepuhasti on projekteeritud ja ehitatud 2002-2003. aastal OÜ Veemaailm INC poolt. Reoveepuhasti heitveesuublaks on Suur Väin.

Virtsu reoveepuhasti projekteeritud parameetrid projektdokumentatsiooni põhjal:

- Reovee keskmine vooluhulk – 100 m³/d;
- Reovee minimaalne/maksimaalne vooluhulk – 80/120 m³/d;
- Maksimaalne tunnivooluhulk – 12 m³/h;
- Reostuskoormus – 31 kg BHT₇/d
- Orgaanilise reostuse keskmine kontsentratsioon BHT₇ – 310 mg/l.

Reostuskoormus inimekvivalentides avaldub järgmise seose kaudu:

$$koormus\ ie = \frac{R}{ie\ määr} = \frac{31000}{60} \approx 517\ ie \quad (4.1)$$

kus, R – reoaine reostuskoormus g/d,

ie reostuskoormuse määr – ühe inimese poolt tekitatav reoaine kogus ööpäevas (g*ie/d), näiteks BHT₇ puhul on see 60 g BHT₇/d.

Tabelis 4.1 on esitatud Saksamaa standardi ATV-DVWK-A 131E järgsed keskmised ühe inimese poolt tekitatud reostuskoormuste kogused ööpäevas erinevate reoainete osas

Tabel 4.1. Keskmised inimese poolt tekitatud reostuskoormused ühes ööpäevas

Reostusnäitaja	Kogus ööpäevases reovees
Dikromaatne hapnikutarve (KHT _{Cr}), g/ie*d	120
Biokeemiline hapnikutarve (BHT ₇), g/ie*d	60
Heljuvaine, g/ie*d	70
Üldlämmastik (N _{üld}), g/ie*d	11
Üldfosfor (P _{üld}), g/ie*d	1.8

Virtsu reoveepuhasti projekteeritud reostuskoormuste ja hüdraulilise koormuse andmed, vastavalt projekteerimise lähteandmetele ja standardile ATV DVWK-A 131E, on 517 ie koormuse puhul esitatud tabelis 4.2.

Tabel 4.2. Virtsu reoveepuhasti projekteeritud hüdrauliline koormus ja reostuskoormused erinevate reoainete osas.

Reostusnäitaja (517 ie)	Ööpäevane koormus
Hüdrauliline koormus, m³/d	100
Biokeemiline hapnikutarve (BHT₇), kg/d	31,0
Heljuvaine, kg/d	36,2
Üldlämmastik (N_{üld}), kg/d	5,7
Üldfosfor (P_{üld}), kg/d	0,9
Dikromaatne hapnikutarve (KHT_{Cr}), kg/d	62,0

4.2 Virtsu reoveepuhasti tehnoloogilise protsessi kirjeldus

Virtsu reoveepuhasti tehnoloogiline skeem on esitatud käesoleva töö lisa 3.

Virtsu aleviku reovee puhastamine toimub reoveepuhastis kolmes etapis:

- 1) Esimese astme ehk mehaanilise puhastuse käigus viiakse kanalisatsioonisüsteemi sattunud heljum ja lühikese aja jooksul reoveest väljasettinud suuremad orgaanilised ja mineraalsed osakesed puhastusprotsessist välja. Mehaaniline puhastus koosneb treppvõrest ja eelsetitist. Eesmärgiks on esimeses puhastusastmes vähendada orgaanilise aine ja heljumi sisaldust 30–70%.
- 2) Teise puhastusetapi ehk bioloogilise puhastuse käigus toimub reovees sisalduva orgaanilise aine, heljumi ja biogeenide assimileerimine reoveest aktiivmudaorganismide rakkudesse. Teise puhastusetapi eesmärgiks on bioloogilise puhastusega vähendada reoainete kogust reovees kuni 90%.
- 3) Kolmandas etapis toimub bioloogilises puhastusprotsessis juurde kasvanud ja puhastusprotsessist eemaldatud liigmuda käitlemine. Liigmuda tiheneb mudatihendusmahutis gravitatsioonilisel teel. Tihendatud muda veetakse perioodiliselt edasiseks käitlemiseks – tahendamiseks ja kompostimiseks Märjamaa reoveepuhastisse.

4.2.1 Reovee mehaaniline puhastus

Reoveepumpla

Virtsu asula kanalisatsioonisüsteemist voolab reovesi isevoolselt reoveepumpla pumbakaevu. Pumbakaevus juhivad pumpade tööd ujukandurid. Järgmisele mehaanilise puhastuse etapile ehk treppvõrele pumpavad reovee survetorustiku kaudu pumbakaevust kaks vaheldumisi töötavat sukelpumpa.

Treppvõre

Reoveepumpla pumpade poolt pumbatakse puhastatav reovesi seejärel treppvõre voolurahustisse, mille eesmärgiks on reovee voolukiiruse alandamine. Reovee läbivoolamisel treppvõrest hakkab kogunema heljumist koorik-matt võre pinnale, mis hakkab takistama reovee läbivoolu treppvõrest. Läbivoolu takistamise tagajärjel hakkab reovee tasapind voolurahustis tõusma ning kui see on jõudnud teatud tasemeni, annab ujukandur käsu treppvõre käivitamiseks. Võrele kogunenud heljum juhitakse võre ülaosasse trepilaadse liikumisega ja sealt kukkumise teel prügikonteinerisse. Treppvõre töötab niikaua, kuni reovee veetase voolurahustis on jõudnud minimaalsele tasemele, mille tagajärjel annab ujukandur võrele käskluse töö peatumiseks. Kasutusel on treppvõre JL-600–240/1.

Eelsetiti

Eelsetituse põhiliseks eesmärgiks on viia reoveest enne bioloogilist puhastust välja osakesed, mis settivad eelsetiti koonusekujulisse alaossa. Eelsetitamisega vähendatakse järgneva bioloogilise puhastusetapi heljumi ja orgaanika koormust. Settinud reoveesete ehk toormuda pumbatakse tsükliliselt mudapumbaga liigmudatihendisse.

4.2.2 Reovee bioloogiline puhastus

Aeratsioonikamber

Pärast mehaanilist puhastust, voolab reovesi isevoolselt eelsetitist aeratsioonikambrisse. Aeratsioonikamber on ehitatud monoliitsest-raudbetoonist ja selle põhjapinnale on paigaldatud kummimembraan difuuserid, mille abil segatakse ja õhustatakse reovee ja aktiivmudasuspensiooni. Difuuserid on kinnitatud aeratsioonimahuti põhjas olevate PE õhujaotustorude külge. Reovee õhustamisega toimub aeratsioonikambris lämmastiku nitrifikatsiooniprotsess ja orgaanilise aine lagundamine. Aeratsioonikambris oleva vees lahustunud hapniku kontsentratsioon on soovitatavalt 1,5–4 mg/l kohta. Koagulandi lisamisega saavutatakse simultaansadestuse põhimõttel ka fosforiühendite eraldamine. Kuna

aeratsioonikambris vajatakse orgaanilise aine kiireks ja efektiivseks lagundamiseks suurt hulka mikroorganisme, pumbatakse järelsetiti põhja settiv aktiivmuda tagasi aeratsioonimahutisse. Seda muda nimetatakse tagastusmudaks.

Järelsetiti

Järelsetitisse juhitakse aktiivmudasegu aeratsioonikambrist torustiku kaudu isevoolelt. Järelsetitis aktiivmudasegu aeglase vee voolu tingimustes raskusjõu mõjul settib ning puhas vesi liigub üles järelsetiti ülevoolurenni suunas.

Järelsetiti põhja settiv aktiivmuda pumbatakse mudapumbaga tagasi aeratsioonikambrisse (tagastusmuda) või liigmudatihendisse (liigmuda). Järelsetitisse paigaldati selleks kaks tehnoloogilist pumpa, mille tööaega reguleeritakse programmeeritava Unitronic kontrolleri vahendusel. Aktiivmuda pumpamist tagasi aeratsioonikambrisse või liigmuda tihendisse reguleeritakse käsitsi ümberlülitatava sulgarmatuuri abil. Järelsetiti ülaosasse selitatud vesi ehk heitvesi voolab isevoolelt ülevoolurenni ning sealt heitveetorustiku kaudu äravoolukraavi.

4.2.3 Mudakäitlus

Aktiivmudaprotsessis on mudakäitluse koosseisus ette nähtud tekkiva liigmuda mahu vähendamiseks liigmudatihendi. Liigmudatihendi ülesanneteks on liigmuda tihendamine ja rejektvee, mis tekib muda tihenemisel, tagasisuunamine puhastusprotsessi. Liigmudatihendisse pumbatakse reovee eelselitamise tulemusel saadud toormuda ning järelsetiti põhja settinud liigmuda. Liigmudatihendis muda tihenemisel mudast eralduv rejektvesi suunatakse ülevoolu kaudu tagasi aeratsioonikambrisse.

4.3 Varasemalt võetud reoveeproovide analüüsitulemused

Virtsu reoveepuhasti 2013/2014 aasta jooksul heitveeväljavoolust võetud proovide tulemused on esitatud lisa 2. Tabelist 4.3 on esitatud samal ajaperioodil teostatud Virtsu reoveepuhastisse siseneva reovee analüüsitulemused.

Tabel 4.3. Virtsu reoveepuhastisse tuleva reovee laborianalüüside tulemused

NÄITAJA	16.03.2010	29.11.2011	5.09.2012	15.10.2013	3.12.2013
1	2	3	4	5	6

1	2	3	4	5	6
Biokeemiline hapnikutarve (BHT₇), mgO₂/l	230,0	241,0	301,0	330,0	161,0
Heljuvaine, mg/l	280,0	176,0	406,0	280,0	94,0
Üldlämmastik (N_{üld}), mg/l	95,0	84,2	149,5	169,0	75,8
Üldfosfor (P_{üld}), mg/l	16,0	11,8	18,6	25,0	9,0
pH	7,8	8,4	8,2	8,7	7,9
Dikromaatne hapnikutarve (KHT_{Cr}), mgO₂/l	250,0	502,0	723,0	750,0	330,0

Tabel 4.4. Tüüpiline puhastamata olmereovee koostis (Kuusik, 1995)

NÄITAJA	Kontsentratsioon		
	lahja	keskmine	kange
BHT₇, mgO₂/l	127	253	460
Heljuvaine, mg/l	100	200	325
N_{üld}, mg/l	20	40	85
P_{üld}, mg/l	4	8	15
KHT_{Cr}, mgO₂/l	250	500	1000

Võrreldes tabelis 4.3 olevaid reovee laborianalüüsitulemusi tabelis 4.4 esitatud tüüpilise puhastamata olmereovee koostisega – saab väita, et reoveepuhastisse siseneva reovee kontsentratsioonid on olnud keskmisest kõrgemad, seda eelkõige üldlämmastiku osas 2012. ja 2013. aastal.

4.4 Täiendavate reo- ja heitveeproovide analüüsidetulemused

4.4.1 Virtsu reoveepuhastisse siseneva reovee laborianalüüside tulemused

Virtsu reoveepuhastisse siseneva reovee proovide analüüsitulemused perioodil 29.04-5.05 on esitatud tabelis 4.5.

Tabel 4.5. Virtsu reoveepuhastisse 29.04-5.05 siseneva reovee analüüsitulemused

NÄITAJA	29.- 30.04	30.04- 1.05	1.-2.05	2.-3.05	3.-4.05	4.-5.05	5.-6.05
1	2	3	4	5	6	7	8
Biokeemiline hapnikutarve (BHT₇), mgO₂/l	380,0	440,0	880,0	460,0	550,0	381,0	481,0

1	2	3	4	5	6	7	8
Heljuvaine, mg/l	217,0	332,0	428,0	290,0	490,0	270,0	230,0
Üldlämmastik (N_{üld}), mg/l	107,0	227,0	232,0	168,0	213,0	132,0	134,0
Üldfosfor (P_{üld}), mg/l	11,2	16,0	15,2	21,5	19,0	17,4	17,0
pH	7,72	8,03	8,01	7,96	8,1	7,8	7,6
Dikromaatne hapnikutarve (KHT_{Cr}), mgO₂/l	530,0	726,0	1004,0	863,0	1024,0	755,0	816,0

Ülaltoodud tabelile 4.5 tuginedes saab järeldada, et täiendava proovivõtmise käigus teostatud laborianalüüsitulemused sisaldavad keskmise olmereoveega võrreldes kõrgemaid kontsentratsioone. Eelnevate aastate analüüsitulemustega võrreldes on jätkunud samasugune trend peamiste reostusnäitajate kontsentratsioonide osas.

4.4.2 Virtsu sadam – laevadelt purgitava reovee laborianalüüside tulemused

Virtsu sadama kai peal olevast 15 m³ laevade purgimismahutist võeti kolm punktproovi 29.04-1.05.2014. Võetud proovide laborianalüüside tulemused on esitatud tabelis 4.6.

Tabel 4.6. Virtsu sadama purgimismahutist võetud reovee punktproovide laborianalüüside tulemused

NÄITAJA	29.04	30.04	1.05
Biokeemiline hapnikutarve (BHT₇), mgO₂/l	640,0	1401,0	1201,0
Heljuvaine, mg/l	429,0	1175,0	680,0
Üldlämmastik (N_{üld}), mg/l	1133,0	1245,0	1046,0
Üldfosfor (P_{üld}), mg/l	40,8	46,4	36,6
pH	8,1	8,3	8,3
Dikromaatne hapnikutarve (KHT_{Cr}), mgO₂/l	1633,0	3343,0	1876,0

Laevadelt purgitava reovee laborianalüüsitulemused näitavad väga kõrget reoainete kontsentratsiooni. Tüüpilise olmereovee koostisest on üldlämmastik rohkem kui 10, BHT₇ ja heljuvaine 2-5, üldfosfor 8 ning KHT 3-6 korda kõrgem. Tulemus on oodatav, kuna laevadelt tuleva reovee puhul on enamasti tegemist otse käimlatest ja köögist pärineva reoveega, kuhu ei satu piisavalt pesuvett, mis reovett lahjendaks.

4.4.3 Virtsu reoveepuhasti ja sadama reovee – pindaktiivsete ainete ning naftasaaduste laborianalüüside tulemused

Kolmel proovivõtupäeval võetud reoveeproovidest uuriti lisaks pindaktiivsete ainete ja naftasaaduste kontsentratsioone. Seda eelkõige selleks, et kinnitada või välistada nende ainete liigsed sisaldused reoveepuhastisse sisenevas reovees ning kahjulik mõju aktiivmudaprotsessile. Reoveeproovide analüüsitulemused on esitatud Virtsu sadama kohta tabelis 4.7 ja Virtsu reoveepuhasti kohta tabelis 4.8.

Bioloogilist puhastusprotsessi ohustavate sünteetiliste pindaktiivsete ainete kontsentratsioonid jäid vahemikku 0,5-1,9 mg/l. See ei ole aga piisavalt kõrge kontsentratsioon, et eraldiseisvalt puhasti tööprotsessi häirida. Olmereovee optimaalne pindaktiivsete ainete kontsentratsioon jääb vahemikku 1-20 mg/l (HI-3857, 2011).

Naftasaaduste tulemused, mille maksimaalne tuvastatud kontsentratsioon oli 30.04 sadamast võetud proovil 1,0 mg/l. Lubatud maksimaalne naftasaaduste sisaldus keskkonda juhitavas sadamevees on viis korda kõrgem ehk 5 mg/l (Vabariigi Valitsuse määrus nr 99), mille põhjal võib järeldada, et naftasaadused ei ole suure tõenäosusega puhastusprotsessi pärssivad tegurid.

Tabel 4.7. Virtsu sadama purgimismahutist võetud proovide pindaktiivsete ainete laborianalüüside tulemused

Virtsu sadam - laevadelt purgitav reovesi			
NÄITAJA	29.04.2014	30.04.2014	1.05.2014
Sünteetilised pindaktiivsed ained, mg/l	0,5	1,1	1,7
Naftasaadused, mg/l	0,6	1,0	<0,3

Tabel 4.8. Virtsu reoveepuhastisse sisenevast reoveest võetud proovide pindaktiivsete ainete laborianalüüside tulemused

Virtsu reoveepuhastisse sisenev reovesi			
NÄITAJA	29.04.2014	30.04.2014	1.05.2014
Sünteetilised pindaktiivsed ained, mg/l	1,5	1,1	1,9
Naftasaadused, mg/l	<0,3	0,5	0,6

4.4.4 Virtsu reoveepuhastist väljuva heitvee laborianalüüside tulemused

Proovivõtmise perioodi lõpus – 5.05.2014 võeti Virtsu reoveepuhasti väljavoolust heitvee üksikproov, et hinnata puhasti puhastusefektiivsust. Saadud tulemused on esitatud tabelis 4.9 (heitvesi).

Tabel 4.9. Virtsu reoveepuhastile 5.05.2014 teostatud laborianalüüsi põhjal – siseneva reovee ja väljuva heitvee parameetrite võrdlus ning puhasti efektiivsus proovivõtu ajal.

NÄITAJA	5.05.2014 (reovesi)	5.05.2014 (heitvesi)	Piirväärtus (Vabariigi Valitsuse määrus nr 99)	Puhastus- efektiivsus
Vooluhulk, m ³ /d	48	48		
Biokeemiline hapnikutarve (BHT ₇), mgO ₂ /l	481	17	15	95,5%
Üldlämmastik (N _{üld}), mg/l	134	137	60	0%
Üldfosfor (P _{üld}), mg/l	17	0,685	1,5	96,1%
Heljuvaine, mg/l	230	10	25	96,3%
pH	7,6	7,47	Ei kohaldata	Ei kohaldata
Dikromaatne hapnikutarve (KHT _{Cr}), mgO ₂ /l	816	52	125	93,1%

Hinnates tabelis 4.9 heitvee reoainete kontsentratsioone ja Virtsu reoveepuhastile kehtestatud piirväärtusi, saab järeldada, et vooluhulgal 48 m³/d ei suutnud puhasti heitveeväljavoolus tagada piisavat puhastusefektiivsust reoainete – orgaanilise aine ja üldlämmastiku - sisalduse mõistes. Heitvesi vastas nõutud piirnormidele ainult keemilise hapnikutarbe, üldfosfori ja heljuvaine näitajate osas. Vaadates puhasti puhastusefektiivsuste protsendilisi väärtusi (tabel 4.9), ületavad need BHT₇, KHT, üldfosfori ja heljuvaine osas 93%, mis on hea tulemus. Heale puhastusprotsendile vaatamata, ületas BHT₇ laborianalüüsi tulemus endiselt kehtestatud piirväärtust. Halvim puhastuse tulemus oli üldlämmastiku osas, kus ei toimunud mingisugust kontsentratsioonilist alanemist ning väljavoolule kehtestatud piirväärtust ületati üle kahe korra.

Vaadates täiendavalt 15.10.2013 teostatud reo- ja heitvee laborianalüüsitulemusi (tabel 4.10), kus on välja toodud reoveepuhastile siseneva reovee ja väljuva heitvee reoainete kontsentratsioonid – on selge, et ka eelneval aastal siseneva reovee kontsentratsioon oli väga kõrge ja väljuva heitvee kontsentratsioonid ei olnud vajalikul määral langenud.

Tabel 4.10. Virtsu reoveepuhastile 15.10.2013 teostatud laborianalüüsi põhjal – siseneva reovee ja väljuva heitvee parameetrite võrdlus ning puhasti efektiivsus proovivõtu ajal.

NÄITAJA	15.10.2013 (reovesi)	15.10.2013 (heitvesi)	Piirväärtus (Vabariigi Valitsuse määrus nr 99)	Puhastus- efektiivsus
Vooluhulk, m ³ /d	25	25		
Biokeemiline hapnikutarve (BHT ₇), mgO ₂ /l	330	55	15	83,3%
Üldlämmastik (N _{üld}), mg/l	169	123	60	27,2%
Üldfosfor (P _{üld}), mg/l	25	15	1,5	40,0%
Heljuvaine, mg/l	280	120	25	57,1%
pH	8,7	6,7	Ei kohaldata	Ei kohaldata
Dikromaatne hapnikutarve (KHT _{Cr}), mgO ₂ /l	750	350	125	53,3%

Samas tabelis 4.10, puhastile määratud maksimaalsetele reoainete piirväärtusele tuginedes, ei saanud Virtsu reoveepuhasti mitte ühegi reoaine vähendamisega hakkama. Puhastusefektiivsus proovivõtmise ajal oli samuti suhteliselt kehv. Halvim puhastuse tulemus oli üldlämmastiku osas – reoaine alanemine toimus ainult 27,2% võrra, ületades piirväärtust endiselt üle kahe korra. Piirväärtuse ületamine toimus üldfosfori osas kümme korda, heljuvaine ja KHT osas üle kolme korra ning BHT₇ osas üle nelja korra. Vooluhulk proovile eelneval ööpäeval oli, tuginedes Virtsu reoveepuhasti hoolduspäevikule, 25 m³/d, mis on projekteeritud hüdraulilisest koormusest neli korda madalam.

4.5 Laborianalüüsidele ja hüdraulilisele koormusele tuginevad järeldused

4.5.1 Virtsu reoveepuhasti projektkoormus ja mõõdetud reovee koormuse analüüs

Reoveepuhasti sisendi analüüsimiseks leitakse reoaine kontsentratsiooni ja ööpäevase hüdraulilise koormuse kaudu reoveepuhastisse sisenevate reoainete koormused.

Nende koormuste leidmiseks kasutatakse järgmist seost:

$$\text{Reoaine koormus} = \text{vooluhulk} \left(\frac{\text{m}^3}{\text{d}} \right) * \text{kontsentratsioon} \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right) = \left(\frac{\text{kg}}{\text{d}} \right) \quad (4.2)$$

Reoveepuhasti mõõdetud koormuste analüüsimiseks kasutati tabelis 4.2 olevaid ööpäevaseid erinevate reoainete kontsentratsioonide ja mõõdetud hüdrauliliste koormuste andmeid. Nende andmete alusel, kasutades seost 4.2, saadud reostuskoormuste arvutustulemused on esitatud tabelis 4.11.

Tabel 4.11. Virtsu reoveepuhasti projekteeritud ja mõõtmiste põhjal arvutatud hüdrauliline koormus ning reoainete koormused perioodil 29.04.-5.05.2014

Projekteeritud koormus/ Analüüsi kuupäev	Ööpäevane vooluhulk	KHT _{Cr}	BHT ₇	Heljuvaine	N _{üld}	P _{üld}
	m ³ /d	kg/d	kg/d	kg/d	kg/d	kg/d
Projekteeritud	100	62,0	31,0	36,2	5,7	0,9
29.-30.04	41,0	21,7	15,6	13,6	4,4	0,5
30.04.-1.05	43,0	31,2	18,9	14,3	9,8	0,7
1.-2.05	40,1	40,3	35,3	13,3	9,3	0,6
2.-3.05	43,0	37,1	19,8	12,5	7,2	0,9
3.-4.05	71,0	72,7	39,1	34,8	15,1	1,3
4.-5.05	50,0	37,8	19,1	13,5	6,6	0,9
5.-6.05	48,0	39,2	23,1	11,0	6,4	0,8

Vastavalt tabelis toodule, saab järeldada, et puhasti töötab suurel koormusel, kuna mõõtmiste põhjal leitud reoainete reostuskoormuse väärtused on projekteeritud koormustega võrreldes sagedasti ületatud või piiripealsed. Üldlämmastiku koormus ületas projektkoormust seitsmest päevast kuuel päeval. Üldlämmastiku koormus oli projektkoormusest suurem teisel päeval 71,6%, kolmandal 63,4%, neljandal 27%, viiendal 169%, kuuendal 16,1% ja seitsmendal 13,1%. BHT₇ osas ületasid mõõdetud sisendkoormused projektkoormust kahel päeval seitsmest ning üldfosfori osas esines ületamist ühel päeval. BHT₇ osas toimus projektkoormuse ületamine kolmandal päeval 13,7% võrra ja viiendal päeval 25,9% võrra võrreldes projektkoormusega. Üldfosfori osas ületati projektkoormust viiendal päeval 45% võrra.

Vooluhulgad proovivõtmise perioodil olid enamasti 40-50 m³/d vahel, kuid 3.-4.05 toimus vooluhulga tõus, milleks oli 71 m³/d. Tegemist oli laupäeva hommikust kuni pühapäeva hommikuni mõõdetud vooluhulgaga ning võib järeldada, et tõusu põhjustajaks oli aktiivsem laevaliiklus, kust võidi suuremal hulgal reovett purgida. Kuigi hüdrauliline koormus mõõdetud perioodil oli ligikaudu 50% väiksem projekteeritud koormusest, olid mõõdetud reostuskoormused projektkoormuse piiril või ületavad projektkoormust. See kinnitab, et

reoveepuhastile jõudev reovesi on keskmisest olmereoveest tunduvalt kontsentreeritum. Juhul kui sellise kontsentreeritud reovee kogus vastaks projekteeritud reovee vooluhulgale, ei suudaks reoveepuhasti enam kindlasti tagada vajalikku puhastusefektiivsust ühegi reoaine parameetri osas. On selgesti tuvastatav, et reoainete puhul, mille korral ületatakse reostuskoormuste osas projektkoormust, ei suuda reoveepuhasti selle taset piisaval hulgal alandada.

4.5.2 Virtsu sadamas purgitava reovee reostuskoormuse analüüs

Eelmises peatükis kirjeldatud arvutusviisil on leitud ka Virtsu sadamas purgitava reovee reoainete koormused. Saadud arvutustulemused on esitatud tabelis 4.12.

Tabel 4.12. Virtsu sadamas purgitava reovee reostuskoormused 29.04.-1.05.

Projekteeritud koormus/ Analüüsi kuupäev	Ööpäevane vooluhulk	KHT _{Cr}	BHT ₇	Heljuvaine	N _{üld}	P _{üld}
	m ³ /d	kg/d	kg/d	kg/d	kg/d	kg/d
29.04	4,4	7,19	2,82	1,89	4,99	0,18
30.04	4,6	15,38	6,16	5,17	5,48	0,20
1.05	4,6	8,63	5,28	2,99	4,60	0,16

Virtsu reoveepuhasti projektkoormuseks üldlämmastiku näitaja osas on 5,7 kg/d. Arvutustulemused näitavad, et Virtsu sadamast laevadelt purgitava reovee üldlämmastiku koormus proovivõtmise perioodi jooksul oli 4,6-5,5 kg/d, moodustades Virtsu reoveepuhasti üldlämmastiku projektkoormusest 80,9-96,3%. Purgitava reovee reostuskoormuste osakaalud Virtsu reoveepuhasti projektkoormusest on kirjeldatud tabelis 4.13.

Tabel 4.13. Virtsu sadamast purgitava reovee koormuse osakaal Virtsu reoveepuhasti projektkoormusest

Kuupäev	Ööpäevane vooluhulga osakaal	KHT _{Cr}	BHT ₇	Heljuvaine	N _{üld}	P _{üld}
29.04	4,4%	11,6%	9,1%	5,2%	87,7%	19,3%
30.04	4,6%	24,8%	19,9%	14,3%	96,3%	21,9%
1.05	4,6%	13,9%	17,0%	8,3%	80,9%	17,3%

Vastavalt VV määrusele nr 171 „Kanaliseerimis- ja veevõrgustike veekaitse nõuded“ § 17 lg 5 ei või purgitava reovee reostuskoormus ületada ööpäevas enam kui 10% reoveepuhasti projekteeritud koormusest. Virtsu sadamast võetud proovivõtmise perioodil mõõdetud laevade poolt purgitava reovee vooluhulk moodustas Virtsu reoveepuhasti projektikoormusest – esimesel proovivõtupäeval 4,4% ning teisel ja kolmandal 4,6%. Sellest järeldub, et proovivõtuperioodil oli purgitava reovee hüdrauliline koormus Virtsu reoveepuhastile suhteliselt madala osakaaluga.

Tuginedes VV määrusele nr 171 ja hinnates tabelis 4.13 toodud protsendilisi väärtusi Virtsu sadamast purgitava reovee koormuste mõjust Virtsu reoveepuhasti projektikoormustele – saab väita, et tulemused ületavad määruses sätestatud nõudeid purgitava reovee reostuskoormuse osakaalule võrreldes projektikoormusega oluliselt. Ületamine toimus 15-st proovitulemusest 12-nel korral. Analüüsitulemus jäi määrusega sätestatud tasemele 29.04 BHT₇ osas ja 29.04, 1.05 heljuvaine osas. Halvim tulemus puhastamisel lubatud reostuskoormuse lubatud määra ületamise seisukohalt oli üldlämmastiku osakaalu suhtes. 30.04 purgitud reovesi sisaldas 96,3% Virtsu reoveepuhasti ööpäevasest üldlämmastiku projektikoormust. Lisaks ületavad üldlämmastiku protsendilised arvutustulemused VV määrusega nr 171 sätestatud maksimaalselt purgitava reovee reostuskoormust – keskmiselt üheksa korda. Sadamast purgitava reovee hüdrauliline koormus moodustab enamasti kuni 5% Virtsu reoveepuhasti ööpäevasest hüdraulilisest koormusest. Negatiivselt mõjub lisaks asjaolu, et pärast parvlaevalt reovee pumpamist kai peal olevasse mahutisse, puhastatakse reovesi edasi Virtsu reoveepuhastile suhteliselt lühikesel ajaperioodil, 2-3 tunni jooksul. Sellega tingitakse olukord, kus bioloogilise puhastusprotsessi siseneb lühikese ajaperioodi jooksul kuni kümme korda kõrgema kontsentratsiooni ja väga suure reostuskoormusega reovesi. Sellise kõrge lämmastikukontsentratsiooniga ja reostuskoormusega reovee puhastisse vastuvõtmine avaldab negatiivset mõju puhastusprotsessis olevatele organismidele.

4.5.3 Projektkoormust ületav hüdrauliline koormus suurvee perioodil

Praktikas on üsna sageli reoveepuhastites kasutatud möödavoolu puhasti bioloogilise puhastusprotsessi kaitseks. Eelkõige kaitseb möödavool bioloogilist puhastusprotsessi. Möödajuhitud vesi ei läbi ühtegi puhastusetappi, vaid jõuab kohe suublanini (Bolmstedt, 2004).

Tuginedes Virtsu reoveepuhastis mõõdetud 2011-2013 aasta vooluhulkade andmetele, mis on esitatud lisas 4, saab järeldada, et reoveepuhasti ööpäevane vooluhulk on keskmiselt ühel kuni kahel kuul aastas ületatud projekteeritud koormust kuni kolm korda. Enamasti on see probleem esinenud kevadisel lume sulamise perioodil. Suurvesi tekitab olukorra, kus selle aja jooksul oli puhastile mitmeid kordi suurem pealevooluhulk kui projektkoormuse järgselt on võimalik vastu võtta, mille tagajärjel kandus aktiivmuda järelsetitist ülevoolu kaudu puhastusprotsessist välja. Virtsu reoveepuhastil puudub täna avariimöödavool, mida oleks võimalik rakendada kanalisatsiooni tunginud sulamis- või vihmavee eemalejuhtimiseks, et vältida puhastusprotsessi kahjustumist. Pärast suurvee läbivoolu, ei ole reoveepuhastil piisaval hulgal aktiivmuda, et tagada efektiivne puhastusprotsess, seda eriti tingimustes, kus reoveepuhastile võib sadamast purgitava reovee mõjul osaks saada lühiajaline kõrge reostuskoormus. Aktiivmuda taastumisel ja juurdekasvul toimub samasugune protsess kui aktiivmudapuhasti käivitamisel. Võib esineda ka vahutamist, kuna esineb palju noort aktiivmuda. Purgitava reovee kõrge reostuskoormus, seda eelkõige kõrge üldlämmastiku koormuse tõttu, mõjutab aktiivmuda juurdekasvu aga negatiivselt.

VV määrus nr 99 § 5 „Nõuded heit- ja sademevee veekogusse juhtimise kohta,“ ütleb: „Ühisvoolsest kanalisatsioonist tohib sademeveett vihmavalingu ajal ülevoolude kaudu suublasse juhtida koos reoveega vahekorras vähemalt neli ühele. Ühisvoolse kanalisatsiooni ülevoolud peavad olema projekteeritud nii, et need hakkavad tööle vaid siis, kui suublasse juhitas heitvees sisaldub üks osa reovett ja vähemalt neli osa sademeveett. Reovee ja sademevee vooluhulkade suhtarv määratakse ehitusprojektiga arvutuslikult.“ Toetudes määrusele ning Virtsu reoveepuhasti varasemate vooluhulkade analüüsitulemustele, võib väita, et kevadeti lumesulamise perioodil on lubatud juhtida reovett koos sademeveega, suhtes vähemalt üks neljale, möödavooluga otse reoveepuhasti suublasse. See tagab bioloogilises puhastuses oleva aktiivmuda säilimise, mis vastasel juhul kanduks koos sademeveega puhastist välja. Aktiivmuda väljakandumine tingib olukorra, kus protsessis ei ole enam piisaval hulgal toitainete lagundajaid ja puhasti puhastusefektiivsus langeb. Vooluhulga normaliseerudes hakkab aktiivmuda bioloogilises protsessis juurde kasvama, kuid see on aeganõudev protsess.

4.6 Virtsu reoveepuhasti vahutamise põhjused

Vahutamise põhjuste väljaselgitamiseks analüüsiti Virtsu reoveepuhasti tööprotsessi, laborianalüüside tulemusi ja kirjandusallikaid. Analüüsitulemustest järeldub, et puhasti tööd häiriv perioodiline valge kohev vahutamine, sealhulgas 2013. aasta suveperioodil, võis tekkida mitme keskkonnafaktori muutuse tagajärjel. Kuna puhasti tööprotsessis esines erinevaid puudusi, mis pärssisid korrektse aktiivmudaprotsessi tööd ning reoveepuhastisse sisenev reovesi oli kontsentreeritud, ei ole võimalik üheselt öelda, mis vahutamist põhjustas. Käesoleva töö koostamise raames teostatud teaduskirjanduse ülevaate käigus selgus, et absoluutselt kindlaid meetodeid ja vahendeid vahutamise põhjuste tuvastamiseks ei ole välja töötatud. Küll aga on leitud mitmeid meetmeid vahutamise kontrolli all hoidmiseks, vähendamiseks või vältimiseks.

Järgnevalt on kirjeldatud võimalused, mille tagajärjel Virtsu reoveepuhasti tööprotsessis võib esineda perioodiliselt liigset vahutamist. Samuti on toodud võimalused vahutamise vähendamiseks või vältimiseks.

4.6.1 Toitainete puudus

Virtsu reoveepuhasti varasemate aastate vooluhulkade uurimisel selgus, et kevadeti hüdraulilist projektkoormust kuni kolmekordselt ületatava vooluhulga tõttu kandus aktiivmuda protsessist välja. Hüdraulilise koormuse stabiliseerumisel projektkoormuse tasemele, hakkas tekkima uus noor aktiivmuda ja sellega seoses võis esineda, sarnaselt aktiivmudapuhasti käivitamisega, valget kohevat vahutamist.

Suurvee poolt põhjustatud aktiivmuda väljakandumise vältimiseks tuleks rajada möödavoolutorustik. See tagab aktiivmudaprotsessis mikroorganismide säilimise ja aeratsioonikambri ei teki noore aktiivmudaga kaasnevat perioodilist vahutamist. Kui vahutamine on juba tekkinud, peaks see taanduma taandub see muda vanuse tõusuga ehk peale seda kui aktiivmudaprotsess saavutab stabiilse tööprotsessi. Lisaks on võimalik vahutamist vähendada peatükis 1.2.4 soovitatud protseduuridega:

- 1) korrigeerida aktiivmudasegus polüsahhariidide lagundamiseks toitainete hulka;
- 2) piserdada vahtu heitveega;
- 3) eemaldada vahtu aeratsioonikambri pinnalt vaakumpumbaga ära imedes või käsitsi kokku kraapides.

4.6.2 Pindaktiivsed ühendid

Pindaktiivsete ühendite poolt põhjustatud vahutamise vältimiseks oli vajalik teha kindlaks, kas vahutamine tekkis suurenenud sünteetiliste pindaktiivsete ainete kontsentratsiooni tõusust reovees või halvenenud protsessitingimustest. Virtsu reoveepuhastile 29.04-1.05.2014 jõudvast reoveest teostatud laborianalüüside tulemused sünteetiliste pindaktiivsete ainete kontsentratsioonide osas märkimisväärset tõusu ei näidanud. Ei saa aga välistada, et perioodiline, sealhulgas 2013. aasta suvel esinenud vahutamine, ei ole osaliselt siiski seotud pindaktiivsete ainete kontsentratsiooni tõusuga reoveepuhastile juhitavas purgitavas reovees, kus pindaktiivsete ainete tõusu võib põhjustada näiteks laeva WC-des kasutatavate pesuainete osakaalu suurenemine turismiperioodil. Lisaks võib veel puhastile negatiivselt mõjuda eelsetiti, mis on anaeroobne, soodustades valkude lagunemist ja sealtkaudu pindaktiivsete ainete vabanemist.

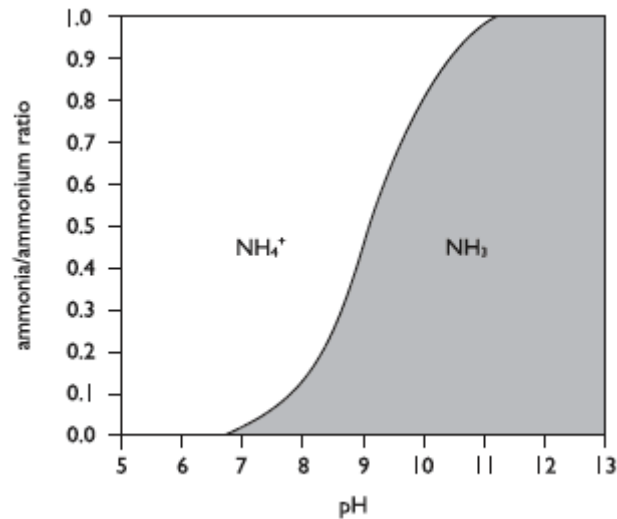
Pindaktiivsete ainete poolt põhjustatud vahutamist saab vähendada juba eelnevas punktis mainitud viisidel – alandada selle taset heitveega piserdades või käsitsi kokku kraapides. Vahutamise vältimiseks tuleb aktiivmudasegus tagada piisav muda kontsentratsioon. Kui see ei ole võimalik, tuleb teostada täiendavaid laborianalüüse, mille põhjal välja selgitada vahutamise põhjus ning need kõrvaldada. Halvenenud protsessitingimuste korral tuleb puudused tuvastada ja kõrvaldada, mis on tingitud aeratsioonimahutis madala kuivaine sisalduse või noore aktiivmuda vanuse.

4.6.3 Leelisuse tõus

Leelisuse tõusu peamiseks põhjuseks on kõrge leelisusega puhastisse sisenev reovesi. Virtsu reoveepuhastisse sisenevas reovees on pH väärtused eelneval aastal küündinud kuni 8,7-ni. Virtsu reoveepuhastisse siseneva reovee 2013. ja 2014. aastal teostatud laborianalüüsitulemused näitavad, et reovesi on olnud tüüpilisest olmereoveest kontsentreeritum ning seda eriti üldlämmastiku osas. Virtsu sadama laevade purgimismahutist võetud reoveeproovide laborianalüüsid näitasid tüüpilise olmereoveega võrreldes keskmiselt 10 korda kõrgemat kontsentratsiooni üldlämmastiku osas.

Kõrgete lämmastikukontsentratsioonide juures kaasneb reovee pH taseme tõusuga reovees ammoniaagi esinemise osakaalu tõus (joonis 4.1). Ammoniaak (NH_3) on aga ligikaudu 100 korda toksilisem kui ammoonium (NH_4^+), põhjustades aktiivmudaprotsessis mikroorganismide toksilist mõju. Lisaks suurendab tasakaalu ammoniaagi tekke suunas

reovee temperatuuri tõus, mis süvendab probleemi suveperioodil. Neutraalne keskkond olmereoveele on pH 6,5-7,5 tasemega, milles suurem osa lämmastikust on ammooniumina (NH_4^+) (Wendt, 2011).



Joonis 4.1. NH_4 või NH_3 esinemine reovees, sõltuvalt reovee pH väärtusest (Gay, 2009).

Tuginedes täiendavalt teostatud Virtsu reoveepuhastisse siseneva reovee laborianalüüside tulemustele – jäi reovee pH tase vahemikku 7,6-8,1. Virtsu sadama purgmismahutist võetud reoveeproovide analüüsitulemused näitasid kõrgemaid pH väärtusi – vahemikus 8,1-8,3. Saadud tulemustele tuginedes saab väita, et Virtsu reoveepuhastisse sisenev reovesi oli proovivõtmise perioodil tüüpilisest olmereoveest kõrgema pH väärtusega.

Lisaks kõrgele pH väärtustele, näitasid laborianalüüside tulemused kõrget üldlämmastiku kontsentratsiooni. See põhjustas olukorra, kus reoveepuhastisse siseneva reovee ammoniakaalsest lämmastikust oli umbes 20% ammoniaagina (NH_3). Kuna lämmastiku kontsentratsioon oli kõrge, võis see suure tõenäosusega aktiivmudasegus olevatele organismidele toksiliselt mõjuda. Vaadates 2013. aastal 15.10 reoveepuhastisse siseneva proovi pH väärtust, milleks mõõdeti 8,7, saab järeldada, et siseneva reovee ammoniakaalsest lämmastikust oli juba kuni 35% ammoniaagi (NH_3) kujul.

Kirjeldatud aktiivmudaprotsessile halvenenud keskkonnatingimuste muutused – kõrge siseneva lämmastiku kontsentratsioon ja suurenenud pH tase põhjustavad suure tõenäosusega perioodiliselt osaliselt või täielikult aktiivmudaorganismide surma. Keskkonnatingimuste optimaalsemaks muutumisel algab taas uue noore aktiivmuda kasv, mis on seotud valge koheva vahu tekkimisega.

Suure tõenäosusega just leelisuse tõusust tingitud valget kohevat vahutamist esineski 2013. aasta suveperioodil Virtsu reoveepuhastil. Tuginedes viimastele puhastile teostatud laborianalüüsitulemusele, saab järeldada, et olukord võib korduda, kuna reovee reoainete kontsentratsioonid, eriti üldlämmastiku ja pH osas, olid endiselt tüüpilise olmereoveega võrreldes suhteliselt kõrged.

Leelisuse tõusust tingitud vahutamise vähendamiseks või vältimiseks saab kasutada, tuginedes peatükile 1.4.2 ja Wendti, 2011 materjalile, järgmisi protseduure:

- 1) piserdada vahtu heitveega;
- 2) pH taseme alandamine väävelhappelahusega;
- 3) puhastisse siseneva reovee temperatuuri alandamine;
- 4) nitrifikatsiooni tõhustamine kui pH tase on stabiliseerunud, mille eesmärgiks on ammoniaagi (NH₃) muutmine nitritiks ja nitraadiks. Seda protsessi kirjeldavad järgmised reaktsioonivalemid:
$$\text{NH}_3 + \text{CO}_2 + 1.5 \text{O}_2 + \text{bakterid} \rightarrow \text{NO}_2^- + \text{H}_2\text{O} + \text{H}^+ \quad (5.1)$$
$$\text{NO}_2^- + \text{CO}_2 + 0.5 \text{O}_2 + \text{bakterid} \rightarrow \text{NO}_3^- \quad (5.2)$$
- 5) ühtlustada Virtsu sadama purgimismahutist pumbatava reovee kogust.

4.7 Olemasoleva reoveepuhasti tehnoloogilised puudused ja lahendusettepanekud

Virtsu reoveepuhasti tööprotsesside analüüsil leiti mitmeid olulisi tehnoloogilisi puudusi. Puudused on enamasti seotud mitteprojektijärgsete omaalgatuslike ümberehitustega ja tehnoloogiliste seadmete optimeerimata töotsüklitega. Järgnevalt on välja toodud 30.09.2013 toimunud Virtsu aleviku reoveepuhasti külastuse visuaalsel vaatlusel ja tehnilise dokumentatsiooni analüüsil tuvastatud olulisemad reoveepuhasti tehnoloogilised puudused. Lisaks on välja pakutud lahendusettepanekud, mille rakendamisel luuakse tehnoloogilised eeldused optimaalse bioloogilise reovee puhastusprotsessi toimimiseks.

4.7.1 Tagastus- ja liigmudapumbad

Vastavalt operaatori väidetele Virtsu reoveepuhasti külastuse käigus, selgus, et projektijärgsed mudapumbad olid asendatud uute tehnoloogiliste pumpadega. Kohapealsel vaatlusel selgitati välja, et asendatud mudapumbad ei olnud korrektselt töötavale aktiivmudaprotsessile kohaselt paigaldatud. Nimelt ei olnud pumbad paigaldatud projektijärgsele asukohale, mille järgi asusid need järelsetiti põhjakoonuste põhjas ja pumpasid järelsetitist perioodiliselt ära kogu

settiva muda. Muudetud oli mudapumpade asukohti nii, et need asusid setiti koonuste kaldosa keskosas, mis ei võimaldanud kogu settinud aktiivmuda setiti põhjast tagasi aeratsioonikambrisse pumbata. Selle tulemusel võib järelsetiti koonuste põhjas olevas aktiivmudasuspensioonis toimuda denitrifikatsiooniprotsess, mille käigus eraldub gaasiline lämmastik, mis häirib aktiivmuda settivust ja suurendades reoveepuhasti väljavoolus heljumi ja orgaanilise aine sisaldust. Intensiivsema denitrifikatsiooniprotsessi korral võib setiti pinnale kerkida ka suuremaid mudatükke.

Lisaks järelsetitis mudapumpade mittekorrektsele paigaldusele oli ka liigmuda protsessist eemaldamine lahendatud mitte kõige mõistlikumalt. Liigmuda ärastamiseks ehk eemaldamiseks puhastusprotsessist peaksid mõlema mudapumba järgsel torustikul siibrisõlmes siibrid olema ümber lülitatud nii, et tagastusmuda siiber oleks suletud ja liigmudatihendisse mineva toru siiber oleks avatud. Selline kirjeldatud automatiseerimata lahendus ei võimalda aga protsessist eemaldada stabiilselt ööpäeva lõikes juurdekasvanud aktiivmuda.

Kohapealsel vestlusel 30.09.2013 reoveepuhasti operaatoriga jäi aga ebamäärane arusaam, kuidas ja kui sageli liigmuda protsessist üldse eemaldata. Külastuse hetkel olid mudapumpade siibrisõlme siibrite asetus liigmuda ärastamise režiimis. See tähendab, et puhastusprotsessis sellel hetkel regulaarset tagastusmuda pumpamist järelsetitist aeratsioonimahutisse ei toimunud. Tagastusmuda jõudis aeratsioonimahutisse ehk tagasi bioloogilisse puhastusprotsessi liigmudatihendist, eelkõige rejektvee tagasijuhtimiseks mõeldud kolmiku (joonis 4.1, punkt K1) kaudu. Selliselt juhiti aeratsioonikambrisse tagasi aga surnud muda, mis tegelikkuses hoopis kahjustab aeroobset protsessi. Kui pika perioodi vältel siibrite asetus liigmuda ärastamise režiimis oli olnud, operaator kohapeal täpselt selgitada ei osanud. Tuleb aga tugineda sellele, et regulaarne ja optimeeritud tagastusmuda tagastamine järelsetitist bioloogilisse puhastusetappi ehk aeratsioonimahutisse on aktiivmudapuhastusprotsessis üks tähtsamaid protseduure.

Reoveepuhasti 30.09.2013 külastusel aeratsioonimahutist võetud visuaalsel mudaproovi vaatlusel oli tuvastatav, et aktiivmuda struktuur oli peenike ja muda värvus tumedam kui see on heas konditsioonis oleva aktiivmudaprotsessi puhul. Kirjeldatud asjaolud viitasid eelpool mainitud mittekorrapärasele muda tagastusele või siis õhuhapniku puudusele, mida Virtsu reoveepuhasti aeratsioonimahutis otseselt ei tuvastatud, kuid mida võib põhjustada kui

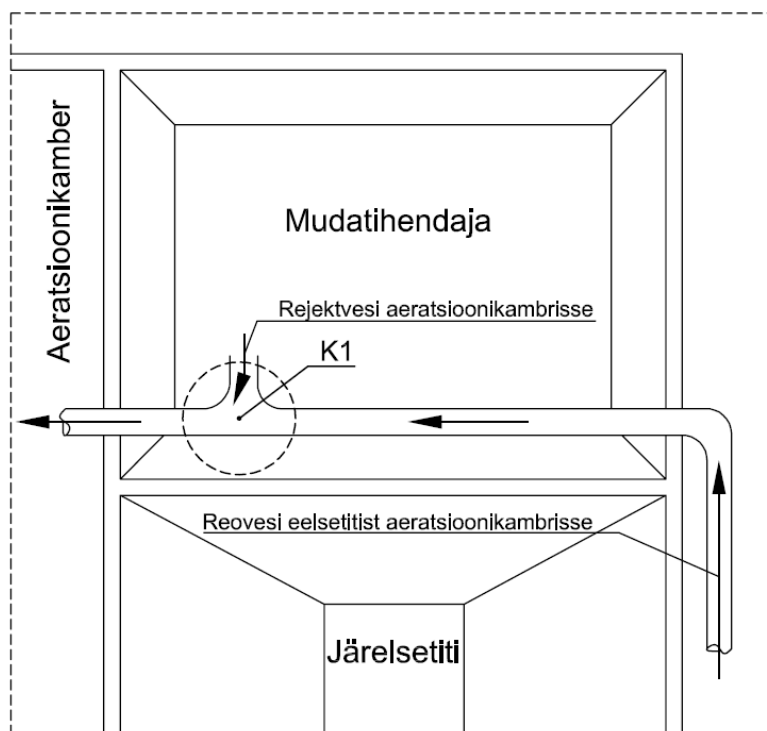
bioloogilisse puhastusprotsessi tagastatav muda viibib ebamäärase aja anaeroobsetes tingimustes liigmudatihendajas.

Mudapumpade tööprotsessi optimeerimiseks ja stabiilse tagastusmuda tagastamiseks aeratsioonikambrisse, on pakkuda välja järgmised lahendusettepanekud:

- 1) tagastusmuda pumbad tuleb paigaldada projektijärgsele asukohale, st tuleb paigutada need järelsetiti põhjakoonuse põhja lähedale;
- 2) tagastusmuda pumpade jõudlused tuleb kontrollida ja nende tööaeg optimeerida puhastusprotsessi seadmete juhtkontrolleris vastavalt reovee pealevoolule bioloogilisse puhastusprotsessi. Optimaalne tagastusmuda kogus on 100-150% reoveepuhastisse voolavast reovee kogusest ajaühikus (tunnis). Kui puhastusprotsessi suunatakse näiteks 10 m³ reovett tunnis, siis optimaalne tagastusmuda maht on 10-15 m³/tunnis.
- 3) liigmuda ärastamiseks tuleb ühte järelsetiti koonusesse või aeratsioonimahutisse paigaldada liigmuda pump ja vastav torustik, mille abil pumbatakse perioodiliselt puhastusprotsessist liigmudatihendisse puhastusprotsessis juurdekasvanud aktiivmuda.
- 4) operaatori sõnul külastati Virtsu reoveepuhastit keskmiselt kahel korral nädalas – nendel päevadel peab toimuma siis ka liigmuda protsessist väljapumpamine liigmudatihendisse. Kasutades olemasolevaid mudapumpasid tuleb liigmuda väljapumpamist teostada vähemalt 1-2 päeval nädalas. Selleks tuleb käsitsi siibrisõlme siibrid ümber lülitada liigmuda ärastamise režiimi, kuid tuleb silmas pidada, et siibrid lülitatakse peale liigmuda eemaldamist uuesti ümber tagastusmuda režiimile. Protsessist eemaldavat liigmuda kogust saab arvutada reoveepuhastisse siseneva vooluhulga kaudu. Samuti võib vaadata aeratsioonikambrit võetud aktiivmudasuspensiooni settivuse proove ning hinnata selle kaudu, palju protsessi tagastusmuda on tekkinud.

4.7.2 Eelsetiti ja aeratsioonikambri vaheline torustik

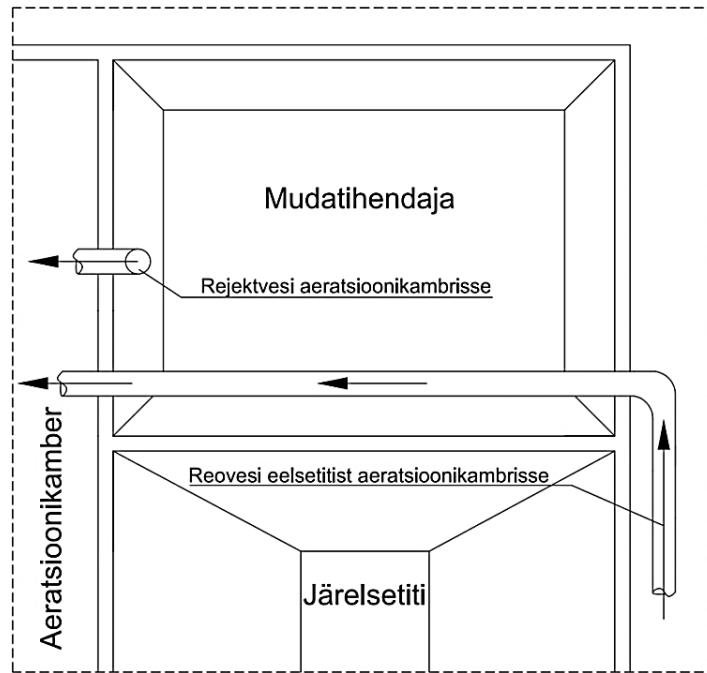
Reoveepuhasti külastusel tuvastati visuaalsel vaatlusel, et eelsetitist reovett isevoolselt aeratsioonikambrisse juhtiv PVC toru on rajatud selliselt, et see oli ühenduses ka liigmudatihendiga. Käesoleva PVC torustiku lahendus eelsetitist aeratsioonimahutisse on selgitatud joonisel 4.2.



Joonis 4.2 Eelsetiti ja aeratsioonikambri vahelise torustiku skeem.

Lisaks oli reovett eelsetitist aeratsioonikambrisse juhtivale torustikule paigaldatud liigmudatihendaja pinnakihis kolmik (joonis 4.2, punkt K1). Kolmiku eesmärgiks mudatihendis antud kohas oli selginenud ja liigmudast eraldunud rejektvee juhtimine isevoolselt tagasi aeratsioonikambrisse. Nimetatud torustiku lahendus oli tekitanud aga olukorra, kus polnud võimalik kindlalt öelda, mis suunas vee voolamine tegelikult toimub. Teatud juhtudel voolas reovesi eelsetitist hoopis liigmudatihendisse, mitte aeratsioonikambrisse ja rejektvesi teatud hetkel aeratsioonikambrisse – ei olnud teada. Võib väita, et selline torustiku lahendus, kus orgaanilise aine rikast reovett satub eelsetitist liigmudatihendisse, ei ole kindlasti kasulik korrektselt töötavale aktiivmudaprotsessile.

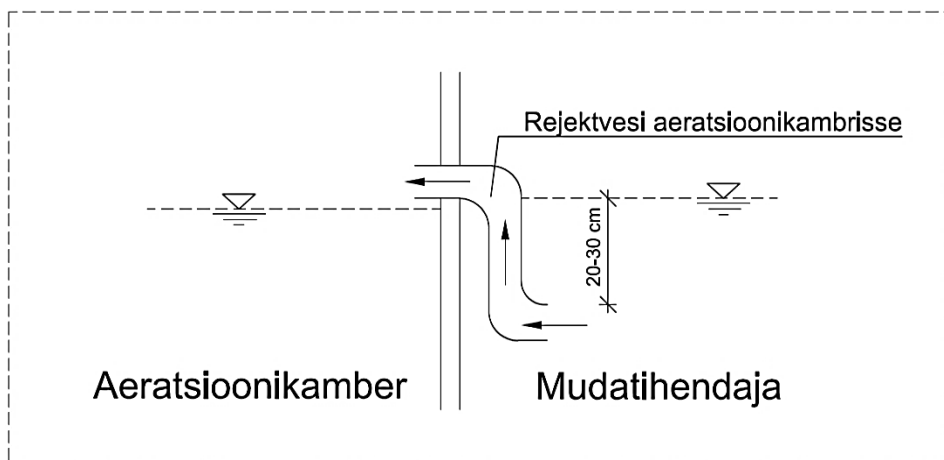
Aktiivmudaprotsessis on liigmuda mudatihendi ülesandeks bioloogilises protsessis tekkinud liigmuda anaeroobne stabiliseerimine, mahu vähendamine gravitatsiooniliselt ning mudast vee eraldamine ja tagasisuunamine puhastusprotsessi. Enne bioloogilist puhastusprotsessi olmereovee sattumine liigmudatihendisse põhjustab reovees sisalduva kergesti laguneva orgaanilise aine tõttu liigmuda kiiret käärimist, seda eriti soojal perioodil. Liigmuda käärimise tagajärjel esineb muda pinnalekerkimist, mis halvendab vee eraldumist ja seetõttu muda gravitatsioonilist tihenemist. See põhjustab omakorda olukorra, kus pinnalekerkinud „surnud“ muda satub tagasi kolmik-ühenduse (joonis 4.2, punkt K1) kaudu aeratsioonikambrisse, mis hakkab pärssima bioloogilist puhastusetappi, aeglustades aktiivmuda kasvu.



Joonis 4.3. Soovituslik torustiku skeem liigmudatihendajast rejektvee juhtimiseks aeratsioonikambrisse

Eelnevalt nimetatud torustiku tehnoloogilised muudatusettepanekud on kirjeldatud järgnevalt:

- 1) eelsetitist orgaanilise aine rikka olmereovett aeratsioonikambrisse juhtiv torustik tuleb ümber ehitada selliselt, et selles liikuv reovesi saaks jõuda ainult aeratsioonimahutisse;
- 2) liigmudatihendis mudast eralduva rejektvee eemaldamiseks tuleb rajada läbi liigmudatihendi ja aeratsioonimahuti vahelise seina uus torustik – vastavalt joonistel 4.3 ja 4.4 näidatule. Torustik rajada isevoolsena ning torustiku liigmudatihendi poolne ots lahendada 90 kraadise põlvega või kolmikuga viisil, et rejektvee voolamine aeratsioonikambrisse toimuks pinnakihist 20-30 cm sügavusel (joonis 4.4).



Joonis 4.4. Rejektvee eemaldamise torustiku skeem

Kirjeldatud lahendus on vajalik, et vältida liigmudatihendi pinnale tekkiva võimaliku kooriku poolt rejektvee äravoolu takistamist. Nimetatud kooriku tekkimine esineb tavaliselt liigmudatihendite puhul, kuhu juhitakse eelsetitist orgaanilise aine rikast toormuda, mis hakkab suvel soojema ilmaga liigmudatihendis käärima ja osa mudast tõuseb liigmudatihendi pinnale.

KOKKUVÕTE

Käesoleva magistritöö käigus analüüsiti Virtsu reoveepuhasti puhastusprotsessi. Puhastusprotsessi erinevate puhastusetappide analüüsimise aluseks oli Virtsu reoveepuhasti hooldusjuhend ja tehniline projekt. Samuti kohapealsel vaatlusel, 30.09.2013, tuvastatud tehnoloogilised puudused. Virtsu reoveepuhastil perioodiliselt ning ulatuslikumalt 2013. aasta suvel esinenud vahutamise probleemi põhjuste kirjeldamine toimus varasemalt reoveepuhastisse sisenevate ja väljuvate reo- ja heitveeproovide laborianalüüside tulemustele tuginedes. Lisaks toimus 29.04.-5.05.2014 käesoleva magistritöö koostamise raames täiendav proovide võtmine Virtsu reoveepuhastisse sisenevast reoveest ja Virtsu sadama purgimismahutist, mille tulemused kinnitasid varem teostatud laborianalüüside tulemusi, näidates kõrget kontsentratsiooni kõigi reoainete, eelkõige aga üldlämmastiku sisalduse osas, samuti tüüpilisest olmereoveest kõrgemat pH taset.

Vahutamise probleemi võimalike põhjuste väljaselgitamiseks koostati põhjalik kirjanduslik ülevaade. Kirjandusliku ülevaate koostamise tulemusel selgitati välja tõenäolised põhjused, mis tingisid reoveepuhasti aeratsioonikambris liigse vahutamise. Lisaks vahutamise probleemi põhjuste kirjeldamisele pakuti välja võimalused algpõhjuste identifitseerimiseks ning lahendusettepanekud vahutamise vältimiseks või vähendamiseks. Peamised liigse vahutamise põhjustajad on aktiivmudasegus esinevate filamentsete organismide vohamine, hüdraulilise koormuse suurenemisega kaasnev perioodiline toitainete puudus ja samas ka aktiivmudaorganismide väljakandumise tagajärjel olukorra stabiliseerumisel noore aktiivmuda kasvuga kaasnev vahutamine, vees lahustumata pindaktiivsete ainete tõus, suurenenud leelisus, toksilisus ning rasvade, õlide või määrete esinemine toorreovees. Vahutamise esmane identifitseerimine toimub vahu füüsikalisi omadusi hinnates. Esmase arvatava vahutamise põhjuste kinnitamiseks tuleb teostada täiendavaid laborianalüüse või mikroskopeerimist.

Operaatori iseloomustusel oli Virtsu reoveepuhastil 2013. aasta suvel esinenud vaht kohev, valge värvusega. Virtsu sadamas purgitavast ja Virtsu reoveepuhastile sisenevast reoveest võetud reoveeproovide laborianalüüside tulemused näitasid kõrgeid reoainete kontsentratsioone. Sadamast võetud proovide analüüsitulemused näitasid samuti väga kõrgeid reoainete kontsentratsioone, eriti üldlämmastiku osas – ületades tavapärase olmereovee koostist üle kümne korra. Lisaks ületas sadamas purgitav reovesi, VV määruse nr 171 alusel kehtestatud purgimise nõudeid, mille põhjal purgitava reovee reostuskoormuse osakaal

reoveepuhasti projekteeritud koormusest ei või ületada 10%, lämmastiku osas keskmiselt üheksa korda – perioodil 29.04-1.05. Analüüsitulemuste alusel oli võimalik järeldada, et vahutamist põhjustas Virtsu reoveepuhastis suure tõenäosusega siseneva üldlämmastiku kõrge kontsentratsiooni ja pH taseme tagajärjel reovee leelisuse tõus, mõjudes aktiivmudaorganismidele toksiliselt. Sellest tingituna halvenesid protsessitingimused, mille tagajärjel osa aktiivmuda hukkus. Olukorra stabiliseerumisel algab uue aktiivmuda kasv, millega kaasneb valge kohev vahutamine.

Vahutamise probleemide kirjeldamise kõrval leiti Virtsu reoveepuhasti tööprotsesside analüüsimisel mitmeid tehnoloogilisi puudusi. Suurimaks puuduseks oli optimeerimata mudapumpade töö, mille tõttu puudus stabiilne liigmuda ärastamine puhastusprotsessist ja optimeerimata oli tagastusmuda puhastusprotsessi tagasisuunamise määr, mille tõttu ei ole tagatud optimaalsed tingimused aktiivmudaorganismide juurdekasvuks. Lisaks olid mudapumbad asetatud järelsetitite keskosasse, mille tagajärjel ei toimunud muda pumpamine järelsetitite põhjaosast, põhjustades koonuste allosas anaeroobse keskkonna aktiivmudale. Kirjeldatud puuduste kõrvaldamiseks on vajalik puhastusprotsessi optimeerimiseks paigaldada mudapumbad projektijärgsele asukohale – järelsetiti koonuste põhjaosasse ning tagada liigmuda regulaarne ärastamine. Puhastusprotsessis oleva aktiivmuda väljakandumise vältimiseks suurvee perioodil on vajalik rajada Virtsu reoveepuhastile möödavoolutorustik, millega tagatakse puhasti stabiilne hüdrauliline koormus ja tööprotsess liigvee olukorras.

KIRJANDUSE LOETELU

Andresmaa, E., Sedman, P., Raia, T., Lääne, A. (2005). Proovivõtt reo- ja heitveest, sademeveest ning saastunud pinnasest. Käsiraamat. Tallinn.

Alasi, K., Heinsaar, Ü., Kriipsalu, M., Kuusik, A., Metsur, M. (2001). Omaveevärk ja omakanalisatsioon. Tallinn : Ehitame.

ATV-DVWK-A 131E. (2000). Dimensioning of Single-Stage Activated Sludge Plants : standard. Hennef, Saksamaa, German Association for Water, Wastewater and Waste.

Bolmstedt, J. (2004). Controlling the Influent Load to Wastewater Treatment Plants : doktoritöö. Rootsi, Lund University, Department of Industrial Electrical Engineering and Automation. [WWW] <http://www.iea.lth.se/publications/Theses/LTH-IEA-1040.pdf>

Calhoun, J. (2012). Microscopic Techniques to Troubleshoot Activated Sludge, Problems and Control. Mooresville, United States of America : Polytec, Inc. [WWW] <http://www.acsawater.com/sites/default/files/websitefiles/SVWWTPN/Microscopic%20Techniques.ppt>.

Environmental Leverage Inc. (2003). Nocardia [WWW] <http://www.environmentalleverage.com/Nocardia.htm> (25.02.2014)

Environmental Leverage Inc. (2003). Microthrix parvicella [WWW] <http://www.environmentalleverage.com/Mparvicella.htm> (25.02.2014)

Environmental Leverage Inc. (2003). Type 1863 [WWW] [http://www.environmentalleverage.com/Type 1863.htm](http://www.environmentalleverage.com/Type%201863.htm) (25.02.2014)

Foot, R.J., Robinson, M.S. (2003). Activated sludge bulking and foaming: microbes and myths – *Handbook of Water and Wastewater Microbiology*, 525-543. [Online] ScienceDirect (13.01.2014)

Fryer, M., O’Flaherty, E., Gray, N.F. (2010). Evaluating the Measurement of Activated Sludge Foam Potential – *Water 2011*, 3, 424-444. [Online] ScienceDirect (18.02.2014)

Fryer, M., Gray, N.F. (2012). Foaming Scum Index (FSI) e A new tool for the assessment and characterisation of biological mediated activated sludge foams - *Journal of Environmental Management*, 8-19. [Online] ScienceDirect (20.02.2014)

Gay, S.W. (2009). Ammonia Emissions and Animal Agriculture – *Virginia Cooperative Extension*, publication 442-110. [WWW] http://pubs.ext.vt.edu/442/442-110/442-110_pdf.pdf

Gerardi, M.H. (2002). Settleability Problems and Loss of Solids in the Activated Sludge Process. New Jersey, United States of America : John Wiley & Sons, Inc.

Griffiths, P., Stratton, H. (2010). Foaming organisms in sewage treatment – friend or foe: victim of bad publicity – *35th Annual Qld Water Industry Operations Workshop Community Sports Centre, 22 to 24 June, 2010*. CQ University, Rockhampton, Australia. [WWW] http://www.wioa.org.au/conference_papers/10_qld/documents/petergriffiths.pdf

HI-3857. (2011). Detergents Test Kit - Instruction Manual. Hanna Instruments Canada Inc. Quebec, Canada. [WWW] <http://www.hannacan.com/PDF/manHI3857.pdf>

Hug, T. (2006). Characterization and controlling of foam and scum in activated sludge systems : doktoritöö. Šveits, Swiss Federal Institute of Technology Zurich.

Kuusik, A. (1995). Reoveeväikepuhastid Eestis. Tallinna Tehnikaülikooli Keskkonnatehnika Instituut. Tallinn.

Kragelund, C., Nielsen, J.L., Thomsen, T.R., Nielsen, P.H. (2005). Ecophysiology of the filamentous Alphaproteobacterium *Meganema perideroedes* in activated sludge - *FEMS Microbiology Ecology*. 111-122. [Online] ScienceDirect (02.02.2014)

Kroehn, T.A., Mickelson, T.P., Smeaton, G., Lembcke, R., Mugan, T., Tewes, T., Eckrich, L., Wilhelm, R. (2010). Activated sludge introduction : study guide. Wisconsin, United States of America. Wisconsin Department of Natural Resources. Bureau of Science Services. Operator Certification Program. [WWW] <http://www.warws.com/documents/ActivatedSludgeintro.pdf>

Kõrgmaa, V. (2010). Reoveesette töötlemise strateegia väljatöötamine, sh ohutu taaskasutamise tagamine järelevalve tõhustamise, keemiliste- ja bioloogiliste indikaatornäitajate rakendamise ning kvaliteedi süsteemide juurutamise abil. II ETAPP : projekt. Tallinn, Eesti Keskkonnauuringute Keskus OÜ.

Maastik, A. (1984). Veekaitse põllumajanduses. Tallinn : Valgus.

Mamais, D., Kalaitzi, E., Andreadakis, A. (2011). Foaming control in activated sludge treatment plants by coagulants addition - *Global NEST Journal, Vol 13, No 3*. 237-245. [WWW] http://journal.gnest.org/sites/default/files/Journal%20Papers/237-245_751_Mamais_13_3.pdf

Martins, A.M.P., Pagillac, K., Heijnena, J.J., van Loosdrecht, M.C.M. (2003). Filamentous bulking sludge - a critical review – *Water Research*, 38 (2004), 793–817. [Online] ScienceDirect (18.02.2014)

Mölder, H. (1998). Reoveepuhasti operaatori õpik. Keskkonnatehnika instituut. Tallinn.

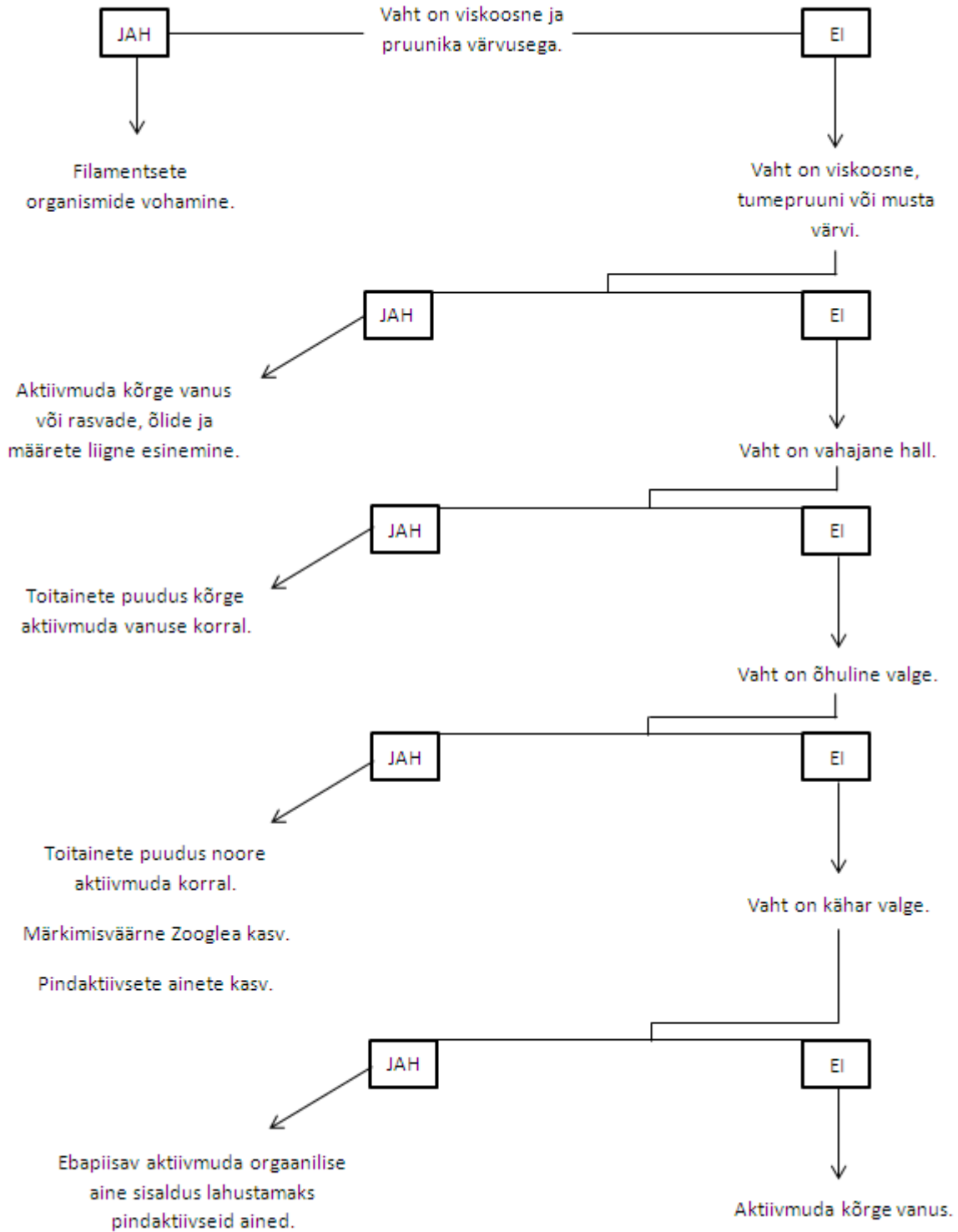
OÜ Veemaailm INC. (2002). Lääne maakond, Hanila vald, Virtsu reoveepuhasti hooldusjuhend. Kuressaare.

OÜ Veemaailm INC. (2002). Lääne maakond, Hanila vald, Virtsu reoveepuhasti tehniline projekt. Kuressaare.

- Re, M., Young, G. (2010). Causes and Control of Foaming in the Secondary Process – *PNCWA Conference, Oktoober 25, 2010*. Bend, Oregon, United States of America. [WWW] <https://pncwa.memberclicks.net/assets/2010ConfTechPresentations/Session06/2010%20pncwa-%20session%206-3%20-%20operations%20-%20mike%20re%20%20gary%20young.pdf> (18.02.2014)
- Richard, M. (2003). Activated Sludge Microbiology Problems and Their Control – *20th Annual USEPA National Operator Trainers Conference*. Buffalo, New York, United States of America. [WWW] http://www.dec.ny.gov/docs/water_pdf/drrichard1.pdf (18.02.2014)
- Rossetti, S., Tomei, M.C., Nielsen, P.H., Tandoi, V. (2005). „Microthrix parvicella“, a filamentous bacterium causing bulking and foaming in activated sludge systems: a review of current knowledge – *FEMS Microbiology Reviews*, 29 (2005), 49–64. [Online] ScienceDirect (18.02.2014)
- Saarniit, G. (2010). Kolmel erineval tehnoloogial töötava reoveepuhasti uuring Valgamaal : magistritöö. Tartu, Eesti Maaülikool.
- Seviour, R., Nielsen, P.H. (2010). *Microbial Ecology of Activated Sludge*. London, UK : IWA Publishing.
- Vee- ja mullamikrobioloogia loengud. (2005). [WWW] <http://gt.inkblue.net/Vee-%20ja%20mullamikrobioloogia/loeng10-11.pdf> (24.02.2014)
- Veeseadus. (Vastu võetud 11.05.1994, muudetud, täiendatud, viimati jõustunud 16.06.1994). – *Elektroniline Riigi Teataja* [WWW] <https://www.riigiteataja.ee/akt/12769937> (24.04.2014)
- Vabariigi Valitsuse määrus nr 99. Reovee puhastamise ning heit- ja sademevee suublasse juhtimise kohta esitatavad nõuded, heit- ja sademevee reostusnäitajate piirmäärad ning nende nõuete täitmise kontrollimise meetmed¹. (Vastu võetud 29.11.2012). – *Elektroniline Riigi Teataja*. [WWW] <https://www.riigiteataja.ee/akt/104122012001>
- Vabariigi Valitsuse määrus nr 171. Kanalisatsiooniehitiste veekaitsenõuded¹. (Vastu võetud 16.05.2001, muudetud, täiendatud, viimati jõustunud 01.01.2005). – *Elektroniline Riigi Teataja*. [WWW] <https://www.riigiteataja.ee/akt/13305356>
- Wanner, J. (1994). *Activated Sludge: Bulking and Foaming Control*. Florida, United States of America : CRC Press LLC.
- Wendt, J. (2011). Ammonia Removal and pH Adjustment in Aerated Lagoons – *WWOA 45th Annual Conference*. New York, United States of America. [WWW] <http://www.wwoa.org/files/publishedpapers/2011/Conference/Session%20H2%20Ammonia%20Removal%20and%20pH%20Adjustment%20in%20Aerated%20Lagoons.pdf>

LISAD

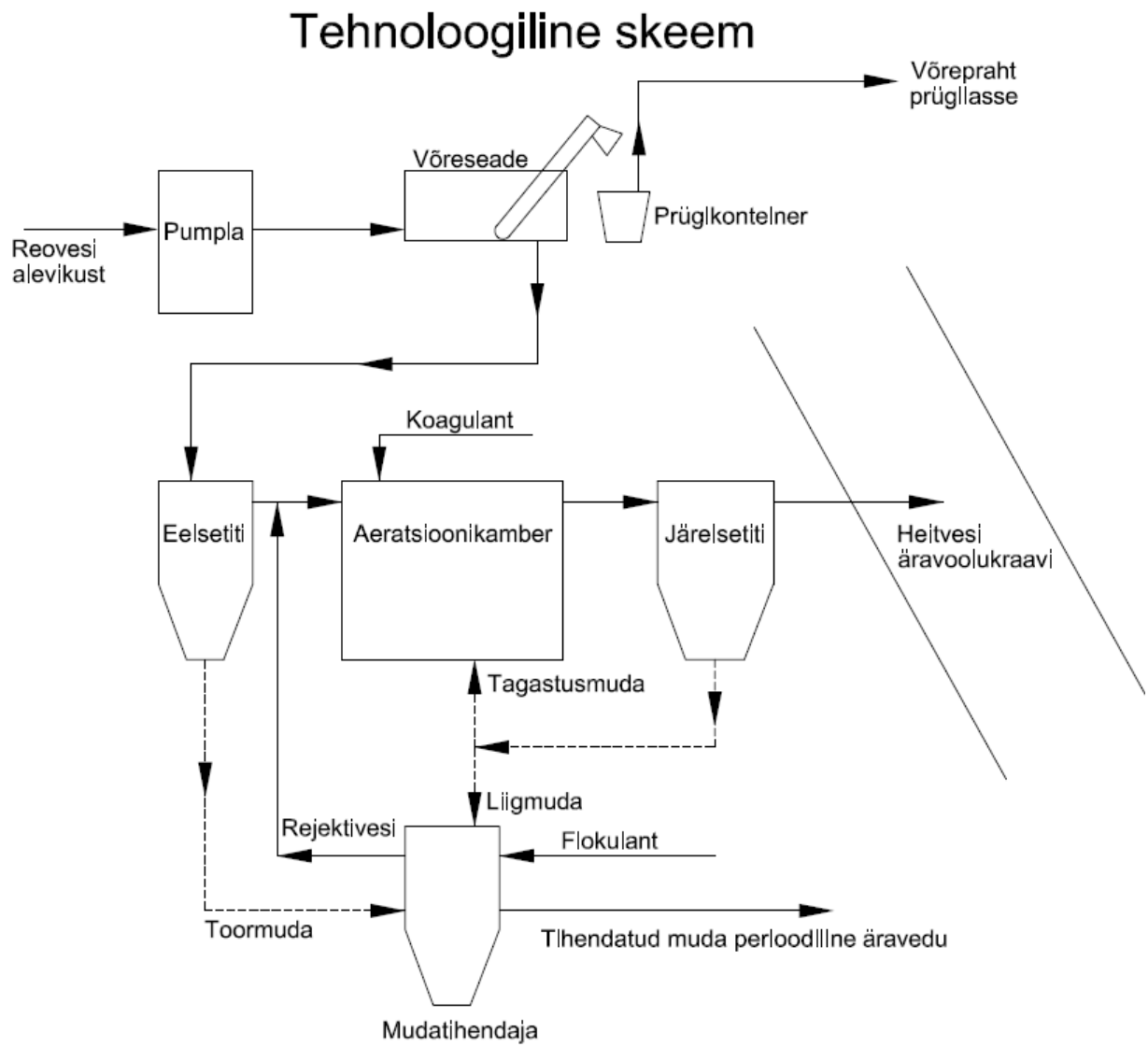
Lisa 1. Vahu identifitseerimise plokk skeem (Gerardi, 2002)



Lisa 2. Virtsu reoveepuhastist väljuva heitvee laborianalüüside tulemused

Virtsu reoveepuhastist väljuva heitvee proovide analüüsitulemused 2013/2014								
NÄITAJA	22.01.2013	29.05.2013	18.06.2013	15.10.2013	3.12.2013	28.01.2014	12.02.2014	4.03.2014
Biokeemiline hapnikutarve (BHT₇), mgO₂/l	13,6	74,0	50,0	55,0	14,0	17,0	13,0	7,3
Heljuvaine, mg/l	8,0	14,0	99,0	120,0	11,0	20,0	19,0	14,0
Üldlämmastik (N_{üld}), mgN/l	67,9	36,0	51,0	123,0	25,9	103,0	125,0	64,2
Üldfosfor (P_{üld}), mgP/l	0,9	2,1	8,6	15,0	1,6	4,9	3,1	0,4
pH	7,6	7,5	6,7	6,7	7,8	7,6	7,7	7,3
Dikromaatne hapnikutarve (KHT_{Cr}), mgO₂/l	44,0	154,0	212,0	350,0	57,0	83,0	90,0	56,0

Lisa 3. Virtsu reoveepuhasti tehnoloogiline skeem (OÜ Veemaailm INC, 2002)



Lisa 4. Virtsu reoveepuhasti vooluhulgad

Virtsu RVP vooluhulgad (m³)				
	2010	2011	2012	2013
Jaanuar	1137	3153	8694	1372
Veebruar	903	3038	1734	1372
Märts	4551	1800	6460	1372
Aprill	8756	9497	4027	7397
Mai	2300	1878	4027	3722
Juuni	1726	1478	4027	1506
Juuli	1575	1692	1910	1634
August	1639	1603	1910	1304
September	1350	1502	1910	1141
Oktoober	1243	1746	2192	1452
November	1792	3086	2192	3953
Detsember	1549	9407	2192	2996