

TARTU ÜLIKOOL
Loodus- ja täppisteaduste valdkond
Keemia Instituut
Keskkonnatehnoloogia õppekava

Jana Kroman

SETTEKÄITLUSE VÕRDLUSALUSE KOOSTAMINE
LÄÄNEMERE PIIRKONNA REOVEEPUHASTITELE
Bakalaureusetöö (12 EAP)

Juhendajad: PhD Taavo Tenno
MSc Kati Klein

Kaitsmisele lubatud:

Tartu 2018

Settekäitluse võrdlusaluse koostamine Läänemere piirkonna reoveepuhastitele

Käesolev bakalaureusetöö keskendub IWAMA (*Interactive Water Management*) projekti raames, mille peamine eesmärk on reovee ja muda käitlemise parandamine Läänemere piirkonnas. Selle projekti raames küsitleti 66 reoveepuhastit üheksas riigi ning saadud andmeid kasutati ühtse Läänemere piirkonna reoveepuhastite settekäitluse võrdlusaluse koostamiseks. Antud bakalaureusetöö toetab projektis koostatud aruannet ning siin on saadud andmeid käsitletud spetsiifilisemalt. Ühtse võrdlusaluse koostamine on vajalik, sest Läänemere piirkonna reoveepuhastite settekäitlus on väga erinev. Suures ulatuses erinevad nii reoveepuhastite suurused, kasutatud tehnoloogiad, saavutatud efektiivsused ning töödeldud reoveesette kasutamine.

Märksõnad: reoveesete, reoveesette käitlemine, Läänemeri

CERCS kood: T270 keskkonnatehnoloogia, reostuskontroll

The benchmarking compilation for wastewater treatment plants in the Baltic Sea Region

This paper focuses on IWAMA (Interactive Water Management) project, which aim is to improve wastewater management and advance the sludge handling in the Baltic Sea Region. Within the framework of this project, 66 wastewater treatment plants were surveyed in the nine countries and the data were used to compile the benchmarking for the sewage treatment plants in the Baltic Sea Region. This bachelor's thesis supports the report compiled in the project, and the data, which are analyzed in this work, are discussed more specifically. Compilation of a common benchmarking is necessary because the sewage treatment plants in the Baltic Sea area are very different. To a large extent, the sizes of wastewater treatment plants, used technologies, achieved efficiencies and the use of treated sewage sludge are different.

Keywords: sewage sludge, sewage sludge treatment, Baltic Sea

CERCS kood: T270 Environmental Technology, pollution control

SISUKORD

SISSEJUHATUS	4
1 KIRJANDUSE ÜLEVAADE	5
1.1 Läänemere seisund.....	5
1.2 Läänemere kaitse	6
1.3 HELCOM-i Läänemere tegevuskava.....	6
1.4 Reoveesete	8
1.4.1 Reoveesete käitlemine	9
1.4.2 Seadusandlus.....	10
1.5 Reoveesete käitlustehnoloogiad.....	12
1.5.1 Humifikatsioon	12
1.5.2 Kompostimine.....	12
1.5.3 Metaankääritus.....	13
1.5.4 Kuivatamine.....	13
1.5.5 Põletamine.....	14
2 ANDMED JA METOODIKA	15
2.1 Projekti kirjeldus.....	15
2.2 Andmete kirjeldus.....	15
2.3 Metoodika	15
3 TULEMUSED JA ARUTELU	17
3.1 Tihendamine ja tahendamine	17
3.2 Kasutatavad tehnoloogiad.....	21
3.2.1 Biogaasi teke metaankääritusel.....	22
KOKKUVÕTE	23
SUMMARY	24
KASUTATUD KIRJANDUS.....	25

SISSEJUHATUS

Settekäitlus on reoveepuhastis väga oluline etapp. Tuleb tagada reoveesette hügieniseeritus ja stabiliseeritus, kuid erineva suurusega reoveepuhastitele on rakendatud väga erinevaid tehnoloogiaid, mida on omavahel keeruline võrrelda. Pole informatsiooni Läänemere piirkonnas olevate enamlevinud tehnoloogiate ning nende efektiivsuste kohta.

Reoveesete tekib reovee puhastuse tulemusena ja see sisaldab suures koguses fosforit, aga sageli ka ohtlikke aineid. Eestis reguleerivad reoveesette käitlust mitmed õigusaktid, millega on kindlaks määratud nõuded reoveesette töötlemisele. Oskuslikul töötlemisel saab toota energiat või kasutada seda haljastuses või põllumajanduses.

Bakalaureusetöö eesmärgiks on settekäitluse võrdlusaluse koostamine, mis on vajalik sellepärast, et Läänemere piirkonna reoveepuhastite settekäitlus on väga erinev. Suures ulatuses erinevad nii reoveepuhastite suurused, kasutatud tehnoloogiad kui ka saavutatud efektiivsused ning töödeldud reoveesette kasutamine.

Töö koosneb kahest osast, kus esimeses osas antakse ülevaade Läänemere seisundist, reoveesetest ning selle kasutatavast käitlustehnoloogiast ja seadmetest. Järgnevalt koostatakse settekäitluse võrdlusalust küsimustiku järgi. Andmeid koguti 2016. aasta sügisest kuni 2017. aasta kevadeni e-maili teel.

1 KIRJANDUSE ÜLEVAADE

1.1 Läänemere seisund

Läänemeri on keerukas ökosüsteem paljude füüsiliste, keemiliste ja bioloogiliste koostoimetega, mis toimivad erinevates ajalistes ja ruumilistes mõõtmetes. Oma eriliste geograafiliste, klimatoloogiliste ja okeanograafiliste omaduste tõttu on Läänemeri väga tundlik inimtegevuse keskkonnamõjudele oma mere- ja valgatal, mis on koduks üle 85 miljonile inimesele. Seega mõjutavad keskkonna olukorda nii looduslikud kui inimtekkelised tegurid [1-2].

Läänemeri on väike ja madal meri, mida ühendavad Põhjamere ja Atlandi ookeaniga ainult kitsad Taani väinad. Läänemerd ümbritsevad täielikult üheksa riigi maad: Eesti, Läti, Leedu, Valgevene, Venemaa, Poola, Saksamaa, Rootsi, Soome (joonis 1). Veevahetus Läänemere ja avamere vahel on nii aeglane, et eksperdid tunnistavad, et kogu Läänemere vee asendumiseks võib kuluda 30 – 50 aastat [1,3]. Mageda vee toide valgatalalt on suurem kui soolase vee sissevool Põhjamereest. Piiratud veevahetus tähendab seda, et toitaineid ja kahjulikud

kemikaalid nagu raskemetallid võivad jääda pikka aega Läänemere [4].



JOONIS 1. LÄÄNEMERI ON ÜMBRITSETUD ÜHEKSA RIIGIGA, KELLE REOSTUSKOORMUS ON LÄÄNEMERE SEISUNDILE OLULINE [3].

Läänemere veetaimestik ja –loomastik on unikaalne. Magevee- ja soolase vee liigid elavad siin kõrvuti. Läänemeres leitud liikide koguarv on suhteliselt madal, ent mõned liigid on äärmiselt rohkearvulised. Merelised toiteahelad on samuti lihtsamad kui ookeanis. Need tegurid muudavad mereelu väga tundlikuks keskkonna muutuste suhtes [4].

Eutrofeerumist peetakse kõige suuremaks Läänemerd ohustavaks ökoloogiliseks probleemiks. See protsess on toitainete nagu lämmastiku- ja fosforühendite üleliigse juurdevoolu tagajärg. Probleemaatilised toitainete allikad on reovesi, väetatud põllumaa, liiklusheited, elektrijaamad, tööstusettevõtted ja kalakasvatused [2,4]. Selle tagajärgi nagu veekvaliteedi halvenemine, vetikate õitsemine, elupaikade ja liigilise koosseisu muutumine jälgitakse alates 1980-ndatest aastatest üha rohkem [5].

Igal aastal siseneb Läänemerele toitaineid keskmiselt 640 000 tonni lämmastikühendeid ja 30000 tonni fosforühendeid. Riik, mis vastutab sellise toitainete saaste suurima osakaalu eest, on Poola (34% fosfori koormusest ja 27% lämmastikukoormusest). Soome moodustab 10% kogu Läänemere fosfori koormusest ja 11% lämmastikukoormusest. Igal aastal sadestub Läänemerele lisaks enam kui 200 000 tonni lämmastikuühendeid atmosfäärist [4].

1.2 Läänemere kaitse

Viimastel aastakümnetel on saasteainete koormus linnadest, suurlinnadest ja tööstusettevõtetest märgatavalt vähenenud tänu reoveekäitluse paranemisele. Vaatamata toitainekoormuse vähenemisele ei ole Läänemere tingimused piisavalt paranenud. Taastumine on aeglustunud fosforühendite vabanemise tõttu hapnikku tarvitavatest merepõhja setetest. Seda nähtust tuntakse sisekoormusena, see võib toita ka vetikate kasvu. Mõne aastaga võib sisekoormuse tase ületada merre sisenevate fosforühendite väliskoormuse [2,4].

Selleks et taastada bioloogilist mitmekesisust ja hoida alal elutähtsaid ressursse, mille eest kannab hoolt merekeskkond, on alates 1974. aastast alla kirjutatud mitu rahvusvahelist kokkulepet ja poliitilist raamistikku rahvusvahelisel ning riiklikul tasemel [6]. Need raamistikud ja kokkulepped taotleavad rea erinevate vahendite ja juhtimismeetmete rakendamist, kaasa arvatud peamise osana merekaitsealade määramist, mis kindlustab, et suuremate piirkondade kogu ökosüsteemikompleks muutub paindlikumaks välisohtude nagu eutrofeerumine – suhtes [7].

1.3 HELCOM-i Läänemere tegevuskava

HELCOM-i Läänemere tegevusplaan, mis võeti vastu Krakowis, Poolas 15. novembril 2007. aastal on mitmepoolne ministrite avaldus, milles HELCOM-i lepinguosalisel, rannikumaade valitsused ja Euroopa Komisjon kohustuvad viima ellu konkreetseid meetmeid saavutamaks kokkulepitud ökoloogilisi eesmärgi ja lõpptulemusena aastaks 2021 Läänemere hea

keskkonnaseisundi [6,8].

HELCOM võttis otsuse reguleerida ja anda soovitusi liikmesriikide settekäitlemisele. Reoveesette temaatikat käsitlev HELCOM-i Säästvate Põllumajandustavade töörühm (*Group of Sustainable Agricultural Practices*) on tegelenud soovitude koostamisega. Need soovitud suunavad rannikuriike keskkondlikult ohutumate praktikate poole, samuti juhivad tähelepanu reoveesette majanduslikule potentsiaalile [9]. Vastavalt töörühma avaldatud soovitudele, reoveesette põllumajanduses kasutamisel esitatud soovituslikud nõuded hügieniseerimisele, raskmetallidele ja raskesti lagunevatele orgaanilistele ühenditele ning samuti on toodud esile reoveesette piirmäärad põllumajanduses kasutamise puhul (Tabel 1).

TABEL 1. HELCOM-I SÄÄSTVATE PÕLLUMAJANDUSTAVADE TÖÖRÜHMA SOOVITUSED REOVEESETTE KVALITEEDILE PÕLLUMAJANDUSES KASUTAMISEL [10].

	Kontsentratsioon kuivaine suhtes [mg/kg KA]	Kontsentratsioon fosfori suhtes [mg/kg P]
Kaadmium (Cd)	1,5	40
Vask (Cu)	900	21 400
Nikkel (Ni)	80	1400
Plii (Pb)	150	1600
Tsink (Zn)	5000	800
Elavhõbe (Hg)	1	40
Kroom (Cr)	300	2100

Lisaks raskmetallide kontsentratsioonipõhilisele piirnормidele, töörühm esitas ka raskmetallide kogused pinnase piires hektari kohta (Tabel 2).

TABEL 2. HELCOM.I SÄÄSTVATE PÕLLUMAJANDUSTAVADE TÖÖRÜHMA SOOVITUSED RASKMETALLIDE KOORMUSE KOHTA [HE HEKTARI PINNASE KOHTA [10].

Raskmetall	Koormus [g/ha aastas]
Kaadmium (Cd)	0,55
Vask (Cu)	300
Nikkel (Ni)	25
Plii (Pb)	25
Tsink (Zn)	600
Elavhõbe (Hg)	0,8
Kroom (Cr)	40

1.4 Reoveesete

Veeseaduse tähenduses on reoveesete reoveest füüsikaliste, bioloogiliste või keemiliste meetoditega eraldatud suspension [11]. Jäätmeseaduse vastavalt käsitletakse reoveesetet kui reovee puhastamise tulemusena tekkinud jäätmeid, mida peab käitlema vastavalt kehtivatele õigusaktidele [12]. Keskkonnaministri määruse „Reoveesete põllumajanduses, haljastuses ja rekultiveerimisel kasutamise nõuded¹⁴” mõistes on reoveesete valdavalt biolagunevast materjalist koosnev tavajääde [13].

Reoveesete tekib jäägina reoveekäitluse protsessis. See on vee, anorgaaniliste ja orgaaniliste materjalide segu, mis on eemaldatud reoveest, mis pärineb erinevatest reoallikatest, sealhulgas majapidamistest, tööstustest, ettevõtetest, sademetevee äravoolust maanteedelt ja mujalt sillutatud aladelt füüsilise, bioloogilise ja/või keemilise käitlemise läbi [14].

Kuna suureneb ülemaailmne nõudlus taastuvenergia ja orgaaniliste ainete järele, võivad orgaanilised jäätmed, kaasa arvatud reoveesete, olla sellel eesmärgil üks kättesaadavaid ressursse. Seda substraati saab kasutada energiaressursina elektrienergia ja soojustootmiseks tavapäraste ja uute tehnoloogiatega. Enamgi, reoveesetet saab pidada substraadiks pinnase

väetamiseks ja tervendamiseks kui rakendustehnoloogia võimaldab saada kvaliteetset toodet. Selline reoveesette taaskasutamine on majanduslikult elujõuline ja keskkondlikult jätkusuutlik võrreldes jäätmekäitluse ja –ladestamisega [15].

Eesmärkide saavutamiseks nõuavad reoveekäitlustoimingud hoolikat reoveesette haldamist mitte ainult pärast käitlusettevõttest teisdaldamist, vaid ka käitlusprotsessi kestel. Reoveesete kipub sisaldama soovimatuid ja ohtlikke ühendeid nagu raskmetalle, aeglaselt – või mittebiolagunevaid orgaanilisi aineid ja patogeene (viiruseid, baktereid jne) [15,16]. Samuti on sete väga veerikas (koosneb rohkem kui 80% veest), võib haiseda, sisaldab hulgalist patogeene. Patogeeneid suudavad osutada tugevat vastupanu mitmesugustele keskkonnamuutustele, sealhulgas ka reoveesette käitluse protsessidele [16-17].

1.4.1 Reoveesette käitlemine

Reoveesette käitlemine, nõuetekohane kõrvaldamine ja taaskasutamine on lahutamatu osa reoveepuhastusprotsessides negatiivsete keskkonnamõjude vältimiseks.

Reoveesette tihendamine on algne käitlemise etapp veesisalduse vähendamiseks. Käitlemata settes on veesisaldus ~97%. Gravitatsiooniline tihendamine on üks levinumaid sette tihendamise meetodeid, mis ei nõua põhiliselt suurt opereerimisvajadust, maksimaalselt energiatarvet ega keemikaalide kasutamise vajadust, vaid nõuab suurt pindala. Selle meetodi puhul toimub mahutites raskusjõu mõjul osakeste põhjasettimine, kus muda kuivainesisaldus saavutatakse 2 – 3%. [18]. Pärast tihendamist on sete veel vedelas olekus, seetõttu lisaks tihendamisele suurendatakse kuivainesisaldust settes tahendamise teel.

Reoveesette tahendamine on käitlemisprotsess, mille käigus väheneb sette veesisaldus veelgi rohkem. Tahendamise protsess on vajalik ka lõppkäitluseks, vähendades mahtu, vähenevad otseselt lõppkäitluse opereerimiskulud. Sette tahendamiseks kasutatakse mitmeid meetodeid: lintpress, kruvipress või dekantertsentrifuug. Seadme valik tavaliselt sõltub tahendamist vajava sette kogusest ja protsessi ruumivajadusest. Aga üldlevinud meetodina reoveesette tahendamiseks loetakse tsentrifuugimist. Pärast tihendamist võetud settele lisatakse polümeeri ning suunatakse mehaanilisele tahendusseadmele. Tahendamise käigus suureneb sette kuivainesisaldus kuni 30%-ni ning sete ei ole enam pumbatav [18].

Reoveesette tihendamise ja tahendamise tulemusel ei toimu sette täielikku stabiliseerumist, mis tähendab, et kas nende etappide vahel või järel peab veel toimuma reoveesette

lõppkäitlus, mille peale setet käsitletakse käideldud settena. Sette lõppkäitluse meetoditeks suurtes reoveepuhastites on näiteks kompostimine, põletamine või anaeroobne kääritsemine. Väikestes võib kasutada muud tehnoloogiat, milles stabiliseerimine toimub pikema aja jooksul, see on näiteks humifikatsioon. Lõppkäitluse järel võib setet taaskasutada põllumajanduses, haljastuses või rekultiveerimisel [13].

1.4.2 Seadusandlus

Reoveesette käitlemist ja selles sisalduvate ainete piirnõrmi reguleerivad järgmised Euroopa Nõukogu õigusaktid: Nõukogu direktiiv 1986/278/EÜ ja töödokument *Working Document on Sludge and Biowaste* direktiivi 1986/278 muutmiseks [19-20].

Eestis reguleerivad reoveesette käitlemist järgmised õigusaktid: Keskkonnaministri määrus nr 78 „Reoveesette põllumajanduses, haljastuses ja rekultiveerimisel kasutamise nõuded¹“, mis baseerub Euroopa Nõukogu direktiivil 1986/278/EÜ, Veeseadus ning Jäätmeseadus [11-13].

Reoveesette töötlemine peab tagama, et käideldud sette taaskasutamisel pinnase kvaliteeti ei kahjustataks. Seepärast nõuetekohane ja keskkondlikult jätkusuutlik korraldamine enne lõppkäitlust on nõutav. Kuigi Keskkonnaministri määrus nr 78 baseerub direktiivil 86/278/EMÜ, on Eestis kehtestatud nõuded tunduvalt rangemad, kuna Eestis paiknevad veekogud on reostustundlikud [21]. Tabelis 3 on esitatud pinnasesse viidava reoveesette (mg/sette KA kg kohta) ja reoveesetega töödeldava pinnase (mg/pinnase KA kg kohta) raskmetallide sisalduse piirnormid.

TABEL 3. EUROOPA NÕUKOGU DIREKTIIVI 86/278/EMÜ JA KESKKONNAMINISTRI MÄÄRUSE NR 78 RASKMETALLIDE PIIRNORMID [13,19].

Raskmetall	86/278/EMÜ piirnormid		Määrus nr 78 piirnormid	
	mg/sette KA kg kohta	mg/pinnase KA kg kohta	mg/sette KA kg kohta	mg/pinnase KA kg kohta
Kaadmium (Cd)	20 – 40	1 – 3	20,0	3,0
Vask (Cu)	1000 – 1750	50 – 140	1000,0	50,0
Nikkel (Ni)	300 – 400	30 – 75	300,0	50,0
Plii (Pb)	750 – 1200	50 – 300	750,0	100,0
Tsink (Zn)	2500 – 4000	150 – 300	2500,0	300,0
Elavhõbe (Hg)	16 – 25	1 – 1,5	16,0	1,5
Kroom (Cr)	–	–	1000	100,0

Töötlemata reoveesette kasutamine Eestis on keelatud, kuid direktiivi 86/278/EMÜ kohaselt võivad liikmesriigid enda kehtestatud tingimuste kohaselt anda loa töötlemata reoveesetete kasutamiseks juhul, kui need pritsitakse või mingil muul viisil viiakse pinnasesse ning ei ületa direktiivis kehtestatud piirnorme [19]. Samuti reoveesete peab allutama bioloogilisele, keemilisele või kuumtöötlemisele, pikaajalisele ladustamisele või muule sobivale protsessile, mis on kavandatud selleks, et vähendada selle käärimist ja terviseriske, mis tulenevad selle kohaldamisest enne kasutamist põllumajanduses [22].

1.5 Reoveesette käitlustehnoloogiad

1.5.1 Humifikatsioon

Humifikatsioon on tehnoloogia, kus tihendatud või tahendatud sete jaotatakse üle kogu maapinna ning peale istutatakse taimestik (nt pilliroog). Pikema aja möödudes (5 – 10 aastat) humifitseerub sete ning saavutatakse kõrge toitainesisaldusega stabiliseerunud ja humifitseerunud kasvupinnas.

Harilik pilliroog (*Phragmites communis*) on eriti sobiv reoveesette humiseerimiseks. Isegi kui settekiht suureneb, moodustab see uued võsundid ja selle risoomid levivad kõrgematesse substraadikihtidesse. Seega jääb muda liikumatuks ja laguneb heade omadustega huumuseks. Mõne aasta pärast saab huumust teisaldada ja kasutada aianduses. Selline tehnoloogia on sobilik nii suurustele puhastitele kui ka väikestele (alla 5000 ie), kus on piisavalt ruumi väljakute rajamiseks [18,23].

1.5.2 Kompostimine

Reoveesette kompostimine on kontrollitud tingimustes toimuv tahendatud settes orgaanilise aine aeroobne lagundamise protsess [24]. Komposteerimisel kasutatakse tugiainet (nt turvas, põhk, hakkpuit), mis aitab alandada ammoniaagi ja muude lenduvate ühendite emissiooni komposteerimise ajal [26]. Samuti aitab tugiaine muuta kompostitavat materjali poorsemaks ja kohevamaks, mis teeb paremaks õhu liikumist, vee imendumist ning toetab mikoobide aktiivsust, lisaks suurendab orgaanilise aine stabiilsust ja tõkestab patogeenide elutegevust [28]. Kuna tugiaine mõjutab kogu komposteerimisprotsessi efektiivsust, on tähtis valida sobiv tugiane, sobivas koguses [28,29].

Olulised parameetrid kompostimisel on temperatuur, pH, aeratsioon, niiskussisaldus ning kompostitava materjali omadused (osakeste suurus, toitainete sisaldus ning süsiniku ja lämmastiku suhe) [26-27].

Peamised tehnoloogiad, mida kompostimisel kasutatakse on reaktorkompostimine ja aunkompostimine [25]. Reaktorkompostimine on tehnoloogia, mis toimub spetsiaalses kinnises reaktoris, kus materjali segatakse, ühtlustatakse, niisutatakse ja soojendatakse. Aunkompostimise puhul ladustatakse reoveesete aunadesse, mida aeroobsena püsimise eesmärgil aeg-ajalt segatakse. Reaktorkompostimise tehnoloogia on tehniliselt keerulisem kui aunkompostimise oma [18,25].

Reoveesette kompostimisel on kõige enam levinud viis aunkompostimine, kuna see on suhteliselt odav ja tehniliselt lihtne ning kontrollitud tingimustes on võimalik toota kõrge kvaliteediga ning turustamiseks sobilikku komposti. Kompostimist saab rakendada väiksemate ja keskmise suurustega reoveepuhastites [18].

1.5.3 Metaankääritus

Metaankääritus on paljulubav loodussõbralik orgaanilise biomassi käitlemise lahendus. Selle protsessi käigus tõstetakse anaeroobsetes tingimustes temperatuuri, mille tõttu lagunevad kergemini orgaanilised süsinikuühendid anorgaanilisteks ühenditeks. Süsinik eraldub peamiselt gaasilise metaanina ning lämmastik ja fosfor vees ammoonium- ja fosfaationina. Reoveesette metaankääritamise tulemusena on võimalik saada 140 – 210 liitrit metaani kilogrammi reoveesette kohta. Mida lühem on olnud muda viibeaeg reoveepuhastis, seda suurem on saadava metaani kogus [30-31].

Reoveesette anaeroobne lagundamise protsessi saadusteks on biogaas ja stabiliseeritud jääk [32]. Teadaolevalt reoveesette ja lisasubstraadi (biolagunevad jäätmed, sõnnik) kooskääritamine on otstarbekas tõhusama protsessi saamiseks, sellepärast et reoveesete on toormaterjalina kasutuseks üsna väikese biogaasi tootlikusega. Reoveesete peab olema tihendatud kuni 6% kuivainesisalduseni, peale mida juhitakse seda metaantanki. Sete kuumutakse 1 või 2 tunni jooksul 70 kraadini hügieeniseerituse nõude saavutamiseks [32-33].

Biogaasi kasutatakse soojuseks või elektriiks. Soojusenergiat tarvitatakse kõigepealt, et setet soojendada ning talvel reoveepuhastuskompleksi hooneid kütta. Elektrienergiat tarbitakse puhastil olevate seadmete jaoks ning ülejäänud müüakse elektrivõrku [33].

Metaantankist väljuvat settele rakendatakse järelkompostimist, sest nii saavutatakse kompost, kui sete on tahendatud kuni 25% kuivainesisalduseni ning segatud tugiainega. Saadud komposti võib edasi kasutada põllumajanduses, haljastuses või rekultiveerimises [32].

1.5.4 Kuivatamine

Reoveesette kuivatamine on efektiivne käitlusviis sette koguse vähendamiseks, mille saaduseks on steriliseeritud ja laialdaselt kasutatav lõpp-produkt [32]. Kuivatamise järel on kuivainesisaldus 50 – 70% vahel. Kuivatatud sette ei nõua täiendavat käitlemist, see tähendab, et seda võib vabalt ladustada ja kasutada põllumajanduses, rekultiveerimisel või kütusena.

Kõige levinum viis sette kuivatamiseks on kompostimine, mille eesmärk on stabiliseerimine ning tulemi saavutamine. Tavaliselt on komposti käitlemisjärgne kuivainesisaldus ~50% kuivaine juures [33]. Samuti on levinud termiline kuivatamise tehnoloogia, mille eesmärgiks on sette mahu ja massi vähendamine ning edasise põletamise või jäätmetega koospõletamise võimaldamine. Kogu protsess toimub kinnises ruumides, kust eralduv õhk läbib puhastusseadmed, mis teeb võimalikuks haisu leviku vältimise ümbritsevasse piirkonda [32].

Sõltuvalt settele soojuse ülekandmise meetoditest rakendatakse vastavat kuivatit: otsese kuivatusega kuivatit või kaudse kuivatusega kuivatit. Otsese kuivatusega on õhk-, lint-, keevkiht- ja trummelkuivatid, kus settel soojuskandjaga otsene kontakt. Kaudse kuivatusega on laba-, kiht-, kandik- ning ketaskuivatid, kus sete kontakteerub kuuma pinnaga, mida teiselt poolt kuumutatakse soojuskandjaga [33].

Sette kuivatamine vähendab jäätmete teket, aga selle tehnoloogia kasutamine on otstarbekas suurustele reoveepuhastitele, sest nõuab täiendavat energiat ning suurt settekäitluskulusid.

1.5.5 Põletamine

Põletamine on üks alternatiivvariant, kuidas on võimalik reoveesetet käidelda. Sette põletamise korral on vaja kasutusele võtta jäätmete põletamisele kehtestatud nõudeid ja tingimusi põletusjaamale [33]. Reoveesette põletamise puhul on kaks meetodit: sette põletamine koos teiste jäätmetega ja ainult sette põletamine. Ühelt poolt sette põletamine vähendab suurel määral jäätmete kogust, teiselt poolt utiliseerida tuleb tuhk, mille koosseisu seguneb fosfor. Fosfori eraldamise olulisus on rõhutatud HELCOM soovitusel.

Reoveesette põletamise käigus hävitavad kõik patogeenid ja bioloogiliselt raskesti lagunevad orgaanilised ühendid. Põletamiseks saab kasutada toorsetet, aeroobse reoveepuhastuse liigmuda ning ka anaeroobse kääritamise jääksetet. Selle protsessi efektiivsuseks on oluline põletava massi niiskusesisaldus ja orgaanilise aine sisaldus [10, 34].

Tehnoloogiliselt on mõistlikum teha investeering monopõletusjaamade rajamiseks, mis teeb võimalikuks fosfori paremat taaskasutust. Aga settekäitluskuludega arvestades, põletamine on otstarbekas peamiselt suurte reoveepuhastite puhul [32].

2 ANDMED JA METOODIKA

2.1 Projekti kirjeldus

IWAMA projekti eesmärgiks on parandada Läänemere piirkonna reoveemajanduse ressursitõhusust, arendades veekäitlejate suutlikkust ja viies ellu pilootinvesteeringuid energiatõhususe tõstmiseks ja reoveesette käitluse edendamiseks. Projekti periood on märts 2016 – veebruar 2019, mille raames tegevused jagunevad kolme põhilise valdkonna vahel: suutlikkuse tõstmine, nutikas energiamajandus ja nutikas settemajandus.

Projektis võtavad osa 9 riiki, 17 partnerit, 12 kaastööpartnerit. Partnerite hulgas on ülikoolid, vee-ettevõtjate ühendused, reoveepuhastid ja muud. Projekti raames ehitatakse üles tugev teadmispõhine, riikidevaheliselt toimiv vee-ekspertide võrgustik Läänemere piirkonnas ning tehakse neile ülesandeks võtta konkreetseid kohustusi Läänemere seisundi parandamiseks [35].

2.2 Andmete kirjeldus

Töö käsitleb võrdlusaluse koostamist Läänemere piirkonna reoveepuhastitele. Töös on kasutatud projektis välja töötatud küsimustiku abil kogutud andmeid. Andmeid koguti 2016. aasta sügisest kuni 2017. aasta kevadeni e-maili teel. Projekti eesmärgiks oli saada kokku 50 vastust erinevatest riikidest. Küsimustikud saadeti reoveepuhastitele üheksas riigis (Rootsi, Soome, Eesti, Läti, Leedu, Venemaa, Valgevene, Poola ja Saksamaa). 2017. aasta kevadeks oli kogutud 66 vastust erinevatest reoveepuhastitest, mis hõlmasid erinevat andmete kogust.

Küsimused keskendusid üldisele reoveepuhastiga seotud informatsioonile ning lisaks uuriti energitarbimisest ja konkreetsetest reoveepuhastites kasutatavate settekäitlustehnoloogiatest. Kogutud andmeid on piisav töötlemiseks, analüüsimiseks ning järelduste tegemiseks.

2.3 Metoodika

Võrdlusaluse koostamisel on kasutatud andmeid 66-st reoveepuhastusjaamast, kuid paljude reoveepuhastite erinevuste tõttu olid enamuse uuritud kriteeriumide eriproovid väiksemad. Riigid on võrdlusaluse koostamisel jagatud neljaks rühmaks:

1. Balti riigid (Eesti, Leedu, Läti),
2. Lõuna-Balti riigid (Poola, Saksamaa),

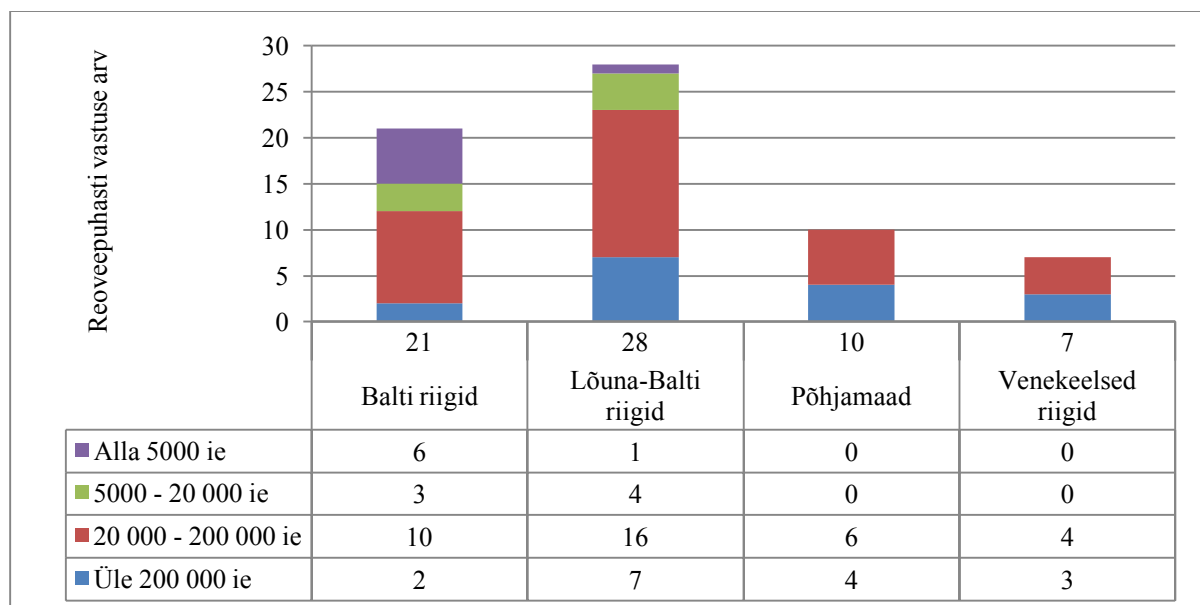
3. Põhjamaad (Rootsi ja Soome),
4. Venekeelsed riigid (Valgevene, Venemaa, Venemaa - Kaliningrad).

Andmeid on töödeldud ning tulemusi vormistatud programmiga Excel. Analüüsimisel on kasutatud ainult korrektselt täidetud vastused.

Käesolev bakalaureusetöö on täienduseks IWAMA projektis koostatavale aruandele Läänemere riikide reoveepuhastite ühtse settekäitluse võrdlusaluse koostamisest ega dubleeri sealseid tulemusi.

3 TULEMUSED JA ARUTELU

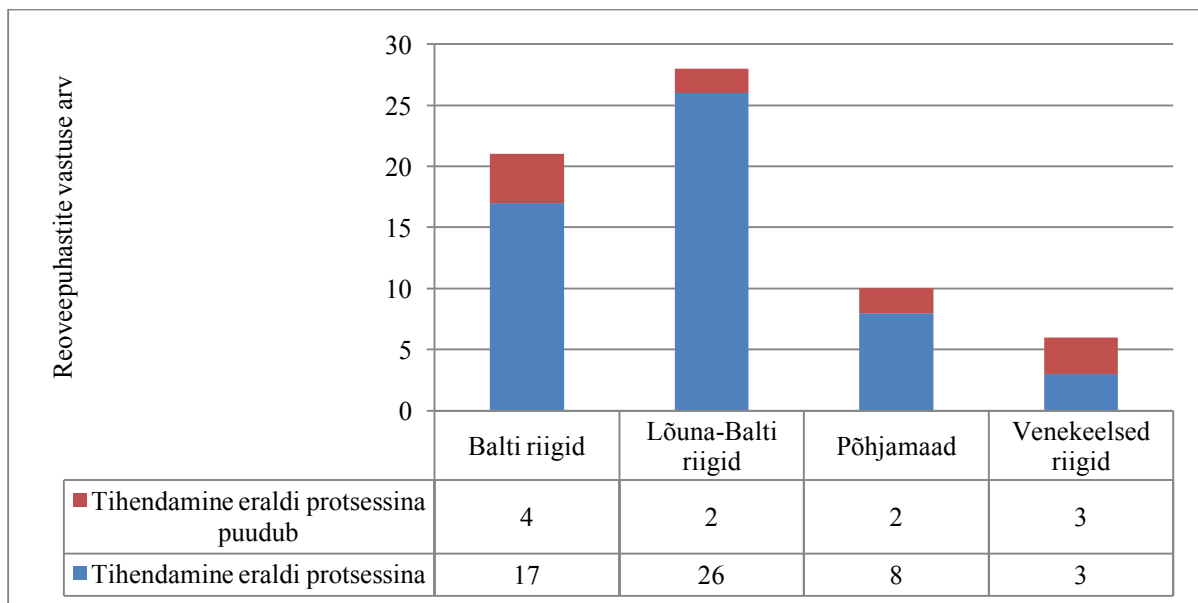
Uuringus osales 66 väga erineva suurusega reoveepuhastit, mis rakendasid erinevaid tehnoloogiaid. Just settekäitluses on tehnoloogia valikul reoveepuhasti suurus väga oluline. Kuigi kõigil neljas piirkonnas oli nii keskmise kui ka suure suurusega reoveepuhastid (20 000 – 200 000 ja üle 200 000 ie), vastasid küsimustikule väikesed ja väga väikesed reoveepuhastusjaamad (alla 5000 ie) ainult Lõuna-Balti ja Baltimaa riikidest.



JOONIS 2. REOVEEPUHASTITE KOORMUSE JAOTUS PIIRKONNA KAUPA.

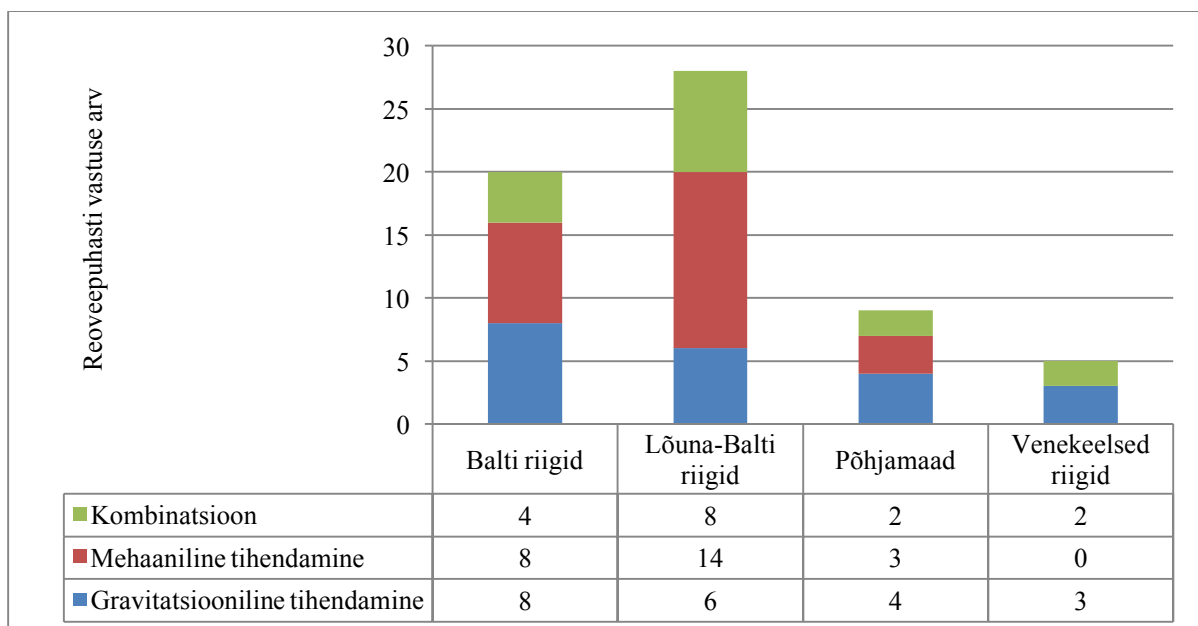
3.1 Tihendamine ja tahendamine

Sette tihendamise eesmärk on suurendada jääkmuda kuivaine sisaldust. Saadud andmete järgi 54 reoveepuhastites 65 vastanutest tihendamine toimub eraldi protsessina (joonis 3), kus sete tiheneb raskusjõu toimel või tihendatakse mehaaniliselt.

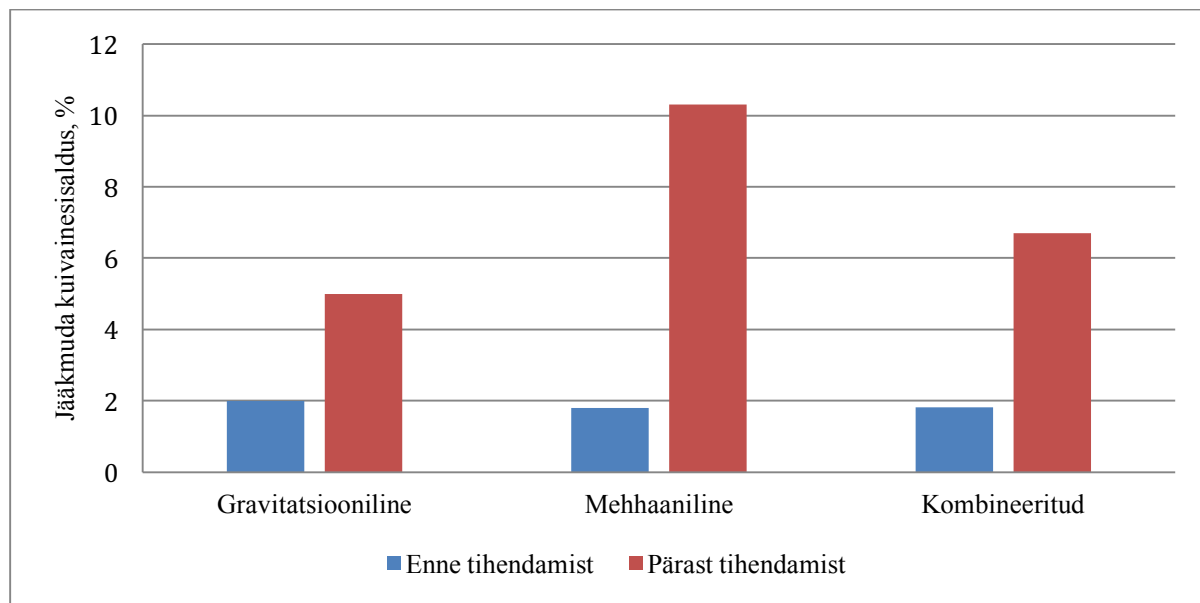


JOONIS 3. REOVEEPUHASTITE VÕRDLUS TIHENDAMISE PROTSESSI ERALDI VÕI KOOS TOIMUMISE KOHTA PIIRKONNA KAUPA.

Joonisel 4 on näha, et reoveepuhastid rakendavad nii gravitatsioonilist kui ka mehaanilist tihendamist, vähem on kasutusel kombineeritud meetod. Joonisel 5 on näha, et kui enne tihendamise protsessi on sette kuivainesisaldus ca 2%, siis kõige efektiivsem on mehaaniline tihendamine, mille puhul kuivaine sisaldus suurenes keskmiselt 10,2%-ni. Seega oli selles uuringus osalenud reoveepuhastite puhul mehaaniline tihendamine gravitatsioonilisest kaks korda efektiivsem. Mehaaniline tihendamine on kiirem, aga kallim, samas kui gravitatsiooniline meetod on kõige lihtsam ning odavam.

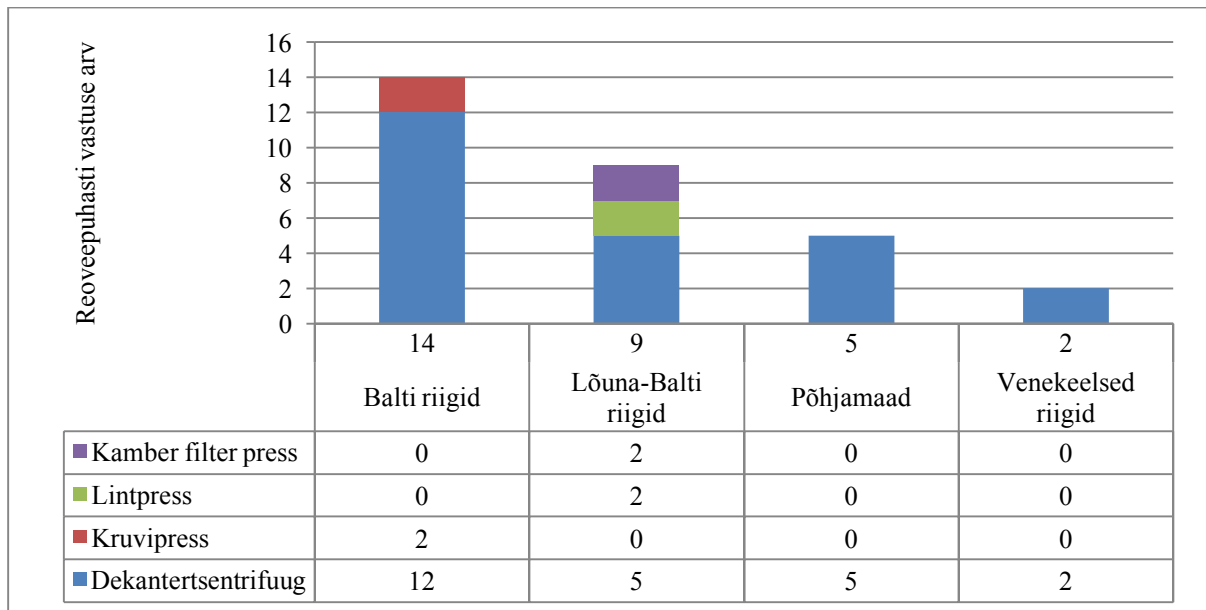


JOONIS 4. REOVEEPUHASTITE KASUTATUD TIHENDAMISE MEETODID PIIRKONNA KAUPA.



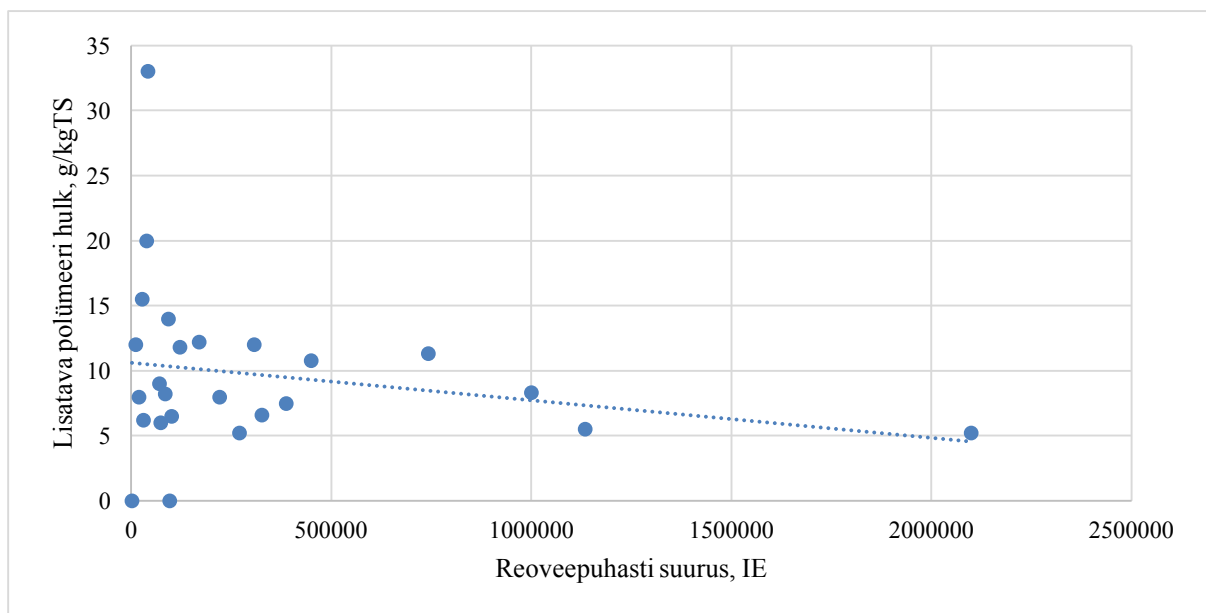
JOONIS 5. JÄÄKMUDA KUIVAINESISALDUS ENNE JA PÄRAST TIHEDAMISE METOODI KASUTAMIST.

Vastused tahendamise kohta olid kasutatavad 30 reoveepuhasti kohta, millest 24 juhul kasutati tahendamiseks dekantertsentrifuugi ning 6 juhul pressi (lintfilterpress, kamberfilterpress või kruvipress) (Joonis 6). Võrreldes dekantertsentrifuugi efektiivsusi pressidega, siis ei tule keskmised tulemused suurel määral efektiivsemad. Dekantertsentrifuugi läbinud muda keskmine kuivaine sisaldus oli 22% ning pressidel 21%. Samas olid dekantertsentrifuugi kasutatavate reoveepuhastite veetustatud muda kuivainesaldused üsna sarnased (standardhälve 3,9%), aga presside tulemused erinesid omavahel väga suurel määral (standardhälve 9,1%, väärtused vahemikus 10,2 – 37,5). Seega ei saa nende andmete alusel hinnata, kas dekantertsentrifuug on muda tahendamisel efektiivsem kui pressid, kuid olemasolevate andmete põhjal võib neid pidada usaldusväärsemateks. Tõenäoliselt on ka seepärast leidnud need oluliselt laialdamist kasutust Läänemere piirkonna reoveepuhastites. Sõltuvalt sette omadustest on tsentrifuugitud sette kuivaine sisaldus kuni 30%. Tuleb märkida ka, et tsentrifuugimist kasutatakse eelkõige tema suure läbilaskevõime, lihtsuse ja kompaktsuse tõttu, mis määrab sellise valiku [18].



JOONIS 6. REOVEEPUHASTITE TAHENDUSSEADMETE JAOTUS PIIRKONNA KAUPA

Suurema kuivaine sisalduse saamiseks lisatakse tsentrifuugidesse polümeeri. Lisatava polümeeri kohta oli saadud vastused 28 reoveepuhastites (joonis 7). Keskmiselt lisati tahendamise protsessi 10,8 grammi polümeeri 1 kilogrammi kuivaine kohta. Kolmel juhul ei lisatud protsessi üldse polümeeri. Lisatud polümeeri hulk on reoveepuhastites väga erinev ning puudus seos lisatava polümeeri koguse ning reoveepuhasti suuruse vahel. Lisatava polümeeri kogus sõltub nii jääkmuda omadustest kui ka mehaanilise tahendusseadme olemasolust ning selle efektiivsusest.

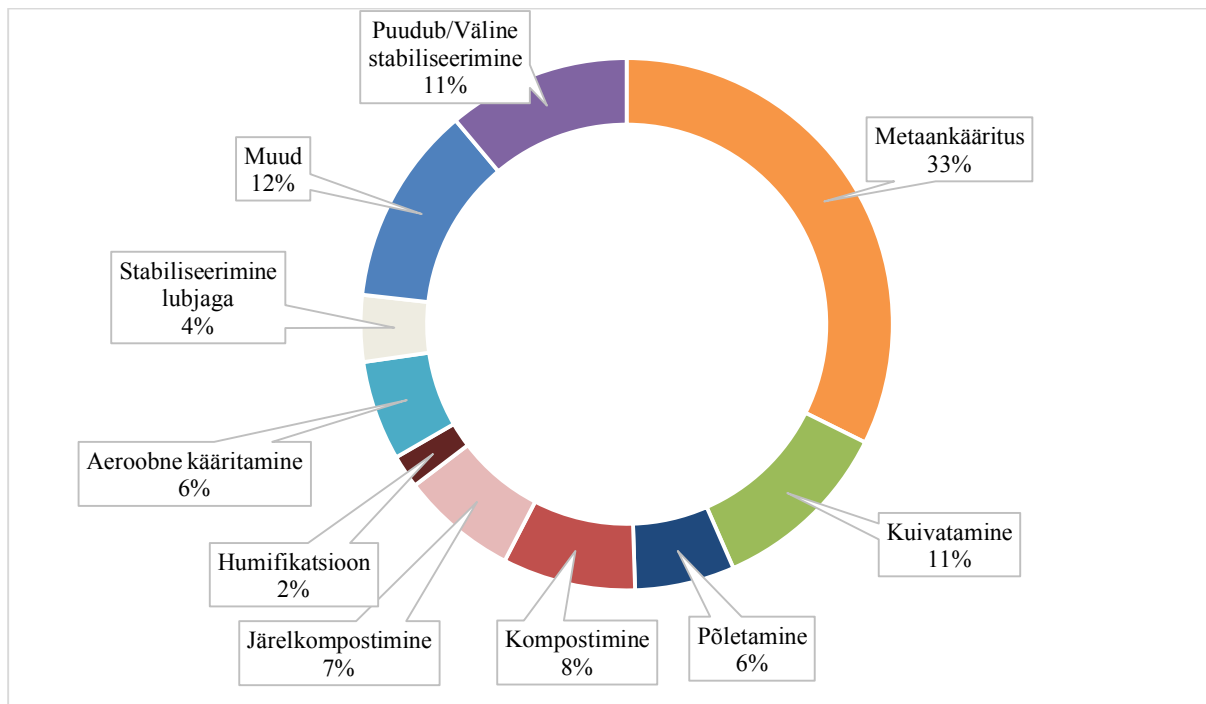


JOONIS 7. REOVEEPUHASTITE LISATAVA POLÜMEERITARVE.

3.2 Kasutatavad tehnoloogiad

Uuringus osalevates reoveepuhastites oli rakendatud palju erinevaid settekäitluse tehnoloogiaid. Just tehnoloogiate suur hulk muudab ühtse settekäitluse võrdlusaluse koostamise keeruliseks ja mahukaks.

Rakendatav settekäitlustehnoloogia sõltub suurel määral reoveepuhasti suuruselt. Paljude tehnoloogiate rakendamist piirab väikestes puhastites tehnoloogia rajamise ning opereerimise kulukus ning keerukus. Seetõttu rakendataksegi suuremates puhastites näiteks metaankääritust, kuivatamist, põletamist; väiksemates aga kompostimist ning humifikatsiooni. Joonisel 8 on näha, et kõige enam on uuringus osalenud Läänemere piirkonna reoveepuhastites kasutatud metaankääritust ning kompostimist (kompostimine 8% + järelkompostimine 7%).



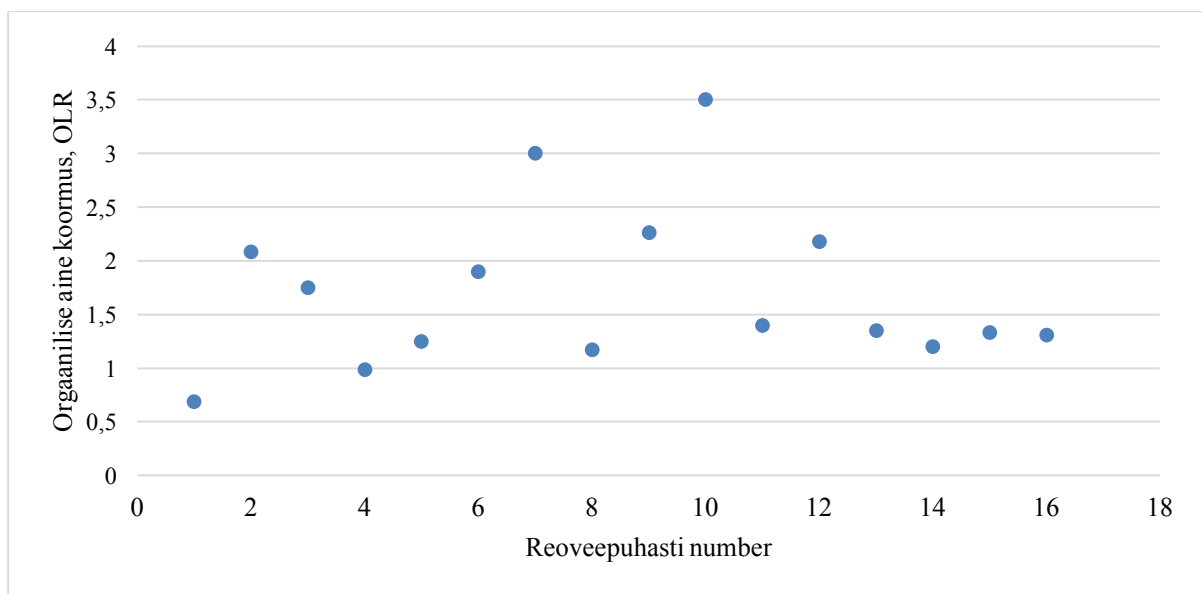
JOONIS 8. SETTEKÄITLUSTEHNOLOOGIATE KASUTUSE JAOTUS 66 REOVEEPUHASTITE PUHUL [36].

Kompostimist rakendati 15 reoveepuhasti juures, peamiselt (87%) aunkompostimist ning vähemal määral reaktorkompostimist. Aunkompostimine on odav ning võimaldab toota kõrge kvaliteediga komposti [18]. Reaktorkompostimist rakendas ainult 2 reoveepuhastit ehk 13%. Teadaolevalt tagatakse tõhusa kompostimisega nii sette stabiliseerimise kui ka hügieniseerituse nõuded.

3.2.1 Biogaasi teke metaankääritusel

Biogaasi teke on tundlik protsess, mis sõltub paljudest erinevatest parameetritest. Olulisimatena võib välja tuua metaankääritisse juhitava substraadi orgaanilise aine sisalduse ja selle biolagundatavuse; metaankääriti opereerimisparameetrid (orgaanilise aine koormus, lenduvate rasvhapete kontsentratsioon, pH jne). Üks väga oluline parameeter on OLR (*organic loading rate*). OLR on oluline parameter, kuna see näitab lenduvate tahkete ainete kogust, mis suunatakse kääritisse iga päev. Lenduvad tahked osakesed moodustavad orgaanilise materjali tahkete ainete osa, mida saab lagundada ning ülejäänud tahked osakesed on fikseeritud. “Fikseeritud” tahke aine ja osa lenduvatest tahketest ainetest ei ole biolagunevad [37].

Uuringus osalenud reoveepuhastite OLR väärtused erinesid suurel määral (0,7 – 3,5), keskmine väärtus oli aga 1,7 (joonis 9).



JOONIS 9. REOVEEPUHASTITE OORGAANILISE AINE KOORMUSED.

KOKKUVÕTE

Käesolevas töös koostati settekäitluse võrdlusalus Läänemere piirkonna reoveepuhastitele, milleks koguti andmeid IWAMA (*Interactive Water Management*) projekti raames. Settekäitluse võrdlusalus annab ülevaade reoveepuhastite suuruste, kasutatud tehnoloogiate ulatuse erinevusele ning saavutatud efektiivsusele.

Sette töötlemine avardab selle kasutusvõimalusi, seepärast see on reoveepuhastis väga tähtis etapp. Tehnoloogiliselt on Läänemere piirkonnas põhiliseks reoveesette käitlemise meetodiks sette anaeroobne stabiliseerimine, kuivatamine, põletamine suurpuhastites ning kompostimine väikepuhastites. Vähem kasutatakse lubjaga stabiliseerimist või humifitseerimist. Reoveesette anaeroobne töötlemine ja biogaasi energiakasutus on väga laialdaselt levinud, kuna see võimaldab suurendada energiasõltumatust ja saavutada efektiivne reoveesette käitlemine. Samal ajal erinevad aga kasutatavad opereerimisparameetrid, näiteks orgaanilise aine koormus (OLR) üsna suurel määral.

Võrdlusaluse kokkuvõtteks selgub, et ei ole ühist tehnoloogiat, meetodit ega seadmet sette paremaks töötlemiseks, kuna on levinud palju erinevaid tehnoloogiaid, mis sõltuvad puhastite suurusest, piirkonnast, kliimast ja teistest tingimustest. Seetõttu on settekäitluse võrdlusaluse koostamine mahukas protsess ning ei anna ühtseid vastuseid kõikidele reoveepuhastitele.

SUMMARY

This paper focuses on developing comparative benchmarks for the wastewater treatment plants in the Baltic Sea Region. The benchmarking is compiled within the framework of the IWAMA (Interactive Water Management) project. Answers were collected from wastewater treatment plants from developing benchmarks. Data were collected from autumn 2016 to spring 2017 by e-mail. The benchmarking for the wastewater treatment gives an overview of the differences in the scale of wastewater treatment plants, the extent of the used technologies and gained efficiency.

Sewage sludge treatment expands its use, therefore it is a very important process in the wastewater treatment plant. Technologically, anaerobic digestion, drying and incineration are one of the main technologies adopted in most large scale wastewater treatment plants for sewage sludge treatment and composting in the small scale wastewater treatment plants. Humification and lime stabilization are applied less often. The sewage sludge anaerobic digestion and the use of biogas energy are widespread as it allows increasing energy independence and developing efficient sewage sludge treatment. At the same time, operating parameters of methane digesters vary a lot within the Baltic Sea Region. It could be said that there is no common technology, methodology or equipment for efficient treatment of the sludge, as there are too many different technologies that depend on the size, location and many other parameters of the wastewater treatment plant. Therefore, developing a comparative benchmark is a complicated and laborious process, which does not give the uniform answers for all wastewater treatment plants.

KASUTATUD KIRJANDUS

- [1] J. H. Andersen, S. Korpinen, M. Laamanen, U. Wolpers (Eds.), Ecosystem Health of the Baltic Sea 2003–2007: HELCOM Initial Holistic Assessment. Balt. Sea Environ. Proc. No. 122, 2010, pp. 6-7, 9-10.
- [2] The BalticSTERN secretariat, 2013, State of the Baltic Sea – Background paper. Havsoch Vattenmyndighetens rapport 2013:4, pp. 5-8.
- [3] L. Bergström, H. Ahtiainen, L. Avellan, S. Estlander, L. Hoikkala, M. Ruiz, U. L. Zweifel (Eds.), First version of the ‘State of the Baltic Sea’ report – June 2017 – to be updated in 2018. HELCOM Holistic Assessment, 2017, p. 13
- [4] Ministry of the Environment, Finnish Environment Institute and Finnish Meteorological Institute, The State of the Baltic Sea: Marine life, environmental problems and conservation, Helsinki, 2009, pp. 4-7.
- [5] R. Varjopuro, E. Andrulowicz, T. Blenckner, T. Dolch, A. Heiskanen, M. Pihlajamäki, U. S. Brandt, M. Valman, K. Gee, I. Psuty, Coping with persistent environmental problems: systemic delays in reducing eutrophication of the Baltic Sea. Research, part of a Special Feature on Systems Science for Managing Europe’s Seas, Ecology and Society 19(4): 48. In press, online from 2014. DOI: <http://dx.doi.org/10.5751/ES-06938-190448>
- [6] M. Valman, Institutional stability and change in the Baltic Sea: 30 years of issues, crises and solutions. Marine Policy, Vol. 38, pp. 54–64. In press, online from 2013. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2012.05.019>
- [7] S. Ranft, R. Pesch, W. Schröder, D. Boedeker, H. Paulomäki, H. Fagerli, Eutrophication assessment of the Baltic Sea Protected Areas by available data and GIS technologies. Marine Pollution Bulletin, Vol. 63, Issues 5-12, pp. 209–214. In press, online from 2011. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2011.05.006>
- [8] H. Backer, J. M. Leppänen, A. C. Brusendorff, K. Forsius, M. Stankiewicz, J. Mentonen, M. Pyhälä, M. Laamanen, H. Paulomäki, N. Vlasov, T. Haaranen, HELCOM Baltic Sea Action Plan – A regional programme of measures for the marine environment based on the Ecosystem Approach. Marine Pollution Bulletin, Vol. 60, Issue 5, pp. 642–

649. In press, online from 16.12.2009. DOI:
<https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2009.11.016>

[9] HELCOM (Baltic Marine Environment Protection Commission - Helsinki Commission). Sewage Sludge Handling.

<http://www.helcom.fi/action-areas/industrial-municipal-releases/waste-water/sewage-sludge-handling> viimati alla laetud 23.05.2018.

[10] HELCOM (Baltic Marine Environment Protection Commission - Helsinki Commission), Drafting of HELCOM Recommendation on sewage sludge handling, 2015.

[11] Riigikogu, Veeseadus¹, 11. mai 1994, RT I 1994, 40, 655.

<https://www.riigiteataja.ee/akt/VeeS> viimati uuendatud 01.01.2018.

[12] Riigikogu, Jäätmeseadus¹, 28. jaanuar 2004, RT I 2004, 9, 52.

<https://www.riigiteataja.ee/akt/711166> viimati uuendatud 01.05.2004.

[13] Keskkonnaminister, Reoveesette põllumajanduses, haljastuses ja rekultiveerimisel kasutamise nõuded¹, 30. detsember 2002 nr 78, RTL 2003, 5, 48.

<https://www.riigiteataja.ee/akt/761407?leiaKehtiv> viimati uuendatud 02.12.2017.

[14] K. Usman, S. Khan, S. Ghulam, M. U. Khan, N. Khan, M. A. Khan, S. K. Khalil, Sewage Sludge: An Important Biological Resource for Sustainable Agriculture and Its Environmental Implications. American Journal of Plant Sciences, Vol. 3, No. 12(2012), pp. 1708-1721. In press, online from 2012. DOI:
<http://dx.doi.org/10.4236/ajps.2012.312209>

[15] M. Kacprzak, E. Neczaj, K. Fijałkowski, A. Grobelak, A. Grosser M. Worwag, A. Rorat, H. Brattebo, A. Almas, B. R. Singh, Sewage sludge disposal strategies for sustainable development. Environmental Research, Vol. 156, pp. 39–46. In press, online from 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envres.2017.03.010>

[16] Y. Sadeh, T.G. Poulsen, K. Bester, Impact of compost process conditions on organic micro pollutant degradation during full scale composting. Waste Management, Vol. 40,

pp. 31-37. In press, online from 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2015.03.003>

[17] M. Gong, Y. Wang, Y. Fan, W. Zhu, H. Zhang, Y. Su, Polycyclic aromatic hydrocarbon formation from gasification of sewage sludge in sub- and supercritical water: Effect of reaction parameters and reaction pathways. Waste Management, Vol. 72, pp. 287-295. In press, online from 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2017.11.024>

[18] I. S. Turovskiy, P. K. Mathai, Wastewater sludge processing. John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey, 2006, pp. 60-136.

[19] Euroopa Liidu Teataja, Nõukogu direktiiv 86/278/EMÜ, 12. juuni 1986, keskkonna ja eelkõige pinnase kaitsmise kohta reoveesetete kasutamisel põllumajanduses.

<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ET/TXT/PDF/?uri=CELEX:31986L0278&from=ET> viimati uuendatud 04.07.1986

[20] European Commission, Working Document Sludge and Biowaste, 21 September 2010, Brussels.

<http://www.dwa.de/portale/ewa/ewa.nsf/home?readform&objectid=AC9B268C90BC9930C12577E00045E8E2> viimati alla laaditud 20.05.2018.

[21] Keskkonnaministeerium, Keskkonnaagentuur, Asulareovee puhastamise direktiivi nõuete täitmine Eestis, Tallinn, 2014.

http://www.keskkonnainfo.ee/failid/Art16_aruanne_2014.pdf

[22] M.B. Pescod, Wastewater treatment and use in agriculture. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, 1992.

[23] H. Pabsch, Batch Humification of Sewage Sludge in Grass Beds. Cuvillier Verlag, Inhaberin Annette Jentzsch-Cuvillier, Göttingen, 2004.

[24] A. Cesaro, V. Belgiorno, M. Guida, Compost from organic solid waste: Quality assessment and European regulations for its sustainable use. Resources, Conservation and

Recycling, Vol. 94, pp.72-79. In press, online from 2015 DOI: <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2014.11.003>

[25] K. N. Shamma, L. K. Wang, Y. T. Hung (Eds.), Biosolids Treatment Processes, Vol. 6, Humana Press, New Delhi, 2007, pp.654-687.

[26] M. K. Iqbal, T. Shafiq, K. Ahmed, Characterization of bulking agents and its effects on physical properties of compost. Bioresource Technology, Vol. 101, Issue 6, pp. 1913-1919. In press, online from 2010. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2009.10.030>

[27] S. Uçaroğlu, U. Alkan, Composting of wastewater treatment sludge with different bulking agents. Journal of the Air & Waste Management Association, Vol. 66, Issue 3, pp. 288–295. In press, online from 14.12.2016. DOI: <https://doi.org/10.1080/10962247.2015.1131205>

[28] L. Zhang, X. Sun, 2016. Influence of bulking agents on physical, chemical, and microbiological properties during the two-stage composting of green waste. Waste Management, Vol. 48. pp.115–126. In press, online from 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2015.11.032>

[29] V. Banegas, J. L. Moreno, J. I. Moreno, C. Garcia, G. Leon, T. Hernandez, Composting anaerobic and aerobic sewage sludges using two proportions of sawdust. Waste Management. Vol. 27, pp. 1317–1327. In press, online from 21.11.2006. DOI: [10.1016/j.wasman.2006.09.008](https://doi.org/10.1016/j.wasman.2006.09.008)

[30] F. Kristjanpoller, A. Crespo, L. Barbera, P. Viveros, Biomethanation plant assessment based on reliability impact on operational effectiveness. Renewable Energy, Vol. 101, pp. 301-310. In press, online from 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2016.08.065>

[31] H. Carrere, Y. Rafrafi, A. Battimelli, M. Torrijos, J. P. Delgenes, G. Ruysschaert, Methane Potential of Waste Activated Sludge and Fatty Residues: Impact of Codigestion and Alkaline Pretreatments. Laboratoire de Biotechnologie de l'Environnement, Avenue des Etangs, Narbonne, 2010, pp. 71-76. In press.

[32] Aqua Baltic Consult, Regionaalsete reoveesete käitlemise lahenduste väljatöötamine

ja jäätmete lakkamise kriteeriumite väljatöötamine reoveesette kohta, IV osa aruanne, Tartu, 2015.

[33] Aqua Baltic Consult, Regionaalsete reoveesette käitlemise lahenduste väljatöötamine ja jäätmete lakkamise kriteeriumite väljatöötamine reoveesette kohta, II osa aruanne, Tartu, 2015.

[34] Aqua Baltic Consult, Regionaalsete reoveesette käitlemise lahenduste väljatöötamine ja jäätmete lakkamise kriteeriumite väljatöötamine reoveesette kohta, III osa aruanne, Tartu, 2015

[35] IWAMA (Interactive Water Management).

<http://www.iwama.eu> viimati alla laetud 11.05.2018.

[36] IWAMA, Sludge benchmarking UT – 05.04.2018.

[37] A. Babae, J. Shayegan, Effect of organic loading rates (OLR) on production of methane from anaerobic digestion of vegetables waste. Bioenergy Technology, pp. 411-417. In press, online from 2011. DOI: 10.3384/ecp11057411

Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks

Mina, Jana Kroman,

1. annan Tartu Ülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose “Settekäitluse võrdlusaluse koostamine Läänemere piirkonna reoveepuhastitele”, mille juhendajad on Taavo Tenno ja Kati Klein.
 - 1.1.reprodutseerimiseks säilitamise ja üldsusele kättesaadavaks tegemise eesmärgil, sealhulgas digitaalarhiivi DSpace-is lisamise eesmärgil kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni;
 - 1.2.üldsusele kättesaadavaks tegemiseks Tartu Ülikooli veebikeskkonna kaudu, sealhulgas digitaalarhiivi DSpace'i kaudu alates **30.05.2018** kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni.
2. olen teadlik, et nimetatud õigused jäävad alles ka autorile.
3. kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest tulenevaid õigusi.

Tartus, **29.05.2018**