



**TALLINNA
TEHNIKA KÕRGGKOO**

Ketre Kirs

**ANNUSPUHASTI TEHNOLOOGILINE
TSÜKLITE DIMENSIONEERIMINE SUURUPI
REOVEEPUHASTI NÄITEL**

LÕPUTÖÖ

Tallinn 2014

Ketre Kirs

**ANNUSPUHASTI TEHNOLOOGILINE
TSÜKLITE DIMENSIONEERIMINE
SUURUPI REOVEEPUHASTI NÄITEL**

LÕPUTÖÖ

Arhitektuuri ja keskkonnatehnika teaduskond
Tehnoökoloogia eriala

Tallinn 2014

SISUKORD

Sissejuhatus	5
1. Reovett iseloomustavad näitajad	7
1.1. Füüsilised näitajad	7
1.2. Keemilised näitajad	8
2. Reovee puhastusmeetodid	12
2.1. Mehaaniline puhastus	12
2.1.1. Kompaktne eelpuhastusseade	12
2.2. Bioloogiline puhastus	14
2.2.1. Aktiivmuda protsess	14
2.2.2. Nitrifikatsiooni protsess	15
2.2.3. Denitrifikatsiooni protsess	16
2.2.4. Bioloogiline fosforiärastus	16
2.2.5. Annuspuhasti tehnoloogia	17
2.3. Keemiline puhastus	20
2.3.1. Keemiline fosfori ärastus	20
2.3.2. Desinfitseerimine	21
2.4. Settekäitlus	22
2.4.1. Sette tihendamine	23
2.4.2. Sette tahendamine	24
2.4.3. Sette lõppkäitlus	24
3. Seadusandlus	27
4. Annuspuhasti opereerimise laboratoorsed katsetused	29
4.1. Katsetuste eesmärk ja läbiviimine	29
4.2. Meetod katsetuste läbiviimiseks	30
4.3. Aktiivmuda iseloomustavad parameetrid	30
4.4. Projekteeritud annuspuhasti tsükliga katse	32
4.5. Projekteeritud tsükli katsete tulemused	33
4.6. Autori poolt pakutud annuspuhasti tsükliga katse	35

4.7. Autori poolt pakutud tsükli katsete tulemused	36
4.8. Laboratoorsete katsete kokkuvõte	38
4.9. Soovitused puhasti käikuvõtmiseks	40
Kokkuvõte	42
Summary	43
Viidatud allikad	44
Lisa 1. Projekteeritud tsükli sisendi ja väljundi näitajad	47
Lisa 2. Autori poolt pakutud katsete sisendi ning väljundi näitajad	48
Lisa 3. Suurupi reoveepuhastusjaama tehnoloogiline protsessi skeem	49

SISSEJUHATUS

Inimese elutegevuse tagajärjel tekib reovett, mille veekogusse juhtimisel tuleb see eelnevalt puhastada, et mitte kahjustada suublasts oleva veekogu seisundit. Liigne toitainete sattumine suublastse põhjustab veekogu eutrofeerumist. Selleks, et kaitsta veekogu inimtegevusest pärit kahjulike mõjude eest, peab puhastatud heitvesi vastama kehtivatele nõuetele. Piirkondades, kus elanike arv muutub sesoonselt, muutuvad ka reoveekogused ning kontsentratsioonid. Seepärast on otstarbekas kasutada annuspuhastil põhinevat tehnoloogiat.

Antud tehniline lahendus toimib nagu läbivoolul põhinev puhasti, kuid settimine ning aktiivmuda protsess toimuvad ühes mahutis. [1, p. 10]

Annuspuhasti võimaldab efektiivselt vähendada toitainete (fosfori ja lämmastiku) sisaldust reovees. Lämmastiku ärastamiseks toimub mahutis nitrifikatsiooni ja denitrifikatsiooni protsess. Fosfori eemaldamine annuspuhasti mahutis toimub nii bioloogiliselt (fosforit siduvate organismide abil) kui ka keemiliselt (sadestamine rauasoolade abil). Annuspuhasti reaktoris toimub ühe tsükli jooksul viis peamist faasi: täitmine/denitrifikatsioon, nitrifikatsioon, settimine, väljavool ning jääaktiivmuda eemaldamine. Nii lämmastiku kui ka fosfori efektiivseks ärastuseks on vajalik denitrifikatsiooni ja nitrifikatsiooni faaside vaheldumine. [2]

Töö koostamisel on lähtutud Suurupisse rajatava reoveepuhasti tehnoloogilisest protsessist. Annuspuhasti tsüklite dimensioneerimisel on kasutatud põhiprojektis esitatud andmeid. Enne puhasti käikuvõtmist tekkis vee ettevõtjal soov kontrollida projekteeritud puhastustsükleid. Antud töö eesmärgiks on projekteeritud annuspuhasti võimalike tsüklite väljatöötamine, lähtudes puhastusefektiivsusest. Vastavalt tulemustele anda soovitusi puhasti tehnoloogia käivitamiseks.

Projekteeritud tsükli efektiivsuse kontrollimiseks on autor välja pakkunud enda poolse puhastus tsükli, kus on lähtutud Le' Chatelier printsibist. Vastavalt printsibile toimub nitrifikatsiooni ja denitrifikatsiooni faase enam kui projekteerimisel kavandatud tsükli puhul. Tsüklite võrdlemiseks on tehtud laboratoorsed katsetused, mille eesmärgiks oli leida efektiivne puhastustsükkel ning anda

opereerimissoovitusi annuspuhasti käivitamiseks. Laboratoorsetel katsetustel on kasutatud Suurupi piirkonna reovett ning Tallinna reoveepuhastusjaama aktiivmuda.

Töö koosneb kahest osast, kus esimeses osas antakse ülevaade annuspuhasti peamistest puhastusmeetoditest ja Suurupi reoveepuhastusjaamas kasutatavast tehnoloogiast ning seadmetest. Järgnevalt analüüsitakse laboratoorsete katsete läbiviimist ning saadud tulemusi. Järelduste ja soovituste tegemiseks on võrreldud projekteerija ja autori poolt kavandatud tsüklite puhastusefektiivsusi.

1. REOVETT ISELOOMUSTAVAD NÄITAJAD

1.1. Füüsikalised näitajad

- temperatuur - reovee temperatuur jääb tavaliselt vahemikku 10-20°C [3, p. 17-5]. Reovee keskmine temperatuur on 15, 6°C. Temperatuur varieerub vastavalt aastaajale, olles olulise mõjuga parameeter keemilistele reaktsioonide kulgemisele, reaktsioonide kiirusele ning mikroorganismide elutegevusele; [4, p. 62]
- heljumiks loetakse tahkeid osakesi reovees, mille erikaal on ligikaudu võrdne reovee tihedusele ja elektrilisele laengule, mis tõrjub neid üksteisest ning ei võimalda põhja settida [3, p. 17-14]. Heljum tekitab vee sogasust, mis on tingitud savi-, liiva ja mudaosakestest ning orgaanilise aine sisaldusest. [5, p. 20]

Heljum on reoveepuhastuses oluline parameeter, mis näitab vastavust

õigusnormidele [3, p. 17-16]. Heljumiosakestes oleva orgaanilise aine lagunemise tulemusena väheneb vees olev hapniku sisaldus, mis omakorda tõstab vee temperatuuri. [5, p. 20]

Olmereovees on heljumi kogumass ligikaudu 65 g ühe elaniku kohta ööpäevas [6, p. 296];

- kuivaine sisaldus -reovees leiduv kuivaine koosneb heljumist, settivast ainest ja lahustunud osakestest. Kogu kuivaine sisaldus saadakse proovi kuumutamisel temperatuuril 103°C kuni 105°C kuni selle täieliku kuivamiseni. Kaaludes allesjäänud kuivainet, saadaksegi kuivaine sisaldus. [7, p. 54]

Kuivaine sisaldust reovees esitatakse g/m³, mg/l või %. Kuivaine suuremad osakesed eemaldatakse mehaanilise puhastuse käigus ning väiksemad osakesed ehk mikroosakesed eemaldatakse bioloogiliselt. Kuivaine sisaldus võimaldab hinnata reoveepuhasti koormust ning puhastusefektiivsust; [3, p. 17-16]

- lõhn - ebameeldiv lõhn tekib reovees peamiselt erinevate orgaaniliste ainete lagunemise tagajärjel anaeroobsete bakterite mõjul. Sellise ebameeldiva lõhnaga ühendite hulka kuuluvad väävelvesinik, orgaaniline sulfiid, merkaptaanid ning mõned teatavad aniinid nagu indool ja skatool. Lõhna intensiivsus varieerub vastavalt puhastitele ning puhastitüübile.

Reovesi on lõhnavaba, sisaldades vähesel määral lahustunud hapnikku, mistõttu anaeroobse keskkonna puudumise tõttu ei teki vesiniksulfiide. Lõhna intensiivsust määratakse organoleptiliselt või spetsiaalse arvestiga, mis mõõdab vesiniksulfiidi sisaldust. [4, p. 55,59]

1.2. Keemilised näitajad

BHT ehk biokeemiline hapnikutarve on hapnikuhulk milligrammides, mis kulub mikroorganismidel ühes liitris vees 20°C juures orgaanilise aine lagundamiseks. Biokeemilise lagunemise aeg sõltub orgaanilise aine sisaldusest. Tavaliselt mõõdetakse biokeemilist hapnikutarvet seitsme päeva jooksul (BHT₇) kuid osades riikides ka viie päeva jooksul (BHT₅). Olmereovee BHT₇≈1,15 BHT₅. [5, p. 19]

BHT₇ mõõtmiseks mõõdetakse esmalt reovee O₂ sisaldus. Juhul kui proovi hapnikusisaldus on alla 9 mg O₂/l, tuleb proovi aereerida kuni hapniku küllastumiseni. Aereeritud proovil lastakse seista 15 minutit, et õhumullid eralduksid ning ei tekiks üleküllastumist. Juhul, kui on tegemist tundmatu lahusega, siis sellest tehakse lahjendus spetsiaalse lahjendusveega. Seejärel mõõdetakse hapnikusisaldus proovides. Proovipudelid täidetakse ääreni analüüsitavate proovidega või nende lahjendustega nii, et korgi alla ei jääks õhumulle. Proovid pannakse inkubaatorkappi, kus on temperatuur 20±1°C. Seejärel hoitakse neid inkubaatorkapis 7 päeva ±4 tundi, misjärel mõõdetakse uuesti hapnikusisaldust proovis. Enne ning pärast inkubatsiooni mõõdetud hapnikusisalduse vahe arvutamisel saadaksegi BHT₇. [8, p. 76-79]

Reostunud vees on BHT-d üle 5 mg/l. Veekogudes, mida aga inimtegevus ei mõjuta, loetakse BHT tavapäraseks kontsentratsiooniks 2 mg/l [5, p. 19]. Biokeemiline hapnikutarve on aeglane protsess, mille lõpule viimiseks ei ole kindlat ajalist piirangut. 20 päeva jooksul oksüdeerub karbonaatset orgaanilist ainet 95-99%, kusjuures 5 päeva jooksul oksüdeeritakse 60-70% karbonaatset orgaanilist ainet. [4, p. 72]

Selleks, et vältida lahustunud hapniku kontsentratsiooni langemist väga madalale, viiakse BHT test läbi mitmete lahjendustega, kuna vastasel juhul hakkab reaktsiooni kiirus vähenema. BHT kontsentratsiooni mõõtmine sisaldab nii karbonaatset kui ka nitraatset hapniku tarvet. Karbonaatse BHT mõõtmiseks lisatakse proovile nitrifikatsiooni inhibiitorit. [4, p. 76,77]

KHT on keemiline hapnikutarve ehk hapniku hulk, mis kulub orgaanilise aine oksüdeerimiseks keemilise oksüdandi toimel [9]. KHT määramine kestab 4-5 tundi ning see võimaldab kiiresti

hinnata reovee orgaanilise reostuse sisaldust. Siiski on KHT väärtused tavaliselt suuremad kui BHT omad, kuna oksüdeeritakse kogu orgaaniline aine. BHT ja KHT suhe on puhastisse tuleval reoveel enamasti 0,5:1, ning peale bioloogilist puhastust 0,1:1. Puhastisse juhitava reovee KHT sisaldus on keskmiselt 200 kuni 600 mg/l. [3, p. 17-8]

KHT määramiseks keedetakse proovi väävelhappes 148°C juures, kuhu lisatakse tugevaid oksüdante. Oksüdeerija võib olla $K_2Cr_2O_7$, $KMnO_4$, $K_2S_2O_8$ [10]. Oksüdeerija kulu on võrdne orgaanilise aine hulga ja see avaldatakse hapnikukuluna (mg O_2 /l). [4, p. 82]

„Ie ehk inimekvivalent on ühe inimese poolt tekitatud keskmise ööpäevase tingliku veereostuskoormuse ühik. BHT₇ kaudu väljendatud inimekvivalenti väärtuseks loetakse Eestis 60 g hapnikku päevas.“ [11, p. 7]

Lahustunud hapnik on lihtsustatult molekulaarne hapnik, mis esineb nii vees kui ka reovees. Hapniku vähendavad reovees erinevad füüsikalised tegurid nagu temperatuuri tõus ning heljumi suur sisaldus. Külmas vees on hapniku lahustuvus parem kui soojas vees. [4, p. 89]

pH iseloomustab vesinikioonide sisaldust lahuses. Iseloomustatakse vesinikioonide kontsentratsiooni negatiivse logaritmi abil. [4, p. 84]

$$pH = -\log [H^+] \quad [4, p. 84]$$

Vesinikeksponent on vee happelisuse või aluseliseuse mõõt. Neutraalse lahuse pH = 7,0; happelise lahuse pH < 7,0 ning aluselise lahuse pH > 7,0. Liiga kõrge või madal pH võib muuta veekeskkonna elukõlbmatuks. [5, p. 20]

Olmereovee pH jääb tavaliselt vahemikku 7,2-7,6; mis on nõrgalt aluseline. Tootmisreovee pH oleneb aga tootmises kasutatavast tehnoloogiast ning võib olla sageli kas happeline või aluseline. Ebasoodne pH raskendab bioloogilist puhastust ning juhul kui seda ei ole muudetud enne reovee väljavoolu, võib see põhjustada looduslikes veekogudes pH muutusi. [6, p. 298]

Leelisus on põhjustatud hüdroksiidide, karbonaatide ja bikarbonaatide, elementide nagu kaltsium, magneesium, naatrium, kaalium või ammonium, ühendite mõjul. Leeliseline reovesi aitab ära hoida pH muutusi, mis on põhjustatud lisanduvate hapete tõttu. Reovesi on tavaliselt aluseline, saades oma aluselise sademeveest, põhjaveest ning olmereovette lisatavatest ainetest. Aluselise määramiseks standardhappega. Tulemused esitatakse kaltsiumkarbonaadina, $CaCO_3$. Leeliselise mõõtmise reovees on tähtis keemilise ning bioloogilise puhastuse läbiviimisel. [4, p. 85]

Lämmastik on oluline toitaine taimedele ja loomadele, olles ka põhiline element proteiinides ja rakkudes. Põhiliseks lämmastikuallikaks on atmosfäär, kus gaasilist lämmastikku (N_2) leidub 78%. Põhilised lämmastikuühendid reovees on ammooniaak (NH_3), ammooniumioon (NH_4^+), lämmastik kui gaas (N_2), nitritioon (NO_2^-), nitraatioon (NO_3^-). [7, p. 86]

Üldlämmastikust moodustab ammooniumlämmastik 60-70%, orgaaniline lämmastik aga 30-40% [10]. Värske reovesi sisaldab palju orgaanilisi lämmastikuühendeid (valgud, aminohapped), mis lagundatakse kergelt ammooniumühendiks [11, p. 5]. Nitritite ja ammooniumühendite sisaldus viitab seega värsele reostusele, nitraadisaldus aga vanemale reostusele. [7, p. 62]

Nitriti osatähtsus reovees on suur, olgugi, et tema kontsentratsioon on suhteliselt väike. Väljuvas heitvees sisalduv nitrit võib olla juba väikestes kogustes toksiline nii kaladele kui ka muule vee-elustikule. [4, p. 86]

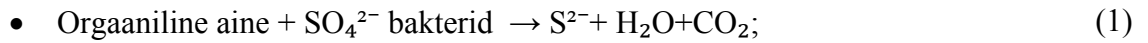
Lämmastikuühendeid satub reovette peamiselt inimese elutegevuse tagajärjel (pesuveed, prahi sattumine reovette). Põhiline osa ammooniumlämmastikku tekib reovette uriinist, lagunedes kiirelt ammooniumiks. [4, p. 86]

Fosfor on samuti tähtis toitaine nii vetikatele kui ka teistele elusorganismidele. Olmereovee fosfori sisaldus on keskmiselt 4-15 mg/l [4, p. 86]. Põhilised fosforiühendid reovees on ortofosfaadid, polüfosfaadid ja orgaaniline fosfor, moodustades kokku üldfosfori ($\text{P}_{\text{üld}}$). [14, p. 18-7]

Ortofosfaadid (PO_4^{3-} , HPO_4^{2-} , H_2PO_4^- , H_3PO_4) osalevad ainevahetuses ilma korduva lagunemiseta [6, p. 86]. Fosforit satub reovette suures osas inimtegevusest. Näiteks võib tuua pesu pesemise, kus kasutatakse fosforit sisaldavaid pesuvahendeid, mille koostises on ainuüksi fosforit 2,5%, nõudepesul ning nõudepesumasinas kasutatavatel pesuainetel aga 30%. Väga suure fosfori allikana võib lugeda ka inimväljaheiteid. UKWIR (*United Kingdom Water Industry Research*) poolt tehtud uuringus leiti, et uriinist tekib 0,90 g fosforit inimese kohta päevas. Fekaalides aga 0,50 g fosforit inimese kohta päevas [15]. Ülemäärane fosfori sisaldus veekogudes võib tekitada liigse vetikate kasvu, mis omakorda põhjustab veekogu eutrofeerumise. [3, p. 17-20]

Väävliühendeid (SO_4^{2-}) leidub enamus vetes, nii ka reovees. Väävel on vajalik proteiinide sünteesiks. Proteiinide lagunemisel vabaneb see keskkonda. Sulfaate redutseeritakse bioloogiliselt anaeroobsetes tingimustes sulfiidiks, mis ühinedes vesinikuga tekitab H_2S . [4, p. 87]

Tüüpiline reaktsioonivõrrand on järgmine [4, p. 87]:



Kanalisatsioonisüsteemides koguneb H_2S toru ülemisse ossa. Kogunenud vesiniksulfiid oksüdeerub bioloogiliselt väävelhappeks (H_2SO_4), mis söövitab torustikke. Sulfaadid redutseeritakse sulfiidideks setete kääritamisel ning võivad mõjutada bioloogiliste protsesside kulgu, kui sulfiidide sisaldus ületab 200 mg/l. [4, p. 88]

Peamised raskmetallid reovees on elavhõbe (Hg), plii (Pb), kroom (Cr), tsink (Zn) ning kaadmium (Cd). Enamik raskmetalle ei püsi lahuses, vaid absorbeeruvad heljumisse, sadenedes seejärel põhja. Biogeokeemiliste protsesside tagajärjel võivad need raskmetallid uuesti vette tagasi jõuda. [9]

Osa raskmetalle on vajalikud bakterite kasvuks, olles mõnede ensüümide ja proteiinide koostisosa [16, p. 2-25]. Kõrge raskmetallide sisaldus võib olla aga toksiline, mistõttu on oluline mõõta ja kontrollida selliste toitainete kontsentratsioone [4, p. 88]. Raskmetallid on ohtlikud juba väikestes kogustes, kuna need kogunevad läbi toiduahela organismidesse avaldades seeläbi negatiivset mõju. [5, p. 20]

Naftasaadused koosnevad enamasti süsinikuühenditest ja vesinikust. Reovette satub naftasaadusi märgatavates kogustes peamiselt kaubandusest, garaazidest ja tänavatelt. Naftasaadused on reovee koostisesse kandumisel enamasti emulsioonina või lahuseks [3, p. 17-20]. Naftasaadused võivad kleepuda torustiku sisepinnale ning põhjustada torustiku ummistusi, mille tagajärjeks on torustiku läbilaskevõime vähenemine. [5, p. 38]

Enamus naftasaadustest ujub reovee pinnal, kuid osa sellest akumuleeruvad või kinnituvad heljumiosakeste külge, sattudes seeläbi settesse. Mineraalsed õlid on veekeskkonnas püsivamad kui toiduõlid ja seebid ning võivad seetõttu inhibeerida reoveepuhasti bioloogilist puhastust [4, p. 66]. Seepärast mõõdetakse rasvade, õlide ja määrdeainete sisaldust enne ja pärast puhastusprotsessi, et saada andmeid puhasti tõhususest. Naftasaaduste reovette sattumise kontrollimiseks ja vältimiseks kasutatakse õlipüüduid ja flotatsiooni. [3, p. 17-20]

2. REOVEE PUHASTUSMEETODID

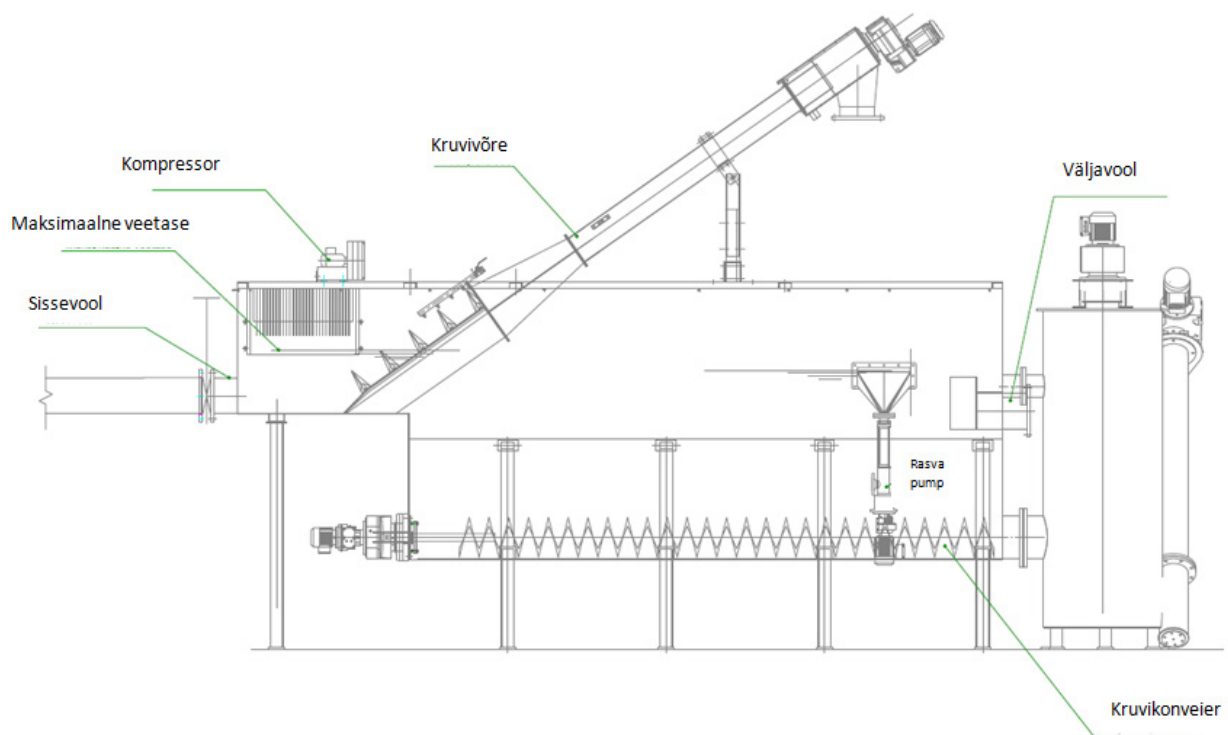
2.1. Mehaaniline puhastus

Mehaaniline puhastus on reoveepuhastuses esimene etapp. Mehaanilise puhastusega eemaldatakse reoveest tahked võõrised, et need ei häiriks järgnevate puhastiosade tööd ning ei ummistaks torustikke [5, p. 49]. Mehaanilise puhastuse käigus kõrvaldatakse veest lahustumatud ained (liiv, heljum, naftasaadused). Põhilised seadmed mehaaniliseks puhastuseks on võred, liiva- ja rasvapüünised, setitid ning filtrid [17]. Mehaanilise puhastuse käigus väheneb olulisel määral biokeemiline hapnikutarve ehk BHT, kuna osa orgaanilisest ainest jääb settesse. Kui kuivjääk väheneb 60-70%, siis väheneb BHT-d 20%-40% [5, p. 51]. Sarnaselt eemaldatakse setitite abil umbes 2/3 heljumist, õlidest ja rasvadest ning 1/3 orgaanilisest ainest [17]. Antud töös käsitletakse annuspuhastil töötavat reoveepuhastusjaama, kus eraldi setiteid ei rajata, kuna settimine toimub annuspuhasti reaktoris. Peale mehaanilist puhastust sisaldab reovesi endas põhiliselt vaid lahustunud orgaanilisi jäätmeid. [17]

Varieeruvate ja väikeste reovee vooluhulkade korral on mehaanilises puhastuses kasutusel kompaktseadmed, kus on ühendatud võreseade, liivapüünis ning rasvaeraldus.

2.1.1. Kompaktne eelpuhastusseade

Kompaktne eelpuhastusseade vajab vähe põrandapinda, kuid on suhteliselt kõrge. Erinevad firmad pakuvad erineva kuju, suuruse ja ehitusega seadmeid, kuid nende tööpõhimõte jääb samaks [18; 11, p. 15]. Suurupi reoveepuhastusjaamas kasutatakse selleks kahte FSM tüüp KSF-K kompaktpuhastit. Seadmete tööd juhitakse automaatikaga. Seadme lõige on näidatud seel 1.



Sele 1. Kompaktne eelpuhastusseade koos liivapüümisega [18]

Esimese astmena eemaldatakse võredega reoveest tahked võõrised. Võredena kasutatakse peamiselt trummelvõresid, mis on integreeritud koos võreprahipressi ja võreprahi pesuga. Enamasti paigaldatakse võre 35° nurga alla. Reovesi voolab kaldu olevale trummelvõre korvi, kuhu jääb pidama suurem osa prahist. Trummelvõre tigukonveier hakkab liikuma, kui reovesi on tõusnud kindla tasemeni. [19]

Trummelvõre tigukonveier lükkab võreprahi ülesse, kus need transporditakse konteinerisse. Võreprahi eemaldamist toetavad kruvile kinnitatud kaabitsharjad ning pihustid [19]. Seadme põhi on alaosas kitsam ning sinna kogunev liiv eemaldatakse renni paigaldatud kruvikonveieri abil [20]. Seadme ühele küljele piki renni on paigaldatud aeratsioonisüsteem, selleks, et tekitada liiva põhja suunavat ringliikumist [20]. Eraldatud liiv juhitakse liivapesusüsteemi, kus eraldatakse liivast orgaanika. Pestud liiv veetustakse ning kogutakse konteinerisse [19]. Rasva kogumiseks on paigaldatud ava, mille suurust reguleeritakse vastavalt sellele, milline on veetase ning rasva kogus pindmises veekihi. Kogutud rasv pumbatakse teatud aja tagant rasvapumpade abil vastavasse konteinerisse. [20]

2.2. Bioloogiline puhastus

Bioloogilise puhastuse eesmärgiks on eemaldada reoveest raskelt settivaid kolloidseid osakesi ja lagundada orgaanilist ainet. Põhiline eesmärk olmereovee puhastusel on vähendada orgaanilise aine ja toiteainete, nagu süsiniku, fosfori ja lämmastiku, sisaldust reovees. Bioloogilise puhastuse viivad läbi mikroorganismid, eelkõige erinevad bakterid. Mikroorganismid eemaldavad kolloidsed ning lahustunud orgaanilised ühendid reoveest [8, p. 84]. Bakterid ning algloomad moodustavad biomassi, mille koostis on sõltuvalt reovee omadustest. Bioloogilise puhastuse läbinud heitvesi sisaldab palju biomassi, mida on vajalik eemaldada enne, kui heitvesi suunatakse järgmisse etappi või juhitakse suublasse [3, p. 26-5]. Kuna biomassi moodustanud rakukoed on raskemad kui vesi, siis on võimalik neid eemaldada reoveest gravitatsioonilise settimise teel. [4, p. 360]

Bioloogiline protsess võib toimuda nii aeroobses, anoksilises (vähene O₂ sisaldus) kui ka anaeroobses keskkonnas. Vastavalt sellele toimub kas nitrifikatsioon, denitrifikatsioon või anammoks (ammoniaagi ja nitriti muundamine samaaegselt N₂-ks) protsess. [21, p. 625]

Nitrifikatsiooni, denitrifikatsiooni ning bioloogilise fosfori ärastamise protsessid on kirjeldatud edasistes peatükkides.

2.2.1. Aktiivmuda protsess

Aktiivmuda protsess on kõige tavapärasem protsess, millega tagatakse bioloogiline puhastus. Aktiivmuda on helbeline mass, mis koosneb orgaanilisest peenheljumist ja kolloididest ning mikroorganismide kogumitest. Aktiivmudaseadmes viiakse mehaaniliselt eelpuhastatud reovesi kontakti aktiivmudaga, hoolitsedes selle eest, et oleks tagatud piisav õhustamine ja segamine. Õhustuse kestus sõltub valitud puhastustehnoloogiast. Aereerimise käigus areneb suur hulk mikroorganisme, kes toituvad sissetulevast orgaanilisest ainest, puhastades seeläbi reovett. [22]

Tähtsaimad mikroorganismid aktiivmudas on bakterid, osaledes põhiliselt aktiivmuda protsessis lämmastiku, fosfori ning süsiniku ärastamisel. Teiste mikroorganismide osalus on samuti tähtis. Näiteks algloomad ja keriloomad tarbivad bioloogilist heljunit, mis ei ole settinud. [4, p. 384-385]

Aktiivmuda algeks on reovees leiduvad algloomad ja bakterid. Vajaminev bakterikultuur luuakse ning säilitatakse reovees olevate paiksete mikroorganismide taaskasutamisel, aeratsioonil ja ühtlase reoveevoolu abil [8, p. 81]. Järjepideva õhustuse ja settimisega luuaksegi vajalikud tingimused mikroorganismide paljunemiseks. Selleks, et reoveepuhasti käivitamine oleks kiirem, tuuakse

aktiivmuda töötavast puhastist. Aktiivmuda kasvab aegamööda ning selle sissetöötamiseks kulub mõni nädal kuni paar kuud aega [9]. Aktiivmuda organismide kasvu mõjutab olulisel määral temperatuur, toitainete sisaldus, pH, toksiinide olemasolu ning fotosünteesivate taimede puhul ka hapniku sisaldus [4, p. 369]. Reoveepuhastisse lisandub orgaanilist ainet pidevalt juurde ning sellest toituvate organismide hulk aina suureneb. Osa aktiivmudast muutub ülearuseks ning tekib jääk- ehk liigmuda. Mida suurem koormus, seda suurem on ka aktiivmuda juurdekasv. Aktiivmudapuhastis tekib jääkaktiivmuda umbes 0,8-1 kg kuivainet 1 kg BHT₇ kohta. [11, p. 19]

2.2.2. Nitrifikatsiooni protsess

Nitrifikatsiooni kasutatakse reoveepuhastuses, et vähendada ammooniumiooni (NH_4^+) sisaldust reovees. Protsessi toimel oksüdeeritakse ammooniumioon (NH_4^+) nitraatiooniks (NO_3^-) [8, p. 499]. Nitrifikatsiooni protsess jaguneb heterotroofseks ja kemoautotroofseks. Üldiselt on levinud kemoautotroofne nitrifikatsioon, kus energia saadakse NH_4^+ ja NO_2^- oksüdeerimisest ning rakusünteesis kasutatakse süsinikuallikana süsinikdioksiidi. [13, p. 8]

Lämmastiku ärastajateks reoveest on nitritiseerivad bakterid [9]. Nitrifikatsioon toimub kahte liiki mikroorganismides:

- bakterid perekondadest *Nitrosomonas*, (*Nitrosococcus*, *Nitrospira*, *Nitrosolobus*, *Nitrovibrio*) oksüdeerivad ammooniumiooni (NH_4^+) nitritiooniks (NO_2^-);
- perekondade *Nitrobacter*, (*Nitrococcus*, *Nitrospira*) liikide osalusel, küllaldase hapniku sisalduse korral, oksüdeeritakse nitritioon (NO_2^-) nitraatiooniks (NO_3^-) -ks. „Limiteerivaks loetakse hapniku sisaldust alla 2 mg/l. Hapniku kontsentratsioon alla 0,3 mg/l korral nitrifikatsioon lakkab.“ [13, p. 9]

Nitrifikatsioon toimub järgmiselt [13, p. 9]:



Nitrifikatsiooni esimeses ja teises etapis tekib H^+ -ioone, mistõttu pH väärtus väheneb. Nitrifikatsiooni protsessi edukaks toimimiseks peab pH olema neutraalne või nõrgalt aluseline (pH 7,5-8,5). [13, p. 9]

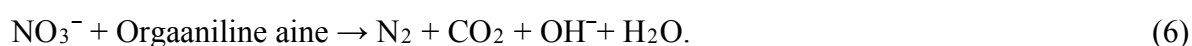
„Nitrifikatsioon toimub optimaalselt temperatuuri vahemikus 25-30°C. Madalamatel temperatuuridel avaldavad inhibeerivat mõju mitmed füüsikalised faktorid, nagu näiteks aeglane difusioon.“ [13, p. 9]

2.2.3. Denitrifikatsiooni protsess

Denitrifikatsiooni protsessis toimub nitraatiooni (NO_3^-) redutseerimine lämmastikuks (N_2) heterotroofsete bakterite mõjul. Denitrifikatsiooni protsess toimub anoksilises keskkonnas (lahustunud hapniku kontsentratsioon väiksem kui 2%) ning vajaliku süsiniku juuresolekul. Süsinik on protsessis tähtis elektronide doonor. Heterotroofsed organismid kasutavad orgaanilist süsinikku rakutuuma ehituseks [3, p. 20-10].

Ideaalne BHT(C):N:P suhe reovees on 100:5:1 [9]. Juhul kui süsiniku kontsentratsioon jääb väheseks, lisatakse protsessi lisasüsinikku. Kuigi igasugune orgaaniline aine sisaldab endas süsinikku, kasutatakse enamasti lisasüsiniku allikana metanooli, kuna see on lihtsasti lagundatav ning selle võrra on suurem ka reaktsiooni kiirus. Samuti ei lisandu protsessist väljuvasse heitvette täiendavat orgaanilise aine kogust, mis suurendaks BHT sisaldust [8, p. 502]. Denitrifikatsiooni protsessis osalevaid heterotroofseid baktereid nimetatakse denitrifitseerivateks bakteriteks. Need bakterid kasutavad nitraatide hapnikku, et oksüdeerida orgaanilist ainet. Denitrifitseerivate bakterite alla kuuluvad peamiselt *Pseudomonas*, *Micrococcus*, *Archromobacter*, *Thiobacillus* ja *Bacillus*. [3, p. 22-25]

Denitrifikatsiooniprotsess näeb välja järgmine [3, p. 22-25]:



2.2.4. Bioloogiline fosforiärastus

Bioloogiline fosforiärastus toimub aeroobse ja anaeroobse keskkonna vaheldumisel [14, p. 22-21]. Anaeroobse ja aeroobse keskkonna vaheldumine tekitab mikroorganismides stressi, mistõttu seotakse fosforit rohkem kui tavaliselt. Bioloogilises fosforiärastuses osalevad peamiselt bakterid: *Arthrobacter*, *Aeromonas*, *Nocardi* ja *Pseudomonas*. Neid baktereid nimetatakse edaspidi kui PAO (*ingl. phosphorous accumulated organisms*) ehk fosforit siduvateks organismideks. Bakterid ja mikroorganismid moodustavad biomassi, mis kasutavad kasvuks ning ainevahetuseks fosforit, salvestades seda rakkudes polüfosfaatidena. [14, p. 22-21,22-22]

Fosforit sidunud bakterid omandavad anaeroobsetes tingimustes kergesti lagundatavat substraati (lahustuvad rasvhapped, jne), kusjuures omandamiseks vajalik energia saadakse polüfosfaatide

lagundamisest ning reovette väljutatakse fosfori ühendeid. PAO-de kogus sõltub suuresti atsetaatide olemasolust ning selle omastamisest. Atsetaatioon ($C_2H_3O_2$) seotakse rakusiseselt polühüdrosübutüraanina (PHB). [24]

Aeroobsetes tingimustes saavad organismid energiat salvestatud substraadi (PHB) oksüdeerimisest ning saadud energia salvestatakse polüfosfaatidena. Aereerimise käigus antakse bakteritele energiat vabastatud fosfori ühtlustamiseks, ehitades seega polüfosfaatide reserve. Atsetaatide puudumisel tekkinud fosforit ei seota täielikult, kuna puudub piisav PHB varu, mis oleks vajalik energia omastamiseks aeroobses faasis. [24,14, p. 22-21, 22-22]

Fosfor moodustab aktiivmuda massist keskmiselt 2%. Muda eemaldamisega vähendatakse fosfori sisaldust reovees. BHT:N:P suhte korral 100:5:3 eemaldatakse fosforit 3% ärastatud BHT kohta. [24,14, p. 22-21, 22-22]

2.2.5. Annuspuhasti tehnoloogia

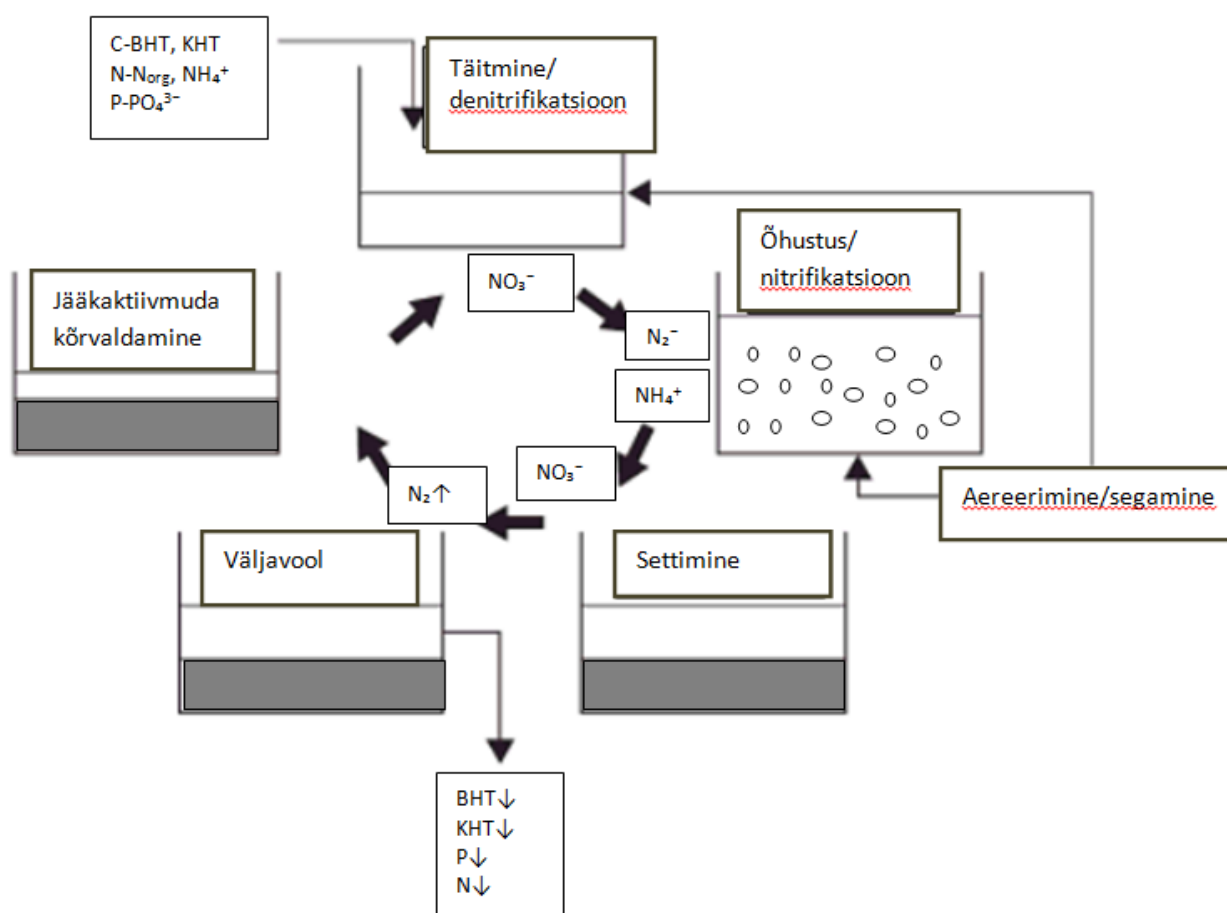
Annuspuhasti ehk SBR (*ingl. Sequencing batch reactor*) on puhastustehnoloogia, kus reovett puhastatakse tsüklite kaupa [4, p. 400]. Seega juhitakse mahutisse uus annus vett alles pärast seda, kui eelnev puhastatud kogus on välja lastud [11, p. 25]. Annuspuhastit kasutatakse ebaühtlaste vooluhulkade korral, mistõttu on vaja rajada enne annuspuhastit ühtlustusmahuti. Juhul kui annuspuhasti ühe tsükli vooluhulk avaldab olulist mõju suublale, on vaja ka väljavoolu ühtlustusmahutit. [11, p. 25]

Annuspuhasti süsteem koosneb mahutist, aeratsioonisüsteemist, segamisseadmest, dekantrist ja juhtimissüsteemist. Üldiselt kasutatakse segamissüsteeme koos aeratsiooniga. SBR mahuteid on erineva kujuga, olles nii nelinurksed, ovaalsed, ringikujulised kui ka kaldu seintega. Bioloogilise puhastuse läbinud reovesi tühjendatakse mahutist dekantri abil. Annuspuhastites kasutatakse ujuvaid kui ka kinniseid dekantreid. Ujuvate dekantrite sissevooluava on pisut allapoole veepiiri, mille puhul satub väljavoolu minimaalses koguses aktiivmuda. Samuti on ujuvdekantrid paindlikumad erinevate reoveekoguste puhul mahutis. Kinnised dekantrid on paigaldatud mahuti seinale ning neid on võimalik kasutada vaid siis, kui settimisetapp on lõppenud ning muda piir allpool dekantrit. [25, p. 17]

Annuspuhasti eelised on võime vastu võtta ja ühtlustada suuri reoveekoguseid, BHT löökkkoormusi ning võimaldab paindlikku opereerimist. Samuti on suureks eeliseks see, et settimine ning

bioloogiline puhastus toimub ühes mahutis, hoides kokku materjali kulusid ning võttes vähem ruumi kui tavapärane läbivoolu põhimõttel töötav aktiivmuda puhastussüsteem. [25, p. 165,166]

Annuspuhastis toimuv protsess ning tavapärane aktiivmuda puhastustehnoloogia on sarnased. Annuspuhasti on samuti aktiivmudal põhinev puhasti, kuid kogu protsess käib vastupidiselt tavapärasele aktiivmudapuhastile ühes ja samas mahutis. Reoveepuhastus toimub viies erinevas faasis: täitmine (denitrifikatsioon), aereerimine (nitrifikatsioon), settimine, väljavool, jääkaktiivmuda kõrvaldamine (Sele 2). [4, p. 400]



Sele 2. Annuspuhasti viis erinevat faasi (autori koostatud)

Tavapärastes läbivoolu aktiivmudapuhastites toimub nitrifikatsioon enne denitrifikatsiooni. Sellisel juhul tuleb aga lisada lisasüsinikku, et saaks toimuda efektiivne denitrifikatsiooni protsess. Annuspuhasti puhul kasutatakse vaid reovees olevat orgaanilist ainet lämmastiku bioloogiliseks ärastamiseks. Sama aktiivmuda läbib nii anoksilise kui ka aeroobse keskkonna. Sellisel juhul toimub denitrifikatsioon enne nitrifikatsiooni, kus orgaaniline aine on peamiseks elektron doonoriks denitrifikatsiooni puhul ning lisasüsinikku lisama ei pea. Eeldenitrifitseerimine on palju tõhusam

kui denitrifikatsioon peale nitrifikatsiooni, kuna BHT sisaldus reovees on suurem. Nitrifikatsiooni toimumisel peale denitrifikatsiooni ei ole võimalik kogu nitraadi eemaldamine. Maksimaalne nitraadi eemaldamise efektiivsus sõltub denitrifikatsiooni ja nitrifikatsiooni tsüklite vaheldumisest. [26]

Tsüklite kestus võib olla varieeruv, toimudes päevas kaks kuni neli korda. Tsükli kestus varieerub 6-12 tunnini, tavaliselt kestab see 8 tundi ning seega on tsükleid ööpäevas 3. Tsükleid saab korraldada ka kahes liinis, ehk kahes mahutis. Sellisel juhul on tsüklite 50% nihkes. [11, p. 25]

Puhastustsükkel algab täitmise ja denitrifikatsioonifaasiga. Puhastisse juhitud reovesi sisaldab uut biomassi segunedes puhastis oleva eelneva massiga. Täitmise ajal toimub segamine ning aereerimist ei toimu. Anoksilises või anaeroobses keskkonnas hakkab toimuma denitrifikatsiooni protsess. Täitmise ja denitrifikatsiooni aeg moodustub üldiselt 25% kogu annuspuhastis toimuva puhastustsükli ajast. [25, p. 158; 4, p. 401]

Õhustus ja nitrifikatsioonifaasis toimub nii õhustamine kui ka segamine. Tänu õhustamisele on mahutis aeroobne keskkond, mistõttu toimub nitrifitseerimine. Õhustus ja nitrifikatsioonifaas kestab keskmiselt 35% kogu reaktsiooni ajast. [2, p. 401]

Settimisfaasis ei toimu ei aereerimist ega segamist. Selle käigus eralduvad settivad osakesed vedelikust analoogselt tavapärasele järelsettile [25, p. 159]. Annuspuhastis toimuv settimine on palju efektiivsem kui läbivoolu süsteemides, kuna osakesed on liikumatud. [4, p. 402]

Väljavoolufaasis tühjendatakse reaktorist käideldud reovesi dekantri kaudu välja. Tasemeanduri abil eemaldatakse sama palju heitvett, kui algul mahutisse juhiti [11, p. 26]. Väljavoolufaasi kestvus võib varieeruda 5%-30% kogu tsükli ajast, kestes üldiselt 45 minutit. Sel ajal toimub lisaks veel denitrifikatsioon, kuna aereerimine seisab ning molekulaarne O_2 langeb kiirelt. [4, p. 402]

Jääkaktiivmuda kõrvaldamisel pumbatakse settetihendisse osa põhja settinud aktiivmudast. Kui kasutatakse kahte reaktorit, siis toimub ühes reaktoris jääkaktiivmuda kõrvaldamise faas ning teises reaktoris täitmise faas. Eraldatud aktiivmuda kogus oleneb puhasti reostuskoormusest ning aktiivmuda omadustest. [11, p. 26]

Annuspuhasti võimaldab õige opereerimise puhul saavutada süsiniku oksüdatsiooni, lämmastiku vähenemist ning fosfori eemaldamist. Lisaks on võimalik keemiline fosforiärastus koagulandi lisamisega. [4, p. 403]

Suurupi reoveepuhastusjaama on rajatud kaks annuspuhasti reaktorit kogumahuga 3000 m³. Mahuti sügavus on 6 m ning läbimõõt ca 20 m. Suuremate vooluhulkade korral toimub puhastusprotsess kahes liinis, mille faasid on teineteisest 50% ulatuses nihkes. Igas mahutis kasutatakse kahte aeratsiooni- ja segamisseadet. Puhastatud reovee eemaldamiseks kasutatakse ujuvdekantrit, eemaldades ühe tsükli ruumala võrra heitvett. Liigmuda eraldamiseks on paigaldatud mahutite põhja kaks pumpa, mis võimaldavad pumbata muda settetihendisse (Lisa 3). Mahutite ette on rajatud ühtlustusmahuti, kus reovesi juhitakse edasi reaktoris. Puhastatud reovesi suunatakse väljavoolu ühtlustusmahutisse, kus see juhitakse isevoolselt süvamere lasu kaudu suublasse. Puhasti tehnoloogilist protsessi ja seadmeid juhitakse automaatjuhtimissüsteemiga. [18]

2.3. Keemiline puhastus

Keemilisel reoveepuhastusel lisatakse reovette kemikaale, mille tulemusena muutuvad lahustunud osakeste ja heljumi omadused, hõlbustades nende sadestumist või välja settimist. Tüüpilised keemilise puhastuse võtted on koaguleerimine, flokulatsioon, pH reguleerimine, toitainete lisamine biopuhastisse ning desinfitseerimine. Keemilise puhastuse seadmetele järgneb tavaliselt füüsikaline protsess nagu settimine, flotatsioon või filtrimine. Koagulatsiooni all mõeldakse protsessi, kus vähendatakse peente kolloidosakeste vahelist tõukejõudu nii, et osakesed võivad liituda suuremateks helvesteks [4, p. 302-303]. Keemilist reoveepuhastusprotsessi kasutatakse peamiselt bioloogilise puhastuse täiendamiseks, enamasti fosfori ärastamiseks. Fosforit on võimalik ka bioloogiliselt eemaldada, kuid sellisel juhul ei saavutata tihti lubatud heitvee piirväärtusi. Keemiline fosfori ärastus on kasutatavam meetod kui bioloogiline fosfori ärastus. [14, p. 26-2]

2.3.1. Keemiline fosfori ärastus

Fosfor esineb reovees peamiselt vesinikfosfaadina (HPO₄²⁻). Fosfori ärastamine reoveest kujutab endast fosfori ühinemist heljumiga ning sellele järgnevat heljumi eemaldamist. Peamiselt kasutatakse keemiliseks fosfori ärastuseks metallide sooli. Levinuimad metallide soolad on alumiiniumsulfaat, raudkloriid, raud(II)sulfaat. [4, p. 306]

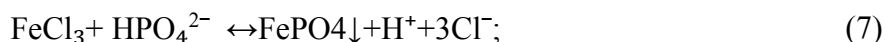
Fosfori ärastamiseks kasutatava kemikaali valik sõltub järgnevatest faktoritest [4, p. 741]:

- fosfori sisaldus sisenevas reovees;
- heljumi sisaldus reovees;
- pH;
- kemikaali maksumus;

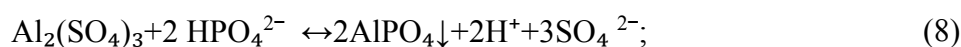
- kemikaali doseerimise töökindlus;
- muda käitluse võimalused;
- lõplik kõrvaldamise meetod;
- ühilduvus teiste puhastusprotsessidega.

Erinevate kemikaalide puhul on reaktsioonivõrrandid järgmised [14, p. 26-3]:

- Raud(III)kloriidi kasutades tekib raud(III)fosfaat, kloriid- ning vesinikioon.



- Alumiiniumsulfaadi kasutamisel tekib alumiiniumfosfaat, sulfaat- ning vesinikioon.



- Raud(II)sulfaadiga reageerides tekib raud(II)fosfaat ning sulfaatioon.



Protsesside toimetel sadeneb raud(III)fosfaat, alumiiniumfosfaat ning raud(II)fosfaat käideldavast reoveest välja. Aktiivmuda koosseisus sadestatud fosfor eemaldatakse jääkaktiivmudaga. Alumiiniumsulfaadi ning raud(III)kloriidi lisamisel tekib vesinikioone, mille tõttu väheneb heitvee pH. [27]

Fosfori keemiline sadestamine võib toimuda reoveepuhastusprotsessi erinevates etappides. Üldiselt jagatakse fosfori sadestusviisid järgmiselt: otsesadestus, simultaansadestus ja järelsadestus. [4, p. 306]

Suurupi reoveepuhastusjaamas kasutatakse sadestuskemikaalina $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$. Hoiustamiseks ja doseerimiseks on paigaldatud 6,35 m³ mahuti. [18]

2.3.2. Desinfitseerimine

Desinfitseerimist kasutatakse nakkusriskide vähendamiseks, mille korral hävitatakse heitvees leiduvad haigustekitajad. Peamised haigustekitajad on soolestikus leiduvad bakterid, viirused ja parasiidid. Nende esinemise korral võivad levida erinevad haigused nagu salmonelloos, koolera ja bakteriaalne düsenteeria. Desinfitseerimisel kasutatakse UV kiirgust, kloreerimist ja järgnevat deklореerimist, ozoneerimist ning muid meetodeid. [3, p. 2-12]

UV kiirgusega desinfitseerimisel kasutatakse 254 nm lampe. Sellisel juhul toimub bakterite DNA molekuli muteerumine, mis peatab patogeenide ainevahetuse ning hävitab need. Osoon on väga tõhus, kuid kulukas vahend heitvee desinfitseerimiseks. Osoon ei vaja lisakemikaale ega sõltu pH-st

ning ei reageeri ammoniumi ega amiinidega. Koguseliselt on osooni vaja palju ning selle tootmine on kulukas. Seega on peamiseks heitvee desinfitseerimise meetodiks kloreerimine. [41, p. 7]

Kloori kasutatakse praktikas kas gaasina (Cl_2), naatrium hüpokloritina (NaOCl), kaltsium hüpokloritina [$\text{Ca}(\text{OCl})_2$] või klooritud lubjana (CaOCl_2). [14, p. 13-2]

Kuna desinfitseerimist kasutatakse vaid hädaolukordades eeldatavalt lühikese aja jooksul, siis kasutatakse Suurupi reoveepuhastusjaamas heitvee desinfitseerimiseks naatriumhüpokloriti. NaOCl on ka kõige ohutum viis heitvee desinfitseerimiseks. Eestis reguleeritakse reoveepuhasti desinfektsiooni standardiga „EVS-EN 12255-14:2004 - Wastewater treatment plants - Part 14: Disinfection.“ Selle kohaselt peab kloori kontsentratsioon kontaktbasseini väljavoolus olema ligikaudu 0,2 mg/l. Heitveele lisatavat kloori hulka aga ei reguleerita. Heitvesi peab kontaktbasseinis olema minimaalselt 30 minutit. [18]

2.4. Settekäitlus

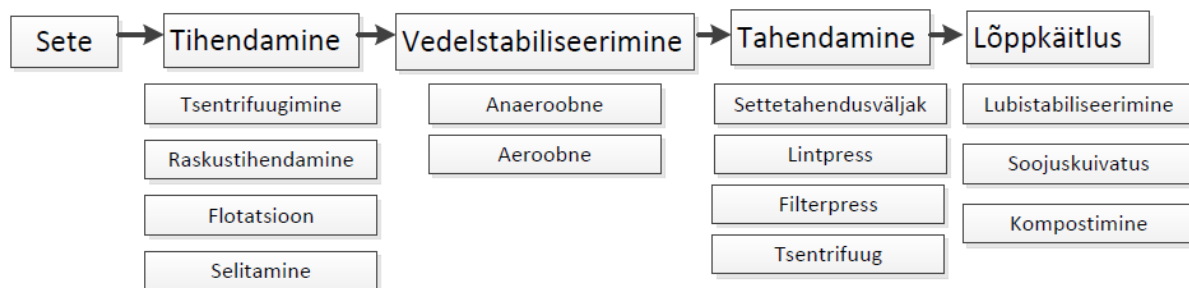
Sete tekib reoveeprotsessides mitmes järgus nii mehaanilise kui ka bioloogilise puhastuse käigus. [5, p. 118]

Bioloogilises puhastuses tekkinud sette omadused ja kogus on erinevad sõltuvalt puhastatavast reoveest ja puhastustehnoloogiast. Käitlusviisi valik oleneb orgaanilise aine, väetussaine, patogeeni, raskmetalli- ja mürgiste ühendite sisaldusest. [5, p. 118]

Annuspuhasti tsüklites toimub samasugune olukord nagu läbivoolul põhineva aktiivmudapuhasti korral. Annuspuhasti toimib settimise faasis kui järelsetiti ning õhutuspärioodil kui aerotank. Pärast väljavoolu faasi jääb annuspuhastisse kindel kogus aktiivmuda. Uue reovee pealevoolul seguneb see mahutisse jäänud aktiivmudaga. Selline protsess on võrreldav tagastusmudaga läbivoolu aktiivmudapuhastite kasutamisel. [28] Seega saab antud kontekstis rääkida vaid jääkaktiivmudast.

Jääkaktiivmudas leidub rohkesti mikroorganisme ning ta on tumepruunika värvusega. Jääkaktiivmuda settib aeglaselt jäädes kohevaks ning vesiseks. Nende tegurite tõttu on reoveesetel väga raske käidelda. Jääkaktiivmuda sisaldab palju süsihappegaasi, väävelvesinikku ning orgaanilisi ühendeid. Kuivainet on aktiivmudas keskmiselt 4%. Jääkaktiivmuda saab tõhusalt tihendada flotatsiooni ja tsentrifuugimisega koos kemikaalide lisamisega. [5, p. 120]

Orgaanilise aine vähenemise tagajärjel väheneb ka sette maht ning toimub patogeensete mikroorganismide kahjutuks tegemine. [17] Reoveesette töötlemise järgnevuse võimalused on toodud seel 3.



Sele 3. Reoveesette käitlemise etapid [5, p. 122]

Reoveesette käitlemine on vajalik, et sette kasutamisega ei kaasneks keskkonnaseisundi halvenemist või haiguspuhanguid. [17]

Suurupi reoveepuhastusjaamas sette stabiliseerimist ei toimu, kuna see ei ole majanduslikult otstarbekas. Küll aga toimub sette tihendamine, tahendamine ja lõppkäitlus. [18]

2.4.1. Sette tihendamine

Käitlemata settes on veesisaldus umbes 97%. Tihendamine on settekäitluse esimene etapp veesisalduse vähendamiseks. Peale sette gravitatsioonilist tihendamist väheneb veesisaldus settes 30%. [29, p. 6]

Gravitatsiooniline tihendamine on kõige lihtsam ning odavam tihendamisviis. Gravitatsioonilisi settetihendeid on nii ringikujulisi kui ka nelinurkseid. [29, p. 8]

Gravitatsiooniliselt settinud sete eemaldatakse settetihendist pumpadega. Tekkinud settevesi suunatakse puhastusprotsessi tagasi. Setet segatakse aeglaselt, kuid mõnel juhul ka aereeritakse, et vältida fosfori tagasileostumist. Setet eemaldatakse kas pidevalt või periooditi. Tihendamise protsessi tulemusena suureneb sette kuivaine sisaldus 0,2%- 2%. [29, p. 84; 5, p. 123]

Suurupis kasutatakse kahte raudbetoonist settetihendit mahuga 2*100 m³, mille põhja on paigaldatud aeratsioonisüsteem. Tihendi pinnalt juhitakse settevesi tagasi puhastusprotsessi algusesse. Tihendite põhjast pumbatakse sete tahendusseadmetele (Lisa 3). [18]

2.4.2. Sette tahendamine

Sette tahendamise eesmärgiks on sette veesisalduse vähendamine. Tahendamine on vajalik ka sette lõppkäitluseks, vähendades tugiainevajadust kompostimisel. Tahendamise meetodeid on mitmeid, kasutades settetahendusväljakuid, lintpresse, filterpresse ja tsentrifuuge [5, p. 128]. Kuna üldlevinud meetod sette tahendamiseks on tsentrifuugimine, siis teistel tahendamismetoditel selles peatükis ei peatuta.

Tsentrifuugimist kasutatakse eelkõige tema suure läbilaskevõime, lihtsuse ja kompaktsuse tõttu. Tsentrifuugimisel kasutatakse tsentrifugaaljõudu, mis on 500-3000 korda suurem kui gravitatsioonijõud [29, p. 94]. Tsentrifuugimisel eemaldatakse kuivaine veest. Settetsentrifuuge on kaheksa: täistruumeltsentrifuugid ja sõeltsentrifuugid. Kuna täistruumeltsentrifuuge on rohkem arendatud, siis sõeltsentrifuuge enamasti ei kasutata. Täistruumeltsentrifuug koosneb rõhustest trumlist, mis pöörleb 1000-6000 p/min ning mille sees liigub transportiv tigukonveier. [5, p. 124]

Sõltuvalt sette omadustest on tsentrifuugitud sette kuivaine sisaldus 15-36%. Suurema kuivaine sisalduse saamiseks lisatakse tsentrifuugidesse polümeeri. [29, p. 108]

Suurupi reoveepuhastusjaamas kasutatakse sette tahendamiseks kahte tsentrifuugi, mis tagavad kuivaine sisalduse ca. 20%. Tahendamisel eraldunud vesi suunatakse tagasi puhastusprotsessi. Tahendatud sete viiakse edasi setteväljakutele kompostimisele. [18]

2.4.3. Sette lõppkäitlus

Sette lõppkäitlusmeetodeid on mitmeid: tuhastamine, kuivatamine, kompostimine ja lubistabiliseerimine. [5, p. 131-132]

Eestis kasutatakse põhilise lõppkäitluse meetodina kompostimist. Kompostimise korral toimub tahkete jäätmete käitlus, kus orgaaniline aine lagundatakse aeroobsetes tingimustes. Kompostimisel tekkiv soojus hävitab patogeene, mistõttu korralikult kompostitud sete on hügieeniline, huumuserikas ning häiringutevaba. [5, p. 132]

Kompostimisviise on erinevaid: kompostimine segatavates aunades, aereeritavates aunades ning kinnistes mahutites. Segatavates aunades tõstetakse sette- ja tugiainesegu süstemaatiliselt ümber, andes aunadesse piisavalt hapnikku. Õhustatavates aunades olev sette- ning tugiainesegu sundõhustatakse aunade alla paigaldatud aeratsioonüsteemiga. Mahutis kompostimise korral

kulgeb protsess osaliselt või täielikult kinnises reaktoris, milles saab kompostimiskeskkonda hästi juhtida. [30]

Kompostimiseks on peale sette vaja ka tugiainet. Selleks kasutatakse peamiselt suure süsniku- ja vähese lämmastiksisaldusega materjale, millega on võimalik parandada toorkomposti C:N suhet ning anda massile soovitud poorsus. C:N soodne suhe on 20:30. Madala C:N suhte korral tekib lämmastiku ülekaal, mille tõttu eraldub ammoniaaki. Kõrge C:N suhte korral on suurem osa bakteritest seotud lämmastiku ühenditega ning seda hakkavad tarbima muud liiki bakterid. Kompostimisel kasutatakse tugiainena puukoort, turvast, põhku, hakkpuitu, ehituspuidujäätmeid, puulehti, papijäätmeid, orgaanilisi olmejäätmeid ning puukoort. Tugiaine valik sõltub soovitud tulemist, selle hilisemast kasutuskohast ning konkreetse tugiaine kättesaadavusest. [30; 5, p. 132]

Tugiaine valik määrab ära ka kompostis oleva hapniku sisalduse ning temperatuuri. Piisavaks hapnikuvarustuseks peab tugiaine poorsus olema 30-60%. Soodsaks tugiaine tükisuuruseks peetakse 25-75 mm. Suurte tükide korral pääseb õhk küll paremini auna sisemusse, kuid tükide sees aeglustub bioloogiline lagunemine. Kuna mass on ebaühtlane, siis on temperatuur auna eri kohtades ebaühtlane ning seega on komposti valmimisaeg erinev. Kompostimise soodsaks temperatuuriks loetakse 45-55°C ning hapniksisalduseks 10-20%. Aunade segamise korral rikastatakse aunasid hapnikuga ning hoitakse settesegu niiskust. Aunasid segatakse frontaallaaduri või spetsiaalse aunasegajaga. [30]

Reoveesette kasutamist reguleerib keskkonnaministri määrus nr 78 „Reoveesette põllumajanduses, haljastuses ja rekultiveerimisel kasutamise nõuded.“ Selle määruse kohaselt on töödeldud reoveesette kompostimisel temperatuur olnud kuus päeva vähemalt 60°C. Töödeldud reovee setet võib kasutada põldudel, mida kasutatakse põllumajandussaaduste tootmiseks. Töötlemata setteks loetakse setet, milles on vähendatud veesisaldust või settele on lisatud tugimaterjale, kuid temperatuur ei ole tõusnud üle 60°C ning valminud sel temperatuuril kuus päeva. Töötlemata setet võib kasutada haljastuses kõrg- või madalhaljastuse rajamiseks. Töötlemata setet võib kasutada ka rekultiveerimiseks. [31]

Põllumajanduses, haljastuses ja rekultiveerimisel võib kasutada setet kui selle raskmetallide piirväärtused ei ületa tabelis 1 esitatud väärtusi.

Tabel 1

Põllumajanduses, haljastuses ja rekultiveerimisel kasutatava sette raskmetallide piirväärtused [31]

Raskmetall	Piirväärtus (mg/sette kuivaine kg kohta)
Kaadmium	20,0
Vask	1000,0
Nikkel	300,0
Plii	750,0
Tsink	2500,0
Elavhõbe	16,0
Kroom	1000

3. SEADUSANDLUS

Heitvees sisalduvate ainete piirväärtuste määramise seaduseks on veeseadus, sisaldades määrusi, millega kehtestatakse heitvees sisalduvate ainete piirväärtused. Üle 10 000 inimekvivalendi puhul tuleb järgida Läänemere merekeskkonna kaitse komisjoni (HELCOM) soovitusi. Kuna Eesti veekogud on reostustundlikud, siis kehtivad Eestile rangemad reovee puhastuse nõuded võrreldes teiste Euroopa Liidu liikmesriikidega. Kogu Eesti territooriumi loetakse reostustundlikuks alaks, kuna paikneb tervikuna Läänemere valgalal. [32]

Veeseadus reguleerib veekasutuse ja kaitse, maaomanike ja veekasutajate vahelisi suhteid ning avalike veekogude kasutamist. Veeseaduse eesmärgiks on sise-ja piirveekogude ning põhjavee puhtuse ning veekogudes ökoloogilise tasakaalu tagamine. [33]

„Veeseadus“ § 24 määrab vee kaitsmise reo- ja heitveega reostamise eest. § 24 lõige 2 on aluseks Eesti Vabariigi Valitsuse määrusele „Reovee puhastamise ning heit- ja sademevee suublasse juhtimise kohta esitatavad nõuded, heit- ja sademevee reostusnäitajate piirmäärad ning nende nõuete täitmise kontrollimise meetmed“. Määruse kohaselt tuleb reovesi enne suublasse juhtimist puhastada määruses kehtestatud piirmääradeni või puhastusastmeni kohapeal või vedada või juhtida reoveepuhastisse. Lisaks peab heitvee ja sademevee suublasse juhtimisel tagama, et vee ning veega seotud maismaaökosüsteemide seisund ei halveneks [34]. Määruses kehtestatud piirväärtused pinnasesse või veekogusse juhitava heitveele on esitatud tabelis 2 koos Helcomi soovitude normidega 10 000-99 999 ie puhastitele.

Tabel 2

Reostusnäitajate piirväärtus vastavalt Veeseadus § 24 lõige 2 kehtestatud määrusele ja HELCOM-i soovitusetele 10 000-99 999 ie puhastitele [35]

Reostusnäitaja	Reostusnäitaja piirväärtus (mg/l)	Reovee puhastuse efektiivsus (%)	HELCOM-i soovitusete norm (mg/l)	HELCOM-i soovitusete norm puhastuse efektiivsus (%)
BHT7	15	80	15	80
KHT	125	75	-	-
Püld	0,5	90	0,5	90
Nüld	15	80	0,5	70-80
Heljuvaine	15	90	-	-

Ohtlikke aineid sisaldav veeheide on lubatud vaid vee-erikasutusloa olemasolu korral, kus on määratud ohtliku aine suurim lubatav sisaldus heitvees, ohtliku aine lubatav heitekogus loal määratud aja jooksul, ohtlikke aineid sisaldava veeheite ja heitvee suubla seirenõuded, ohtlikku aine suublasse juhtimise tingimused, piirväärtused suublas ning meetmeid, mis vähendavad ohtlike ainete mõju suublale. [33] Vee-erikasutusloas määratakse ära ka suublasse juhitava heitvee näitajad ning nende piirväärtused. Pinnavees ohtlike ainete (ka prioriteetsed ained ja prioriteetsed ohtlikud ained) piirväärtused kehtestab „Veeseaduse“ § 265 lõigete 10 ja 11 alusel „Pinnavee keskkonna kvaliteedi piirväärtused ja nende kohaldamise meetodid ning keskkonna kvaliteedi piirväärtused vee-elustikus“ määrus. [36]

Prioriteetsed ained ja prioriteetsed ohtlikud ained on ained, mis põhjustavad märkimisväärset ohtu veekeskkonnale või läbi vesikeskkonna inimese tervisele. Prioriteetsete ainete juhtimine veekogusse on piiratud vastavalt veeseadusele. Prioriteetsete ohtlike ainete veekeskkonda juhtimine on keelatud ning piiratud kuni nende ainete täieliku kõrvaldamiseni. Prioriteetsed ohtlikud ained, prioriteetsed ained ja ohtlikud ained on nimetatud „Veeseaduse“ § 26⁵ lõike 7 alusel „Veekeskkonnale ohtlike ainete ja ainerühmade nimistud 1 ja 2 ning prioriteetsete ainete, prioriteetsete ohtlike ainete ja nende ainete rühmade nimekirjad“ määрусega. [33]

4. ANNUSPUHASTI OPEREERIMISE LABORATOORSED KATSETUSED

Laboratoorsed katsetused viidi läbi Tallinna Vesi Paljassaare reoveepuhastusjaama laboris. Katsetuste läbiviimise ajal ei olnud puhasti veel valmis ning seetõttu võeti vajalik reovesi piirkondadest, kus hakkab tulema suurem osa reoveest. Nimetatud piirkonnad Suurupis on Kasevälja ja Vääna-Jõesuu. Kõigil proovikordadel iseloomustas reovett madalad reoainete kontsentratsioonid, mis on tingitud vähestest liitumistest ning kõrgest pinnavee tasemest infiltratsiooni tõttu.

Katsetuste eesmärk oli leida optimaalne puhastusüksik, mis annaks suurima puhastusefektiivsuse. Katsete tulemuste võrdlemine reaalse situatsiooniga ei ole võimalik, kuna reoainete kontsentratsioonid ja teised tingimused võivad erineda reaalselt puhastile juhitud reoveest.

Antud peatükis analüüsitakse katsete tulemusi ning antakse autori poolne hinnang saadud tulemustele.

4.1. Katsetuste eesmärk ja läbiviimine

Laboratoorsete katsetuste eesmärgiks oli välja selgitada, milline annuspuhasti üksik alandab enim reoainete kontsentratsiooni. Vastavalt sellele anda soovitusi puhasti käikuvõtmiseks ja opereerimiseks. Katsetuste läbiviimisel võeti aluseks Suurupi reoveepuhastusjaama projekteerimisel määratud puhastusüksik ning autori poolt pakutud üksik. Mõlema tsükli puhul on järgitud põhimõtet kasutada vaid reovees sisalduvat BHT-d, tagades efektiivsema puhastuse. Seetõttu on täitmisel anoksiline faas, millele järgneb nitrifikatsiooni faas.

Katsetuste efektiivsuse määramiseks on võetud reoveeproov enne katsetuste algust ning peale katsetuste lõppu, kus määrati üldlämmastiku ($N_{\text{üld}}$), orgaanilise lämmastiku (N_{org}), nitraadi (NO_3^-), nitriti (NO_2^-), ammooniumi (NH_4^+), üldfosfori ($P_{\text{üld}}$) sisaldusi ning BHT kontsentratsioone.

Heitveeproovide analüüsid tehti Paljassaare heitveelaboris vastavalt standarditele EN 1899-1:1998, EVS-EN 1899-2:1999, EVS-EN ISO 6878:2004, EN ISO 13395:1999 ja SFS-3029:1976. [37]

4.2. Meetod katsetuste läbiviimiseks

Katsetuste aluseks oli luua annuspuhasti mudel, milles oleks võimalik kõiki faase simuleerida. Katsetused viidi läbi 10 liitrises lahtises anumaski, mis imiteeris annuspuhasti mahutit. Anum paigaldati kohandatud segamissüsteemi alla (Sele 4). Aereerimisel kasutati akvaariumi õhkpumpa Aqua Nova NA-200.



Sele 4. Katseseade (autori pildistatud)

Katsetustes kasutati Tallinna reoveepuhastusjaama aktiivmuda, et koheselt tagada bioloogiliseks puhastuseks vajalikud mikroorganismid. Anumasse lisati reovesi koos Tallinna reoveepuhastusjaama aktiivmudaga mahulises vahekorras 1:1. Vastavalt aereeritavale keskkonnale kasutati aeratsiooniseadmeid ning anoksilises faasis spetsiaalseid segureid.

Anoksilise ja aeroobse keskkonna määramiseks ning aereerimise vajaduseks mõõdeti igas puhastustsükli faasis lahustunud hapniku (edaspidi DO) kontsentratsiooni ning temperatuuri.

4.3. Aktiivmuda iseloomustavad parameetrid

Katsete jaoks kasutati Tallinna reoveepuhastusjaama aktiivmuda. Aktiivmuda toodi 1 päev enne katsete algust laborisse, kus seda hoiti stabiilselt toatemperatuuril ning mikroorganismide eluspüsimiseks aereeriti. Katseid tehti viiel erineval päeval, kus igal korral kasutati uut aktiivmuda.

Aktiivmuda iseloomustamiseks arvutati aktiivmuda vanus ning mudaindeks.

Aktiivmuda vanus (MCRT) on päevade arv, mille kestel kogu aerotankis olev aktiivmudamass liigmudana eemaldatakse ning koos järelselgiti väljavooluveega välja kandub. Väljendatakse kui aerotankis oleva organismide koguse ja päeva jooksul eemaldatud organismide suhet. Muda vanus võib varieeruda suure toitainete ja mahuga < 0,5 päeva ning toitainete vaese ja väikse mahuga reovee korral kuni 75 päeva. [38, p. 658]

Muda vanuse arvutamiseks kasutatakse järgmist valemit [38, p. 658]:

$$MCRT = (MLSS)(Va + Vc) / (WASS)(W) + (ESS)(Q), \quad (10)$$

kus $MLSS$ [mg/l] - heljumi sisaldus aerotankis;

Va [m³] - aerotanki maht;

Vc [m³] - järelselgiti maht;

$WASS$ [mg/l] - jääkaktiivmuda kuivaine sisaldus;

W [m³/d] - jääkaktiivmuda kogus;

ESS [mg/l] - väljavoolu heljumi sisaldus;

Q [m³/d] - väljuva reovee maht.

Lähtudes aktiivmuda vanuse üldvalemist (10) leitakse katses kasutatud aktiivmuda vanus MCRT:

$$MCRT = (5500)(63\,000 + 7500) / (9200 \cdot 3600 + 145 \cdot 121\,000) = 7,6 \text{ päeva}. \quad (11)$$

Mudaindeks (SVI) on 1g kaaluva muda kogus (ml) peale 30 minutilist settimist. Mudaindeks iseloomustab settimise omadusi. Mudaindeksi arvutamiseks jagatakse aktiivmuda maht pärast 30 minutilist settimist aktiivmuda kontsentratsiooniga. Selleks täidetakse 1 liitrine mõõtesilinder kuni 1.0 l märkeni, lastakse settida 30 minutit ning loetakse settinud muda kogus (ml). Mudaindeks 100 ml/g või vähem loetakse hästi settivaks mudaks. [14, p. 23-38]

Mudaindeksi arvutamiseks kasutatakse järgmist valemit [38, p. 650]:

$$SVI = SV \cdot 1000 / MLSS, \quad (12)$$

kus SVI [ml/g] - mudaindeks;

SV [ml/l] - aktiivmuda maht pärast 30 min settimist;

$MLSS$ [mg/l] - heljumi sisaldus aerotankis.

Katsetes kasutatud aktiivmuda mudaindeksi arvutamiseks kasutatakse valemit (12) :

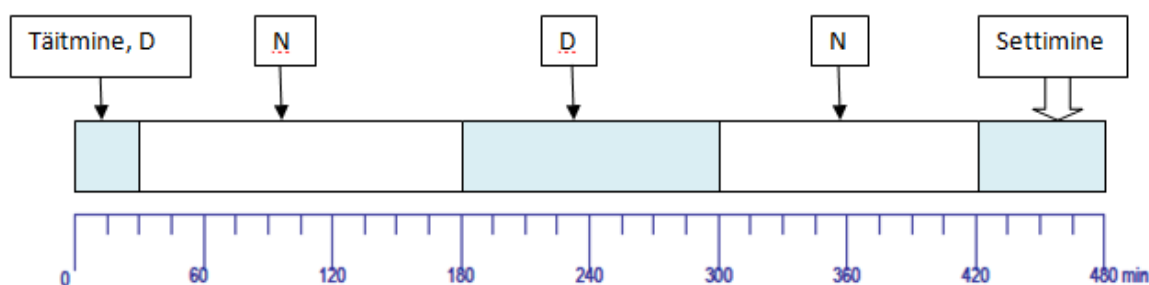
$$SVI = 890 \cdot 1000 / 8000 = 111,25 \text{ ml/g.} \quad (13)$$

Arvutuste põhjal on võimalik järeldada, et aktiivmuda on ligilähedane hästi settivale mudale.

4.4. Projekteeritud annuspuhasti tsükliga katse

Projekteeritud annuspuhasti tsükli kestvuseks on määratud 8 tundi. Projekteeritud tsükkel on jaotatud järgmiselt (Sele 5):

- 1) täitmine/denitrifikatsioon 0,5 h;
- 2) nitrifikatsioon 2,5 h;
- 3) denitrifikatsioon 2 h;
- 4) nitrifikatsioon 2h;
- 5) settimine 1h.



Sele 5. Projekteeritud annuspuhasti tsükli faasid koos kestvusega (autori koostatud)

Projekteerija poolt välja pakutud tsükli korral on määratud mahuti algne täituvus 4/5 kogu tsükli jooksul vajaminevast reoveest. Denitrifikatsiooni faasis lisatakse puuduolev 1/5 kogu tsükli reoveekogusest. [18]

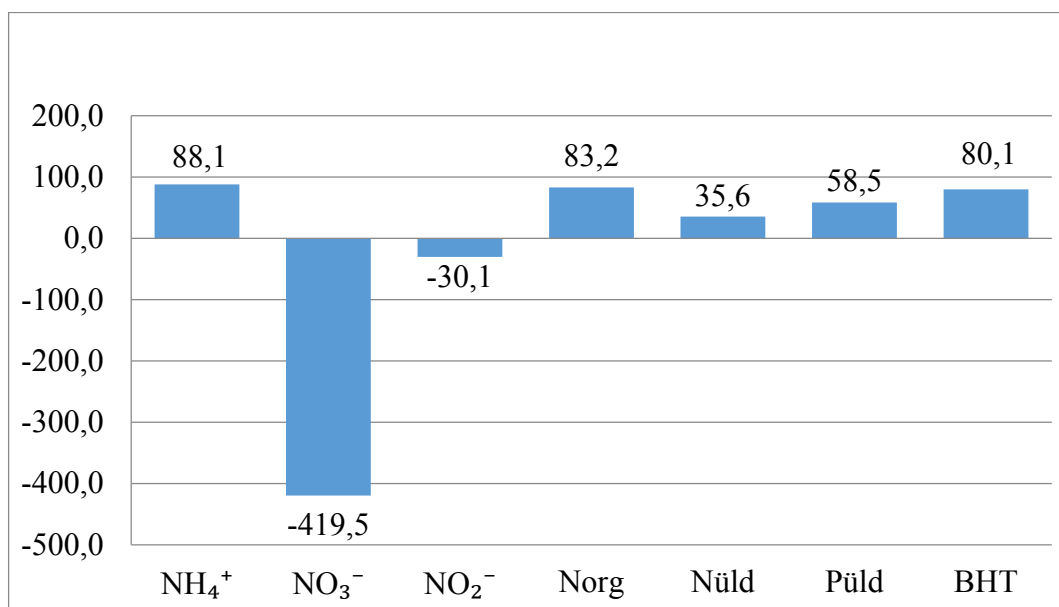
Katsetuste käigus kasutati vaid 5 liitrit reovett. Seega ei olnud optimaalne eraldi täitmisi teostada ning mahuti täideti ühekorraga.

4.5. Projekteeritud tsükli katsete tulemused

Projekteeritud tsükli katsete tulemused on esitatud lisas 1.

Projekteeritud annuspuhasti tsükli korral toimub efektiivne nitrifikatsiooni esimene etapp, kus NH_4^+ oksüdeeritakse NO_2^- -ks. Katsetuste käigus saavutati keskmiseks NH_4^+ ärastuseks 88,1% (Sele 6).

Projekteerija poolt pakutud tsükli puhul toimub efektiivne ammonifikatsiooni protsess, mille käigus lagundatakse orgaaniline lämmastik heterotroofsete bakterite abil ammoniaagiks ja ammooniumi ioniks. Orgaanilist lämmastiku ärastatakse keskmiselt 83,2% (Sele 6).



Sele 6. Projekteeritud tsükli keskmine puhastusefektiivsus (%) (Autori koostatud)

Kuna NO_3^- kontsentratsioon tõuseb väljundis (Lisa 1), siis ei toimu efektiivset denitrifikatsiooni protsessi, mis on tingitud BHT puudusest. Denitrifikatsiooniks vajaliku BHT koguse arvutamiseks leitakse kui palju BHT (g) on vajalik mahutis oleva NO_3^- (g) ärastamiseks. Lähtudes madalaimast NO_3^- ärastusest (katse 19.03.2014) (Lisa 1), arvutatakse näitena katses vajaminev BHT kogus:

- 1) 1 kg NO_3^- ärastamiseks kulub 5 kg KHT-d [28]. KHT ja BHT suhe olmereovees on ligikaudu 0,5 mg/l BHT $\approx$ 1 mg/l KHT. [5, p. 23]

Seega on vaja:

$$5/2 \approx 2,5 \text{ kg} \approx 2500 \text{ g BHT-d } 1 \text{ kg NO}_3^- \approx 2,5 \text{ g/BHT } 1 \text{ g/ NO}_3^- \text{ ärastamiseks}; \quad (14)$$

2) NO_3^- sisaldus peale puhastustsükli on 28,1 mg/l. Kuna katses kasutati 5 l reovett, siis on kogu NO_3^- sisaldus mahutis

$$28,1 \text{ mg/l} * 5 = 140,5 \text{ mg} = 0,1 \text{ g/ NO}_3^-; \quad (15)$$

3) katse väljundis oli BHT sisaldus 7,2 mg/l. Mahutis oli seega

$$7,2 \text{ mg/l} * 5 = 36 \text{ mg/BHT} = 0,04 \text{ g/BHT}; \quad (16)$$

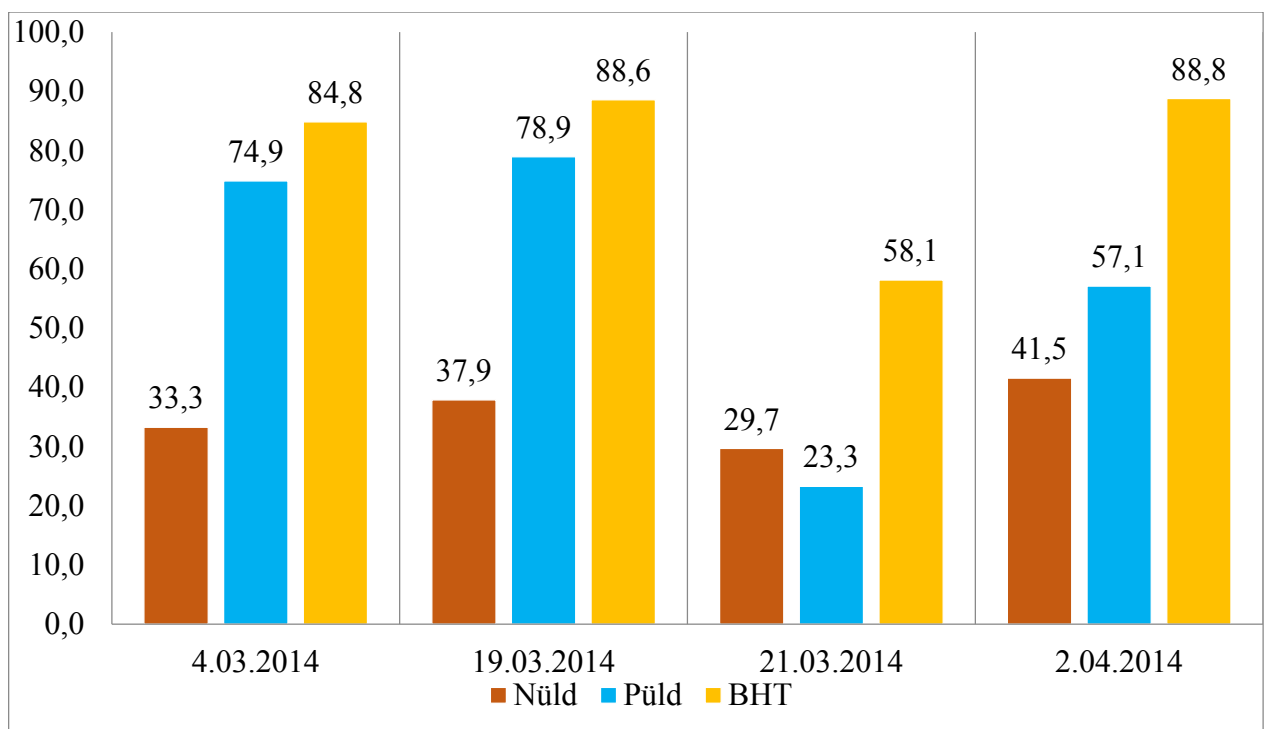
4) 0,1 g/ NO_3^- ärastamiseks oleks vaja

$$0,1 \text{ g} * 2,5 \approx 0,25 \text{ g/BHT}; \quad (17)$$

5) katses on NO_3^- ärastamiseks BHT-d puudu

$$0,25 - 0,04 \approx 0,21 \text{ g/BHT}. \quad (18)$$

Efektiivse nitrifikatsiooni ja ammonifikatsiooni kuid ebaefektiivse denitrifikatsiooni tulemusena jääb üldlämmastiku ärastamise efektiivsus suhteliselt madalaks, keskmiselt 35,6% (Sele 6).



Sele 7. Projekteeritud tsükli katsetes mõõdetud $N_{\text{üld}}$, $P_{\text{üld}}$ ja BHT ärastamise efektiivsus (%) (Autori koostatud)

Projekteeritud tsükli juures võib aga rääkida suhteliselt efektiivsest $P_{\text{üld}}$ ärastuses küündides 78,9%-ni (Sele 7) ning jäädes keskmiselt 58,5% (Sele 6). Ka BHT ärastamist saab lugeda efektiivseks, keskmiselt 86,7% (Sele 6).

P ärastamiseks vajamineva BHT koguse arvutamiseks ning NO_3^- ärastamisega võrdlemiseks tuuakse näide 19.03.2014 katses tehtud väljundnäitajate põhjal.

a) 1 g P ärastamiseks kulub 10 g KHT-d [14, p. 22-23]. Seega on vaja

$$10/2 \approx 5 \text{ g BHT-d 1 g P ärastamiseks;} \quad (19)$$

b) fosfori sisaldus peale puhastustsükli on 1,08 (Lisa 1). Fosfori sisaldus mahutis

$$1,08 \text{ mg/l} * 5 = 5,4 \text{ mg} = 0,005 \text{ g/P;} \quad (20)$$

c) eelneva arvutuse tulemusena on leitud, et katse käigus oli BHT kogus mahutis 0,04 g/BHT;

d) 0,005 g/P ärastamiseks läheb vaja

$$0,005 \text{ g/P} * 5 = 0,025 \text{ g/BHT.} \quad (21)$$

Katsete tulemustest saab järeldada, et BHT kogus oli piisav fosfori bioloogiliseks ärastamiseks, kuid ebapiisav denitrifikatsiooni toimumiseks.

4.6. Autori poolt pakutud annuspuhasti tsükliga katse

Autori poolt pakutud annuspuhasti tsükli koostamise aluseks oli Le` Chatelier printsiip, mille kohaselt: „Muutes ühte neist tingimustest, mille korral süsteem on keemilises tasakaalus, nihkub tasakaal selle reaktsiooni suunas, mis vähendab tekitatud muutust.“ [39]

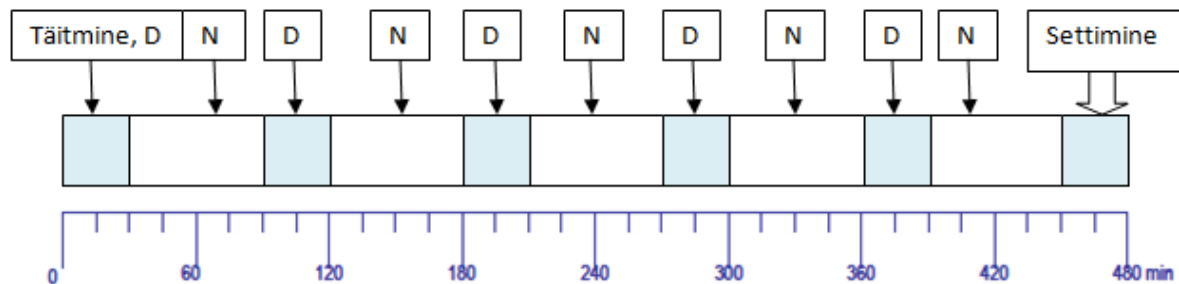
Vastavalt Le`Chatelier printsiibile on tsükli koostamise eeldused järgmised:

- vähendades faaside aegu suureneb toitainete ärastus;
- lahustunud hapniku kontsentratsioon ei tõuse liialt kõrgele, võimaldades langeda denitrifikatsiooni faasis piisavalt madalale;
- faaside lühema kestvuse korral ei toimu ka kiire BHT ärastus, vaid see jaguneb erinevate puhastusfaaside peale ära, tagades denitrifikatsiooniks piisava BHT koguse.

Autori poolt välja pakutud faasid koos kestvusega on järgmised (Sele 8):

- 1) täitmine/denitrifikatsioon 0,5 h ;
- 2) nitrifikatsioon 1h;
- 3) denitrifikatsioon 0,5 h;
- 4) nitrifikatsioon 1h;
- 5) denitrifikatsioon 0,5 h;
- 6) nitrifikatsioon 1h;
- 7) denitrifikatsioon 0,5 h;

- 8) nitrifikatsioon 1h;
- 9) denitrifikatsioon 0,5 h;
- 10) nitrifikatsioon 1h;
- 11) settimine 0,5 h.

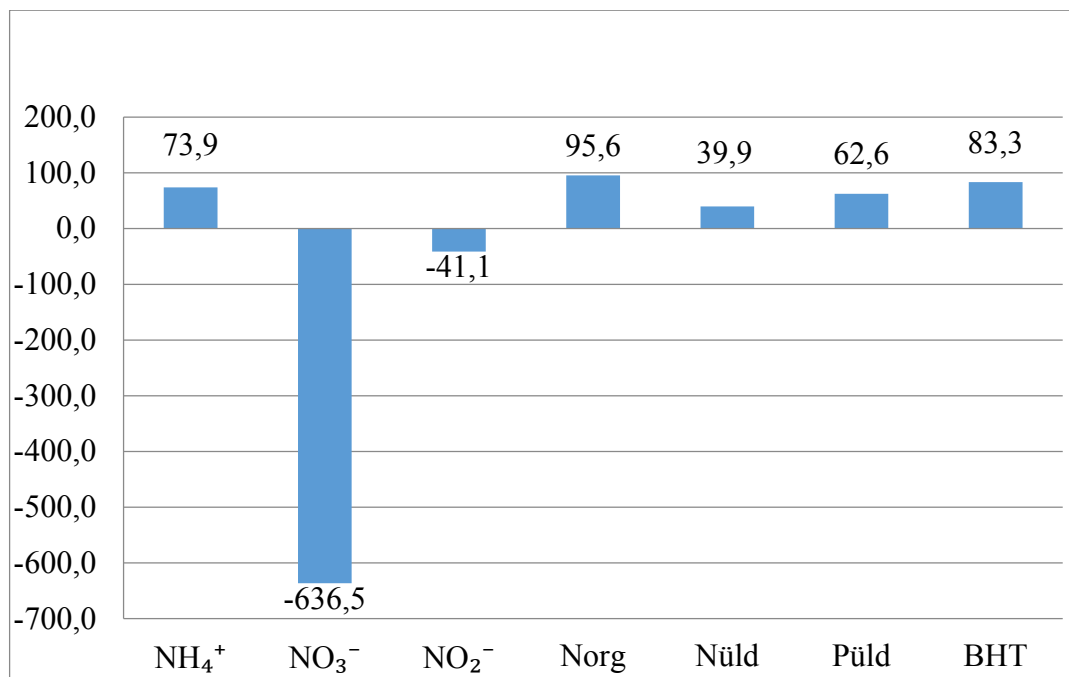


Sele 8. Autori poolt välja pakutud tsükli faasid koos kestvusega (Autori koostatud)

4.7. Autori poolt pakutud tsükli katsete tulemused

Autori poolt pakutud tsükli katsete tulemused on esitatud lisas 2.

Autori poolt koostatud tsükli puhul toimub efektiivne nitrifikatsiooni protsess. Keskmine NH_4^+ ärastamise efektiivsus on 73,9% (Sele 9). Tsükli jooksul ei toimu aga efektiivset denitrifikatsiooni protsessi, kuna NO_3^- kontsentratsioon tõuseb väljundis keskmiselt 635, 5% (Sele 9).



Sele 9. Autori poolt pakutud tsükli keskmine puhastusefektiivsus (%) (Autori koostatud)

Denitrifikatsiooni protsess on limiteeritud BHT puudumise tõttu. Selleks, et mõista, miks ei toimu piisavat denitrifikatsiooni arvutame vajaliku BHT (g) koguse mahutis oleva NO_3^- (g) ärastamiseks. Arvutustes kasutatakse 19.03.2014 tehtud katsete parameetreid, kuna selles katses oli kõige väiksem NO_3^- ärastus ja kõige suurem NH_4^+ ärastus:

1) peatükis 4.5 leiti, et 1g NO_3^- ärastamiseks läheb vaja 2,5 g BHT-d;

2) NO_3^- sisaldus peale puhastustsükli on 28,8 mg/l. Katsetes kasutatud 5 l reovee puhul on NO_3^- sisaldus mahutis

$$28,8 \text{ mg/l} \cdot 5 = 144 \text{ mg} = 0,1 \text{ g} / \text{NO}_3^-; \quad (22)$$

3) katse väljundis oli BHT-d 3,4 mg/l. Mahutis oli seega BHT-d

$$3,4 \text{ mg/l} \cdot 5 = 17 \text{ mg/BHT} = 0,02 \text{ g/BHT}; \quad (23)$$

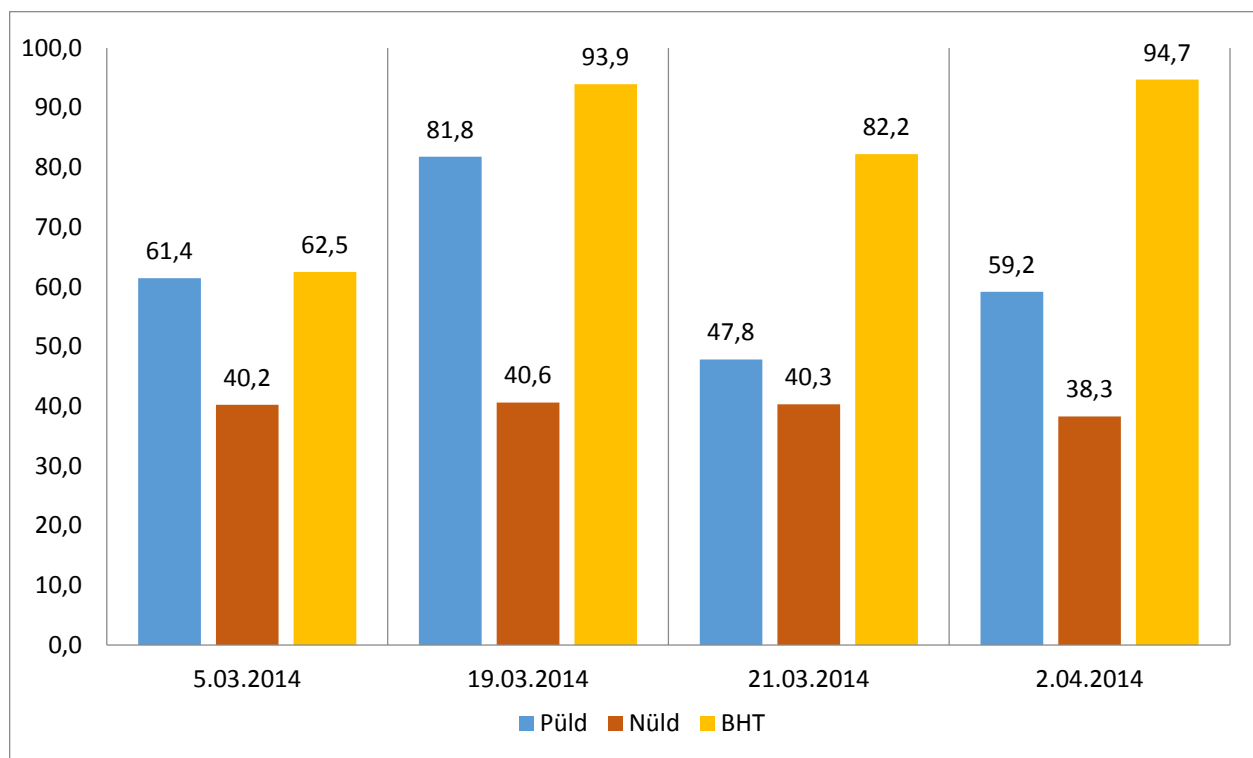
4) 0,1 g/ NO_3^- ärastamiseks oleks vaja

$$0,1 \text{ g} \cdot 2,5 = 0,25 \text{ g/BHT}; \quad (24)$$

5) katses on NO_3^- ärastamiseks BHT-d puudu

$$0,25 - 0,02 = 0,23 \text{ g/BHT}. \quad (25)$$

Orgaanilise lämmastiku ärastamine on aga efektiivne, jäädes keskmiselt 95,6% juurde (Sele 9). Kuna tsükli puhul toimub efektiivne nitrifikatsioon ja orgaanilise lämmastiku ärastamine, kuid ebaefektiivne denitrifikatsioon, siis on üldlämmastiku keskmine ärastus 39,9% (Sele 9).



Sele 10. Autori poolt pakutud tsükli ärastuse efektiivsus (%)

Tsükli jooksul toimub efektiivne bioloogiline fosfori ärastus, mille ärastamise efektiivsus küündib kuni 81,8% (Sele 10) ning jääb keskmiselt 62,6%-ni (Sele 9). Samuti toimub ka efektiivne BHT ärastus, jäädes keskmiselt 83,3%-ni.

Üldfosfori ärastamiseks ja denitrifikatsiooniks vajamineva BHT koguse parimaks iseloomustamiseks tuuakse näide 19.03.2014 tehtud katse tulemuste põhjal:

1) peatükis 4,5 leiti, et 1 g P ärastamiseks kulub 5 g BHT-d;

2) fosfori sisaldus peale puhastustsükli on 0,91 mg/l (Lisa 2). P sisaldus mahutis on

$$0,91 \text{ mg/l} \cdot 5 = 4,55 \text{ mg} = 0,005 \text{ g/P}; \quad (26)$$

3) eelmisest võrrandist saime, et katse käigus oli BHT kogus mahutis 0,02 g;

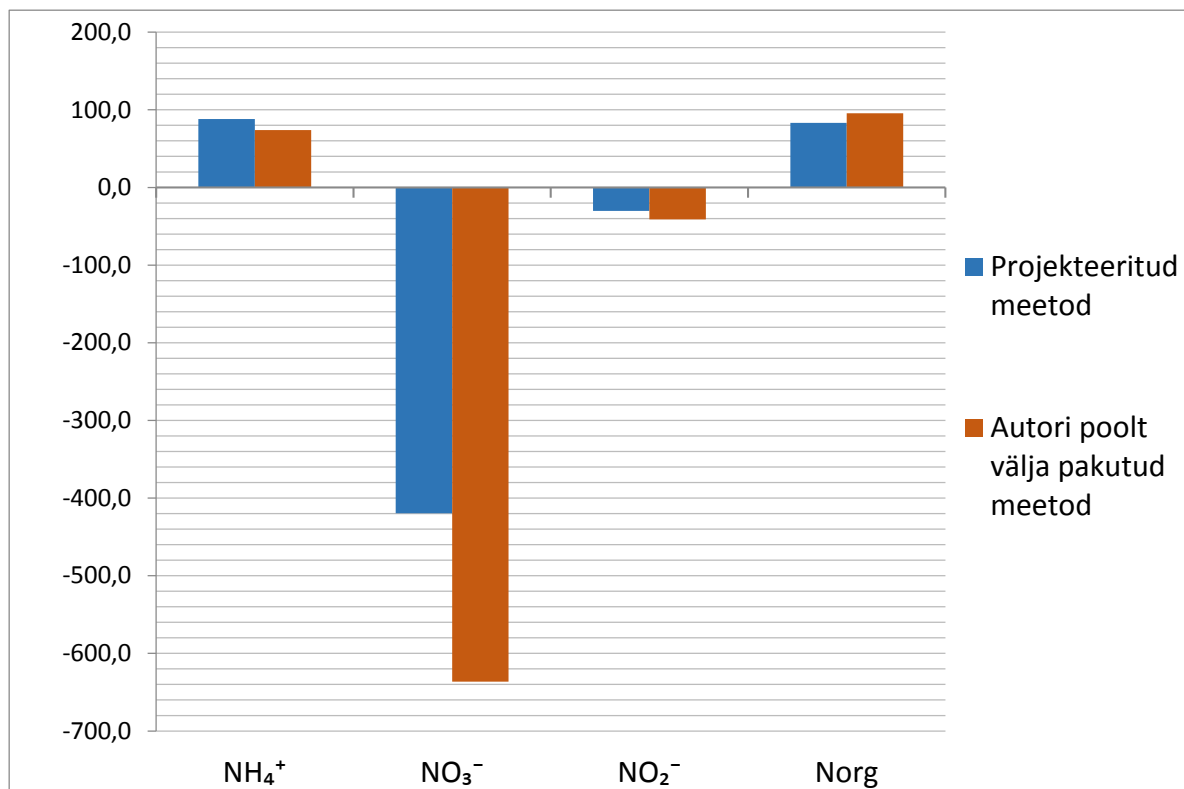
4) 0,005 g/P ärastamiseks läheb vaja

$$0,005 \text{ g/P} \cdot 5 = 0,023 \text{ g/P}. \quad (27)$$

Seega on võimalik järeldada, et tsükli on BHT hulk piisav fosfori ärastamiseks, kuid ebapiisav denitrifikatsiooni toimumiseks.

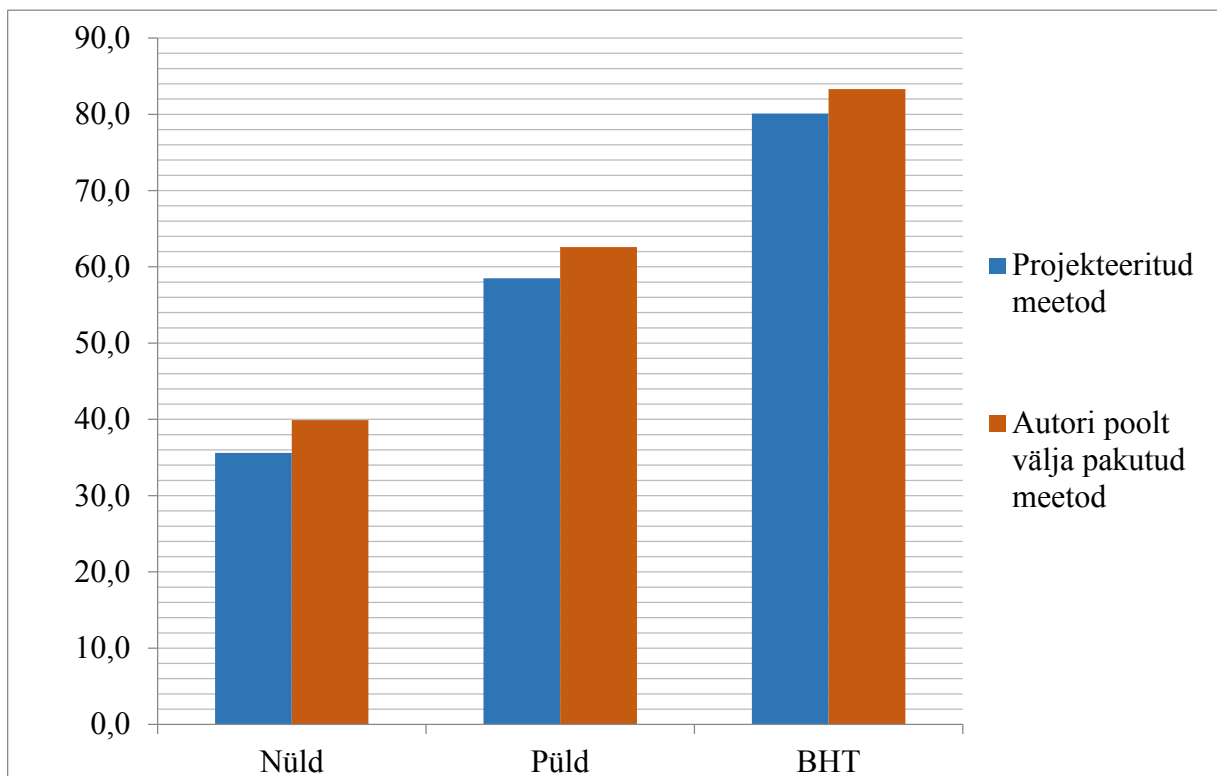
4.8. Laboratoorsete katsete kokkuvõte

Nii projekteerija kui ka autori poolt pakutud tsükli puhul toimub efektiivne nitrifikatsiooni esimene etapp, kuid ebaefektiivne nitrifikatsiooni teine etapp ning denitrifikatsiooni protsess. Projekteeritud tsükli puhul on NH_4^+ keskmine ärastamine siiski veidi suurem (14, 2%) kui autori poolt pakutud meetod. Samuti toimub projekteeritud tsükli puhul 11% efektiivsem nitrifikatsiooni teine etapp (Sele 11). Mõlema tsükli puhul jääb aga NO_3^- ja NO_2^- ärastamise efektiivsus miinustesse, mis viitab liialt lühikese nitrifikatsiooni faasi kestvusele.



Sele 11. Projekteeritud ja autori poolt välja pakutud meetodi NH_4^+ , NO_3^- , NO_2^- ja N_{org} ärastamise keskmised efektiivsused (%) (Autori koostatud)

Mõlemas tsüklis toimub ebaefektiivne denitrifikatsiooni protsess. Selle põhjuseks saab lugeda madalat BHT kontsentratsiooni. Sellest tulenevalt on võimalik järeldada, et proovivõtukohtade torustikes leiab aset suur infiltratsioon, põhjustades madala BHT sisalduse reovees. Kuigi nii nitrifikatsiooni teine etapp kui ka denitrifikatsiooni protsess ei olnud autori poolt pakutavas tsüklis nii efektiivsed kui projekteeritud tsükli puhul, oli autori poolt pakutud tsükli puhul orgaanilise lämmastiku ärastamine keskmiselt 12,4% efektiivsem. Seetõttu on autori poolt pakutava tsükli puhul keskmiselt 4,2% kõrgem $\text{N}_{\text{üld}}$ ärastamise efektiivsus (Sele 12). Puhasti reaalsel opereerimisel võimaldab see saastetasudelt kokku hoida.



Sele 12. Projekteeritud tsükli ning autori poolt välja pakutud tsükli $N_{\text{üld}}$, $P_{\text{üld}}$ ja BHT ärastamise keskmised (%) (Autori koostatud)

Kuigi BHT kogus reovees oli väike, piisas mõlemas tsükli olemasolevast BHT-st bioloogiliseks fosfori ärastamiseks. Autori poolt pakutud tsükli korral toimub keskmiselt 4% efektiivsem fosfori ärastus kui projekteeritud tsükli korral (Sele 12). See tagab keemilise fosfori ärastamise tehnoloogia kasutamisel väiksema raud(III)sulfaadi kasutamise erikulu.

Autori poolt pakutud tsükli puhul toimub 2% efektiivsem BHT ärastus, kui projekteeritud tsükli puhul. Kuigi BHT ärastuse efektiivsuste vahe kahe tsükli puhul on minimaalne, näitavad katsed trendi, et autori poolt pakutud tsükli puhul on BHT ärastamine efektiivsem.

4.9. Soovitused puhasti käikuvõtmiseks

Vastavalt tehtud katsetele saab anda soovitusi reaalset puhasti tehnoloogia käivitamiseks:

- teha korda Suurupi piirkonnas olevad reoveevõrgud, et vähendada infiltratsiooni ning tagada kõrgem BHT sisaldus sisenevas reovees, tagades denitrifikatsiooniks vajaliku BHT sisalduse;

- denitrifikatsiooniks vajamineva BHT koguse tagamiseks on võimalik mahutit täita mitu korda tsükli jooksul. Tsükli jooksul vajalike täitmiste kordi saab arvutada järgneva valemi abil [1, p. 45]:

$$NEF = NIN * VF / VT * I / M \rightarrow M = NIN * VF / VT * I / NEF, \quad (28)$$

kus M - täitmisi tsükli jooksul;

NIN [mg/l] - siseneva reovee lämmastiku kontsentratsioon;

VF [l] - siseneva reovee kogus;

VT [l] - mahuti suurus;

NEF [mg/l] - soovitud väljuva heitvee lämmastiku kontsentratsioon.

- kasutada autori poolt pakutud tsükli, kuna $P_{\text{üld}}$, $N_{\text{üld}}$ ja BHT ärastus on efektiivsemad kui projekteeritud tsükli puhul. Kuna $P_{\text{üld}}$ ärastamine toimub bioloogiliselt efektiivselt, siis on võimalik kokku hoida koagulandi [raud(III)sulfaadi] kulu pealt. $N_{\text{üld}}$ ning BHT efektiivsem ärastus tagab väiksema saastetasude maksmise.

Saastetasude maksmist reguleerib Eesti Vabariigi Keskkonnatasude seadus § 20 lõige 3, mille kohaselt on saastetasumäär ühe tonni $N_{\text{üld}}$ heitmisel veekogusse, põhjavette või pinnasesse alates 2014. aasta 1. jaanuarist 2457 eurot. Lõige 1 kohaselt on ühe tonni BHT₇ heitmisel alates 2014. aasta 1. jaanuarist 1420 eurot. [40]

KOKKUVÕTE

Käesolevas töös analüüsiti annuspuhasti tehnoloogilisi tsükleid, et tagada efektiivsem puhastustsükkel. Töös anti ülevaade annuspuhastites kasutatavatest puhastustehnoloogiatest ja seadmetest. Sellest lähtuvalt toodi välja ka Suurupi reoveepuhastusjaamas kasutatava tehnoloogia kirjeldus. Töös keskenduti annuspuhasti tsüklite väljatöötamisele ning seega on bioloogilise puhastuse teemat käsitletud detailsemalt.

Tsüklite puhastusefektiivsuse analüüsimiseks tehti laboratoorsed katsed neljal erineval päeval. Katsetuste käigus võrreldi projekteerija ning autori poolt välja pakutud puhasti tsükleid. Tsüklite efektiivsuse määramiseks võeti reoveeproove katsetuste algul ning lõpus. Analüüsid teostati Tallinna reoveepuhastusjaama heitveelaboris. Katsetuste käigus leiti, et autori poolt pakutud puhastustsükkel on üldfosfori, üldlämmastiku ning BHT ärastamise korral efektiivsem kui projekteeritud tsükkel. Opereerimistingimustes võimaldaks see kokku hoida fosfori ärastamiseks vajamineva kemikaali erikulult ning suublasse juhitava heitvee koostises oleva üldlämmastiku ja BHT eest maksvatelt saastetasudelt. Kuigi katsetuste käigus oli nende komponentide ärastamise efektiivsuste erinevus minimaalne, peegeldavad katsete tulemused kindlat trendi. Tulemusi mõjutas katsetustes kasutatud väikesed reoveekogused ning kontrollitud keskkonnatingimused. Reaalsel puhasti opereerimisel tuleb arvestada, et tingimused on varieeruvad ning võivad erineda katsetest.

Katsetuste tulemused näitavad, et denitrifikatsiooni protsessiks vajatav BHT hulk puudus. See annab tõestust kanalisatsioonisüsteemi infiltratsioonist. Reaalselt puhasti käikuvõtmisel tuleks leida võimalus infiltratsiooni vähendamiseks. Denitrifikatsiooni efektiivseks toimimiseks vajaminevat BHT kogust on võimalik tagada ka lisa täitmistsüklitega.

SUMMARY

In the areas, where the number of residents depends on seasons, wastewater treatment uses sequencing batch reactor technology that enables to treat wastewater of varying volumes and concentrations. This technical solution functions in the same way as a plug flow technology, but sedimentation and active sludge process are carried out in the same tank. The cycles of a sequencing batch reactor are divided into phases enabling an efficient reduction in the content of nutrients (Nitrogen, Phosphorus) in wastewater.

This thesis „Technological dimensioning of the treatment cycles of sequencing batch reactor at the example of Suurupi Wastewater Treatment Plant“ is based on the technological process of the wastewater treatment plant being built in Suurupi.

The aim of this thesis is to develop the cycles of a sequencing batch reactor depending on the treatment efficiency and to provide suggestions for the commissioning of the treatment plant technology.

To test the cycles, laboratory trials were made with the aim to find an effective treatment cycle. During the trials the efficiency of the designed treatment cycles proposed by the author was tested. The cycles proposed by the author were following the Le`Chatelier's principle, where there are more nitrification and de-nitrification phases than in a designed cycle. The trials use wastewater from Suurupi area and activated sludge from Tallinn Wastewater Treatment Plant. To determine the effect of cycles, wastewater samples were taken in the beginning and end of the trials.

The trials showed that the treatment cycle proposed by the author is more effective for the removal of total phosphorus, total nitrogen and BOD than the cycle proposed by the designer. In the operating conditions, this would enable saving on the unit cost of the chemical needed for the removal of phosphorus and on the pollution tax payable for the total nitrogen and BOD in the effluent discharged to the receiving body of water.

One can conclude from the outcome of the trials that infiltration takes place in the area of trials, which is also referred to by the low concentration of BOD. Whilst operating the treatment plant in reality an opportunity should be found to reduce infiltration. The volume of BOD needed for de-nitrification can be guaranteed also by adding additional filling phases.

VIIDATUD ALLIKAD

- [1] T. M. Vives Fabregas, SBR technology for wastewater treatment: suitable operational conditions for nutrient removal, Girona: Girona Ülikool, 2005, p. 141.
- [2] „Sequencing batch reactor design and operational consideration,“ 2005. [Võrgumaterjal]. [Kasutatud 05. märts, 2014].
- [3] Water Environment Federation, Operation of Municipal Wastewater Treatment Plants, Alexandria: McGraw-Hill, 2008, p. 1980.
- [4] G.Tchobanoglous ja F.L.Burton, Wastewater engineering.Teatment, disposal,reuse, Singapore: McGraw-Hill, 1991, p. 1334.
- [5] S.L.Rautanen ja A.Maastik, Reoveepuhastioperaatori õpik, Tallinn: Tallinna Tehnikaülikool, 1998, p. 61.
- [6] L.Paal, H.Mölder ja H.Tibar, Veevarustus ja kanalisatsioon, Tallinn: Valgus, 1981, p. 440.
- [7] Metcalf and Eddy, Wastewater engineering. Treatment and reuse, New York: McGraw-Hill, 2003, p. 1631.
- [8] M.J.Hammer, Water and Wastewater Technology, New Jersey: Pearson Prentice Hall, 2008, p. 553.
- [9] P.S.Davies, „The biological basis of wastewater treatment,“ 2005. [Võrgumaterjal]. [Kasutatud 18 november 2013].
- [10] „The Chemistry of Chemical Oxygen Demand,“ 2014. [Võrgumaterjal]. [Kasutatud 28. aprill, 2014].
- [11] A.Maastik, G.Danilišina, M.Gross, M.Kriipsalu, P.Tamm, T.Tenno, Väikeste reoveepuhastite (Jõudlus kuni 2000 ie) hooldamise juhend, Tartu, 2011, p. 61.
- [12] G.T.Moore, „Nutrient control design manual,“ 2009. [Võrgumaterjal]. [Kasutatud 12. veebruar, 2014].
- [13] E. Lember, Bakterikultuuril nitrosomonas sp. põhineva biosensori koostamine ja uurimine, Tartu: Tartu Ülikool, 2012, p. 45.

- [14] M.L.Davis, Water and wastewater engineering.Design Principles and Practice, New York: McGraw-Hill, 2010, p. 1301.
- [15] „Identifying human waste contribution of phosphorous loads to domestic wastewater,“ 2008. [Võrgumaterjal]. [Kasutatud 15. jaanuar, 2014].
- [16] U.Wiesmann, I.S.Choi, E.M.Dombrowski, Fundamentals of biological Wastewater Treatment, Weinheim: WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, 2007, p. 363.
- [17] „Reoveesette töötlemise strateegia väljatöötamine, sh ohutu taaskasutamise tagamine järelvalve tõhustamise, keemiliste- ja bioloogiliste indikaatornäitajate rakendamise ning kvaliteedi süsteemide juurutamise abil. II ETAPP,“ 2012. [Võrgumaterjal]. [Kasutatud 20. veebruar, 2014].
- [18] „Suurupi projektdokumentatsioon“.
- [19] „www.huber.de,“ Huber technology. Waste water solutions, [Võrgumaterjal]. Available: http://www.huberme.com/product_detail.php?mcid=3&cid=18&pid=9&tid=1. [Kasutatud 24. veebruar, 2014].
- [20] „Compact plant KSF-K,“ 2014. [Võrgumaterjal]. [Kasutatud 24. veebruar, 2014].
- [21] N.F.Gray, Biology of Wastewater treatment. Second edition, London: Imperial College Press, 2004, p. 1421.
- [22] „www.brewermaine.gov,“ Biological wastewater treatment principles, [Võrgumaterjal]. Available: <http://www.brewermaine.gov/wp-content/uploads/2011/07/Biological-Wastewater-Treatment-Principals.pdf>. [Kasutatud 03. veebruar, 2014].
- [23] S. B. Halling-Sørensen, The removal of nitrogen compounds from wastewater, Amsterdam: Elsevier Science Publishers B.V, 1993, p. 444.
- [24] „Biogeeniäraetus, opereerimistingimused, settekäitlus,“ 2012. [Võrgumaterjal]. [Kasutatud 15. jaanuar, 2014].
- [25] L.K.Wang, N.K. Shamas, Y.T.Hung, Advanced Biological Treatment Process. Handbook of environmental engineering. Volume 9, New York: Humana press, 2009, p. 729.
- [26] „www.wastewaterhandbook.com,“ Handbook Biological Wastewater Treatment - Design of Activated Sludge Systems, [Võrgumaterjal]. Available: http://www.wastewaterhandbook.com/documents/nitrogen_removal/432_NR_denitrification_configurations.pdf. [Kasutatud 31. jaanuar, 2014].
- [27] „Introduction to Phosphorus Removal Study Guide,“ 2009. [Võrgumaterjal]. [Kasutatud 06

- jaanuar, 2014].
- [28] „Optimal nutrient ratios for wastewater treatment,“ 2014. [Võrgumaterjal]. [Kasutatud 12. märts, 2014].
- [29] P. I.Z. Turovskiy, Wastewater sludge processing, New Jersey: John Wiley & Sons, Inc, 2006, p. 349.
- [30] J.Haller, M.Kriipsalu, „Reoveesette kompostimine,“ Keskkonnatehnika, kd. 7, pp. 9-13, 2007.
- [31] Reoveesette põllumajanduses, haljastuses ja rekultiveerimisel kasutamise nõuded, 2003.
- [32] „Asulareovee puhastamise direktiivi (91/271/EMÜ), joogivee direktiivi (98/83/EÜ) ja ohtlike ainete direktiivi (76/464/EMÜ) rakendamise kava,“ 2004. [Võrgumaterjal]. [Kasutatud 19. veebruar, 2014].
- [33] Veeseadus, 1994.
- [34] Reovee puhastamise ning heit- ja sademevee suublasse juhtimise kohta esitatavad nõuded, heit- ja sademevee reostusnäitajate piirmäärad ning nende nõuete täitmise kontrollimise meetmed, 2012.
- [35] „Helcom recommendation 28E/5,“ 2007. [Võrgumaterjal]. [Kasutatud 20. jaanuar, 2014].
- [36] Pinnavee keskkonna kvaliteedi piirväärtused ja nende kohaldamise meetodid ning keskkonna kvaliteedi piirväärtused vee-elustikus, 2010.
- [37] „Tallinna Vesi hetveelabori analüüsiprotseduur“.
- [38] S.D.Lin, Wastewater calculations manual. Second edition, USA: McGraw-Hill, 2009, p. 941.
- [39] „Keemiline kineetika ja tasakaal,“ 2014. [Võrgumaterjal]. [Kasutatud 16. aprill, 2014].
- [40] Keskkonnatasude seadus, 2005.
- [41] |Lember, E., Kloori ja kloordioksiidi keemiline võrdlus basseinivete töötlemisel, Tallinn: Tallinna Tehnikakõrgkool, 2010, p. 43

Lisa 1. Projekteeritud tsükli sisendi ja väljundi näitajad (Autori koostatud)

Projekteeritud tsükkel	5.02.2014	19.03.2014	21.03.2014	2.04.2014
P _{üld} sisenev	5,57	5,13	5,07	5,99
P _{üld} väljuv	1,4	1,08	3,89	2,57
NH ₄ sisenev	33,2	41,2	36,9	43,4
NH ₄ väljuv	0,13	0,81	1,8	17,5
NO ₃ sisenev	4,9	3,4	11,3	6,4
NO ₃ väljuv	27,6	28,1	34,5	24,5
NO ₂ sisenev	0,9	1,2	0,35	1,3
NO ₂ väljuv	0,054	2	0,84	1,4
N _{org} sisenev	8,2	7	5,4	18,7
N _{org} väljuv	3,7	0,5	0,8	0
N _{üld} sisenev	47,2	52,8	53,9	69,8
N _{üld} väljuv	31,5	32,8	37,9	40,8
BHT sisenev	66	63	5,07	107
BHT väljuv	10	7,2	3,89	12

Lisa 2. Autori poolt pakutud katsete sisendi ning väljundi näitajad (Autori koostatud)

Autori poolt välja pakutud tsüklid	5.02.2014	19.03.2014	21.03.2014	2.04.2014
P _{üld} sisenev	3,06	5	5,04	5,88
P _{üld} väljuv	1,18	0,91	2,63	2,4
NH ₄ sisenev	34,1	41	36,8	42,8
NH ₄ väljuv	0,51	0,05	16,5	24,8
NO ₃ sisenev	4,6	1,4	11	6,1
NO ₃ väljuv	20,6	28,8	14,8	18,7
NO ₂ sisenev	0,86	0,98	0,34	1,2
NO ₂ väljuv	0,77	0,047	1,4	0,7
N _{org} sisenev	10,1	8,3	6,2	18,6
N _{org} väljuv	7,8	1,1	0	0
N _{üld} sisenev	49,7	50,7	54,3	68,7
N _{üld} väljuv	29,7	30,1	32,4	42,4
BHT sisenev	32	56	5,04	102
BHT väljuv	12	3,4	2,63	5,4

Lisa 3. Suurupi reoveepuhastusjaama tehnoloogiline protsessi skeem [18]

