



TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL
INSENERITEADUSKOND
Virumaa kolledž

**Reovee puhastamisprotsessis tekkinud mudakoogist
biogaasi tootmine, selle eraldamine ja kasutamine**

**Production of biogas from the sludge cake formed in the
wastewater treatment process, its separation and use**

KEEMIASTEHNOLÓGIA ÖPPEKAVA LÕPUTÖÖ

Üliõpilane: Vlada Stepanova

Üliõpilaskood: 183414EDKR

Juhendaja: Antonina Zguro, lektor

Kohtla-Järve, 2022

AUTORIDEKLARATSIOON

Olen koostanud lõputöö iseseisvalt.

Lõputöö alusel ei ole varem kutse- või teaduskraadi või inseneridiplomit taotletud. Kõik töö koostamisel kasutatud teiste autorite tööd, olulised seisukohad, kirjandusallikatest ja mujalt pärinevad andmed on viidatud.

“01” juuni 2022.

Autor: Vlada Stepanova

/ allkiri /

Töö vastab rakenduskõrgharidusõppe lõputööle/magistritööle esitatud nõuetele

“01” juuni 2022.

Juhendaja: Antonina Zguro

/ allkiri /

Kaitsmisele lubatud

“02” juuni 2022.

Kaitsmiskomisjoni esimees Antonina Zguro

/ nimi ja allkiri /

LIHTLITSENTS LÕPUTÖÖ ÜLDSUSELE KÄTTESAADAVAKS TEGEMISEKS JA REPRODUTSEERIMISEKS

Mina Vlada Stepanova (sünnikuupäev: 13.07.1999)

1. Annan Tallinna Tehnikaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose Reovee puhastamisprotsessis tekkinud mudakoogist biogaasi tootmine, selle eraldamine ja kasutamine, mille juhendaja on Antonina Zguro,
 - 1.1. reprodutseerimiseks säilitamise ja elektroonilise avaldamise eesmärgil, sealhulgas Tallinna Tehnikaülikooli raamatukogu digikogusse lisamise eesmärgil kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni;
 - 1.2. üldsusele kättesaadavaks tegemiseks Tallinna Tehnikaülikooli veebikeskkonna kaudu, sealhulgas Tallinna Tehnikaülikooli raamatukogu digikogu kaudu kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni.
2. Olen teadlik, et punktis 1 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile.
3. Kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta kolmandate isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest ja teistest õigusaktidest tulenevaid õigusi.

TalTech Inseneriteaduskond Virumaa kolledž

LÕPUTÖÖ ÜLESANNE

Üliõpilane: Vlada Stepanova, 183414EDKR

Õppekava, peeriala: EDKR16/17, Keemiatehnoloogia

Juhendaja: programmijuht (keemiatehnoloogia), lektor, Antonina Zguro,
antonina.zguro@taltech.ee

Lõputöö teema:

(eesti keeles) Reovee puhastamisprotsessis tekkinud mudakoogist biogaasi tootmine, selle eraldamine ja kasutamine

(inglise keeles) Production of biogas from the sludge cake formed in the wastewater treatment process, its separation and use

Lõputöö põhieesmärgid:

1. Uurida biogaasi tootmist mudakoogist
2. Metaantangi, membraanfiltrit ja metaani põlemisprotsessi arvutamine
3. Teha järeldus mudakoogi otstarbeka kasutamise kohta

Lõputöö etapid ja ajakava:

Nr	Ülesande kirjeldus	Tähtaeg
1.	Kirjanduse ülevaade antud teemal	21.03.2022
2.	Arvutusmetoodikate valimine	01.04.2022
3.	Arvutuste läbiviimine, tulemuste analüüs	20.04.2022
4.	Lõputöö vormistamine, presentatsiooni kokkupanemine	05.05.2022

Töö keel: eesti keel

Lõputöö esitamise tähtaeg: "09 " mai 2022. a

Üliõpilane: Vlada Stepanova

"01 " 02 2022a

/allkiri/

Juhendaja: Antonina Zguro

"01 " 02 2022a

/allkiri/

Programmijuht: Antonina Zguro

"01 " 02 2022a

/allkiri/

SISUKORD

EESSÕNA	7
SISSEJUHATUS	8
1. TEOREETILINE OSA.....	9
1.1 Reoveesette käitlemist sätestav Euroopa Liidu ja Eesti Vabariigi seadusandlus ..	9
1.2 Reoveesetete iseloomustus.....	10
1.2.1 Setete keemiline koostis	10
1.2.2 Setete omadused.....	11
1.3 Reoveesetete töötlemismeetodid	13
1.3.1 Tihendamine	14
1.3.2 Stabiliseerimine	15
1.3.3 Konditsioneerimine	15
1.3.4 Tahendamine	15
1.3.5 Saastest puhastamine	16
1.3.6 Termiline töötlemine	16
1.3.7 Termiline kuivatamine	17
1.3.8 Reoveesetete utiliseerimine.....	17
1.3.9 Reoveesetete likvideerimine	18
1.4 Biogaas.....	18
1.4.1 Setete anaeroobne kääritamine	19
1.4.2 CO ₂ ja CH ₄ kasutamine	23
1.4.3 Metaankääritustank.....	24
1.4.4 Gaaside eraldamine membraanide abil.....	26
2. NARVA LINNA REOVEEPUHASTUSJAAM	28
2.1 Reovee mehaaniline puhastus	28
2.2 Bioloogiline puhastus	30
3. ARVUTUSLIK OSA	34
3.1 Metaankääritustanki arvutused.....	34
3.2 CH ₄ ja CO ₂ eraldamine biogaasist membraanmeetodi abil.....	40
3.3 Biometaani põlemisprotsessi arvutused	42
KOKKUVÕTE	44
SUMMARY.....	45
KIRJANDUS	46

EESSÕNA

Selle lõputöö teema oli valitud autori ja juhendaja koostöö raames.

Reoveesette näol on tegemist pooltahke jääkmaterjaliga, mis moodustub kõrvalproduktina tööstuslike ja linnareovete töötlemisel. Puhastatud mudas sisalduvad mitmesugused biogeensed ja mitteorgaanilised saasteained (nagu bakterid, aga ka rasked metallid). Just sellel põhjusel ei kuulu puhastatud muda paljudes Euroopa riikides komposteerimisele ja seda ei kasutata põllumajanduslikel eesmärkidel, vaid see põletatakse või heidetakse merre.

Biogaas on gaas, mis tekib biomassi metaanilise lagunemise teel tänu anaeroobsete bakterite tööle. See sisaldab metaani ja süsihappegaasi. Lõputöös on vaadeldud sellised teemad nagu reovee puhastamisprotsess, biogaasi tootmine, eraldamine ja kasutamine.

Autor tänab abi eest heitveepuhastusjaama juhatajat Natalja Kurlingut andmete kogumisel ning lõputöö juhendajat Antonina Zgurod lõputöö kirjutamisel kõikides etappides.

Võtmesõnad: biogaas, biometaan, metaantank, mudakook, diplomitöö.

SISSEJUHATUS

Reoveesete on reovee puhastamise tagajärjel tekkiv kõrvalprodukt, mis sisaldab palju toitaineid ja muid ühendeid, mistõttu võib seda pidada heaks orgaaniliseks väetiseks. Samas võib see sisaldada ka erinevaid saasteaineid, näiteks raskmetalle, ravimijääke, haigusttekitavaid mikroorganisme jms, mis on ohtlikud nii keskkonnale kui ka inimestervisele. Reoveesettes sisalduvad toiteained oleks kasulik prügilasse ladestamise asemel ringlusesse suunata.

2016. aastal valmis uuring „Regionaalsete reoveesete käitlemise lahenduste väljatöötamine ja jäätmete lakkamise kriteeriumite väljatöötamine reoveesete kohta”, millest selgus, et kogu Eestis tekib aastas ligikaudu 167 000 kuupmeetrit töödeldud reoveesetet, kuid selle taaskasutamine on tihti problemaatiline. Samuti leiti uuringus, et Eestis on suur potentsiaal töödeldud reoveesete kasutamiseks põllumajanduses, haljastuses ja rekultiveerimisel [1]. See viitab käesolevas lõputöös käsitletud teema aktuaalsusele.

Narva linna reovete puhastusjaamas on olemas kaks reoveesete jaotamise liini: olmereovee puhastusliin tootlikkusega 38500 m³/ööpäevas ja tööstusliku reovee puhastusliin tootlikkusega 7200 m³/ööpäevas. Puhastusjaamas tekkivat tahendatud muda hoitakse käesoleval hetkel mudaväljadel ja kasutatakse seejärel haljastamiseks.

Käesolevas lõputöös pakutakse välja reoveesete kasutamise alternatiivne meetod ehk sellest settest biogaasi tootmine koos selle küttepotentsiaali hilisema ärakasutamisega. Biogaasi kasutatakse kütusena laialdaselt Euroopa Liidus, Hiinas ja teistes riikides. Seda kasutatakse taastuva energiaallikana, mis edastatakse gaasijaotusvõrku ja mida kasutatakse nii majapidamises kui ka mootorikütusena. [2]

Lõputöö koosneb kolmest põhiosast. Esimeses osas kirjeldatakse reovee peamiseid töötlemismeetodeid, biogaasi tootmisviise, selle eraldamist metaaniks ja süsihappegaasiks ja nende gaaside hilisemaid kasutamisevõimalusi.

Töö teises osas on ära toodud ettevõttes Narva Vesi toimuv reovete puhastamise etapiviisiline kirjeldus.

Kolmandas osas on metaankääritustangi ja biogaasi metaaniks ja süsihappegaasiks eraldamisel kasutatava membraanfiltriga seonduvad arvutused, aga ka biogaasist eraldatud metaani põletamisel võimalikult saadava energiahulga arvutused.

1. TEOREETILINE OSA

1.1 Reoveesette käitlemist sätestav Euroopa Liidu ja Eesti Vabariigi seadusandlus

Euroopa Liit on võtnud suuna vähendada biolagunevaid jäätmeid ladestatavate jäätmete hulgas vastavalt prügiladirektiivile 2008/98/EÜ (Directive on Waste). Käesolevas direktiivis sätestatakse meetmed keskkonna ja inimese tervise kaitsmiseks selle kaudu, et välditakse või vähendatakse jäätmete tekitamist, jäätmete tekitamise ja käitlemise ebasoodsat mõju ning vähendatakse ressursside kasutamise üldmõju ja suurendatakse sellise kasutamise tõhusust, mis on oluline ringmajandusele üleminekuks ja liidu konkurentsivõime tagamiseks pikas perspektiivis. [3]

Jäätmedirektiiv 2018/851 (Directive on Waste) määrab kindlaks ja kehtestab aluspõhimõtted ja nõuded jäätmekäitluse, sh reoveesette käsitlemiseks. Direktiiv kehtestab meetmed meid ümbritseva keskkonna ja inimeste tervise kaitsmiseks, takistades ja vähendades reoveesetete tekkimist ja jäätmekäitluse kahjulikke mõjusid ning vähendades ressursside kasutamise üldist mõju ja suurendades selle tõhusust. [4]

Asulareovee puhastamise direktiivi (Urban Waste Water Treatment Directive, UWWTD) 91/271/EÜ rakendamise tulemusel on liikmesriigid tõhustanud oma kogumis- ja reoveepuhastussüsteeme. Direktiiv puudutab üldise eesmärgi täitmist kaitsta keskkonda reovee ärajuhtimise kahjulike mõjude eest. [5]

Tulenevalt jäätmete merre ladestamise keelust ja vajadusest rakendada prügiladirektiivi 99/31/EÜ (Council Directive 1999/31/EC of 26 April 1999 on the landfill of waste), mis piirab biolagunevate jäätmete (ja seega ka reoveesette) ladestamist, on jäätmemajanduse juhtimise peamiseks suundadeks tekkinud jäätmete taaskasutamine looduses ja nende termiline ümbertöötlemine. Käesoleva direktiivi eesmärk on tagada jäätmetele ja prügilatele kehtestatud rangete tegevus- ja tehniliste nõuete abil meetmed, protseduurid ja soovitused, mis on vajalikud selleks, et vältida või vähendada maksimaalselt võimalikus mahus jäätmete kõrvaldamisega kaasnevat negatiivset keskkonnamõju, sealhulgas pinna- ja põhjavete, maapinna ning õhu saastumist, aga ka globaalsele keskkonnale avaldatavat negatiivset mõju, sealhulgas kasvuhooneefekti tekkimist ning samuti muid prügilate kogu elutsükli vältel tekkivaid jäätmete kõrvaldamisest tulenevaid riske inimese tervisele. [6]

Euroopa Liidus on reoveesetete põllumajanduses kasutamine reguleeritud peamiselt reoveesette direktiivis 86/278/EEC (Council Directive 86/278/EEC of 12 June 1986 on the protection of the environment, and in particular of the soil, when sewage sludge is used in agriculture), loetletud rasketele metallidele kehtestatud limiitidega. Direktiiv

kehtestab reoveesette töötlemiseks vastuvõetavad meetodid: bioloogiline, keemiline, termiline töötlemine või muu protsess, mis võimaldavad vähendada oluliselt nende setete kasutamisest tulenevat terviseohtu. Selle eesmärgi saavutamiseks kehtestatakse direktiiviga mürgiste raskmetallide lubatud kontsentratsioonide piirmäärad taimedele ja inimestele kaadmiumi, vase, nikli, plii, tsingi, elavhõbeda ja kroomi (VI) kohta. Keelatud on selliste reoveesetete kasutamine, millede puhul on tegemist eelnimetatud raskete metallide lubatud piirnäitajatest kõrgema kontsentratsiooniga. [7]

Reoveesette kasutamist Eestis reguleerib Keskkonnaministri määrus nr 24 „Reoveesetest toote valmistamise nõuded“, RT I, 28.07.2017, 4., mis kehtestab nõuded olmereovee sette käitlemisele. Dokument määrab kindlaks olmereovee sette käitlemise nõuded ja selle turvalisuse ning kvaliteedi piirnäitajad. [8]

1.2 Reoveesetete iseloomustus

Reoveesetete puhul on tegemist reovete puhastamisel tekkiva produktiga. See sisaldab endas reovete töötlemise käigus sealt eemaldatud aineid. Võrreldes muude jääkainetega tekib reoveesetteid suurtes kogustes. [9]

Reovee setted jaotatakse primaarseteks ja sekundaarseteks.

Primaarsete setete hulka kuuluvad: jämedad setted (jäätmad), rasked setted, hõljuvad setted, reovee mehaanilise töötlemise tulemusena sellest eraldatud toorjäägid. [10]

Sekundaarsete setete puhul on tegemist aktiivmudaga, mis peetakse pärast õhustuskambride läbimist kinni settebasseinides.

Värske aktiivmuda on peaaegu ilma igasuguse lõhnata või ta võib lõhnata maapinna/mulla järele, kuid mädanedes hakkab ta eritama spetsiifilist mädale iseloomulikku lõhna. [11]

1.2.1 Setete keemiline koostis

Aktiivmuda tuhavaba osa elementaarse koostise määravad peamiselt organogeenid: süsinik, hapnik, vesinik, lämmastik. Nende elementide suhe aktiivmuda tuhavabas aines oneline töödeldava reovee koostisest, puhastamise tehnoloogilisest režiimist ja see suhe võib olulisel määral muutuda. Tuhavabast aktiivmudast moodustab süsiniku osakaal keskmiselt 50–52%, hapnik 29–33 %, vesinik 6–8%, lämmastik 8–12%. [12]

Põhiosa primaarsetete kuivainest (keskmiselt 60–75%) ja aktiivmuda kuivainest (keskmiselt 70–75%) moodustavad orgaanilised ained. Aktiivmuda orgaaniline osa koosneb peamiselt valgulise päritoluga ainetest (kuni 50%), mille rasvade ja süsivesikute sisaldus on vastavalt kuni 30 ja 10%. Primaarsete settebasseinide

toormudas on valke ligikaudu 2 korda vähem ja süsivesikuid 2,5–3 korda rohkem kui aktiivmudas. [13]

Reovete kõik setted saab jaotada kahte klassi: inertsed ja toksilised setted. Lisaks sellele on olemas kahte tüüpi tööstusliku reovee setet: stabiilne ja ebastabiilne (roiskuv). Reoveesetted sisaldavad endas räni, alumiiniumi, raua, kaltsiumoksiidi, magneesiumi, kaaliumi, naatriumi, nikli, kroomi ja muid ühendeid. Setete keemiline koostis mõjutab ka nende veesaagist. Tööstuslikes reovetes sisalduvad raua-, alumiiniumi-, kroomi- ja vaseühendid, aga ka happed, leelised ja mõned muud aitavad intensiivistada setete dehüdratsiooniprotsessi ja vähendavad keemiliste reaktiivide tarbimist nende koaguleerimiseks enne setete tahendamist või veetustamist. Kuid õlide, rasvade, lämmastikuühendite ja kiudainete puhul on tegemist hoopis ebasoodsate komponentidega.

Raskmetallide sisalduse järgi vastab suurem osa setetest rahvusvahelistele agroökoloogilistele nõuetele.

Väetisena kasutamiseks mõeldud reoveesete peab sisaldama vähemalt 40% orgaanilist ainet, 1,6% lämmastikku, 0,6% fosforit (P_2O_5), 0,2% kaaliumi (K_2O) ja niiskust mitte üle 82%. [14]

1.2.2 Setete omadused

Reoveesetete näol on tegemist suspensiooniga, mille dispergeeritud faasina toimivad orgaanilise ja mineraalse päritoluga tahked osakesed ning mille dispersioonikeskkonnaks on vesi koos selles lahustunud ainetega.

Suspensiooni omadused sõltuvad suures osas temas sisalduva vee hulgast. Niiskuse üldist sisaldust setetes tähistatakse tavaliselt terminiga „niiskus“.

Niiskuse erinevate seoste vormid. Settes sisalduva niiskuse tase ei võimalda hinnata piisaval määral niiskuse settest eemaldamise võimalikkust, tingimusi ja selle niiskuse eraldamise astet. Selle põhjuseks on sette keeruline struktuur ja temas sisalduva vee jaotumise eripärad. Setete tahendamisprotsessi efektiivsuse tagamine on võimalik üksnes sette struktuuri suunatud mõjutamise teel. Niiskus võib esineda setete struktuuris vaba vee kujul, tahkete osadega erinevate füüsikalise-keemiliste seoste näol, aga ka füüsikalise-keemiliste ja keemiliste seoste vormis. [15]

Reoveesetete tahendamise eesmärgiks on saada muda, mille polüdisperse tahke faasi mahukontsentratsioon on kuni 80%. Primaarsetest settebasseinidest pärit ja tihendatud aktiivmuda settejäagi kääritamisel on kääritusseadmest väljuva sette keskmine hinnanguline niiskus 97%, kaheastmelistest kääritusseadmetest ja (järel)selitist –

mädandist väljuva sette puhul 93% ja aeroobsetest stabilisaatoritest saadav sette puhul pärast 1,5 kuni 2 tunni pikkust tihendamist 96-98%.

Munitsipaalreovete setted (toored ja kääritatud), mille niiskus on üle 90%, kujutavad endast vedelat voolavat massi, 86-90%-lise niiskuse korral on nad kooretaolise konsistentsiga, 82-85%-lise niiskuse puhul on tegemist vedela mustuse taolise massiga ja madalama niiskusesisalduse korral meenutab see sete midagi kerge niiske mulla taolist. Aktiivmuda, mille niiskuseaste on 88-91%, on kooretaolise konsistentsiga, 85-87% ja madalama niiskuse korral näeb ta välja nagu niiske muld.

Reoveesetete veesaagis sõltub suurel määral tahke faasi osakeste suurusest. Mida suuremad on tahke faasi osakesed, seda parem on veesaagis. Setete hajutusfaas sisaldab erineva suuruse, kuju ja omadustega orgaanilise ja mineraalse päritoluga osakesi. Kääritusseadmetes kääritatud sete on värske settega võrreldes peenema ja ühtlasema struktuuriga, väiksemate kui 1 mm suuruste osakeste arv on selles keskmiselt 85%. Aktiivmudas ulatub väiksemate kui 1 mm suuruste osakeste kogus kuni 98% kuivaine massist, 1–3 mm suuruste osakeste osakaal on 1,6% ja suuremate kui 3 mm osakeste kogus 0,4%. Vee ja tahkete osakeste omavaheliste ühenduste vormid mõjutavad setete töötlemiseks kasutatavate protsesside valikut.

Setete niiskus jaguneb suspensiooni tahkete osakestega seondumisenergia suurenemise astme järgi liig-, osmootseks, makro- ja mikropoorseks niiskuseks. Setete mehhaaniliste tahendamismeetodite abil, aga ka nende loomuliku kuivatamisega mudaväljadel eemaldatakse setetest oluline osa liig- ja osmootsest veest. Mikro- ja makropoorne vee saab eemaldada kas selle välja aurutamise teel või rõhu all. Setete tahendamise käigus eemaldatakse kogu seal olemasolev liigvesi või vaba vesi (mille sisaldus on peaaegu 90%) ja umbes pool kolloidsest või osmootsest veest (mille sisaldus on umbes 35%). Alles jääb osa kolloidsest veest ja kogu makro- ja mikropoorne veest, seda suhtega umbes 3:1.

Sette kokkusurutavust iseloomustab filtratsiooni vastupanu, kuna koos surve suurenemisega surutakse tema poorid sedavõrd kokku, et nende seotud niiskuse väljaandmine lakkab. Filtreerimise kiirus on seda suurem, mida madalam on sette kokkusurutavuse koefitsient. Mineraalsete setete puhul on see näitaja lähedane nullile, see tähendab, et nende setete kokkusurutavus on väike, kuid hüdrofiilsete setete puhul on see koefitsient vahemikus 0,5 kuni 1,0 ning isegi kõrgem, mis tähendab, et tegemist on suurema kokkusurutavuse koefitsiendiga setetega.

Valdavalt orgaanilise iseloomuga setete puhul põhjustab rõhu tõus üle kriitilise taseme sageli olemasolevate pooride täieliku ummistumise ja niiskuse vabanemise lakkamise. Seetõttu on suure kokkusurutavuse astmega setete tahendamise puhul eelistatav rõhu järkjärguline suurendamine. Sette seisundit iseloomustab ka kuivaine sisaldus selles

teatud rõhu korral. See on seotud asjaoluga, et mida rohkem on settes vabas olekus olevat vett, seda suurem saab olema tema veesaagis. [16]

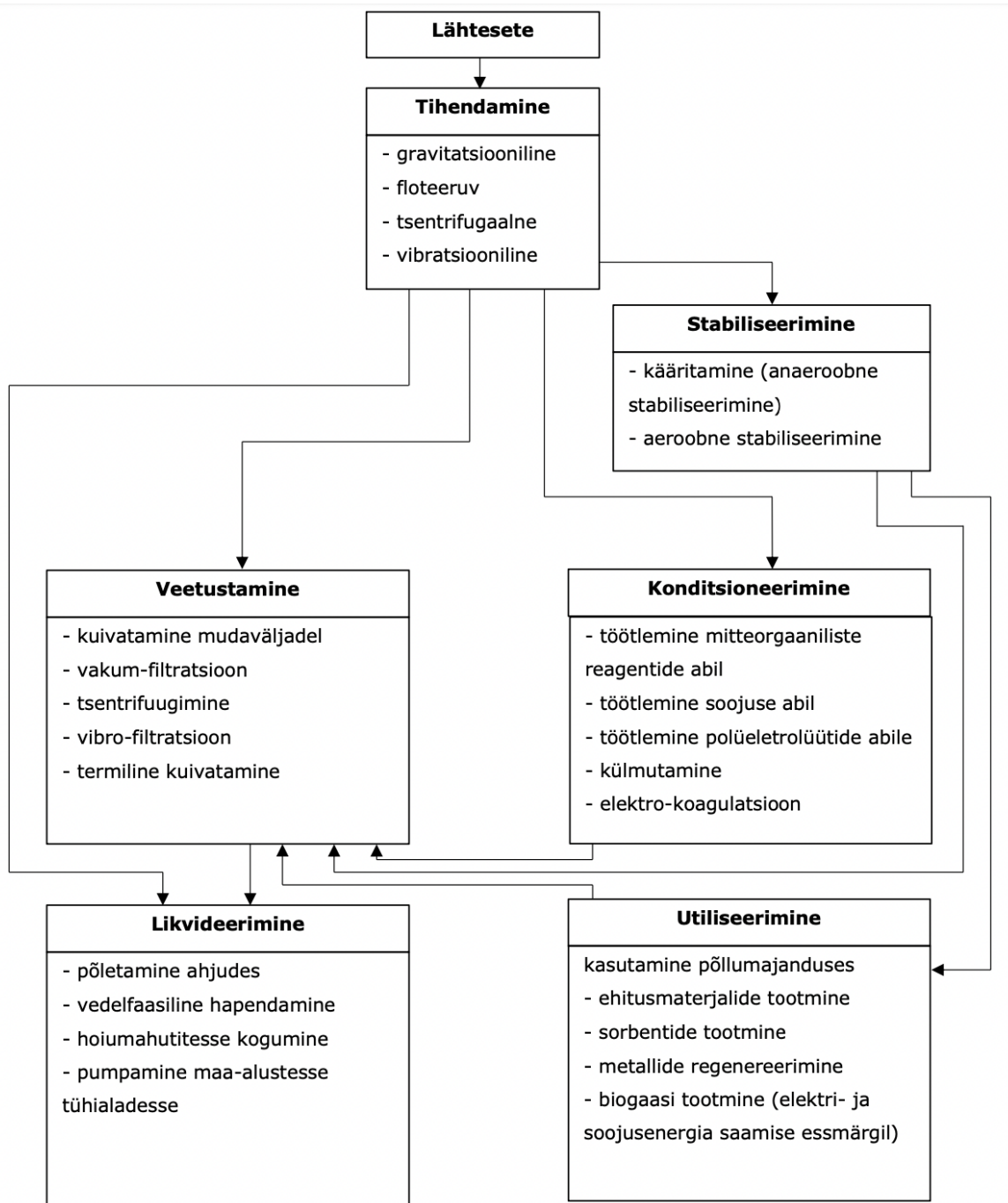
1.3 Reoveesetete töötlemismeetodid

Sõltuvalt reovee puhastamiseks kasutatavate rajatiste tüübist jagunevad setted järgmisteks tüüpideks:

- jämedispersed lisandid (jäägis), mis peetakse kinni restide abil;
- rasked lisandid (liiv), mis jäävad kinni liivapüüduritesse;
- ujuvad lisandid (rasvained), mis ujuvad välja settebasseinides;
- toored lisandid – primaarsetes settebasseinides eraldunud heljumained;
- aktiivmuda, mis püütakse kinni sekundaarsetes settebasseinides;
- bioloogilise puhastuse käigus reoveest eraldatud kolloidsete mikroorganismide kompleks koos osaliselt oksüdeerunud saasteainetega;
- pärast bioloogilist töötlemist biofiltrites järele jääv biokile;
- setetest ja mudast koosnevad segud.

Reoveesetete töötlemise põhiülesanne on saada lõpp-produkt, mille omadused tagaksid selle käitlemise võimaluse või keskkonnakahjude minimeerimise ning seda teostatakse sette mahu vähendamise ja selle desinfitseerimise tagamiseks. Reovete setete töötlemise tehnoloogilised protsessid võib jaotada järgmisteks põhistaadiumiteks: tihendamine (paksendamine), orgaaniliskomponendi stabiliseerimine, konditsioneerimine, tahendamine, termiline töötlemine, väärtuslike komponentide taaskasutamine või setete likvideerimine (vt Joonis 1.1.).

Lähtesettes olemasolevas mudas sisalduvast kogu veehulgast eraldatakse tihendamise käigus keskmiselt 60%, mehhaanilise tahendamise teel 25%, termilise kuivatamisega ja põletamisega kuni 15%. [17]



Joonis 1.1 Setete töötlemiseks kasutatavad peamised protsessid [18]

1.3.1 Tihendamine

Reoveesetete tihendamine tähendab nende niiskustaseme alandamise ja setete mahu vähendamise protsessi. Setete tihendamine säilitab nende voolavusega kaasnevad omadused. Praktikas rakendatakse gravitatsioonilist ja flotatsiooniga tihendamist, kusjuures viimane neist on liigse aktiivmuda puhul efektiivsema toimega. Reoveesetete tihendamise näol on tegemist nende töötlemise esimese efektiivse staadiumiga, mis võimaldab oluliselt vähendada rajatiste mahtu ja energiakulusid järgmistes sette töötlemise etappides. [19]

Gravitatsiooniliseks tihendamiseks kasutatakse radiaalsete või vertikaalsete settebasseinide tüüpi maht-rajatisi. Tavaliselt kasutatakse tihendamiseks primaarseid settebasseine. Pärast tihendamisprotsessi lõppemist suunatakse sete mehhaanilise veetustamise rajatisse, mudaväljadele või utiliseerimisele. [19]

1.3.2 Stabiliseerimine

Stabiliseerimist teostatakse setete lagunemise vältimise ja nende matmise või taas ringlusesse suunamise eesmärgil.

Setete stabiliseerumine saavutatakse orgaanilise osa lagunemisel lihtsateks ühenditeks või saadusteks, mis omastamine keskkonna poolt leiab aset pikaajalise protsessi käigus. Stabiliseerimise efekti on võimalik saavutada mitmesuguste erinevate meetodite nagu näiteks bioloogilise, keemilise ja füüsikalise meetodi abil, aga ka nende kombineerimise teel. Ühe või teise stabiliseerimismeetodi valikul on määravaks setete liik, nende kogus, samuti sette edaspidise kasutamise võimalikkus ja tingimused nagu ka nende paigutamise jaoks vajaliku territooriumi olemasolu. Kõige enam kasutatavateks on osutunud anaeroobse ja aeroobse stabiliseerimise meetodid. [20]

Võrreldes muude meetoditega on aeroobne meetod osutunud oma protsessi organiseerimise mõttes kõige lihtsamaks, kuid samas iseloomustab seda protsessi oluline energiatarbimine ja biogaasi toomise võimlikkuse puudumine. Setete stabiliseerimine anaeroobses protsessina on keerulisem ja nõuab terve rea spetsiaalsete rajatiste ja seadmete olemasolu. [20]

1.3.3 Konditsioneerimine

Setete konditsioneerimise all mõistetakse tavaliselt nende töötlemisviisi, mille puhul muudetakse nende veega seotuse struktuuri ja vorme, mille tulemusena paraneb sette tahendamine. Teisiti väljendudes on setete konditsioneerimise näol tegemist nende setete ettevalmistamisega mehhaaniliseks veetustamiseks. Setete konditsioneerimisel on osutunud kõige suuremat rakendust leidvaks nende töötlemine reagentide abil. Sellised meetodid nagu töötlemine soojuse abil, vedelfaasiline hapendus ja sulatamine ei ole siiani leidnud laialdast kasutamist. [21]

Setete töötlemine reagentide abil muudab nende struktuuri ja parandab sette suutlikkuse niiskuse väljutamiseks. Setete koagulatsiooniprotsessi läbiviimisel kasutatakse kahte või mitut reagenti. Reagentide abil töötlemiseks kasutatakse tavaliselt mineraalse ja orgaanilise päritoluga koagulante. [21]

1.3.4 Tahendamine

Mineraalsete setete tahendamisprotsess on suhteliselt lihtne. Probleemsem on aga orgaanilise sette, liigsete aktiivmuda koguste tahendamine. Kõige sagedamini

kasutatakse setet kuivatamist mudaväljadel ja tahendamist mehhaanilise meetodi abil. [22]

Tööstuslike reovete muda mehhaaniline tahendamine toimub intensiivsete ja ekstensiivsete meetoditega. [22]

Mudasette intensiivne paksendamine ja tahendamine toimub filtreerimise, hüdrotsükloni kasutamise ja tsentrifugimise abil. Ekstensiivse veetustamise läbiviimiseks kasutatakse mitmesuguseid tihendusseadmeid. [22]

1.3.5 Saastest puhastamine

Reoveesetete saastest puhastamine tähendab reovete setetes olemasolevate inimestel ja loomadadel võimalike haigusetekiitajate hävitamist. [23]

Setete sanitaar-hügieenise hindamise aluseks on gelmintide ehk nugiussi munade ja patogeensete mikroorganismide olemasolu settes. [23]

Reoveesetete saastest puhastamiseks kasutatakse keemilisi aineid, mis leiavad kasutamist ka mulla väetamisel ja mullas leiduvate kahjulike mikroorganismide või umbrohtude hävitamisel. [23]

1.3.6 Termiline töötlemine

Termilise desinfitseerimise läbiviimisel tõstetakse temperatuur tasemeni, kus bakterid hukuvad. Sette saastest puhastamise termilise töötlemise kasutamine on soovitatav (aga vahetevahel isegi nõutav), kui metaankääritustangis toimub koos olmereoveesetete kääritamisega ka loomse päritoluga ja ka tapamaja jääkide kääritamine. [24]

Järgnevalt tuuakse ära loetelu tervest reast meetoditest, mille abil on võimalik tagada setete saastest puhastamiseks vajaliku kõrget temperatuuri: (eelnev) pastöriseerimine, termiline konditsioneerimine, kuivatamine, anaeroobne termofiilne stabiliseerimine, aeroobne termofiilne stabiliseerimine, anaeroobne termofiilne eelnev töötlemine, kompostimine. [24]

Setete termilise saastest puhastamise enimlevinud meetodiks on pastöriseerimine, millega tuli välja Louis Pasteur juba 1860.-ndatel aastatel. Seda meetodit kasutatakse tavaliselt toiduainete konserveerimisel. [24]

1.3.7 Termiline kuivatamine

Termilist kuivatamist kasutatakse eelnevalt vaakumfiltrite abil, tsentrifuugides või filterpressides tahkestatud reoveesetete saastest puhastamiseks ja nende setete massi vähendamiseks. See võte aitab lihtsustada setete eemaldamist puhastusjaamade territooriumilt ja nende kogumist edasise taaskasutamise tarvis. [25]

Pärast termilist kuivatamist on sette näol tegemist mittelaguneva, nugiussidest ja patogeensetest mikroorganismidest vaba kuiva puistematerjaliga. [25]

Kõige enam on levinud setete konvektiivne kuivatusmeetod, mille puhul niiskuse aurustamiseks vajalik soojusenergia kantakse üle kuivatatavale materjalile soojuskandjaks oleva kuivatusmeediumi poolt. Kuivatusmeediumina võidakse kasutada suitsugaase, ülekuumutatud auru või kuuma õhku. [25]

1.3.8 Reoveesetete utiliseerimine

Reoveesetete utiliseerimiseks kasutatakse järgmisi võimalusi: setted maetakse mudaväljadele, kasutatakse väetisena, põletatakse ja utiliseeritakse pürolüüsi kasutamise abil. [26]

Pärast reoveesetete saastest puhastamist, kompostimist ja termilist kuivatamist kasutatakse saadud toodet põllumajanduses lämmastikku ja fosforit sisaldava väetisena. Kõige väärtuslikumaks väetiseks peetakse komposti. Selle kasutamine pinnases alandab mulla happelisust ja rikastab seda toitainetega. [26]

Kui mudasetete utiliseerimine osutub võimatuks või majanduslikult ebaotstarbekaks, kuuluvad need settemassid põletamisele. Põletamise tulemusena moodustuvad veeaur ja mittetoksilised gaasid ning mineraalsed komponendid eralduvad tuha või sulakomponentidena. Reovete peamiste setete põlemisel tekib vähesel määral soojust. Kuid on olemas ka mõningad reovete setted, mille põlemisel tekiv soojus on võrreldav pruunsöe kütteväärtusega ja selliste setete põletamisel võib saada energiat. [27]

Reoveesetete kompostimine on tõhus ja progressiivne vahend, et vähendada reovee puhastusjaamade negatiivset mõju ümbritsevale keskkonnale ja saada lisakasumit. Antud meetod võimaldab saada inertse neutraliseeritud lõpptoote ja seda iseloomustab tehnoloogilise skeemi ja tehnoloogiliste seadmete kasutamise lihtsus, madal energiatarbimine, keskkonnasõbralikkus ja kiire tasuvus. [28]

Biotermlise kompostimise kasutamine on otstarbekas väikse tootlikkusega puhastusjaamade puhul. Reoveesetete biotermlise kompostimise protsess koos erinevate orgaaniliste täiteainetega (turvas, saepuru, põhk, põllumajanduslikud taimejätmed jne) võimaldab jäätmete usaldusväärset kahjutustamist nende edasise utiliseerimise eesmärgil. [28]

Umbes 50% töödeldavast massist muudetakse kompostimise käigus süsihappegaasiks ja veeks. [28]

1.3.9 Reoveesetete likvideerimine

Reoveesetete likvideerimist kasutatakse juhtudel, kui nende setete utiliseerimine osutub võimatuks või majanduslikult mitteotstarbekaks. Setete töötlemiseks kasutatava ratsionaalse tehnoloogilise skeemi valimise näol on tegemist keerulise insenermajandusliku ja keskkonnavalase ülesandega, kuid selle tehnoloogiline skeemi väljatöötamise aluseks on igal juhul setete erinevad töötlemismeetodid, kuna vastavad skeemid sõltuvad paljudest erinevatest tegurites: setete omadustest, nende hulgast, kliimatingimustest, vajalike maa-alade olemasolust jne. [29]

Setete likvideerimise peamiseks meetodiks on nende põletamine. See annab võimaluse saavutada positiivse energiabilansi ja kasutada ära setete kütteväärtus. [29]

Setete põletamist võib vaadelda kui meetodit nende mahu ja massi maksimaalselt võimalikul määral vähendamiseks koos selle orgaanilisest osast ka energia saamisega. Setete põletamine võib toimuda nii eraldi protsessina (mono-põletus), kus sellele lisatakse vaid abimeediumina mingit muud liiki kütust, aga ka eraldi protsessina koos teiste energiaallikatega (näiteks kütuste tahkete jääkide ja muude kütuseliikide lisamisega). [29]

Põletamist võib kasutada kääritatud, tahendatud ja kuivatatud setete puhul. Põletamist võib teostata ka ilma kuivatusprotsessi läbimata. [29]

1.4 Biogaas

Reoveesetete anaeroobsel kääritamisel tekib biogaas. Biomassi lagunemist mõjutavad kolme liiki baktereid. Järgmised bakterid toituvad toiduahelas eelmiste jääkainetest; nendeks on esiteks hüdrofüüsibakterid, teiseks hapet moodustavad bakterid ja kolmandaks metaani moodustavad bakterid. [30]

Teisisõnu on biogaasi puhul tegemist metaani ja süsihappegaasi seguga, mis tekib selle anaeroobsel ehk ilma õhu juurdepääsuta kääritamisel spetsiaalsetes reaktorites, mis on konstrueeritud nii, et oleks tagatud maksimaalne metaani vabanemine. Biogaasi põletamisel saadavat energiat kasutatakse vee soojendamiseks, soojuse saamiseks tehnoloogiliste vajaduste tarvis ja kütmiseks, ning loomulikult autonoomse ja sõltumatu energiavarustuse tagamiseks. Ümber töötatud biomassi saab aga omakorda kasutada ökoloogiliselt puhta väetisena. Biogaasi tootmisprotsessis osalevad mitte ainult metanogeenide klassi kuuluvad bakterid vaid kõik kolm nende liiki. Biogaasi peamiseks komponendiks on metaan (CH₄), mille sisaldus võib ulatuda 50 kuni 80%-ni, ja süsinikdioksiid (CO₂), mille sisaldus võib olla 20 kuni 50%. [31]

Tabel 1.1 Biogaasi ja selle komponentide näitajad [31]

Näitaja	Metan (CH ₄)	Süsihappegaas (CO ₂)	Vesinik (H ₂)	Väävelvesinik (H ₂ S)	Biogaas (60% CH ₄ ja 40% CO ₂)
Sisaldus, %vol	55÷70	27÷44	1	3	100
Kütteväärtus, MJ/m ³	35,8	-	10,8	22,8	21,5
Tihedus, kg/m ³	0,72	1,98	0,09	1,54	1,2

Biogaasi saab kasutada kütusena. Eraldatud biogaasi kogus on piisav mitte ainult anaeroobse lagunemise energiakulude kompenseerimiseks, vaid ka kasutamiseks kolmandatest subjektidest tarbijate poolt, seda nii kateldes kui ka kütteseadmetes auru ja kuuma vee saamiseks, samuti statsionaarsetes gaasigeneraatorites soojustagastusega elektrienergia tootmiseks, setete termokuivatuse ja põlemise tehnoloogiliste protsesside tarvis muda termilise kuivatamise ja põletamise tehnoloogilistes protsessides ja mujal. [32]

Biogaasi tootmine, mille puhul on tegemist ettevõtete orgaaniliste heitmete, sealhulgas ka reovete anaeroobse põletamise produktiga, annab võimaluse mitte ainult täiendava (nii soojus- kui ka elektri-) energia saamiseks, vaid aitab lahendada ka ümbritseva keskkonna (vee ja õhu) kahjulike ainete saastumise probleemi. [32]

1.4.1 Setete anaeroobne kääritamine

Anaeroobne kääritamine kujutab endast bioloogilist protsessi, mille eesmärk on vähendada setetes sisalduva orgaanilise komponendi osakaalu, kasutades selleks mikroorganismide toimet hapnikuvabas keskkonnas. [33]

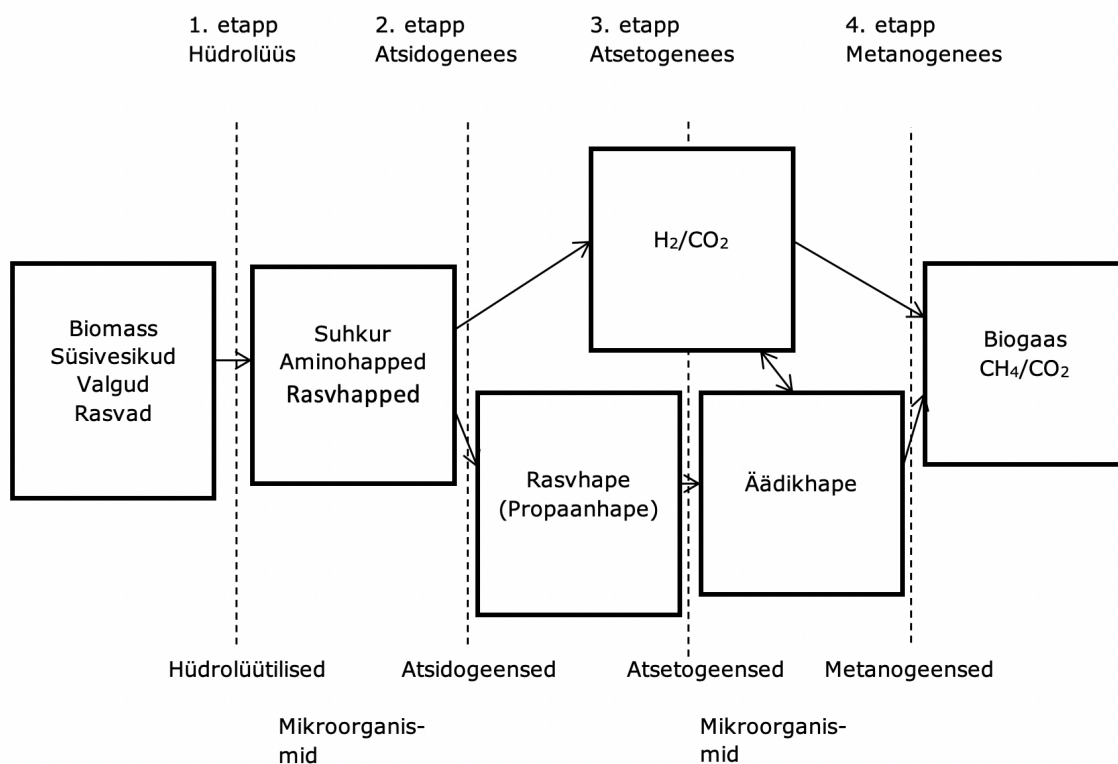
Reoveesetete kääritamisel anaeroobsetes tingimustes lagunevad orgaanilised ained ja tekivad lõpp-produktid, mille peamisteks komponentideks on metaan (CH₄) ja süsinikdioksiid (CO₂). Kuna iga orgaaniline komponent annab tulemuseks erineva koguse gaasi ja kuna reoveesetete koostis on erinevates linnades erinev, saadakse ka iga sette kääritamise tulemusena erinev gaasikogus. Gaasid tekivad peamiselt süsivesikutest, rasvadest ja valkudest, mis moodustavad 80–85% setete orgaanilise aine koguhulgast. Kõige suurem kogus gaasi tekib rasvade lagunemisel. Anaeroobset puhastust kasutatakse ka reoveest saasteainete eemaldamise esimese etapina kõrge orgaaniliste saasteainete kontsentratsiooniga reovee puhastamisel. [33]

Orgaaniliste ainete bioloogiline lagundamine metaanipõhise käärimisprotsessi käigus metaankääritustankides toimub kolme järjestikuse faasina. Metaani fermentatsiooni protsessides on oluline roll atsetogeensetel ja vesinikku tootvatel bakteritel. Need

bakterid muudavad propionaadi atsetaadiks, süsinikdioksiidiks ja vesinikuks, kui söötmes on samaaegselt olemas vesinikku tarbivad bakterid. [33]

Metaankääritamise eripäraks on see, et ligikaudu 95% orgaanilisest ainest muundatakse biogaasiks ja ainult 5% suunatakse mikroorganismide endi energiatarbimisse. (vt Joonis 1.2.)

Biogaasi tootmistehnoloogia põhineb loomulikul looduslikul protsessil, mille käigus muudetakse sellised orgaanilised materjalid nagu orgaanilised jäätmed, toidujäätmed või sõnnik erinevate mikroorganismide rühmade poolt anaeroobsetes (s.o hapnikuvabades) tingimustega keskkonnas metaaniks (CH_4) ja digestaadiks. Sõltuvalt kasutatava tooraine tüübist võib metaani CH_4 sisaldus biogaasis kõikuda vahemikus 50% kuni 70%. [33]



Joonis 1.2 Biomassi kääritamisprotsessi etapid [34]

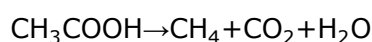
Orgaaniliste ainete lagunemine metanogeneesi käigus toimub mitmest etapist koosneva protsessina, kus süsiniksidemed hävitamine leiab aset järk-järgult erinevate mikroorganismide rühmade toimel. Vastavalt tänapäeval aktsepteeritud seisukohtadele läbib peaaegu igasuguse keeruka orgaanilise aine anaeroobne muundamine biogaasiks neli üksteisele järgnevat etappi.

Hüdrolüüsi faas. Selles faasi toimumise käigus lagundatakse stabiilsed ained (valgud, rasvad ja süsivesikud) bakterite elutegevuse tulemusena lihtsateks komponentideks (näiteks aminohapped, glükoos, rasvhapped).

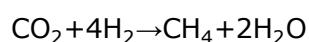
Hapet moodustav faas. Eelmise faasi jooksul tekkinud lihtsad koostisosad lagundatakse orgaanilisteks hapeteks (äädikhape, propioonhape, rasvhape), alhoolideks, aldehüüdideks, vesinikuks, süsihappegaasiks, aga ka sellisteks gaasideks nagu ammoniaak ja väävelvesinik. Nimetatud protsess toimub nii kaua, kuni bakterite areng hakkab moodustunud hapete toime tulemusena aeglustuma.

Atsetogeenne faas. Üldnimetatud faasi käigus tekkinud atsetogeensete bakterite mõjul toodetakse täiendavalt äädikhapet.

Metanogenees. Äädikhape laguneb metaaniks, süsihappegaasiks ja veeks:



Vesinik ja süsihappegaas (CO_2) muudetakse metaaniks ja veeks:



Tavaliselt toimuvad neli ülalmainitud protsessi samaaegselt hermeetiliselt suletud segamiseseadmes ehk nn fermenteris. Kuid biokeemilised protsessid leiavad aset erinevat tüüpi mikroorganismide abil ja iga tüüp nõuab oma optimaalseks kasvuks erinevate tingimuste olemasolu. Selleks et luua mikroorganismide erinevate liikide jaoks vajalikke tingimusi võib protsesse läbiviimiseks kasutada erinevaid mahuteid. [34]

Nii on mõnedel biogaasi seadmetel olemas näiteks eraldi mahuti hüdrolüüsi jaoks, mis võimaldab orgaaniliste jäätmete ettevalmistamist tegeliku kääritamise tarvis. Sellises mahutis on temperatuur, hapnikusisaldus ja pH väärtus optimeeritud vastavalt hüdrolüüsiks kasutatavate mikroorganismide funktsioneerimise vajadusele, samas kui tingimused peareaktoris on kohaldatud vastavalt metaani tootvate arhete ehk metanogeenide tarvis. Biogaasi tootmise üheks kõige olulisemaks teguriks on temperatuur. Protsesside jaoks erinevate tingimuste loomiseks kasutatakse töötemperatuuride erinevaid tasemeid nagu psühhoffiilsete tingimuste korral alla 25°C , mesofiilsete puhul - vahemikku 35°C kuni 48°C ja termofiilsete tingimuste jaoks temperatuuri üle 50°C . [35]

Madalate temperatuuride kasutamise üheks eeliseks on asjaolu, et protsessile lisatava soojuse hulk väheneb, kuid reaktsiooni kiirus jääb seejuures väga madalaks. See toob endaga kaasa biogaasi saagise vähenemise või vajaduse selle palju pikemaajaliseks säilitamiseks. Nagu juba ülalpool selgitatud, omab jäätmete ja loomsete kõrvalsaaduste kääritamise käigus asetleidva kahjulike mikroobide neutraliseerimise käigus erilist tähtsust ka kõrgem temperatuur. Kuid temperatuuri muutmine muuta biogaasi protsessi ebastabiilseks ja vähendada sellesse kaastaud mikroorganismide tegevusaktiivsust. [35]

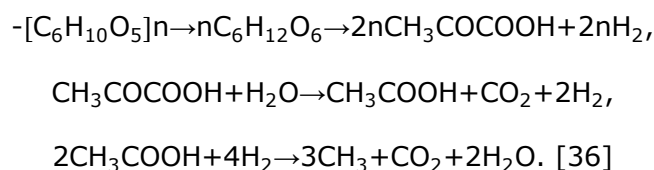
Metaani tootmist võivad pärssida ka muu tegurid nagu näiteks vaba ammoniaagi kõrge kontsentratsioon, mis peagi pärsib bakterite tegevuse, sest ammoniaagi ja vee keemiline reaktsioon tekitab reaktoris ammooniumi ja hüdroksiidi ioone, seda eriti kõrgete pH väärtuste korral. Seetõttu on seadme töö käigus tekkivate võimalike probleemide ärahoidmiseks hädavajalik vastavate parameetrite pidev jälgimine. [35]

Metanogeenses koosluses eksisteerivad mikroorganismide rühmade vahel tihedad ja keerulised seosed, sh. ka vastassuunalised seosed, reaktsioonid kulgevad samaaegselt ning metaani moodustavad bakterid esitavad oma eksisteerimistingimustele kõrgemaid nõudmisi kui hapet moodustavad bakterid. [35]

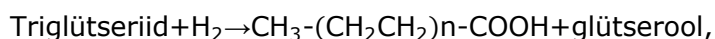
Metanogeenide substraatse spetsiifilisuse tõttu on nende areng ilma troofilise seoseta eelnevate etappide bakteritega võimatu. Kogu seda keerukat transformatsioonide kompleksi viib läbi suur ja ettearvamatu hulk mikroorganisme, mis ulatub mõnede hinnangute kohaselt kuni mitmesaja bakteriliigini. Mikrofloora kvantitatiivne ja kvalitatiivne koostis sõltub suurel määral kääritatavate orgaaniliste ainete koostisest ja ümbritsevas keskkonnas tekkivatest tingimustest. Kääritamine toimub mitme tuhande keemilise reaktsiooni teel, millest igapähe kulgu on peaaegu võimatu mõjutada. [36]

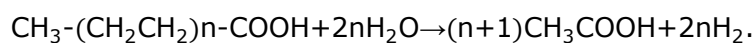
Võimalik on esitada ainult metanogeneesi üksikasjaliku skeemi, mis peegeldab keeruliste orgaaniliste ainete lagunemise käigus tekkivaid süsinikuvooge. Polüsahhariidide hüdroolüüsi kiirus sõltub nende tüübist. [36]

Tärglise hüdroolüüs on suhteliselt lihtne, samas kui tselluloos koos ligniiniga võib aga laguneda väga aeglaselt või ka üldse mitte laguneda. Saadud monosahhariidid lagunevad ensüümide toimele edasi püruvaatideks (püroviinhappe soolad või estrid) ja seejärel mitmesugusteks produktideks, millest peamised on äädikhape ja vesinik. Sellele järgnevalt leiab aset nende toodete muundamine teiste mikroorganismide toimele süsinikdioksiidiks ja metaaniks:



Metanogeensed organismid kalduvad väga kergesti iseeneslikule mürgitamisele, mille tulemusel nende kasv peatub ning tekib süsihappegaasi, vesiniku, atsetaatide ja propionaatide kogunemine. Valgud lagundatakse reaktorites aminohapeteks ja oligopeptiidideks, mida saab desamineerida kuni ammoniaagi saamiseni või nad võivad muutuda osaks elusast biomassist. Samuti võib toimuda mittevalguliste lämmastikuühendite lagunemine hapeteks, süsihappegaasiks ja ammoniaagiks. [36]





Rasvad lagunevad hüdroolüüsi teel glütserooliks ja rasvhapeteks. Rasvhapete lagunemise protsessis tekkinud äädikhape ja vesinik muudetakse metanogeensete bakterite toimel metaaniks. [36]

1.4.2 CO₂ ja CH₄ kasutamine

Biogaasi kasutamine on põhjendatud, kui on vaja töödelda suures koguses orgaanilisi jäätmeid, samuti juhul, kui ettevõtte asub gaasitrassidest üsna kaugel. Nagu näiteks eraldatud paikkondades asuvate põllumajandusettevõtete korral.

Gaasiedastusvõrkude rajamine selliste ettevõtetele on teatud juhtudes seotud spetsiifiliste kapitalimahutustega. Sellisel juhul on pigem otstarbekas kasutada vedelgaasi ja biogaasi. [37]

Orgaanilise tooraine utiliseerimisel ja lõhustumisel tekkiva biogaasi kasutamiseks on mitmeid võimalusi, ja nimelt:

- elektri- ja soojusenergia või eranditult ainult elektrienergia tootmine;
- soojusenergia tootmine otsese kateldes põletamise teel;
- biogaasi tarnimine gaasi ülekandesüsteemi pärast selle asjakohast puhastamist ja 96,5% - 98% metaanisaldusega maagaasi kvaliteedini viimist;
- kasutamine mootorikütusena pärast selle vastavat puhastamist ja ettevalmistamist. [38]

Metaani tootmine anaeroobse käärimisprotsessi käigus tähendab, et tooraines sisalduvat energiat saab kasutada mitmel viisil. Üheks kõige levinumatest CH₄ kasutusviisidest on gaasi muundamine elektriks ja soojusenergiaks, tehes seda soojus- ja elektrikoostööjaamades. Kuid eelkõige saab gaasi pärast selle vastavalt vajalikku puhastamist kasutada mootorikütusena. Toores biogaas on veega küllastunud ja sisaldab vesiniksulfiidi (H₂S), mis võib korrodeerida mootoreid ja muid gaasiga kokkupuutuvaid metall-, betoon- või puitkonstruktsioone. Biogaasiseade pikaealisuse tagamiseks ja tema kaitsmiseks väävelvesiniku H₂S toime eest on vajalik biogaasi puhastamine väävlit. Seda saab kasutada järgmiseid võtteid:

- metallisoolade lisamine fermenteerimisseadmesse;
- sisemise või välimise bioloogilise oksüdatsiooni (näiteks fermenteerimisseadme kontrollitud õhuvoolu) tagamine;
- biogaasi puhastamine väävlit adsorbeerivate ainete (nagu näiteks aktiivsöe) abil. [38]

Elektrienergia biogaasist tootmise eelis seisneb biogaasi pakutavas võimaluses, mis seisneb selles, et võrreldes elektriga on tema säilitamine oluliselt lihtsam. Järelikult võib

elektrit toota vastava vajaduse olemasolu korral. See avaldab stabiliseerivat toimet elektrisüsteemile, kuna see annab võimaluse kompenseerida mitmesugustest vahelduvatest energiaallikatest (nagu tuuleenergia ja fotogalvaanilised süsteimid) tulenevaid võimsuste langusi/kõikumisi. Rikastatud biogaasi, mida tuntakse ka biometaanina, saab suunata otse olemasolevasse maagaasivõrku ja hoida gaasimahutites. [39]

Biogaasi kvaliteedi tõstmiseks biometaani/maagaasi kvaliteedi tasemeni tuleb eemaldada biogaasis sisalduv CO₂ selliselt, et CH₄ sisaldus gaasisegus oleks kõrge kontsentratsiooniga, sageli ka üle 96%. Selleks on kättesaadavad mitmed rikastamismeetodid. Niipea kui biogaas on muudetud biometaaniks ja siseneb näiteks gaasivõrku, suudab see täita samu ülesandeid kui maagaas. Nii võib seda kasutada näiteks transpordivahendite kütusena, suruda kokku balloonidesse (kodumajapidamiste vajaduseks) või kasutada seda koostootmisjaamas, kus toodetud soojust saab kõige tõhusamalt taaskasutada. [39]

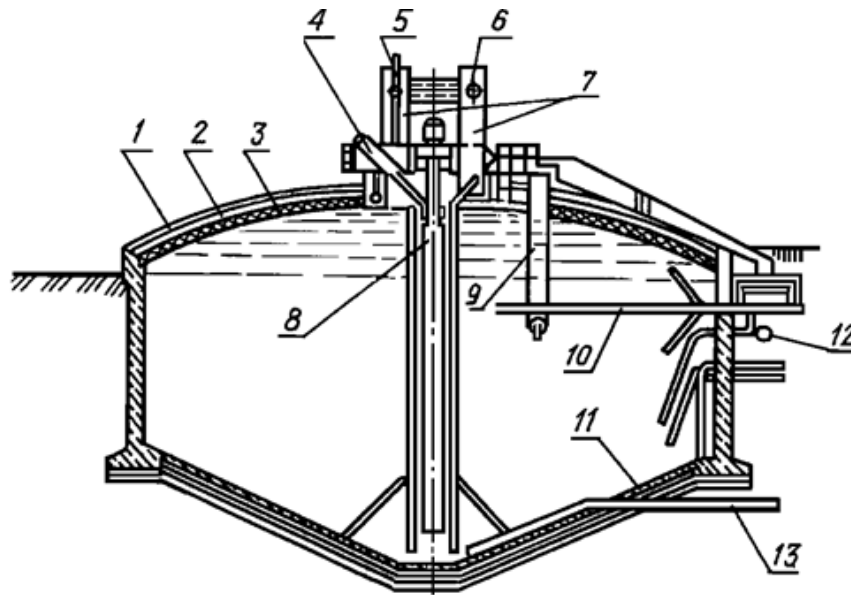
Siinkohal tekib biogaasi mahult teise komponendi ehk süsihappegaasi utiliseerimise ja kasutamise kohta. Süsihappegaasil on üsna palju kasutusvõimalusi ja tegemist on väärtusliku koostisainega. Seetõttu see eraldatakse ja kasutatakse kaubandusliku süsinikdioksiidi tootmisel. [39]

Süsihappegaasi saab kasutada tulekustutite täitmiseks, kuiva jääna, merevetikate kasvatamisel, naftakeemias ja orgaanilise sünteesi tarvis. [39]

1.4.3 Metaankääritustank

Metaankääritustank kujutab ennast raudbetoonist või terasest silindrikujulist vertikaalset mahutit, mille läbimõõt on 10 kuni 24 meetrit ja mis on varustatud hermeetilise katte ja koonilise põhjaga. Metaankääritustangis kääritatakse tavaliselt esmastest settebasseinidest pärit toorest setet ja muid biotooteid. Kääritusprotsessi kiirendamiseks kasutatakse muda eelsoojendamist kahel erineval temperatuurirežiimil:

- mesofiilne režiim (kuni 30 – 35 °C);
- termofiilne režiim (50 – 55 °C). [40]



Joonis 1.4 Metaankääritustangi skeem [41]

Ühe sektsiooniga süvistatud metaankääritustank: 1 – pehme kate; 2 – telliskivi; 3 - soojusisolatsioon; 4 – vaateluuk; 5, 9 – torud vastavalt gaasi atmosfääri suunamiseks ja ülekandmiseks; 6 – gaasitoru gaasikupli jaoks; 7 – gaasikuplid; 8 – propellersegisti; 10, 13 – torud vastavalt mahuti täitmiseks toorsettega ja selle tühjendamiseks; 11– metaanimahuti põhi; 12 – auru-injektor metaanimahuti eelsoojendamiseks. [41]

Eristatakse lahtist ja suletud tüüpi metaankääritustanke (viimati nimetatud on jäiga või ujuva kattega). Statsionaarse liikumatu laega rajatises (vt Joonis 1.4) hoitakse kääritatava massi taset mitte kõrgemal mahuti täitmisava alumisest osast, kuna sellisel juhul on massi tase madal, gaaside väljajuhtimise kiirus suur ja ei teki koorikut. [42]

Protsessi kiirendamiseks segatakse mass läbi ja eelsoojendatakse madalarõhulise (0,2–0,46 MPa) auru abil kuni temperatuurini 30–40°C (seda mesofiilse kääritamise korral). Aur sisestatakse injektori kaudu, mille töövedelikuks on seesama kääritatav mass. Peamine ringlus metaankääritustangis toimub propellersegisti abil. [42]

Eralduvate gaaside (65% metaani ja 35% süsihappegaasi) kogumiseks kasutatavad metaani- ja gaasimahutid on plahvatusohtlikud rajatised ning seepärast paigutatakse nad tavaliselt vähemalt 40 meetri kaugusele muudest objektidest. Töötlemise aeg on 10–20 ööpäeva, küdi protsessi parameetrite muutmisega on võimalik vähendada seda 4–7 ööpäevani. Moodustunud biogaas juhitakse spetsiaalse seadme abil metaanimahutist välja ja kohutakse gaasimahutitesse ning kasutatakse seejärel majapidamiste ja tööstuse vajadusteks. Samuti võib seda suunata puhastusseadmete katlamajadesse selle kütusena põletamiseks. [42]

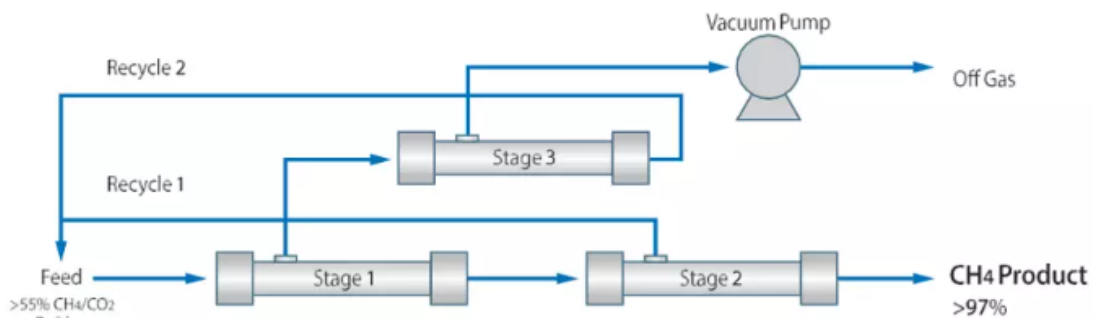
1.4.4 Gaaside eraldamine membraanide abil

Gaasi eraldamise membraanid on väga õhukesed õõnsad kiud, millest juhitakse läbi erinevaid gaasisegusid. Selektiivseks läbitungimiseks nimetatav protsess võimaldab torudes liikuvaid gaase eraldada. Lähemal vaatlusel on gaasi eraldamise membraan ehk nendest mikroõhukestest õõnsatest kiududest koosnev sein erinevatest polümeeridest valmistatud asümmeetriline filter. Läbi kiudude liikudes puutuvad erinevad gaasid vastu membraani ja tungivad sellest läbi. [43]

Iga gaasi läbitungimiskiiruse määrab kindlaks selle lahustuvus membraanimaterjalis ja hajumiskiirus. Suurema lahustuvuse ja väiksemate molekulidega gaasid (kiired gaasid) läbivad membraani kiiremini kui väiksema lahustuvusega tavaliselt suuremate molekulidega gaasid (aeglased gaasid). Membraani kiiremini ja rohkem läbivad gaasid kogunevad permeaadina õõnsate kiudude välisküljele ning gaasid, mis membraani nii hästi ei läbi, jäävad kuni kiu teise otsa jõudmiseni kiu sisse ja eraldatakse retentaadina. Sõltuvalt soovitud gaasi omadustest võib kasutada kas permeaate või retentaate või mõlemat. [43]

Erinevate gaaside ja aurude läbitungimiskiirused erinevad sõltuvalt membraanikiudude valmistamiseks kasutatavate polümeeride tüüpidest. Membraanimaterjali hoolikas kontrollimine muudab membraani neeldumis-hajumise mehhanismi, mis määratleb membraanist läbitungimise kiiruse. [43]

Näiteks tuleb selleks, et eraldada biogaasi kvaliteedi parandamiseks süsinikdioksiidist metaan, juhtida biogaas läbi membraanifiltri (vt. Joonis 1.5). Kuna süsinikdioksiid (CO_2) tungib membraanist läbi palju kiiremini kui metaan (CH_4), on permeaadiks membraanikiust läbi „filtreeritud“ süsinikdioksiid ja retentaadiks õõneskiu sisse jäänud metaan. Seejärel koguneb metaan membraanifiltri otsa. [43]



Joonis 1.5 Membraniga gaaside eraldamise tehnoloogia [43]

Biogaas on jätkanud oma tõusu uue põlvkonna energiaallikaks. See on puhas taastuv alternatiiv maagaasile, mida saab kasutada gaasivõrgus, elektritootmises või isegi mootorikütuses. Tavaliselt jäätmekäitlustevõtetes ja prügilates orgaaniliste ainete anaeroobse lagunemise teel saadud biogaas nõuab metaani (CH_4) kontsentratsiooni

suurendamiseks täiendavat rafineerimist. KL-Airi membraaniga eraldamise tehnoloogia pakub suure metaani püüdmise kiirusega kulutõhusat lahendust, mis muudab biogaasi tõhusaks ja soodsaks taastuenergia allikaks. [44]



Joonis 1.6 Membraanseade [44]

1 – kompressor; 2 – kondensaadi eraldaja; 3 – kuivati; 4 – koalestsentsfilter; 5 – aktiivsöefilter; 6 – membraanmoodul

Joonisel 1.6 on toodud tüüpiline membraanseade. Toorbiogaasist eraldatakse kondensaati ja vesiniksulfiidi. Eeltöödeldud gaas läbib gaasi eraldamise membraani, et saada maagaasivõrgus kasutamiseks palju kõrgema puhtusastmega (üle 97%) biometaan. [44]

2. NARVA LINNA REOVEEPUHASTUSJAAM

Antud peatüki kirjeldusel on kasutatud Narva linna veepuhastusjaama tehnoloogiline reglement. [45]

Narva linnas toimub reovee formeerumine ja puhastamine järgnevalt:

1. linnas tekkiv olmereovesi ja juriidiliste isikute reovesi, mis juhitakse reoveepuhastile ja puhastatakse Narva reoveepuhasti olmereovee puhastuse osas kolmel paralleelsel liinil;
2. tööstustes tekkiv tööstuslik reovesi, milles vähesel määral on ka olmereovett, mis juhitakse reoveepuhastile ja puhastatakse Narva reoveepuhasti tööstusreovee puhastuse osas, mis koosneb ühest liinist. Klientide hulgas on sellised suured tööstusettevõtted nagu Nakro AS, Fortaco Estonia OÜ, Narva Elektri jaamad ja paljud teised.

Olmereovee puhastamiseks rajatil on ehitatud:

- reovee mehaanilise puhastuse sõlm;
- reovee bioloogilise puhastuse sõlm, koos fosfori ja lämmastiku tõhustatud bioloogilise ärastusega ning fosfori keemilise ärastusega;
- radiaalsed järelsetitid (3 tk) ja heitvee mõõtekamber;
- reoveesette metaankäärituse seade, koos sellele järgneva sette tahendamise sõlmega.

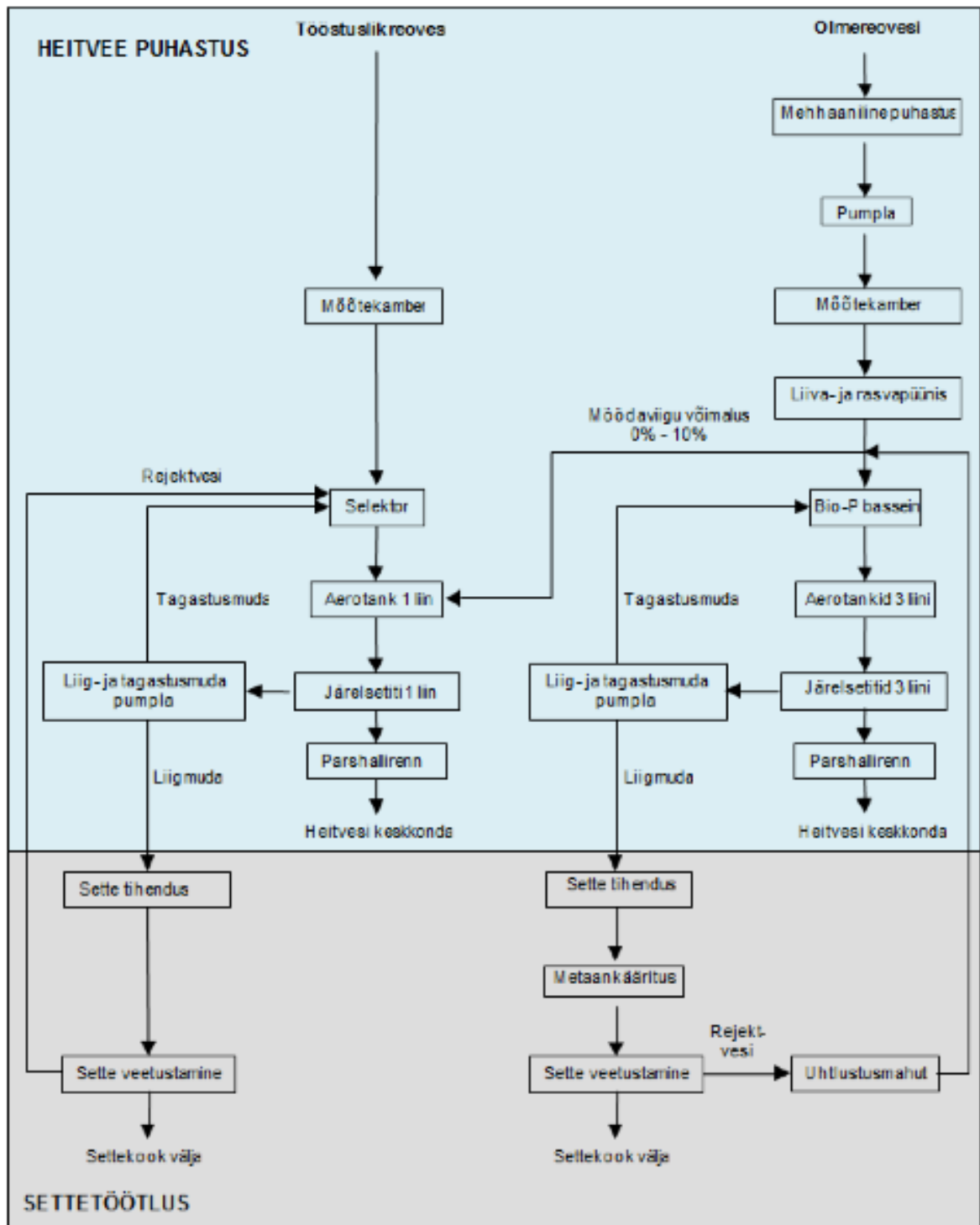
Tööstusreovee puhastamiseks rajatil on ehitatud:

- reovee bioloogilise puhastuse sõlm koos fosfori keemilise ärastusega tehnoloogiaga;
- radiaalne järelsetiti ja heitvee mõõtekamber.

Reoveepuhasti põhimõtteline skeem on toodud joonisel 2.1

2.1 Reovee mehaaniline puhastus

Reovesi linna kanalisatsioonivõrgust voolab isevoolselt mööda kahte kollektorit reoveepuhasti kahte sisenditesse. Sisenditesse on reoveest prahi ja tahkiste eemaldamiseks paigaldatud peenvõreseedmed. Võreruumi on paigaldatud kaks peenvõret perforeeritud võrekorvi avade suurusega 6 mm. Võreruumi võrede jõudlus on 1700 L/s. Tekkiva võreprahi kogus võre kohta on ca 2 m³/p. See praht pressitakse, pannakse erikonteinerisse ja viiakse prügilasse.



Joonis 2.1 Reoveepuhasti põhimõtteline skeem [45]

Reoveepumplad

Võred läbinud reovesi voolab edasi kahte reoveepumpla reservuaari. Reoveepumpla reservuaaridest pumbatakse reovesi edasi liiva- ja rasvapüünisesse. reoveepumplasse on paigaldatud kuus kuivasetusega tsentrifugaalpumpa kogujõudlusega 2034 m³/h ja 2160 m³/h.

Liiva - ja rasvapüünis

Liiva - ja rasvapüünis koosneb kahest võrdse jõudlusega paralleelsest liinist, mille parameetrid on järgmised:

- liivapüünise maht 130 m³;
- rasvapüünise pindala 52 m².

Reovesi siseneb püünisesse selle ühest otsas ja juhitakse püünisest välja teises otsas asuva ülevoolurenni kaudu. Õhupuhurid rikastavad basseini põhjas asuvate difuursorite kaudu vett õhuga, mis paneb reovee ringlema. Raskemad liivaosakesed settivad selle käigus põhja, kergemad osakesed aga kantakse reoveega edasi. Rasvapüünises asub rahulikum sektsioon, kus õli ja rasv kogunevad vee aeglase voolukiiruse tingimustes pinnale. Reovee pinnal paiknev õli ja rasv eemaldatakse automaatselt liikuva kraapsilla abil. Sukelpumbasüsteemi abil kogutakse kokku liivapüünise tsoonis põhjavajunud liiv ning pumbatakse torustiku kaudu rasvapüünise kõrval asuvasse renni ning sealt edasi konteinerisse. Kokkukogutud rasv juhitakse rasvapüüdurisse ja eemaldatakse sealt paakautoga. Rasvapüüduris eralduv vesi suunatakse tühjenduskaevu ja pumbatakse sealt tagasi kahe pumbaga liiva- ja rasvapüünise sisendisse.

2.2 Bioloogiline puhastus

Liiva ja rasvapüüduuri läbinud reovesi voolab isevoolselt reovee bioloogilise puhastuse etappi, mis koosneb järgmistest protsessiosadest:

- BIO-P üksusest, mis hõlmab järgnevaid protsessimahuteid:
 - eel-denitrifikatsioonibasseinist (900 m³) ;
 - anaeroobsest Bio-P basseinist (2400 m³) ;
- vastuvõtu-segunemiskambrit (selektor) (210 m³), k.a. jaotuskamber aerotankide vahel;
- kolm aerotanki olmereovee töötamiseks mahuga 12600 m³;
- kaks järelsetitite jaotuskambrit;
- neli järelsetitit.

Bio-P süsteemi funktsiooniks on vähendada fosfori sisaldust reovees nii palju kui võimalik ilma sadestuskemikaale lisamata. Bio-P süsteem koosneb väikestest basseinidest, mis peavad tagama efektiivse fosfori ärastuse ja muda settimise. Bio-P süsteemis toimub reovee ja järelsetitist tagasi pumbatud tagastusmuda segamine.

Eel-denitrifikatsioonibassein

Eel-denitrifikatsioonimahutis mahuga 900 m³ toimub jääknitraadi, juhul kui seda on, eemaldamine tagastusmudast selliselt, et järgnev puhastusprotsess toimuks täielikult anaeroobsetes tingimustest (ilma hapniku ja nitraadita). Antud mahutisse suunatakse

10%-20% kogu reoveest, mis peab tagama vajaliku toitekeskkonna (BHT, KHT) nitraadi denitrifitseerimiseks tagastusmudast. Mahutisse on reovee ja aktiivmuda segamiseks paigaldatud segaja.

Anaeroobsete (anoksiliste) tingimustega BIO-P bassein

Eel-denitrifikatsioonimahutist suunatakse reovee ja aktiivmuda segu anaeroobsesse basseini mahuga 2400 m³ (mida kutsutakse ka hüdrolüüsibasseiniks).

Selles basseinis antakse aktiivmudale pikem viibeaeg, samal ajal toimub muda hüdrolüüs. Antud protsessis muutub osa heljumist kergelt lagundatavaks orgaaniliseks aineks lenduvate rasvhapete kujul.

Anaeroobses Bio-P basseinis luuakse soodsad tingimused fosforit akumulereivatele mikroorganismidele. Need mikroorganismid on võimelised imama anaeroobses keskkonnas toitainet substraati ja koguma oma rakkudesse rohkem fosforit kui teised mikroorganismid. See tähendab, et suure osa reovees olevast fosforist saab assimileerida mudasse, mis vähendab hiljem kasutatava kemikaali hulka. Mahutisse on reovee ja aktiivmuda segamiseks paigaldatud segaja.

Vastuvõtu-segunemiskamber

Vastuvõtu-segunemiskambris mahuga 210 m³ (selektor) segatakse suurem osa reoveest (80%-90%) anaeroobsest Bio-P basseinist sinna suunatud osaliselt puhastatud heitveega. Tulemuseks on suur mudakoormus, mis soodustab koos muda setitamisega mikroorganismide kasvu. Reovee jaotamine kolme aerotanki vahel on lahendatud kolme automaatselt seadistatud ülevooluga.

Aerotankid

Kolme olmereovee puhastamiseks mõeldud aerotanki summaarne maht on 12 600 m³. Reovee ja aktiivmudasuspensiooni hapnikuga varustamine toimub puhurite abil. Hapnik suunatakse protsessi läbi aerotanki põhjadele kinnitatud difuusorite. Puhurid varustavad difuusoreid suruõhuga. Suur veesügavus tagab aeratsioonisüsteemi efektiivse kasutamise arvestades energiatarbimist. Õhuklapid on paigaldatud igale õhutorule. Klapi abil kontrollitakse aerotanki siseneva õhu hulka. Põhjaliku segamise tagamiseks siis, kui aeratsioonisüsteem on välja lülitatud, kasutatakse tiiviksegisteid. Antud segisteid saab kasutada ka aeratsioonifaasis. Stabiilse puhastusprotsessi ja muda stabiliseerimise tagamiseks peab aerotankides olema teatud hulk muda. Konstantse mudakoguse tagamiseks tuleb eraldada puhastatud heitvesi aktiivmudast ja suunata settinud muda tagasi aerotankidesse. Eraldamine toimub järelsetitites. Tagastusmudapumpade abil pumbatakse settinud muda tagasi Bio-P protsessi, kus see segatakse reoveega.

Järelsetitite jaotuskambrid

Jaotuskambri funktsiooniks on jaotada aktiivmuda võrdselt nelja järelsetiti vahel. 50% reoveest jaotatakse ühtlaselt kahe uuema järelsetiti vahel. Ülejäänud 50% suunatakse olemasolevasse jaotuskambrisse, kus see jaguneb võrdselt kahe vanema järelsetiti vahel.

Neli järelsetitit

Radiaalvooluliste järelsetitite läbimõõt on 30 m, pindala 1,414 m² ja maht 4,808 m³.

Reovesi suunatakse jaotuskambritest silindrikujulistesse radiaalse veevooluga järelsetititesse, kus muda settib aeglase vee voolukiiruse tingimustes gravitatsiooni mõjul setiti põhja ja puhastatud heitvesi voolab ülevoolu kaudu piki äärerenni puhastatud heitvee basseinidesse.

Järelsetitid on varustatud pöörleva kraapsillaga, mille külge on paigaldatud nii põhjakuu ka pinnakraap. Põhjakraap lükkab settinud muda settebasseini keskosas asuvasse mudašahti. Kõik neli järelsetitit on ühendatud ühtse tagastusmudapumplaga mille abil pumbatakse settinud muda tagasi aerotanki ja osaliselt liigmudana liigmuda ehk reoveesette käitlemise protsessi. Ujumudakambris mudast eralduv vesi pumbatakse tööstusreovee puhastusliini aerotanki. Ujumuda eemaldatakse ujumudakambrist perioodiliselt vaakumautoga.

Puhastist väljuva heitvee mõõtmine – Parshalli renn

Olemreovee puhastuse osas väljuvat heitvee hulka mõõdetakse Parshalli rennis, kust toimub heitvee parameetrite ja vastavuse seireks heitveeproovide võtmine.

Tööstusreovee puhastuse tehnoloogilised etapid

Tööstuslik reovesi puhastatakse olmereoveest eraldiseisvas osas. Reoveepuhasti projekt võimaldab siiski juhtida 10% mehaaniliselt puhastatud olmereoveest tööstusreovee.

Vastuvõtu-segunemiskamber

Vastuvõtu-segunemiskambris (selektor tank) segatakse reovesi tagastusmuda pumplast tuleva tagastusmudaga. Tulemuseks on suur mudakoormus, mis soodustab koos muda settimisega mikroorganismide kasvu. Samal ajal toimub anaeroobsetes tingimustes toitainete absorbeerimine/lagundamine, mis piirab kiudjate mikroorganismide kasvu ja vähendab pundunud aktiivmuda tekkimise võimalust.

Aerotank tööstusliku reovee töötluks

Tööstusreovee puhastuse osa koosneb ühest aerotankist, mis on sarnane olmereovee töötlukses kasutatavate aerotankidega. Aerotankis lagundatakse reovees olevad reoained

bioloogiliselt aktiivmudas olevate mikroorganismide poolt. Aerotankis rakendatakse sarnaselt olmereovee puhastuse osaga tsüklilist reovee ja aktiivmudasuspensiooni õhustamist, mis võimaldab lämmastiku tõhustatud ärastamist nitrifikatsiooni ja denitrifikatsiooni vahendusel.

Järelsetiti

Bioloogilisest puhastusetapist suunatakse heitvee ja aktiivmudasuspensiooni segu silindrikujulisse radiaalse veevooluga järelsetitisse, kus muda settib aeglase vee voolukiiruse tingimustes gravitatsiooni mõjul setiti põhja ja puhastatud heitvesi voolab ülevoolu kaudu piki äärerenni puhastatud heitvee basseinidesse.

Järelsetiti on varustatud pöörleva kraapsillaga, mille külge on paigaldatud nii põhja- kui ka pinnakraap. Põhjakraap lükkab settinud muda settebasseini keskosas asuvasse mudašahti. Sealt liigub muda edasi tagastusmuda pumplasse.

Pinnakraap eemaldab ujumuda ning suunab selle automaatsesse väljavoolusiibrisse, mis asub ujumudakambris. Ujumudakamber on nii olme- kui ka tööstusliku reovee liinide jaoks ühine. Ujumudakambris mudast eralduv vesi pumbatakse tööstusreovee puhastusliini aerotanki. Ujumuda eemaldatakse ujumudakambrist perioodiliselt vaakumautoga.

Puhastist väljuva heitevee mõõtmine – Parshalli renn

Tööstusreovee puhastuse osas väljuvat heitvee hulka mõõdetakse Parshalli rennis, kust toimub heitvee parameetrite ja vastavuse seireks heitveeproovide võtmine.

Reoveesete käitlemine

Sarnaselt olmereovee puhastuse osaga eraldatakse bioloogilise puhastusprotsessi käigus juurdekasvav organismide biomass ehk liigmuda bioloogilisest puhastusprotsessist tagastusmuda pumplas. Liigmuda suunatakse liigmudapumpade abil mudatöötlussüsteemi, kus see tihendatakse gravitatsiooniliselt mudatihendis. Peale mudatihendist reoveesete tahendatakse tsentrifuugseadmes lisades mudast vee hõlpsamaks eraldamiseks polümeeri. Reoveepuhastuse protsessis tekkivat reoveesetet kasutab ettevõtte mulla rekultiveerimiseks ning haljastuses. Bioloogilisest puhastusprotsessist eraldatav liigmuda eraldatakse tagastusmuda pumplas mudatöötlussüsteemi, kus see tihendatakse gravitatsiooniliselt mudatihendis ja pumbatakse seejärel eelsoojendatuna metaankäärituse protsessi. Peale metaankääritust reoveesete tahendatakse kahes tsentrifuugseadmes lisades mudast vee hõlpsamaks eraldamiseks polümeeri. Reoveepuhastuse protsessis tekkivat reoveesetet kasutab ettevõtte mulla rekultiveerimiseks ning haljastuses.

3. ARVUTUSLIK OSA

3.1 Metaankääritustanki arvutused

Metaankääritustanki arvutuste tegemisel on kasutatud metoodikat, mis on ära toodud A. V. Kuzmitšovi õpikus „Теоретические основы защиты окружающей среды” (Ümbritseva keskkonna kaitse teoreetilised alused). [45]

Metaankääritustangi arvutuste teel on võimalik määrata puhastusjaamas moodustuva sette hulka, vajalike rajatiste mahtu ja sette tuhavaba (orgaanilise) aine lagunemisastet.

Setete kääritamine metaankääritustangis toimub mesofiilses režiimis. Kääritamiseks vajaliku režiimi valimisel võetakse arvesse setete hilisema töötlemise ja utiliseerimise meetodeid, aga ka kehtivaid sanitaarnõudeid.

Protsessi parameetrite arvutamine toimub järgmiselt:

1. Kuivaine ja aktiivmuda mass tonnides:

$$Q_{\text{kuiv}} = \frac{C \cdot E \cdot k}{1000 \cdot 1000} q_{\text{cm}} \quad (3.1)$$

$$A_{\text{kuiv}} = \frac{0,8C(1 - \varepsilon)K_{\text{am}}L_a - b}{1000 \cdot 1000} q_{\text{cm}}, \quad (3.2)$$

kus C – heljumi kontsentratsioon esmastesse settebasseinidesse saabuvas vees;

L_a – aerotanki saabuva settevee biokeemiline hapnikutarve;

E – heljumi esmastes settebasseinides kinnipidamise efektiivsus, kus ühiku osad jaotuvad suhtes 50%;

q_{cm} – reovete keskmine kulu;

k – koefitsient, mis võtab arvesse sette mahu suurenemist, mis on tingitud suurtest heljumi fraktsioonidest, mida analüüsiks proovide võtmisel kinni ei püüta, $k = 1,1+1,2$;

b – sekundaarne muda väljakandumine sekundaarsetest settebasseinidest, mg/L;

K_{am} – aktiivmuda juurdekasvu koefitsient, $K_{\text{am}} = 0,3+0,5$.

2. Setete tuhavaba heljumi ja aktiivmuda mass tonnides ööpäeva kohta:

$$Q_{\text{tva}} = \frac{Q_{\text{kuiv}}(100 - N_g)(100 - T_s)}{1000 \cdot 1000} \quad (3.3)$$

$$A_{tva} = \frac{A_{kuiiv}(100-N'_g)(100-T_m)}{1000 \cdot 1000},$$

kus N_g и N'_g – toore sette ja aktiivmuda hügrooskoopne niiskus, %;

T_s и T_m – sette ja muda kuivaine tuhasisaldus, %.

3. Sette üldkulu jaamas nii kuiv- kui ka tuhavaba aine osas:

$$M_{kuiiv} = Q_{kuiiv} + A_{kuiiv}; M_{tva} = Q_{tva} + A_{tva} \quad (3.4)$$

4. Toore sette ja jääkaktiivmuda kulu m^3 /ööpäevas:

$$q_s = \frac{100Q_{kuiiv}}{(100-N_s)\gamma_s} \quad (3.5)$$

$$q_m = \frac{100A_{kuiiv}}{(100-N_m)\gamma_m},$$

kus N_s и N_m – toore sette ja jääkaktiivmuda niiskus, %;

γ_s и γ_m – sette ja aktiivmuda tihedus, t/m^3 .

5. Muda kogukulu tegeliku niiskussegu mahu kohta:

$$M_{kogu} = q_s + q_m \quad (3.6)$$

6. Segu niiskuse ja tuhasisalduse keskmised näitajad protsentides:

$$N_{segu} = 100(1 - M_{kuiiv}/M_{kogu}) \quad (3.7)$$

$$E_{segu} = 100 \left[1 - \frac{M_{tva}}{\frac{Q_{kuiiv}(100 - N_g)}{100} + \frac{A_{kuiiv}(100 - N_g)}{100}} \right]$$

7. Metaankäiritustangi nõutav maht, m^3 :

$$W = 100 \cdot M_{kogu}/D \quad (3.8)$$

kus D – sette ööpäevas metaankäiritustanki laadimise protsentuaalne (%) kogus selle mädandi mahust.

8. Gaasi väljund laaditud tuhavaba materjali kohta, m^3/kg :

$$G = (r - \eta D)/100, \quad (3.9)$$

kus r – sette kääritamise piirnäit, %;

η – empiiriline koefitsient, mis sõltub sette niiskusest ja kääritamisrežiimi temperatuurist.

9. Sette ja aktiivmuda segu kääritamise (lagunemise) piirnäitaja:

$$r_{\text{segu}} = \frac{r_o Q_{\text{tva}} + r_m A_{\text{tva}}}{M_{\text{tva}}}, \quad (3.10)$$

kus r_o и r_m – vastavalt kas sette või muda lagunemise piirid, %.

Nende näitajate väljaarvutamine on võimalik, kui on teada rasvade (rv), valkude (vg) ja süsivesikute (sv) sisaldus kääritatavas substraadis. Arvutus teostatakse järgmise valemi järgi:

$$r = (0,92rv + 0,62sv + 0,34vg) \cdot 100 \quad (3.11)$$

Juhul, kui andmeid sette keemilise koostise kohta ei ole, võib lähtuda järgmistest väärtustest:

$$r_o = 53\%, r_m = 44\%.$$

Tabel 3.1 Reovete puhastusprotsessi parameetrid (ettevõtte andmed)

Va-riant	Puhastus-jaama tootlikkus Q_{cm} , $m^3/\text{ööpäev}$	Heljumi kontsentratsioon C, mg/L	Hapniku biokeemiline tarbimine, mg/l	Kääritus-režiim	Tuhasisaldus, %		Valkude, rasvade, süsivesikute sisaldus	
					settes	Mudas	settes	Mudas
1	11918	538	145	M	20,3	18,4	1	1
2	13164	594	160	M	22,5	20,7	1	2
3	11810	533	144	M	20,1	19,3	2	1
4	12473	563	152	M	21,3	19,5	2	3
5	15054	680	195	M	25,7	22,1	3	3
6	13973	631	170	M	23,9	21,6	1	4
7	12810	578	156	M	21,9	19,8	2	4
8	12153	549	148	M	20,8	19,1	2	2
9	12119	547	147	M	20,7	19,6	2	5
10	11868	536	144	M	20,2	18,4	3	2
11	11500	519	140	M	19,6	17,9	4	1
12	11115	502	135	M	19,0	17,0	3	3
13	14782	668	180	M	25,2	23,5	4	2
14	24053	1086	293	M	41,1	36,5	5	1
15	16490	745	201	M	28,2	26,4	1	5
16	15084	681	183	M	25,7	23,9	5	3
17	16060	725	195	M	27,4	25,7	3	1
18	13928	629	169	M	23,8	21,6	4	3
19	15438	697	188	M	26,4	24,4	5	4
20	17464	789	213	M	29,0	27,0	4	4

Arvutuse teostamiseks on võetud parameetrite keskmised väärtused (vt Tabel 3.1.):

- puhastusjaama tootlikkus – 15000 m³/ööpäevas;
- heljumi kontsentratsioon esmastesse settebasseinidesse saabuvas vees – 640mg/L;
- settevee õhustuskambrisse saabuva reovee biokeemiline hapnikutarve – 173 mg/L.

Tabel 3.2 Valkude, rasvade ja süsivesikute sisaldus esmaste settimismahutite mudas (lugeja) ja tihendatud aktiivmudas (nimetaja) – g/g [45]

Variant	Süsivesikud	Rasvad	Valgud
1	0,168/0,065	0,356/0,323	0,306/0,494
2	0,201/0,094	0,394/0,340	0,280/0,448
3	0,196/0,078	0,344/0,313	0,290/0,489
4	0,182/0,071	0,340/0,359	0,308/0,450
5	0,177/0,083	0,320/0,334	0,333/0,463

Sette kulu kuivaine järgi vastavalt valemile (3.1):

$$Q_{\text{kuiv}} = \frac{640 \cdot 0,5 \cdot 1,1}{1000 \cdot 1000} \cdot 15000 = 5,28 \text{ t/ööpäevas.}$$

Esmastes settebasseinides asetleidva vee selitamisprotsessi käigus väheneb biokeemilise hapnikutarbena fikseeritav saaste kontsentratsioon umbes 15-20% võrra. Võtame suurima väärtuse, milleks on 20%. Sellisel juhul on õhustuskambrisse tuleva vee biokeemiline hapnikutarve:

$$L_a = 173(1 - 0,2) = 138 \text{ mg/L.}$$

Aktiivmuda sekundaarsest settebasseinist väljakandmise näitajaks võtame 15 mg/t. Siis saame valemi (3.2) kohaselt tulemuseks:

$$A_{\text{kuiv}} = \frac{0,8 \cdot 640 \cdot (1 - 0,5) + 0,3 \cdot 138 - 15}{1000 \cdot 1000} \cdot 15000 = 4,24 \text{ t/ööpäevas.}$$

Sette ja muda kulu tuhavaba substantsi osas, kui sette tuhasisaldus $T_s = 24\%$, aktiivmuda tuhasisaldus $T_m = 22\%$ ja sette ning muda hügrokoopne niiskus B_r ja B'_r on 5% vastavalt valemitele (3.3):

$$Q_{\text{tva}} = \frac{5,28 \cdot (100 - 5)(100 - 24)}{100 \cdot 100} = 3,81 \text{ t/ööpäevas;}$$

$$A_{\text{tva}} = \frac{4,24 \cdot (100 - 5)(100 - 22)}{100 \cdot 100} = 3,14 \text{ t/ööpäevas.}$$

Sette eemaldamisel settebasseinides varbkolbpumpade abil võib selle niiskuseks võtta 95%, tihendatud aktiivmuda niiskuseks 96%, sette ja aktiivmuda tiheduseks 1 t/m³. Siis saame valemite abil läbiarvutamisel järgmised tulemused (3.5):

$$q_s = \frac{100 \cdot 5,28}{(100 - 95) \cdot 1} = 105,6 \text{ m}^3/\text{ööpäevas};$$

$$q_m = \frac{100 \cdot 4,24}{(100 - 96) \cdot 1} = 106 \text{ m}^3/\text{ööpäevas}.$$

Valemite (3.4) ja (3.6) järgi saame tulemuseks sette ja muda järgmised summaarsed kulunäitajad:

$$M_{\text{kuiiv}} = 5,28 + 4,24 = 9,52 \text{ t}/\text{ööpäevas};$$

$$M_{\text{kogu}} = 105,6 + 106 = 211,6 \text{ m}^3/\text{ööpäevas};$$

$$M_{\text{tva}} = 3,81 + 3,14 = 6,95 \text{ t}/\text{ööpäevas}.$$

Niiskuse ja tuhasisalduse keskmised näidud valemite (3.7) järgi:

$$N_{\text{segu}} = 100(1 - 9,52/211,6) = 95,5\%;$$

$$E_{\text{segu}} = 100 \cdot \left[1 - \frac{6,95}{5,28 \cdot (100 - 5)/100 + 4,24 \cdot (100 - 5)/100} \right] = 23\%.$$

Lähtesegu 96%-lise niiskuse korral on mesofiilse režiimi puhul täitedoosiks 9%. Sellisel juhul on vaja metaankääritustanki, mille mahtu leiame järgmisele valemil (3.8) abil:

$$W = 211,6 \cdot 100/9 = 2351 \text{ m}^3.$$

Vastavalt tabelile 3.3 valime kolm metaankääritustanki diameetriga $d=12,5$ m, mille kasulik maht on 1000 m³. Metaankääritustankide kogumaht osutub seejuures nõutavast mahust veidi suuremaks ja seoses sellega väheneb tegelik täitedoos:

$$D = 211,6 \cdot 100/3000 = 7,05\%.$$

Segu lagunemine arvutatakse järgmise valemi järgi (3.10):

$$r_{\text{segu}} = (53 \cdot 3,81 + 44 \cdot 3,14)/6,95 = 48,9\%.$$

Ühest kilogrammist orgaanilisest ainest saadava saagise arvutamiseks kasutame koefitsienti $n = 0,56$ N_{segu} puhul = 95% ja $t = 33$ °C). Sellisel juhul saame valemil (3.9) kasutades järgmise tulemuse:

$$G = (48,9 - 0,56 \cdot 7,05)/100 = 0,450 \text{ m}^3/\text{kg}.$$

Tabel 3.3 Metaankäiritustankide projektmöödud [45]

Diameeter, m	Ühe mahutu kasulik maht, m ³	Kõrgus, m			Teenindava hoone ehitusmaht, m ³	Gaasivõrgu kioski ehitusmaht, m
		Ülemine koonus	Silindriine koonus	Alumine koonus		
12,5	1000	1,9	6,5	2,15	652	100
15,0	1600	2,35	7,5	2,6	2035	112
17,5	2500	2,5	8,5	3,05	2094	136
20,0	4000	2,9	10,6	3,5	2520	174
18,0	6000	3,15	18,0	3,5	2700	170
22,4	8000	4,45	16,3	3,7	2000	170

Gaasi kogusaagis:

$$G_{\text{kogu}} = G \cdot M_{\text{tva}} \cdot 1000 = 0,450 \cdot 6,95 \cdot 1000 = 3128 \text{ m}^3/\text{ööpäevas.}$$

Edasi tuleb määrata kääritatud segu kvaliteet, s.t. arvutada välja selle niiskus ja tuhasisaldus. Kääritusprotsessi käigus leiab aset tuhavabade ainete lagunemine, mille tulemuseks on kuivaine massi vähenemine ja sette niiskuse suurenemine. Segu kogumaht jääb pärast kääritamise lõppu praktiliselt samaks. Suurus G, mida väljendatakse protsentides, kajastab gaasisaagisel alusel arvatud tuhavaba aine lagunemisastet. Antud juhul on $G = 44,8\%$. Teades lagunemise astet saab arvutada välja kääritatud segus sisalduva tuhavaba aine massi:

$$M'_{\text{tva}} = 6,95 \cdot (100 - 44,8)/100 = 3,84 \text{ t/ööpäevas.}$$

Näitajate $M_{\text{kuiiv}} - M_{\text{tva}}$ vahelise erinevuse puhul on tegemist selle tuhaosaga, mis ei allu kääritamisprotsessi käigus muudatustele, ja seepärast saame kääritatud segu olema kuivaine järgmise massi:

$$M'_{\text{kuiiv}} = (9,52 - 6,95) + 3,84 = 6,41 \text{ t/ööpäevas.}$$

Teades näitajate M'_{kuiiv} ja M'_{tva} väärtusi ning võttes kääritatud segi hügrokoopse niiskuse näitajaks 6 % saab arvutada välja selle tuhasisalduse:

$$T_{\text{segu}} = 100 - \frac{3,84 \cdot 100 \cdot 100}{6,41 \cdot (100 - 5)} = 37\%.$$

Kääritatud segu niiskus järgmise valemi järgi (3.7):

$$N'_{\text{segu}} = 100 - (6,41/211,6) \cdot 100 = 97\%.$$

Seega on sette kääritamise tulemuseks kääritatava massi niiskuse ja tuhasisalduse suurenemine.

3.2 CH₄ ja CO₂ eraldamine biogaasist membraanmeetodi abil

Arvutuste tegemisel on kasutatud meetodikat, mis on kirjeldatud G. Borissovi õpikus „Основные процессы и аппараты химической технологии” (Keemilise tehnoloogia peamised protsessid ja aparaadid). [46]

Membraanmooduli materjalibilansi arvutamine on viidud läbi valemite järgi: [46]

Üldine bilansi võrrand:

$$L_f = L_p + L_r,$$

kus L_f – lähtegaasi CH₄ ja CO₂ kulu, mol/s;

L_p – permeaadi kulu, mol/s;

L_r – retentaadi kulu, mol/s.

Materjalibilansi võrrand CO₂ jaoks:

$$L_f \cdot x_f = L_r \cdot x_p + L_p \cdot x_r,$$

kus x_f – CO₂ moolimurd lähtegaasis;

x_p – CO₂ moolimurd permeaadis;

x_r – CO₂ moolimurd retentaadis.

Eraldamise koefitsient – selektiivsus:

$$a = \frac{K_{\text{CO}_2}}{K_{\text{CH}_4}}$$

Permeaadi moolimurd:

$$\frac{x_p}{(1 - x_p)} = a \cdot \frac{\left(x_r - \frac{ph}{pl} x_p\right)}{\left[(1 - x_r) - \frac{ph}{pl} \cdot (1 - x_p)\right]}$$

Peale teisendust x_p suhtes, saame ruutvõrrand:

$$ax_p^2 = bx_p + c = 0$$

Määrame permeaadi x_p kontsentratsioon valemi järgi:

$$x_p = B - \left[B^2 - \frac{a}{(a-1) \cdot P_r} \cdot \bar{x}_1 \right]^{0,5},$$

kus $P_r = \frac{p}{p_1}$ - rõhku suhe drenaazi - ja survekanalites.

$$B = 0,5 \cdot \left[1 + \frac{1}{(a-1) \cdot P_r} + \frac{\bar{x}_1}{P_r} \right]$$

Tooraine kontsentratsiooni erinevuse logaritmiline keskmine väärtus

$$\bar{x}_1 = \frac{x_f - x_r}{\ln \frac{x_f}{x_r}}$$

Määrame gaaside tihedused, kg/m^3 , rõhu juures $p_h = 1 \cdot 10^6$ Pa:

$$\rho_{\text{gaasi}} = \rho_0 \cdot \frac{p}{p_0} \cdot \frac{T_0}{T}$$

$$\rho_{\text{CO}_2} = 1,9769 \cdot \frac{1 \cdot 10^6}{1,01325 \cdot 10^5} \cdot \frac{273}{293} = 18,178 \text{ kg/m}^3$$

$$\rho_{\text{CH}_4} = 0,7168 \cdot \frac{1 \cdot 10^6}{1,01325 \cdot 10^5} \cdot \frac{273}{293} = 6,591 \text{ kg/m}^3$$

$$\rho_{\text{segu}} = x_{\text{CO}_2} \cdot \rho_{\text{CO}_2} + x_{\text{CH}_4} \cdot \rho_{\text{CH}_4} = 0,3 \cdot 18,178 + 0,7 \cdot 6,591 = 10,067 \text{ kg/m}^3$$

Gaasi kulu, mol/s:

$$M = x_{\text{CO}_2} \cdot M_{\text{CO}_2} + x_{\text{CH}_4} \cdot M_{\text{CH}_4} = 0,3 \cdot 44 + 0,7 \cdot 16 = 24,4 \text{ mol/s}$$

$$L_f = \frac{120,12 \cdot 10,07}{24,4 \cdot 3600} = 0,013770 \text{ kmol/s} = 13,770 \text{ mol/s}$$

Membranmoodul väljumisel gaas sisaldab 1 mahu % CO₂ ja 99 mahu % CH₄

Arvutamiseks valime polueetersulfooni (PES) tseoliit 4A õõneskiudmembraani CO₂/CH₄ eraldamiseks, selektiivsus $a = 28$, membraani läbilaskvus $K_{\text{CO}_2} = 6,8 \cdot 10^{-9} \frac{\text{mol}}{\text{m}^2 \cdot \text{s} \cdot \text{Pa}}$ [46]. Võtame CO₂ kontsentratsiooni retentaadis $x_r = 0,01$, rõhud vastavalt surve- ja drenaazikanalis valime $p_h = 10^6$ Pa, $p_1 = 10^5$ Pa [47].

$$\bar{x}_1 = \frac{0,3 - 0,01}{\ln \frac{0,3}{0,01}} = 0,085$$

$$B = 0,5 \cdot \left[1 + \frac{1}{(a-1) \cdot P_r} \cdot \frac{\bar{x}_1}{P_r} \right] = 0,5 \cdot \left[1 + \frac{1}{(28-1) \cdot 0,1} + \frac{0,085}{0,1} \right] = 1,11$$

$$x_p = B - \left[B^2 - \frac{a}{(a-1) \cdot P_r} \cdot \bar{x}_1 \right]^{0,5} = 1,11 - \left[1,11^2 - \frac{28}{(28-1) \cdot 0,1} \cdot 0,085 \right]^{0,5} = 0,518$$

Määrame permeaadi ja retentaadi kulu:

$$L_p = \frac{L_f(x_f - x_r)}{x_p - x_r} = \frac{13,770 \cdot (0,3 - 0,01)}{0,518 - 0,01} = 7,861 \text{ mol/s}$$

$$L_r = L_f - L_p = 13,770 - 7,861 = 5,909 \text{ mol/s}$$

Arvutame membraanide tööpinda võrrandi järgi:

$$F = \frac{L_p \cdot x_p}{K_{\text{CO}_2} \cdot (\bar{x}_1 \cdot p_h - x_p \cdot p_1)} = \frac{7,861 \cdot 0,518}{6,8 \cdot 10^{-9} \cdot (0,085 \cdot 10^6 - 0,518 \cdot 10^5)} = 18037 \text{ m}^2$$

Üldine materjalibilansi võrrand:	Materjalibilansi võrrand CO ₂ kohta:
$L_f = L_r + L_p$	$L_f \cdot x_f = L_r \cdot x_r + L_p \cdot x_p$
$13,770 = 5,909 + 7,861$	$13,770 \cdot 0,3 = 5,909 \cdot 0,01 + 7,861 \cdot 0,518$
$13,770 = 13,770$	$4,131 = 4,131$

Kirjanduses ära toodud andmete kohaselt [48] on ühe membraanmooduli pindala 900 m². Sellisel juhul on 18037 m² suuruse membraani jaoks vaja:

$$F = 18037 : 900 = 20 \text{ moodulit.}$$

3.3 Biometaani põlemisprotsessi arvutused

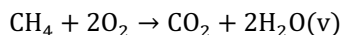
Määrame kindlaks soojuse hulga, mida on võimalik saada ühest kuupmeetrist biometaanist. Kuna biometaan sisaldab endas 99% metaani, siis on selle mahuks:

$$V(\text{CH}_4) = 1000 \cdot 0,99 = 990 \text{ L}$$

Metaani koguse määramine:

$$n(\text{CH}_4) = \frac{V}{V_2} = \frac{990 \text{ L}}{22,4 \text{ L/mol}} = 44,2 \text{ mol}$$

Metaani põlemise võrrand:



Arvutame Hessi seaduse kohaselt metaani põlemisreaktsiooni entalpia muutumise näidu:

$$\Delta H^\circ = H_f^\circ(\text{CO}_2) + 2H_f^\circ(\text{H}_2\text{O}) - H_f^\circ(\text{CH}_4) - 2H_f^\circ(\text{O}_2)$$

Teatmikust [49]:

$$\Delta H_f^\circ(\text{CO}_2) = -393,51 \text{ kJ/mol}$$

$$\Delta H_f^\circ(\text{H}_2\text{O}) = -285,84 \text{ kJ/mol}$$

$$\Delta H_f^\circ(\text{CH}_4) = -84,85 \text{ kJ/mol}$$

$$\Delta H_f^\circ(\text{O}_2) = 0 \text{ kJ/mol}$$

Sellisel juhul saame järgmise tulemuse:

$$\Delta H^\circ = -393,51 + 2 \cdot (-285,84) - 84,85 - 2 \cdot 0$$

$$\Delta H^\circ = -880,34 \text{ kJ}$$

Metaani ühe mooli põlemise soojuskoefitsient on:

$$Q = -\Delta H^\circ = 880,34 \text{ kJ}$$

44,20 mooli metaani põlemisel saame järgmise eralduva soojuse näidu:

$$Q = 880,34 \text{ kJ/mol} \cdot 44,20 \text{ mol} = 38,91 \text{ MJ}$$

1 m³ biometaani põlemisel eralduva soojuse hulk võrdub 38,91 MJ/m³.

Arvutuste kohaselt tekib ööpäevas 9520 kg kuivsetet. Ühest kilogrammist settest moodustub 0,450 m³ biogaasi. Sellisel juhul on ööpäevas saadava biogaasi koguseks:

$$0,450 \cdot 9520 = 4284 \text{ m}^3$$

Kui CH₄ kogus lähtebiogaasis on 70%, siis on saadava metaani kogus järgmine:

$$4284 \cdot 0,7 \approx 2999 \text{ m}^3$$

Ööpäevas saadava energia koguseks saame:

$$2999 \cdot 38,91 = 116\,691 \text{ MJ}$$

Kütuste keskmine kütteväärtus:

Maagaas – 35,27 MJ/m³ [50]

Põlevkiviõli – 10,8 kWh/kg – 38,88 MJ/kg [51]

Wood pellet [52] – 18,78 MJ/kg (Moisture content 7,060%) [52]

Energeetiline põlevkivi – 8,4 MJ/kg [53]

116691 MJ energia saamiseks on vaja põletada:

- 3309 m³ maagaasi;
- 3,01 tonni põlevkiviõli;
- 6,21 tonni puidugraanuleid;
- 13,89 tonni põlevkivi.

KOKKUVÕTE

Käesoleval hetkel on meetaaniheitmete atmosfääriõhku paiskamise üheks kõige suuremaks allikaks reovete ladustamisväljad. Kasutades reoveesetet biogaasi tootmise lähteainena hermeetilistes biogaasijaamades saab reoveepuhastite metaani emissiooni vähendada umbes 50% võrra.

Reoveesette anaeroobse kääritamisprotsessi tulemusena tekib biogaas. Biomassi lagunemine toimub kolme liiki bakterite mõju tulemusena. Biogaasi kasutamine annab võimaluse vähendada nii elektrienergiaga seonduvaid kulusid kui ka atmosfääri paisatavate kahjulike ainete hulka.

Membraanmeetodi abil saab jaotada biogaasi metaaniks ja süsihappegaasiks. Ning seejuures võib saada praktiliselt täiesti puhtad komponendid. Membraan ei vaja edasist regenereerimist ega puhastamist. Membraani eluiga on kuni 12 aastat.

Käesolevas töös vaadeldakse reoveesette töötlemise põhilisi staadiume: tihendamine (paksendamine), orgaanilise komponendi stabiliseerimine, konditsioneerimine, tahendamine (veetustamine), termiline töötlemine, väärtuslike produktide utiliseerimine ja jäätmete likvideerimine. Kirjeldamist on leidnud reovete puhastusprotsess ettevõttes Narva Vesi.

Töös on ära toodud metaankääritustangiga seonduvad arvutused, mis seisnevad puhastusjaamas moodustuva sette ja biogaasi koguse arvutamises. Määratud on metaankääritustangi vajalik maht ja tuhavaba (orgaanilise) aine lagunemisaste.

Teostatud on arvutused membraanmeetodil biogaasi eraldamine metaaniks CH₄ ja süsihappegaasiks CO₂. Membraantehnoloogia võimaldab saada tulemina praktiliselt puhta 99%-lise mahuosaga metaani. Arvutused näitasid, et saadud biogaasi mahu eraldamiseks on vaja paigaldada 20 membraanmoodulit, kus ühe mooduli membraani pindala on 900 m².

Töös on arvatud välja energia kogus, mida on võimalik saada biogaasist eraldatud metaani põletamisel. Seda energiat saab kasutada ettevõtte omaenda vajadusteks. Teostatud arvutusi võib tulevikus kasutada ka teistes analoogsetes ettevõtetes, kes soovivad toota reoveesetest biogaasi.

Autor teeb järelduse, et reoveesetet võib kasutada biogaasi tootmiseks. Selle tulemuseks on mudaväljade hulga vähenemine, mis vähendab või välistab tulevikus täiesti ümbritsevale keskkonnale tekitatava kahju.

SUMMARY

The topic of this graduation thesis is: „Production of biogas from the sludge cake generated in the wastewater treatment process, its separation and use“.

Sewage sludge is a by-product of wastewater treatment process that contains a lot of nutrients and other chemical compounds, so it would be useful to recycle it instead of disposing of it in landfills. Approximately 167 000 cubic meters of treated sewage sludge is generated in Estonia every year, but its recycle and reuse is often problematic. This indicates the relevance of the topic of this graduation thesis.

The dehydrated sludge generated at the wastewater treatment plant in Narva is currently stored in sludge drying beds and further used for landscaping.

The aim of this graduation thesis is to offer an alternative method of using sewage sludge, ie the production of biogas from the sludge together with the subsequent utilization of its heating potential.

The proposed implementation scheme for the use of sewage sludge consists of a plant for digesting sludge in methane digesters and a membrane unit for separation of the resulting biogas into CO₂ and CH₄.

The design calculation of the methane digester is presented, which consists in calculating the amount of sludge and biogas generated at the treatment plant. The required volume of the methane digester and decomposition rate of the ash free (organic) substance is determined.

The process of separation of biogas into CH₄ and CO₂ by the membrane method is calculated. The membrane technology makes it possible to obtain practically pure methane with a CH₄ content of 99% by volume.

The amount of energy that can be obtained by burning methane extracted from biogas is calculated. This energy can be used for the company's own needs. The calculations carried out can be further used by similar enterprises that intend to obtain biogas from sewage sludge.

KASUTATUD KIRJANDUS

1. Keskkonnakasutus. [Online] <https://envir.ee/keskkonnakasutus/vesi/reoveesette-taaskasutus> (21.03.2022).
2. Биогаз. [Online] <http://biogaz.ru/biogas> (21.03.2022).
3. Directive on waste. [Online] <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ET/TXT/?uri=CELEX:52012SA0020> (21.03.2022).
4. Waste Framework Directive. [Online] <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=celex%3A32018L0851> (23.03.2022).
5. Water urbanwaste. [Online] <https://ec.europa.eu/environment/water/water-urbanwaste/pdf/UWWTD%20Evaluation%20SWD%20448-701%20web.pdf> (23.03.2022).
6. Jäätmete merre ladestamise keeld. [Online] <http://lamb.viniti.ru/sid2/sid2free?sid2=J1771257X> (23.03.2022).
7. Directive on Sewage Sludge. [Online] <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=celex%3A31986L0278> (23.03.2022).
8. Reoveesetest toote valmistamise. [Online] <https://www.riigiteataja.ee/akt/128072017004> (23.03.2022).
9. Обработка осадков сточных вод. [Online] https://studref.com/324241/stroitelstvo/obrabotka_osadkov_stochnyh (22.03.2022).
10. Технология очистки сточных вод. [Online] <https://books.google.ee/books?id=QHNdWAAQBAJ&pg=PA169&lpg=PA169&dq> (22.03.2022).
11. T. A. Ševtšenko, I. O. Ivanenko, Harkivi A. N. Beketovi nimeline Riiklik Linnamajanduse Ülikool. [Online] <https://core.ac.uk/download/pdf/33754439.pdf> (22.03.2022).
12. Основная часть осадка сточных вод. [Online] <http://engineeringsystems.ru/o/osadki-g-r-dskih-i-proizvodstvennih-stochnih-vod.php> (23.03.2022).
13. Технология обработки осадков. [Online] https://studme.org/13180202/ekologiya/tehnologiya_obrabotki_osadkov (21.03.2022).
14. Осадки сточных вод. [Online] <https://universityagro.ru/> (21.03.2022).

15. Показатели осадков сточных вод. [Online] https://scibook.net/vodosnabjenie-vodootvedenie_1382/pokazateli-osadkov-stochnyih-66059.html (21.03.2022).
16. Сжимаемость осадка сточных вод. [Online] https://nomitech.ru/articles-and-blog/szhimaemost_osadkov_i_soderzhanie_v_nikh_sukhogo_veshchestva (21.03.2022).
17. Методы обработки осадков сточных вод. [Online] <https://xn--h1admmg5d.xn--p1ai/obrabotka-osadka> (23.03.2022).
18. Очистка сточных вод. [Online] <https://pandia.ru/text/80/245/35178.php> (25.03.2022).
19. Уплотнение осадков. [Online] <http://engineeringsystems.ru/u/uplotnenie-osadkov-stochnih-vod.php> (25.03.2022).
20. Стабилизация осадков. [Online] <https://ru-ecology.info/term/59706> (25.03.2022).
21. Кондиционирование осадков. [Online] https://studbooks.net/2493279/tovarovedenie/metody_konditsionirovaniya_osadka (26.03.2022).
22. Обезвоживание осадка. [Online] https://www.kanalizaciya-stroy.ru/ochistka_osadka.html (26.03.2022).
23. Обеззараживание осадка. [Online] <http://engineeringsystems.ru/o/obezzorajivanie-osadkov-stochnih-vod.php> (26.03.2022).
24. Термическая обработка осадка. [Online] https://otherreferats.allbest.ru/manufacture/00360984_0.html (26.03.2022).
25. Термическая сушка осадка сточных вод. [Online] https://studref.com/324245/stroitelstvo/termicheskaya_sushka_osadkov_stochnyh (26.03.2022).
26. Утилизация осадков сточных вод. [Online] <https://minskvodokanal.by/assets/files/Pdf/assessment.pdf> (27.03.2022).
27. Утилизация на иловых площадках. [Online] https://www.kanalizaciya-stroy.ru/ochistka_osadka.html (27.03.2022).
28. Компостирование осадков сточных вод. [Online] <https://kzn.ru/upload/uf/c83/4--Tehnologicheskij-reqlament.pdf> (27.03.2022).

29. Ликвидация осадков сточных вод. [Online] <https://www.kgasu.ru/upload/iblock/efc/obrabotka-osadkov-gorodskikh-stochnykh-vod.pdf> (27.03.2022).
30. Биогаз. [Online] <https://amikamoda.ru/rol-anaerobnyh-bakterii-v-proizvodstve-biogaza-iz-otkhodov-spravka.html> (27.03.2022).
31. Биогаз смесь метана и углекислого газа. [Online] <https://rep.bsatu.by/bitstream/doc/6468/1/ehffektivnost-ispolzovaniya-biogazovyh-ustanovok-v-respublike-belarus.pdf> (27.03.2022).
32. Метановое брожение. [Online] <https://www.ess-ltd.ru/biogaz> (27.03.2022).
33. Анаэробное сбраживание осадков сточных вод. [Online] https://studref.com/685456/ekologiya/anaerobnoe_sbrazhivanie_osadkov_stochnyh_metantenkah (27.03.2022).
34. Получение биогаза. [Online] <https://findout.su/1x29804.html> (27.03.2022).
35. Биогазовые установки. [Online] https://www.energiewende-global.com/fileadmin/user_upload/giz-website/Media_Library/Erneuerbare_Energien/Pererabotka_organicheskikh_otkhodov_v_biogaz.pdf (27.03.2022).
36. Получение топлива. [Online] <https://cyberleninka.ru/article/n/effektivnost-sposobov-povysheniya-polucheniya-bioenergeticheskogo-topliva> (27.03.2022).
37. Использование биогаза. [Online] https://www.energiewende-global.com/fileadmin/user_upload/giz-website/Media_Library/Erneuerbare_Energien/Pererabotka_organicheskikh_otkhodov_v_biogaz.pdf (29.03.2022).
38. Применение биогаза. [Online] https://agrobiogas.com.ua/ru/biogas_production_raw_materials_and_further_use_of_biogas (29.03.2022).
39. Переработка органических отходов в биогаз. [Online] https://www.energiewende-global.com/fileadmin/user_upload/giz-website/Media_Library/Erneuerbare_Energien/Pererabotka_organicheskikh_otkhodov_v_biogaz.pdf (29.03.2022).
40. Метантенк. [Online] http://eor.dgu.ru/lectures_f (29.03.2022).
41. Метантенк для очистной станции. [Online] <https://stroy-podskazka.ru/ochistka-stochnyh-vod/metantenk/> (29.03.2022).
42. Типы метантенка. [Online] <https://lms.kgeu.ru/pluginfile.php?> (30.03.2022).

43. Разделение газа. [Online] <http://www.klairrane.com/en/page-40350.html> (05.04.2022).
44. Мембрана-биогаз-метан. [Online] <https://russian.alibaba.com/product-detail/Membrane-Biogas-Methane-CH4-CO2-gas-62019442430.html> (05.04.2022).
45. Схема очистки сточных вод. [Online] <http://web.narva.ee/files/11723.pdf> (07.04.2022).
46. Теоретические основы защиты окружающей среды. [Online] https://vgasu.ru/attachments/oi_kuzmichev-02.pdf (05.04.2022).
47. G. Vorisov, Основные процессы и аппараты химической технологии. Москва, 2008.
48. Процессы и аппараты химических технологий. [Online] http://chemanalytica.com/book/novyy_spravochnik_khimika_i_tekhnologa/10_protssesy_i_apparaty_khimicheskikh_tekhnologiy_chast_II/7116 (05.04.2022).
49. Ainete entalpia. [Online] https://scask.ru/f_book_act_chem1.php?id=124 (26.04.2022).
50. Maagaas. [Online] <https://www.gaas.ee/maagaasi-tootekirjeldus/> (25.04.2022).
51. Põlevkiviõli. [Online] [MKM_m63_lisa4.pdf_\(riigiteataja.ee\)](MKM_m63_lisa4.pdf_(riigiteataja.ee)) (25.04.2022).
52. Wood pellet. [Online] https://www.researchgate.net/figure/Summary-of-calorific-value-proximate-and-ultimate-analysis-of-coal-wood-pellet-and_tbl1_316101361 (25.04.2022).
53. Energeetiline põlevkivi. [Online] https://www.konkurentsiamet.ee/sites/default/files/92_polevkivisektori_konkurentsio_lukorra_analuus.pdf (25.04.2022).