



TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL

INSENERITEADUSKOND

Virumaa kolledž

**Järve Biopuhastuse heitveemuda utiliseerimise
kaasajastamine**

Modernisation of Järve Biocleaning sewage sludge disposal

KEEMIASTEHNOLÓGIA ÖPPEKAVA LÕPUTÖÖ

Üliõpilane: Jarek Kurul

Üliõpilaskood: 207760EDKR

Õppejõud: Antonina Zguro, lektor

AUTORIDEKLARATSIOON

Olen koostanud lõputöö iseseisvalt.

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

LIHTLITSENTS

Mina Jarek Kurul (sünnikuupäev: 30.04.2001)

1. Annan Tallinna Tehnikaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose Järve Biopuhastuse heitveemuda utiliseerimise kaasajastamine, 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: Jarek Kurul, 207760EDKR

Õppekava, peeriala: EDKR16/17, Keemiatehnoloogia

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

Lõputöö teema:

(eesti keeles) Järve Biopuhastuse heitveemuda utiliseerimise kaasajastamine

(inglise keeles) Modernisation of Järve Biocleaning sewage sludge disposal

Lõputöö põhieesmärgid:

1. Uurida heitveemuda utiliseerimise tehnoloogiad.
2. Heitveemudast biogaasi tootmisprotsessi arvutamine.
3. Teha järeldusi protsessi rakendamise kohta.

Lõputöö etapid ja ajakava:

Nr	Ülesande kirjeldus	Tähtaeg
1.	Teemakohase kirjandusmaterjali kogumine	17.03.2024
2.	Arvutusmetoodika valik tehniliste parameetrite arvutamiseks	31.03.2024
3.	Lõputöö vormistamine, järelduste tegemine	28.04.2024

Töö keel: eesti keel

Lõputöö esitamise tähtaeg: "15" mai 2024. a

Üliõpilane: Jarek Kurul "18" veebruar 2024. a
/allkiri/

Juhendaja: Antonina Zguro "26" veebruar 2024. a
/allkiri/

Programmijuht: Antonina Zguro "26" veebruar 2024. a
/allkiri/

SISUKORD

SISSEJUHATUS	6
1. HEITVEEMUDA TÖÖTLEMISE TEHNOLOOGIAD	7
1.1. Reovee puhastuse tehnoloogia	7
1.2. Heitveemuda üldiseloostus	8
1.2.1. Komposteerimine	9
1.2.2. Teised heitveemuda töötlemistehnoloogiad	12
1.2.3. Anaeroobne kääritamine	13
2. BIOGAASI ISELOOSTUS	16
2.1. Biogaasi keemiline koostis	16
2.2. Biogaasi töötlemine ja kasutusala	17
3. ARVUTUSLIK OSA	19
3.1. Metaankääriti arvutus	19
3.2. Metaankääriti seguri arvutus	28
3.2.1. 1000 m ³ kääritusanuma seguri arvutamine ja joonestamine	29
3.2.2. 1600 m ³ kääritusanuma seguri arvutamine ja joonestamine	34
3.2.3. Kääritusseadmete tehnoloogiliste parameetrite võrdlus	37
KOKKUVÕTE	39
SUMMARY	40
KASUTATUD KIRJANDUS	42

SISSEJUHATUS

Vähearenenud riikides, kus reovett ei töödelda, suunatakse see edasi veekogudesse, mis toob endaga kaasa tõsiseid tagajärgi ümbritsevale keskkonnale. Selle tulemusena saavad kahjustada põhjavee kvaliteet, veekogust sõltuvad loomad ja inimesed, kes kasutavad antud veekogust vett oma tarbeks. Saastunud vee tarbimine võib inimestel põhjustada erinevaid haigusseisundeid. Saasteained tekivad tööstuses, kodumajapidamistes, ja transpordis ning võivad vette sattuda hooletu käitumise või ka tahtliku tegevuse tõttu, seega võib saasteainete kogus ja varieeruvus reovees olla kõrge.

Reovee puhastamisega tegelevad puhastusjaamad eraldavad reoveest saasteained ning suunavad puhastatud heitvee tagasi keskkonda. Mida põhjalikumalt reovett puhastatakse, seda puhtamamaks saab heitvesi. Tulenevalt reovee saasteainete suurest variatsioonist on vaja saasteainete eemaldamiseks kasutada erinevaid spetsiifilisi puhastustehnoloogiad. Üldine reoveepuhastus on väljakujunenud standardne protsess, mille eesmärgiks on põhiliste saasteainete eemaldamine suurtes kogustes. Probleemseks osutub siinkohal puhastusel tekkinud jäätmete töötlemine.

Reovee töötlemise tagajärjel tekib suures koguses heitveemuda, mis võib endas omakorda sisaldada saasteaineid nagu ravimijäägid, mis võivad patogeensed mikroorganismid muuta antibiootikumidele resistentsemaks ja raskendada ravi inimestel, kes nende mikroorganismi liikide või resistentsete tüvedega kokku puutuvad ja nõnda raskeid haiguseid ja tüsistusi saavad.

Antud diplomitöö käigus uuritakse Kohtla-Järvel asuvat Järve Biopuhastust, mis on veetööstusettevõtte, mis tegeleb nii joogivee varustuse tagamisega kui ka vastutab reovee töötlemise eest.

Antud diplomitöö põhieesmärgiks on tutvuda Järve Biopuhastuse reovee puhastusprotsessiga, uurida heitveemuda utiliseerimise viise ning pakkuda omapoolne lahendus heitveemuda utiliseerimise parendamiseks, mis vähendaks ühtaegu keskkonda sattuvat saasteainete hulka ning pakuks lisandväärtusega jääkprodukte aidates seeläbi kaasa jätkusuutliku ringmajanduse arengule ettevõttes.

Kõrvaleesmärgina proovitakse lahendada Järve Biopuhastuses tekkivat gaasilise emissiooni probleemi, mis ebasoodsates ilmastikuoludes võib tuulega kanduda Kohtla-Järve linna tekitades seal saasteainete tõttu tekkivat ebameeldivat lõhnaaistingut. Uuritakse võimalikke komponente, mis seda põhjustavad.

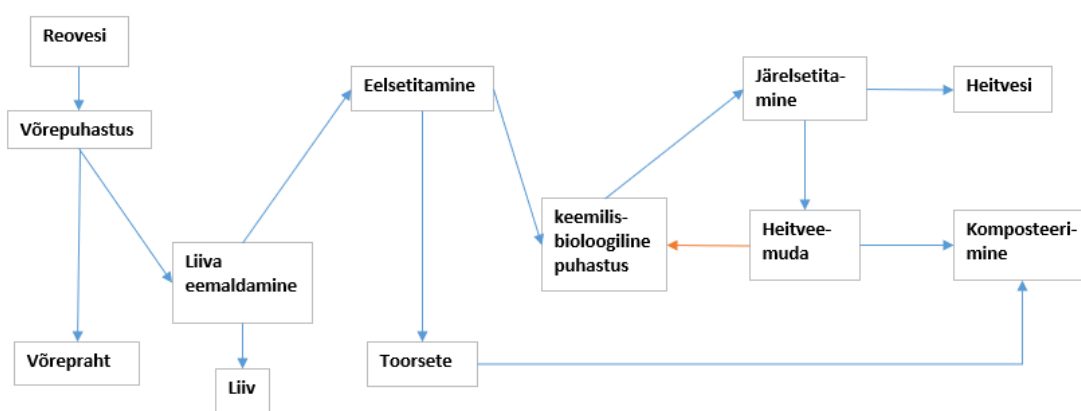
Võtmesõnad: reovesi, heitveemuda, biogaas, diplomitöö

1. HEITVEEMUDA TÖÖTLEMISE TEHNOLOOGIAD

1.1. Reovee puhastuse tehnoloogia

Järve Biopuhastus ühisveevarustuse ja -kanalisatsiooni teenust pakutakse ligikaudu 60000-le elanikule ja põlevkivi ja keemiatöötuse tegevusvaldkonnas tegutsevatele tööstusettevõtetele. Ettevõtte kuulub neljale omavalitsusele: Kohtla-Järve, Püssi, Jõhvi ja Kiviõli linnale. [1, 2]

Reovee puhastusprotsessi (vt joonis 1.1) saab kirjeldada standardse puhastusprotsessina, mis sisaldab endas tahkete ainete eemaldamist reoveest, liiva eemaldamist, setitamist, bioloogilist puhastamist ja järeltöötlust.



Joonis 1.1 Reoveepuhastusjaama töö lihtsustatud plokk skeem

Töötlemisse saabuv reovesi puhastatakse esmalt suuremast prahist võredega, kuna see võib takistada edasise puhastamisprotsessi. Reovesi sisaldab ka sadet, mis turbulentsel voolamise tõttu on reovees suspendeeritud olekus, sellest vabanemiseks kasutatakse liivapüüniseid, kus vajuvad tahked osakesed liivapüünise põhja aeglasema voolukiiruse tõttu, ning reovesi voolab edasi eelsetititesse, kus eemaldatakse reoveest hõljuv sade, mida nimetatakse ka toorseteks, ning setiti pinnale kogunevad õlid ja rasvad, mis samuti eemaldatakse. Eelsetitist väljuvale reoveele lisatakse koagulanti, et reovees sisalduvaid fosforühendeid oleks kergem eemaldada. Reovesi suunatakse aerotankidesse, kus lagundatakse biokeemiliselt aeroobsete mikroorganismide abil orgaanilisi ühendeid, sealhulgas lämmastikühendeid. Aerotankide põhjas asuvate difuursorite kaudu suunatakse õhku aerotankidesse, et varustada mikroorganisme hapnikuga, mida nad vajavad oma elutegevuseks. Aerotankidesse lisatakse ka vastavalt vajadusele metanooli, mida mikroorganismid tarbivad süsiniku allikana. Reovesi suunatakse järelsetitisse koos üleliigse mikroorganismide massiga ehk aktiivmudaga, mis pärineb aerotankidest. Osa aktiivmudast suunatakse tagasi aerotankidesse ning ülejäänud osa suunatakse heitveemuda käsitlusse. Puhastatud heitvesi suunatakse

süvamere lasu kaudu Soome lahte. Järve Biopuhastus kasutab reoveesette järeltöötlemiseks komposteerimist. Kompostiväljakul on keskmiselt 15 kompostiauna kõrgusega 1,2 m, laiusega 3 m ning pikkusega 100 m. [1, 2, 3, 4, 5, 6]

1.2. Heitveemuda üldiseloostus

Heitveemuda on oma olemuselt keeruline materjal, mida on keeruline ühesena kirjeldada. Seda saab iseloomustada veepõhise suspensioonina, mis sisaldab suspendeeritud osakesi, kiudaineid ja muud lahustunud materjali. Muda omadused varieeruvad palju sõltuvalt sellest, kust reovesi pärit on. Muda erinevad töötlemisprotsessid mõjutavad muda füüsikalisi omadusi ja edasist käitlemist märkimisväärselt. Heitveemuda voolavust uurides on teada, et see ei ole Newtoni vedelik. [7]

Heitveemudaks nimetatakse tahket, pooltahket või vedelat jääki, mis tekib reovee töötlemisprotsessides. Esmane heitveemuda tekib reovee settimisel, keemilisel töötlemisel või muus sarnases protsessis. Sekundaarne heitveemuda tekib reovee bioloogilisel töötlemisel. Tertsiaarne heitveemuda tekib edasistel heitvee töötlemismeetoditel, näiteks lämmastikühendite eraldamise protsessides. [3, 8]

Primaarne heitveemuda, mis pärineb mehaanilistest reoveepuhastusseadmetest koosneb suurel määral settetest, mis sisaldab orgaanilist ainet ja on konsistentsilt tihe vedelik, mille vee sisaldus on 93% - 97%. [9]

Sekundaarne heitveemuda koosneb suurel määral mikroorganismide rakumassist ja veest. [9]

Tertsiaarne heitveemuda on sarnane sekundaarsele heitveemudale, kui reovett töödeldakse edasi bioloogiliste meetoditega. [9]

Tihendatud heitveemudas on kogu tahke aine sisalduse mediaan $3.3 \pm 1.7\%$ ning kuivatatud heitveemudas on kogu tahke aine sisalduse mediaan $21.0 \pm 6.7\%$. Tööstuslikul skaalal on erinevate meetoditega võimalik kogu tahke aine sisaldust tõsta filterpressiga 15 - 25%, tsentrifuugidega 25% ja kruvipressiga 24% tasemele. Heitveemuda mediaanne tuhasus on $32.4 \pm 11.8\%$. [10]

Heitveemuda kuiva tuhavaba aine keskmine alumine kütteväärtus on $22,1 \pm 2,1$ MJ/kg, mis on lähedane teistele orgaanilistele materjalidele, nagu leheprügi, toidujäätmed, köögiviljajäätmed, puuviljajäätmed ja paber. Kütteväärtused on vastavalt: 21,6 MJ/kg, 18,1 MJ/kg, 20,1 MJ/kg, 20,9 MJ/kg ja 20,8 MJ/kg. [10]

Buswelli võrrand hindab metaani tootmispotentsiaali teoreetiliseks maksimumiks $0,372 \pm 0,096$ m³ CH₄/kg heitveemuda tuhavaba aine kohta. Keskmine biokeemiline metaani potentsiaal on $0,25 \pm 0,11$ m³ CH₄/kg heitveemuda tuhavaba aine kohta. Teoreetilise

ja tegeliku biokeemilise metaani tootmispotentsiaali vahe on peaaegu pool teoreetilisest, mis viitab sellele, et kõik mineraalne vaba aine ei ole anaeroobselt kääritatav. Süsiniku ja lämmastiku osakaal heitveemuda mineraalne vabas aines on vastavalt $53,2 \pm 9,3\%$ ja $6,8 \pm 2,2\%$. Fosfori ja kaaliumi sisaldus heitveemuda tuhas on vastavalt $6,7 \pm 2,4\%$ ja $1,7 \pm 1,3\%$. [10]

1.2.1. Komposteerimine

Aeroobne komposteerimine on orgaanilise aine kontrollitud lagundamine hapniku juuresolekul, et muuta jäätmed toitaine rikkaks kompostiks. Hea komposti saamiseks tuleb kontrollida mitmeid tegureid: mikroorganismide populatsioon, temperatuur, hapniku sisaldus, niiskus ja pH. Teised olulised tegurid on süsiniku ja lämmastiku suhe ning materjali poorsus. [11, 12]

Aeroobsed organismid utiliseerivad oma elutegevuse käigus orgaanilisi ühendeid. Süsinikku kasutatakse energia saamiseks ja lämmastiku valkude sünteesil. Teisi ühendeid, sealhulgas fosforit ja väävlit, kasutatakse rakkudes muude bioloogiliste protsesside käigus, et toota humiini laadseid komponente. Organismide elutegevuse käigus tekib veel süsinikdioksiidi, veeauru ja soojust. Toodetud soojuse hulk kompostihunnikus on piisav, et hävitada kahjulikke mikroorganisme. [11, 12]

Aeroobses komposteerimises saab kirjeldada kolme erinevat faasi: mesofiilne-, termofiilne- ja laagerdumisfaas. Mesofiilses faasis, mis toimub mõõdukatel temperatuuridel, tarvivad mesofiilsed mikroorganismid ümbritsevast keskkonnast aminohappeid, mis viib nende populatsiooni kiirele kasvule. Samal ajal tõuseb märkimisväärselt ka kompostihunniku temperatuur punktini, mil mesofiilsed organismid hukkuvad ja termofiilsed organismid muutuvad eluvõimeliseks. Termofiilses faasis hakkavad domineerima termofiilsed mikroorganismid ning vaid üksikud mesofiilsed mikroorganismid on võimelised sellistes tingimustes ellu jääma. [11, 12]

Mesofiilset ja termofiilset faasi nimetatakse komposteerimise aktiivseks faasiks. Aktiivne faas kestab mitu nädalat ning selle jooksul toimub enamik komposteerimisest. Orgaaniline aine lagundatakse humiini laadseks materjaliks ja süsinikdioksiidiks. Kompostihunniku patogeenidest puhastamine toimub temperatuuril 70°C . [11, 12]

Kompostihunnikut peab regulaarselt pöörama, et tagada kompostihunniku sisemusse pidev õhu ligipääs, kiirendamaks materjali lagunemist ning vähendamaks halvasti lõhnavate ühendite teket. Kompostihunniku pööramine ühtlustab ka kompostihunniku sisetemperatuuri. [11, 12]

Toitainete vähenemisel langeb kompostihunnikus temperatuur ning aktiivne faas vahetub laagerdamisega. Temperatuuri alanedes vahetuvad termofiilsed mikroorganismid taas mesofiilsete mikroorganismide vastu. Laagerdamine toimub mesofiilsete mikroorganismide abil mitme kuu vältel valmiskomposti tekkeni, mida saab kasutada väetisena mulla toitainete sisalduse parandamiseks. [11, 12]

Komposteerimisel tekkiv gaasiline emissioon

Komposteerimisel tekkivaid emissioongaase võib jaotada kahte põhirühma. Esimeseks rühmaks on anorgaanilised, mille põhihulka kuuluvad: CO₂, CH₄, N₂O, H₂S, NH₃. Teine rühm koosneb lenduvatest orgaanilistest ühenditest (LOÜ), mille hulka kuuluvad orgaanilised väävlühendid, alkoholid, estrid, eetrid, aldehüüdid, ketoonid, alifaatsed süsivesinikud, aromaatsed ühendid ja halogeenitud ühendid. [11]

Kompostihunniku pööramisel eraldub enamasti palju lenduvaid ühendeid, mis satuvad ümbritsevasse õhku, saastades seda ebameeldiva lõhnaga. Kevadel ja suvel, kui kompostihunnikut ümbritseva välisõhu temperatuur on kõrgem, eraldub korraga rohkem lenduvaid orgaanilisi ühendeid, sest gaasi konvektsioon läbi kompostihunniku on aeglasem kui talvel. Soe välisõhu temperatuur aeglustab gaasiliste ühendite hajumist ümbritsevasse õhku, tekitades kõrgete saastekontsentratsioonidega piirduvaid alasid. [11]

Ebapiisava aereerimise korral tekivad kompostihunnikus anaeroobsed tsoonid, kus tekivad tooraines väävl olemasolul lendlevad väävlühendid. Ebapiisav aereerimine võib juhtuda kui mikroorganismid tarbivad neile saadaval oleva hapniku liiga kiiresti ära. Hapniku kiiremat tarbimist põhjustab kõrge temperatuur mis kiirendab mikroobide aktiivsust. Hapniku kiirenenud tarbimisele võivad viidata lenduvad hapnikut sisaldavad ühendid, mille teke on tüüpiline aeroobsele lagunemisele. Vahetult peale kompostihunniku pööramist tõuseb suurenenud hapniku sisalduse tõttu kompostihunnikus ka VOÜ emissioon. Levinud LOÜ-de hulka kuuluvad: etanool, dimetüülsulfiid, dimetüüldisulfiid, diklorometaan, α-pineen, β-pineen, limoneen, toluen ja atsetoon. [11]

Aereeritavuse parandamiseks võidakse kompostisegus kasutada puukoort, mis muudab selle poorsemaks, kuid suvel kõrgemate temperatuuride juures võib selle lagunemise käigus eralduda terpeene. Komposteerimisel tekkinud aromaatsed- ja halogeenitud ühendid pärinevad toorainest need paisatakse otsese lendumise teel ümbritsevasse õhkkeskkonda. Ligniini anaeroobse lagunemise käigus tekib võrdlemisi vähe aromaatsid ühendid oma aeglase lagunemise tõttu. [11]

Aunkomposteerimine

Aunkomposteerimise jaoks valmistatakse ette heitveemuda ja muu taimse materjali segu. Tähtis on saada piisavalt poorne materjalisegu, mida oleks võimalik hiljem pöörata. Segu pannakse piklikusse kuhja, mis on tavaliselt kaks korda laiem kui selle kõrgus. Komposteerimisprotsess toimub mitme kuu vältel ning segu aereerimiseks seda pööratakse, et vältida kuhja keskel anaeroobsete tingimuste teket. Pööramise käigus kiirendatakse komposteerimist. aunkomposteerimise eelis seisneb selles, et see on odav, tehniliselt lihtsasti rakendatav ning sobilik suure mahu heitveemuda töötlemiseks, tootes seeläbi palju toitainerikast komposti. Seevastu võtab see meetod kaua aega, et saada kvaliteetset komposti. Oma lihtsuse tõttu on see meetod leidnud laialt rakendust. [12]

Passiivselt aereeritud aunkomposteerimine

Passiivselt aereeritud aunkomposteerimine on edasi arendatud versioon aunkomposteerimisest. Selle meetodi puhul kasutatakse kompostihunnikute keskel perforeeritud torusid, mis tagavad suuremat õhu ligipääsu kompostihunniku keskosasse. Suurema õhuvoolu ligipääsul ei pruugi hunniku pööramine vajalik olla. Termofiilsete tingimuste säilitamiseks võib vajalikuks osutuda kompostimaterjali isoleerimine valmis kompostiga. Hea aereerimise korral võib meetod osutuda kiiremaks kui tavaline aunkomposteerimine. [12]

Sundaereeritud aunkomposteerimine

Sundaereeritud aunkomposteerimisel jaotatakse komposteeritav materjal laiali aereerimis põrandale. Aereerimist on võimalik läbi viia mitmel erineval viisil. Lihtsaim nendest on positiivne aereerimine, mille käigus pumbatakse õhku läbi aereerimis põranda kompostimaterjali. Läbi komposti üles pumbatud õhk tagab mikroorganismidele hapniku ning eemaldab kompostisegust üleliigse soojuse ja niiskuse. Konstruktsiooni lihtsuse tõttu maksab positiivne aereerimine vähem kui negatiivne aereerimine, mille puhul liigub õhk vastupidises suunas. [13, 14]

Antud süsteemi on võimalik automatiseerida ning see hävitab patogeene kiiremini kui passiivselt aereeritud aunkomposteerimise meetod. Sundaereeritud aunkomposteerimise süsteemis on võimalik hävitada patogeene 72 h jooksul temperatuuril 55 °C, kui sama protsess võtaks aunkomposteerimise puhul aega 15 ööpäeva ja viis pööramist. [13, 14]

Anumasisene komposteerimine

Anumasisesed komposteerimissüsteemid vajavad kõigist komposteerimissüsteemidest kõige vähem ruumi ning enamik neist on paigaldatud sisehoonetesse. Opereerimisparameetrid on lihtsasti kontrollitavad. Komposteerimine viiakse läbi kolme kuni nelja nädala jooksul. Komposteerimise esimese kahe nädala jooksul on vajalik

pidev pööramine, et tagada piisav õhuvool, niiskus ja temperatuur. Sellises süsteemis ei toimu komposteerimine lõpuni, komposti järeltöötlemiseks oleks tarvis kasutada suundaereeritud aunkomposteerimist. Anumasiseseid komposteerimissüsteeme kasutatakse tavaliselt kohtades, kus tekib suhteliselt suur hulk orgaanilisi jäätmeid ja on vähese ruumi või lõhnaga seotud probleeme. Majanduslikult ei pruugi see meetod olla otstarbekas, kui kavatakse töödelda vähem kui 365 tonni orgaanilisi jäätmeid aastas. [12]

1.2.2. Teised heitveemuda töötlemistehnoloogiad

Matmine

Heitveemuda, mida ei ole võimalik taaskasutada, tuhastatakse või maetakse prügilasse. Muda võib sisaldada raskemetalle ja toksilisi kemikaale, mistõttu võib vajalikuks osutuda muda ümbritsevast keskkonnast isoleerimine, et vältida põhjavee saastumist. Matmine on heitveemuda viimane sihtkoht. [15]

Tuhastamine

Tuhastamine on heitveemuda termilise töötlemise meetod, kus põletatakse heitveemudas sisalduv orgaaniline aine, et vähendada muda ruumala. Tuhastamine on praktiline meetod juhul, kui matmine ei osutu majanduslikult mõistlikuks. [8]

Tihendamine

Tihendamine on heitveemuda töötlemise esimene samm, sest vees hajunud heljumi töötlemine on ebapraktiline. Tavaliselt viiakse tihendamist läbi radiaalses setitis, kuid alternatiiviks on ka flotatsiooni meetod. Radiaalses setitis tihendatakse heitveemuda gravitatsiooni jõu abil seadme põhja. Flotatsiooni seadmes kannavad õhumullid tahke aine veepinnale, kust saab seda hiljem lihtsasti eemaldada. Tihendades võib väheneda heitveemuda maht kuni poole võrra. [8]

Kuivatamine

Heitveemuda kuivatamise eesmärgiks on muda käideldavuse parandamine. Kuivatatud heitveemuda võib sisaldada kuni 70% niiskust, kuid oma olemuselt käitub kui tahke materjal. Kuivatamist saab läbi viia lintfilterpressiga või trummelvaakumfiltriga, vajadusel muda konditsioneeritakse. Konditsioneerimine on protsess, kus vedelale heitveemudale lisatakse koagulante, et parandada muda kleepuvust. [8]

Leeliseline stabiliseerimine

Heitveemuda leeliselise stabiliseerimise eesmärgiks on vähendada mudas kergesti lagunevate komponentide hulka ja patogeenide sisaldust. Leeliselisust saab suurendada lubja lisamisega. Stabiliseerimiseks on vajalik pH on 12 ning seda väärtust tuleks hoida minimaalselt kaks tundi. [16, 17]

1.2.3. Anaeroobne käärivamine

Anaeroobsed käärivad on disainitud muundama biolagunevat orgaanilist materjali metaanirikaks gaasiks ja stabiliseeritud setteks. [18]

Anaeroobsed mikroorganismid lagundavad metaankäärivamine orgaanilist ainet, et saada kasvamiseks ja paljunemiseks toitained ja energiat. Orgaaniline aine laguneb hapnikuvaeses vesikeskkonnas. Tekkiv biogaas on selle protsessi kõrvalsaadus. Biogaas sisaldab suures osas metaani ja süsinikdioksiidi, võrdeliselt väikestes kogustes ka divesiniksulfiidi ja ammoniaaki. Looduses võib sellist protsessi märgata järvede ja tiikide põhjas ning soodes. [18]

Anaeroobne käärivamine toimub neljas faasis, milleks on: hüdroolüüs, atsidogenees, atsetogenees ja metanogenees. [18]

Hüdroolüüsi faasi iseloomustab komplekssete orgaaniliste ühendite lagunemine lihtsamateks ühenditeks. Hüdroolüütilised mikroorganismid lagundavad sahhariide, rasvu ja valke. [18]

Atsidogeneesi faasis atsidogeensed mikroorganismid käärivad lihtsamaid orgaanilisi ühendeid lühikeste ahelatega rasvhapeteks, tootes süsinikdioksiidi ja vesinikku. [18]

Atsetogeneesi faasis atsetogeensed mikroorganismid toodavad lühikese ahelaga rasvhapetest etaanhapet, vabastades seejuures süsinikdioksiidi ja vesinikku. [18]

Metanogeneesis faasis metanogensed mikroorganismid toodavad etaanhappest ja vesinikust biogaasi. Olemas on kaks klassi metanogeene. Primaarne klass muudab etaanhappe metaaniks, sekundaarne klass muudab süsinikdioksiidi ja vesiniku metaaniks, on olemas ka üksikuid unikaalseid metanogeene, kes suudavad teha mõlemat. [18]

Anaeroobne käärivamine on edukas, kui käärivamine suudetakse hoida tasakaalu heterotroofsete ja metanogeensete mikroorganismide vahel. Tähtis on hoida piisavalt suurt metanogeenide populatsiooni, kuna nad paljunevad aeglasemalt kui heterotroofid. Liiga väikse metanogeenide populatsiooni puhul kumuleeruvad käärivamine lenduvad rasvhapped, mis on suurtes kogustes neile mürgised. [18]

Metanogeenide populatsiooni suurust aitab kääritis kontrolli all hoida metanogeenide kao jälgimine kääritusjärgis. See tähendab, et metanogeenide juurdekasv kääritis peab olema võrdne metanogeenide kaoga kääritist väljuvas järgis. Protsessi saab juhtida retensiooni aja abil. Suurendades kääritussegu hoidmise aega kääritis on võimalik saavutada tasakaal. Retensiooni ajast sõltub ka kääritamise efektiivsus. [18]

Enamik anaeroobseid kääriteid on ühe reaktoriga süsteemid, kus toimuvad metaani tootmiseks kõik neli eelmainitud faasi korraga. Teoreetiliselt annaks kahe reaktoriga süsteem täiuslikuma kontrolli protsessi üle. Kahe reaktoriga süsteemis kulgeks esimeses reaktoris heterotroofide abil käärimise kolm esimest faasi: hüdrolüüs, atsidogenees-ja atsetogenees. Teises reaktoris toimuks käärimise viimane faas ning metanogeenide abil moodustuks metaan. Kahe reaktoriga süsteem ei anna praktikas suurt eelist ühe reaktoriga süsteemi üle. Anaeroobse kääriti valik ja disain peaks lähtuma toorainest, mida üritatakse väärindada. [18]

Täielikult segatud kääriti

Täielikult segatud kääriti koosneb mahutist, segurist ja soojusvahetist. Soojusvahetit kasutatakse termorežiimi stabiilsuse tagamiseks ja segurit kasutatakse tahke aine suspensioonis hoidmiseks. Sellist tüüpi kääriti sisendmaterjal on tavaliselt lahjendatud veega, et tagada segu lihtsam segamine. Kääritussegu tahke aine soovituslik maksimaalne sisaldus on 11%. Minimaalne soovituslik retensiooniaeg on 17 päeva ning temperatuuri režiim mesofiilne. Sellist tüüpi kääritit saab rakendada erineva kliimaga piirkondades, kui on tagatud kääriti piisav insulatsioon väliskeskkonnast. [19, 20]

Kaetud laguun

Kaetud laguune kasutatakse suure reovee koguse töötlemise korral, kui keskkonnatingimused seda soosivad. Laguun on 2,5 - 4,5 m sügav ning pealt kaetud tugeva materjaliga, mis hoiab kinni tekkinud gaase. Orgaanilise aine lagunemine toimub laguuni põhjas aeglaselt, sellest tulenevalt võib olla retensiooni aeg kuni 150 päeva. Laguun töötab optimaalselt temperatuuril on 25 – 40 °C. Soovituslikult on laguuni siseneva reovee tahke aine sisaldus alla viie protsendi. [20, 21]

Läbivoolu kääriti

Läbivoolu kääriti koosneb horisontaalsest mahutist ja segistitest, mida läbib kääritussegu ainult lokaalse segamisega. Ehituselt on läbivoolu kääriti kompaktne, seda valmistatakse betoonelementidest ning sisendiks sobib kõrge tahke aine sisaldusega (15 - 50%) jääk. Segistid aitavad kääritussegust vabastada tekkivat gaasi. Töörežiim võib olla nii mesofiilne kui ka termofiilne. Soojusvaheteid saab paigaldada kääriti külgmistele seintele ja põhjale. Kõik kääriti komponendid on lihtsasti hooldatavad hea väljaspoolse ligipääsu tõttu. [22]

Biokile kääriti

Biokile kääritis kasutatakse täitematerjali, mille külge kinnituvad mikroorganismid. Õhukest mikroorganismide kihti täitematerjali peal nimetatakse biokileks. Täitematerjaliks kääritis võib olla puukoor või väiksed plastikkerakesed. Kääritussegu, mis sisaldab endas 1 - 5% tahket ainet, liigub mööda täidist üles. Biokile kääriti retensiooni aeg ulatub viie päevani, mis võimaldab kasutada väiksemahulist seadet, kuid peab arvestama, et kui kääritussegu tahke aine sisaldus on liiga suur, võib seade ummistuda. Sellist tüüpi kääritiga kaotatakse väike kogus biogaasi, mis jääb tootmata kiire kääritussegu läbivoolu tõttu. [23]

Järjestikuse partii kääriti

Järjestikuse partii kääriti töötab neljas erinevas režiimis. Esimeses režiimis täidetakse kääriti kääritusseguga. Esmasel käivitamisel on tähtis, et lisataks vajalikud mikroorganismid kääriti põhja (kääritusjääk eelmistest partiidest). Teises režiimis segatakse kääritussegu mikroorganismidega ning toimub biogaasi tootmine. Kolmandas režiimis setitatakse tahked osakesed kääriti põhja. Neljandas režiimis dekanteeritakse vedelik kääritist välja ning mikroobirikas tahke jääk jääb kääritisse. Kääriti suudab ööpäeva jooksul läbi viia neli tsüklit, mis tagab pideva biogaasi tootmise. Kääritussegu peab olema väga madala (<1%) tahke aine sisaldusega. Kääritusjäaki peab kääritist eemaldama perioodiliselt. Kääriti retensiooni aeg on viis päeva pikk. [23, 24]

2. BIOGAASI ISELOOMUSTUS

2.1. Biogaasi keemiline koostis

Biogaasi keemiline koostis sõltub suurel määral toorainest, millest see on saadud. Reoveepuhastusjaamas anaeroobse käärimise teel tekkiv biogaas ei ole erand ning on koostiselt sarnane teistest allikatest pärineva biogaasi koostisega. Biogaas koosneb peamiselt metaanist ja süsihappegaasist. Lisaks sellele sisaldab biogaas hapniku, veeauru, ammoniaaki, divesiniksulfiidi ja süsivesinikke. Süsivesinike alla kuuluvad ka halogeneeritud komponendid. Biogaasi keemilist koostist kirjeldab tabel 2.1 mis lähtub biogaasi päritolust. [25, 26]

Tabel 2.1 Biogaasi koostis tooraine päritolu järgi [25]

Komponent	Majapidamisjäädgid	Reoveepuhastus- jaama heitveemuda	Põllumajanduslikud jäädgid
CH ₄ (vol%)	50-60	60-75	60-75
CO ₂ (vol%)	34-38	19-33	19-33
N ₂ (vol%)	0-5	0-1	0-1
O ₂ (vol%)	0-1	<0,5	<0,5
H ₂ O (vol%)	6 (40°C)	6 (40°C)	6 (40°C)
KOKKU (vol%)	100	100	100
H ₂ S (mg/m ³)	100-900	1000-4000	3000-10000
NH ₃ (mg/m ³)	-	-	50-100
Aromaatsed ühendid (mg/m ³)	0-200	-	-
Halogeneeritud ühendid (mg/m ³)	100-800	-	-

2.2. Biogaasi töötlemine ja kasutusala

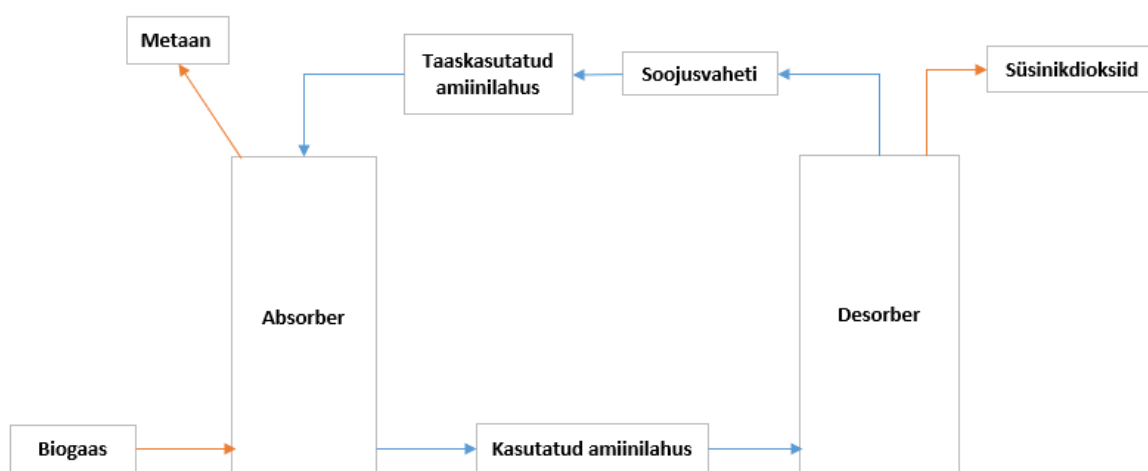
Biogaas sisaldab suures osas metaani, mida on võimalik biogaasist eraldada ja kasutada seda alternatiivse kütuse allikana maagaasile mootorsõidukites ja generaatorites. Eraldatud metaani saab suunata ka maagaasi võrku, mis võimaldab seda kasutada kodumajapidamises või tööstusprotsessides maagaasi. Biogaasi tootev ettevõtte võib kasutada oma energeetiliste vajaduste rahuldamiseks otsese põletamise teel ka puhastamata biogaasi. Puhastamata biogaasi võib kasutada sooja tootmiseks või generaatorigaasina, viimane pole aga soovitatav biogaasis sisalduvate saasteainete tõttu, mis on sisepõlemismootoritele kahjustavate omadustega. [26, 27]

Biogaas sisaldab mitmeid saasteained, mis pärinevad erinevatest allikatest, nende kogust biogaasis mõjutavad tehnoloogilise protsessi parameetrid. Biogaasis on tuvastatud järgnevaid saasteaineid: merkaptane, tioestrid, tiofeene ja nende derivaate, karbonüülsulfiidi, süsinikdisulfiidi, dimetüülsulfiidi, metüülamiini, trimetüülamiini, ja divesiniksulfiidi. On teada, et anorgaaniline divesiniksulfiid tekib valkude anaeroobse käärimise teel. Väävlit sisaldavatest aminohapetest võivad anaeroobse käärimise teel tekkida ka orgaanilised väävlühendid. Väävlit sisaldavad aminohapped on metioniin, tsüsteiin, homotsüsteiin ja tauriin. Esimesed kaks aminohapet kuuluvad ka valkude koostisesse. Halogeneeritud ühendid biogaasis võivad esineda reovees olevatest saasteainetes või kemikaalides mida kasutatakse reovee töötlemisel. Halogeneeritud ühenditest on tuvastatud biogaasis diklorofluorometaani, kloroetaani, triklorofluorometaani, klorotrifluorometaani, trikloroetaani, tetrakloroetaani, trikloroetaani, diklorometaani, dikloroetaani, dikloroeteeni, dikloropropaani ja süsiniktetrakloriidi. Siloksaanid biogaasis võivad pärineda pindaktiivsetest ainetest, hügieenitarvetest ja vahutamistavastest ainetest. [26, 28]

Biogaasi põletamisel on suureks probleemiks väävl-, kloori- ja fluoriühendid, mis moodustavad põlemise käigus vastavalt vääveldioksiidi või vääveltrioksiidi, vesinikkloriidi ja vesinikfluoriidi. Need ühendid on kahjulikud oma korrosiivsete omaduste tõttu ning kahjustavad erinevaid materjale ja nende pindu. Divesiniksulfiid biogaasis võib reageerida rauaga, moodustades raud(II)sulfiidi, mis võib tõsta tulekahju tekkimisrisiki ja plahvatusrisiki. Sisepõlemismootoritele mõjuvad kahjulikult väävl- ja halogeneeritud ühendid, mis vähendavad mootoriõli kvaliteeti ning katalüsaatorite aktiivsust. Teine tõsine risk sisepõlemismootoritele tuleneb siloksaanidest ja nende derivaatidest, sest põlemise käigus moodustub abrasiivne ränidioksiid, mis katab mootori sisepinnad ja katalüsaatorid. Siloksaanid vähendavad ka õli määrdumadusi. Antud reaktsioonid põhjustavad seadmete kiiremat kulumist, mistõttu tõuseb nende hooldamise vajadus.

Tööstusettevõttes tuleks teha majanduslik hinnang biogaasi puhastamise ja otsese kasutamise kohta ning valida ettevõttele sobiv lahendus biogaasiga töötamiseks. Biogaasi käitlemisel peab arvestama ka kondensaadi tekkega, nii süsivesinike kui ka veega, mis võivad ummistada teatud süsteeme ning mõjutada rõhku torustikes. [26]

Biogaasi puhastamine amiinidega on kaheastmeline protsess (vt joonis 2.1), milles esmalt, lahustuvad amiinilahuses biogaasis sisalduvad saasteained, ja teisalt need saasteained vabastatakse desorptsiooni käigus ning eraldunud amiinilahust taaskasutatakse. [29]



Joonis 2.1 Biogaasi puhastamine amiinilahusega

Solvendina kasutatakse tavaliselt mono- ja dietanoolamiini, mis reageerivad keemiliselt saasteainetega. Põhiline saasteaine CO₂ seotakse esimeses täidiskolonnis ülevalt alla voolavas amiinilahuses. Metaan jääb puutumata ning liigub mööda esimest täidiskolonni üles. Gaasisegu võib saavutada kuni 99,9%-lise metaani sisalduse. CO₂-ga seotud amiinilahus suunatakse desorberisse, kus kuumutamise käigus vabastatakse amiinilahus ja saasteained. Regenereeritud amiinilahus jahutatakse ning suunatakse seejärel tagasi esimesse täidiskolonni, et korrata protsessi. Süsteem suudab eemaldada divesiniksulfiidi, kui selle kontsentratsioon on alla 300 ppm. Eraldada saab ka lenduvaid orgaanilisi ühendeid ja siloksaane. Amiinidega puhastamisele eelnevalt siiski soovitatakse eemaldada väävliühendid. Desulfuriseerimist on võimalik läbi viia aktiivsõega adsorbeerides või kasutades eeltöötlemisel spetsiaalseid sorbente, näiteks SulfaTrap™-R8 sorbenti, mis tolereerib gaasis suurt niiskusesisaldust ning on võimeline eraldama ka siloksaane. Amiinipuhastuse käigus ei saa eraldada lämmastikku ja hapnikku. Puhastatud biogaasist saab niiskust eemaldada kondensatsiooni abil. Puhastamistehnoloogia tuleks valida sõltuvalt biogaasi kasutamise otsustarbest. Biogaasist metaani eraldamiseks kasutatakse veel membraantehnoloogiat, mis võimaldab eraldada komponente täiuslikumalt. [29, 30, 31]

3. ARVUTUSLIK OSA

3.1. Metaankääriti arvutus

Arvutuste läbiviimiseks on kasutatud meetodikat mis on kirjeldatud A. V. Kuzmitšovi õpikus „Теоретические основы защиты окружающей среды“. (Ümbritseva keskkonna kaitse teoreetilised alused). [32]

Eldan, et inimene toodab 150 L reovett ööpäevas. [33]

Teades, et Järve Biopuhastus suudab töödelda 200 000 inimekvivalenti reovett, saame arvutada ööpäevas maksimaalse töödeldava reovee koguse. [34]

$$\text{Töödeldav reoveehulk} = (\text{inimekvivalent}) * (\text{inimese poolt toodetav reoveehulk ööpäevas}) \quad (3.1)$$

$$\text{Töödeldav reoveehulk} = (200000) * \left(150 \frac{L}{24 h} * \frac{m^3}{1000 L}\right) = 30000 \frac{m^3}{24 h}$$

Tabelis 3.1 on koondatud kokku erinevad andmed, mis kirjeldavad Järve Biopuhastuse reovee puhastusprotsessi parameetreid. Andmed pärinevad erinevatest allikatest.

[32, 33, 34]

Tabel 3.1 Reovee puhastusprotsessi parameetrite koondtabel

Puhastusjaama tootlikkus q_{cm} , $m^3/\text{ööpäevas}$	Heljumi kontsentratsioon C , mg/L	Hapniku biokeemiline tarbimine, mg/L	Kääritus-režiim	Tuhasisaldus, %	
				Sete	Muda
30000	290	220	Mesofiilne	32	30

1. Leiame heitveemuda ja selles sisalduva kuivaine massi.

Heitveemuda ja kuivainesisalduse massi leiab järgnevate valemitega:

$$Q_{kuiv} = \frac{C * E * k}{1000 * 1000} * q_{cm} \quad (3.2)$$

$$A_{kuiv} = \frac{0.8C * (1 - E) + K_{am} * L_a - b}{1000 * 1000} * q_{cm} \quad (3.3)$$

kus C - heljumi kontsentratsioon esmastesse settebasseinidesse saabuvas vees, mg/L;

L_a - aerotanki saabuva settevee biokeemiline hapnikutarve, mg/L;

E - esmaste settebasseinide heljumi kinnipidamise efektiivsus, kus ühiku osad jaotuvad suhtes 50%;

q_{cm} - reovee keskmine kulu, m³/ööpäevas;

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, $K_{am} = 0,3 + 0,5$.

$$Q_{kuiv} = \frac{290 * 0,5 * 1,1}{1000 * 1000} * 30000 = 4,79 \frac{t}{24 h}$$

Arvutame aerotanki saabuva sette biokeemilise hapnikutarbe L_a . Esmasel selitasmisel langeb BHT kuni 20% [32]

$$L_a = 220 \frac{mg}{l} * 0,8 = 176 \frac{mg}{l}$$

$$A_{kuiv} = \frac{0,8 * 290 * (1 - 0,5) + 0,3 * 176 - 15}{1000 * 1000} * 30000 = 4,61 \frac{t}{24 h}$$

2. Leiame heitveemuda ja aktiivmuda tekkemassi ööpäevas järgnevate valemite abil.

$$Q_{tva} = \frac{Q_{kuiv} * (100 - N_g)(100 - T_s)}{100 * 100} \quad (3.4)$$

$$A_{tva} = \frac{A_{kuiv} * (100 - N'_g)(100 - T_m)}{100 * 100} \quad (3.5)$$

Kus N_g ja N'_g - toore sette ja aktiivmuda hügrokoopne niiskus, %;

T_s ja T_m - sette ja muda kuivaine tuhasisaldus, %.

Kirjandusallikate andmetel on hügrokoopne niiskusknäitaja 5-6%. [32]

$$Q_{tva} = \frac{4,79 * (100 - 6)(100 - 32)}{100 * 100} = 3,06 \frac{t}{24 h}$$

$$A_{tva} = \frac{4,61 * (100 - 6)(100 - 30)}{100 * 100} = 3,03 \frac{t}{24 h}$$

3. Leiame kogu heitveemuda üldkulu reoveepuhastusjaamas.

$$M_{kuiv} = Q_{kuiv} + A_{kuiv} \quad (3.6)$$

$$M_{tva} = Q_{tva} + A_{tva} \quad (3.7)$$

$$M_{kuiv} = 4,79 \frac{t}{24 h} + 4,61 \frac{t}{24 h} = 9,40 \frac{t}{24 h}$$

$$M_{tva} = 3,06 \frac{t}{24 h} + 3,03 \frac{t}{24 h} = 6,09 \frac{t}{24 h}$$

4. Leiame toore sette ja jääkmuda kulu, m³/ööpäevas.

$$q_s = \frac{100 * Q_{kuiv}}{(100 - N_s) * y_s} \quad (3.8)$$

$$q_m = \frac{100 * A_{kuiv}}{(100 - N_m) * y_m} \quad (3.9)$$

Kus N_s ja N_m – toore sette ja jääkaktiivmuda niiskus, %;

y_s ja y_m – sette ja aktiivmuda tihedus, t/m³;

q_s – settekuulu, m³/ööpäevas;

q_m – mudakuulu, m³/ööpäevas.

Sette ja muda eemaldamisel settebasseinidest võib eeldada selle tiheduseks $1t/m^3$, sette niiskus on 93% ning aktiivmuda niiskus 97%. [23, 35]

$$q_s = \frac{100 * 4,79}{(100 - 93) * 1} = 68,43 \frac{m^3}{24 h}$$

$$q_m = \frac{100 * 4,61}{(100 - 97) * 1} = 153,67 \frac{m^3}{24 h}$$

5. Leiame üldise setete kulu segumahu järgi tegeliku niiskusega.

$$M_{kogu} = q_s + q_m \quad (3.10)$$

$$M_{kogu} = 68,43 \frac{m^3}{24 h} + 153,67 \frac{m^3}{24 h} = 221,10 \frac{m^3}{24 h}$$

6. Leiame segu keskmise niiskuse ja tuhasuse osa protsentides.

$$N_{segu} = 100(1 - M_{kuiv}/M_{kogu}) \quad (3.11)$$

$$E_{segu} = 100 \left[1 - \frac{M_{tva}}{\frac{Q_{kuiv}(100 - N_g)}{100} + \frac{A_{kuiv}(100 - N_g)}{100}} \right] \quad (3.12)$$

$$N_{segu} = 100 \left(1 - \frac{9,40}{221,10} \right) = 95,74\%$$

$$E_{segu} = 100 \left[1 - \frac{6,09}{\frac{4,79 * (100 - 6)}{100} + \frac{4,61 * (100 - 6)}{100}} \right] = 31,07\%$$

7. Leiame metaantanki mahuti suuruse kuupmeetrites tuginedes eelnevatele arvutustele. Vastavalt kirjandusviidetele võtame täitedoosiks 8%. [36]

$$W = 100 * \frac{M_{kogu}}{D} \quad (3.13)$$

$$W = 100 * \frac{221,10}{8} = 2763,75 m^3$$

Vastavalt tabelile 3.2 valime standardmõõtmega metaankääriti minimaalse reservmahuga. Leiame, millise metaankääritustanki peab valima. [32]

Tabel 3.2 Metaankääritite standardmõõtmed

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

$$\text{Ülehulk} = \frac{(\text{Standardne metaankääriti maht} - \text{Vajalik metaankääriti maht})}{\text{Standardne metaankääriti maht}} * 100\% \quad (3.14)$$

Valik 1. 3x 1000 m³ mahutit.

$$\text{Ülehulk} = \frac{(3 * 1000 \text{ m}^3 - 2763,75 \text{ m}^3)}{3 * 1000 \text{ m}^3} * 100\% = 7,88\%$$

Valik 2. 2x 1600 m³ mahutit.

$$\text{Ülehulk} = \frac{(2 * 1600 \text{ m}^3 - 2763,75 \text{ m}^3)}{2 * 1600 \text{ m}^3} * 100\% = 13,63\%$$

Edasised arvutused toimuvad esimese valiku alusel.

Arvutame tegeliku täitedoosi D kui kasutada kolme kääritit mahuga 1000 m³:

$$D = \frac{M_{kogu} * 100}{\text{Kääritite arv} * \text{Kääritite maht}} \quad (3.15)$$

$$D = \frac{221,10 * 100}{3 * 1000} = 7,37\%$$

Leiame segu lagunemise määra, %.

$$r_{segu} = \frac{r_0 * Q_{tva} + r_m * A_{tva}}{M_{tva}} \quad (3.16)$$

kus r_0 ja r_m on vastavalt sette ja muda lagunemiskiirid, %

Juhul kui andmed heitveemuda kohta puuduvad võib lähtuda meetodikas pakutavatest väärtustest:

$$r_0 = 53\%$$

$$r_m = 44\%$$

$$r_{segu} = \frac{0,53 * 3,06 + 0,44 * 3,03}{6,09} = 48,52\%$$

8. Leiame gaasi tekkekoguse laetud tuhavaba aine kohta, m³/kg

$$G = \frac{(r - nD)}{100} \quad (3.17)$$

kus r - sette kääritamise piir, %;

n - empiiriline kordaja, mis sõltub sette niiskusest ja kääritamise temperatuurirežiimist.

Gaasi tootmissaagikust arvutatakse kuupmeetrites ühe kilogrammi laguneva orgaanilise aine kohta. Mesofiilse režiimi puhul ($t = 33^\circ\text{C}$, $N_{segu} = 96\%$) on koefitsient $n = 0,56$.

[32]

$$G = \frac{(48,52 - 0,56 * 7,37)}{100} = 0,44 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}}$$

9. Leiame ööpäevas tekkiva biogaasi koguse, m³/24h.

$$G_{kogu} = G * M_{tva} * 1000 \quad (3.18)$$

$$G_{kogu} = 0,44 * 6,09 * 1000 = 2679,60 \frac{\text{m}^3}{24 \text{ h}}$$

10. Leiame kääritussegu kvaliteedi, s.t. leiame selle niiskuse ja tuhasisalduse.

Käärimise käigus toimub tuhavaba aine lagunemine. Tulemusena väheneb kuivaine mass ja tõuseb niiskussisaldus. Peale käärimist segu kogumaht praktiliselt ei muutu. Suurus G , mida väljendatakse protsentides, kirjeldab mittetuhkneva aine lagunemismäära, mis on arvatud gaasi väljundist. Metoodikast tulenevalt on $G = 44,8\%$. Teades lagunemise määra, saame arvutada mittetuhkneva aine massi kääritatud segus. [32]

$$M'_{tva} = M_{tva} * (100 - G)/100 \quad (3.19)$$

$$M'_{tva} = 6,09 * \frac{100 - 44,8}{100} = 3,36 \frac{t}{24 h}$$

Kuiva massi ja tuhavaba massi vahe esindab tuha osa, mis kääritamise protsessis ei muutu. Seega kuiva aine massi kääritatud segus leiame järgnevalt:

$$M'_{kuiiv} = (M_{kuiiv} - M_{tva}) + M'_{tva} \quad (3.20)$$

$$M'_{kuiiv} = (9,40 - 6,09) + 3,36 = 6,67 \frac{t}{24 h}$$

Teades M'_{kuiiv} ja M'_{tva} väärtust ning võttes arvesse segu 6% hügrokoopse niiskuse näitajat, saab määrata selle tuhasisalduse:

$$T_{segu} = 100 - \frac{M'_{tva} * 100 * 100}{M'_{kuiiv} * (100 - 6)} \quad (3.21)$$

$$T_{segu} = 100 - \frac{3,36 * 100 * 100}{6,67 * (100 - 6)} = 46,41\%$$

Kääritatud segu niiskuse leiame järgmise valemi abil:

$$N'_{segu} = 100 - \left(\frac{M'_{kuiiv}}{M_{kogu}} \right) * 100 \quad (3.22)$$

$$N'_{segu} = 100 - \left(\frac{6,67}{221,10} * 100 \right) = 96,98\%$$

Kääritamise tulemusena tõuseb kääritava massi niiskus ja tuhasisaldus.

11. Edasised arvutused toimuvad teise valiku alusel.

Arvutame tegeliku täitedoosi, kui kasutada kahte kääritit mahuga 1600 m³:

$$D = \frac{M_{kogu} * 100}{Kääritite arv * Kääritite maht} \quad (3.15)$$

$$D = \frac{221,10 * 100}{2 * 1600} = 6,91\%$$

Segu lagunemismäär ei sõltu mahuti suuruselt, kuna valemis ei rakendata mahuti suurust, seega saame kasutada esimeses valikus arvatud r_{segu} väärtust. $r_{segu} = 48,52\%$.

12. Leiame gaasi tekkekoguse laetud tuhavaba aine kohta, m³/kg.

$$G = \frac{(r - nD)}{100} \quad (3.17)$$

kus r - sette kääritamise piir, %;

n - empiiriline kordaja, mis sõltub sette niiskusest ja kääritamise temperatuurirežiimist.

Gaasitootmissaagikust arvutatakse kuupmeetrites ühe kilogrammi laguneva orgaanilise aine kohta. Mesofiilse režiimi puhul ($t = 33^{\circ}\text{C}$, $N_{segu} = 96\%$) on koefitsent $n = 0,56$. [32]

$$G = \frac{(48,52 - 0,56 * 6,91)}{100} = 0,44 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}}$$

Kuna G väärtus ei muutunud sõltuvalt kääriti mahu valikust, siis ööpäevas tekkiva biogaasi hulk on sama. $G_{kogu} = 2679,60 \text{ m}^3/24\text{h}$

Kääritussegu kvaliteet jääb muutumata samadel põhjustel.

13. Leiame biogaasis sisalduva metaani osakaalu ja tekkekoguse ööpäevas.

Teades keskmist biokeemilise metaani potentsiaali heitveemuda tuhavaba aine kohta, saame leida metaani osakaalu biogaasis. $BMP = 0,25 \pm 0,11 \text{ m}^3 \text{ CH}_4/\text{kg}$ tuhavaba aine kohta. [24]

$$M_{tva} = 6,09 \frac{t}{24 h}$$

$$G_{kogu} = 2679,60 \frac{m^3}{24 h}$$

$$V_{CH_4} = M_{tva} * BMP \quad (3.23)$$

$$V_{CH_4}(alumine) = 6,09 \frac{t}{24 h} * 1000 \frac{kg}{t} * 0,14 \frac{m^3}{kg} = 852,60 \frac{m^3}{24 h}$$

$$V_{CH_4}(keskmine) = 6,09 \frac{t}{24 h} * 1000 \frac{kg}{t} * 0,25 \frac{m^3}{kg} = 1522,50 \frac{m^3}{24 h}$$

$$V_{CH_4}(ülemine) = 6,09 \frac{t}{24 h} * 1000 \frac{kg}{t} * 0,36 \frac{m^3}{kg} = 2192,40 \frac{m^3}{24 h}$$

Metaani osakaalu segus leiame valemiga:

$$vol\%_{CH_4} = \frac{V_{CH_4}}{G_{kogu}} * 100\% \quad (3.24)$$

$$vol\%_{CH_4}(alumine) = \frac{852,60 \frac{m^3}{24 h}}{2679,60 \frac{m^3}{24 h}} * 100\% = 31,82\%$$

$$vol\%_{CH_4}(keskmine) = \frac{1522,50 \frac{m^3}{24 h}}{2679,60 \frac{m^3}{24 h}} * 100\% = 56,82\%$$

$$vol\%_{CH_4}(ülemine) = \frac{2192,40 \frac{m^3}{24 h}}{2679,60 \frac{m^3}{24 h}} * 100\% = 81,82\%$$

Metaani madalat osakaalu biogaasis saab selgitada metanogeneesiga. Langenud temperatuur kääritis aeglustab metanogeensete mikroorganismide elutegevust. pH väärtus kääritis peaks olema kuue ja kaheksa vahel. Kõrgenenud pH juures tekib vaba ammoniaak, mis on metanogeensetele mikroorganismidele mürgine. Alanenud pH väärtuste korral on metanogeensetele mikroorganismidele mürgised volatiilsed rasvhapped. Keskmise metaani osakaal biogaasis on 45 – 75%. [37, 38]

3.2. Metaankääriti seguri arvutus

Arvutuste läbiviimiseks on kasutatud metoodikat mis on kirjeldatud N.A.Kozulini õpikus „Примеры и задачи по курсу оборудования заводов химической промышленности “. (Näited ja ülesanded keemiatööstustehaste seadmete kursusel).[39]

Seguri arvutamiseks on vaja eelnevalt teada Reynoldsi kriteeriumi väärtuseid, vedeliku tihedust ja viskoossust. Tabelis 3.3 on toodud Reynoldsi kriteeriumi piirväärtused ning tabelis 3.4 on toodud heitveemuda viskoossus tulenevalt niiskussisaldusest. [40, 41]

Tabel 3.3 Reynoldsi kriteeriumi piirväärtused

Voolamisrežiim	Reynoldsi numbri väärtus
Laminaarne	$Re \leq 2300$
Üleminek	$2300 < Re < 10000$
Turbulentne	$Re > 10000$

Tabel 3.4 Heitveemuda viskoossuse sõltuvus niiskussisaldusest

Tahke aine sisaldus, %	Viskoossus, cP
1	10
2	80
4	560
6	1760
8	4000
10	7500

Kääritussegu tiheduseks võtame kirjandusallika alusel 1020 kg/m^3 , viskoossuseks 560 cP. Raamseguri tüüpkiirused varieeruvad vahemikus 1-3 m/s. [41, 42]

Metaankääriti seguri suurus sõltub kääritusmahuti dimensioonidest ning on metoodikast tulenevalt kirjeldatud järgnevate suuruste suhete abil: [39]

$$\frac{H_z}{H} = 0,75 - 0,85 \quad (3.25)$$

$$\frac{h}{H} = 0,6 \quad (3.26)$$

$$\frac{h_0}{H_0} = 0,56 \quad (3.27)$$

$$h_1 = 190 - 275 \text{ mm} \quad (3.28)$$

$$\delta = 25 - 40 \text{ mm} \quad (3.29)$$

$$\frac{b}{d} = 0,07 \quad (3.30)$$

Arvutame 1000 m³ ja 1600 m³ metaankäärititele vajalikud raamsegurite mõõtmed ning joonestame need koos käärititega.

3.2.1. 1000 m³ kääritusanuma seguri arvutamine ja joonestamine

Tabeli 3.2 alusel on 1000 m³ kääriti teadaolevad mõõtmed järgnevad:

$$D = 12,5 \text{ m} = 12500 \text{ mm}$$

$$K_{\text{ülemine koonus}} = 1,9 \text{ m}$$

$$K_{\text{silindriline osa}} = 6,5 \text{ m}$$

$$K_{\text{alumine koonus}} = 2,15 \text{ m}$$

1. Leiame seadme kogukõrguse H.

$$H = K_{\text{ülemine koonus}} + K_{\text{silindriline osa}} + K_{\text{alumine koonus}} \quad (3.31)$$

$$H = 1,9 + 6,5 + 2,15 = 10,55 \text{ m} = 10550 \text{ mm}$$

2. Arvutame seguri mõõtmed proportsioonidest, kus H_z/H suhe on 0,75 valemite (3.25) ja (3.31) alusel, mida on vaja joonise joonestamiseks ja arvutuste tegemiseks.

$$H_z = 0,75 * H \quad (3.32)$$

$$H_z = 0,75 * 10,55 = 7,91 \text{ m}$$

3. Arvutame vajaliku elektrimootori võimsuse 1000 m³ mahuti raamseguri juhtimiseks mis on varustatud horisontaalsete labadega.

Leiame seguri läbimõõdu:

$$d = D - 2\delta \quad (3.33)$$

Kus δ – seguri ja seina vaheline ruum, mm;

D – aparaadi diameeter, mm

$$d = 12500 - 2 * 40 = 12420 \text{ mm} = 12,42 \text{ m}$$

Arvutame seguri kõrguse tulenevalt valemist (5.2):

$$h = 0,6 * H \quad (3.34)$$

$$h = 0,6 * 10,55 = 6,33 \text{ m}$$

Arvutame seguri pöörlemiskiiruse kui seguri välimise osa liikumiskiirus on 1 m/s:

$$n = \frac{\omega}{\pi d} \quad (3.35)$$

Kus ω – laba pöörlemiskiirus tipust, m/s;

$$n = \frac{1}{3,14 * 12,42} = 0,026 \text{ p/s}$$

Arvutame Reynoldsi kriteeriumi väärtuse:

$$Re_c = \frac{nd^2\rho}{\mu} \quad (3.36)$$

Kus n – seguri pöörlemiskiirus, m/s;

ρ – heitveemuda tihedus, kg/m³;

μ – heitveemuda viskoossus, N*s/m²

$$Re_c = \frac{0,026 * 12,42^2 * 1020}{0,56} = 7305$$

Arvutame võimsuse N mida kulutatakse segamiseks:

$$N = K_N \mu n^2 d^3 \quad (3.37)$$

Kus koefitsent K_N avaldub kujul;

$$K_N = 12 Re_c^{0,77} \left(\frac{h}{d}\right) \quad (3.38)$$

$$K_N = 12 * 7305^{0,77} \left(\frac{6,33}{12,42}\right) = 5712,09$$

$$N = 5712,09 * 0,56 * 0,026^2 * 12,42^3 = 4142,80 \text{ W} \approx 4,14 \text{ kW}$$

Arvutame võimsuse N_c mis läheb kaotsi mootori tihendis:

$$N_c = 9,84 * (P_{\text{üle}} + P_{\text{atm}}) * f_h * l_{\text{tih}} * n * d_{\text{võll}}^2 \quad (3.39)$$

Kus f_h – hõõrdekoefitsent, 0,2;

l_{tih} – tihendi täitematerjali pikkus, m;

$d_{\text{võll}}$ – seguri võlli diameeter, m;

$P_{\text{üle}}$ – seadme ülerõhk, N/m²;

P_{atm} – atmosfääri rõhk, N/m²;

Tihendi täitematerjali pikkus avaldatakse järgnevalt:

$$l_{tih} = 4d_{võll} \quad (3.40)$$

Kus $d_{võll} = 0,04\text{m}$ [39]

$$l_{tih} = 4d_{võll} = 4 * 0,04 = 0,16 \text{ m}$$

$$N_c = 9,84 * (2000 + 98000) * 0,2 * 0,16 * 0,026 * 0,04^2 = 1,31 \text{ W}$$

Arvutame elektrimootori võimsuse N_e :

$$N_e = \frac{K_1 K_2 N + N_c}{\eta} \quad (3.41)$$

Kus K_1 - aparadi täitekõrguse ja diameetri suhtekoefitsent;

K_2 - arvkoefitsent vahemikus 1 - 2,5;

η - elektrimootori kasutegur

Koefitsent K_1 avaldub järgnevalt:

$$K_1 = \frac{H_z}{D} \quad (3.42)$$

$$K_1 = \frac{H_z}{D} = \frac{7,91}{12,5} = 0,63$$

$$N_e = \frac{K_1 K_2 N + N_c}{\eta} = \frac{0,63 * 1,75 * 4142,80 + 1,31}{0,85} = 5375 \text{ W} \approx 5,38 \text{ kW}$$

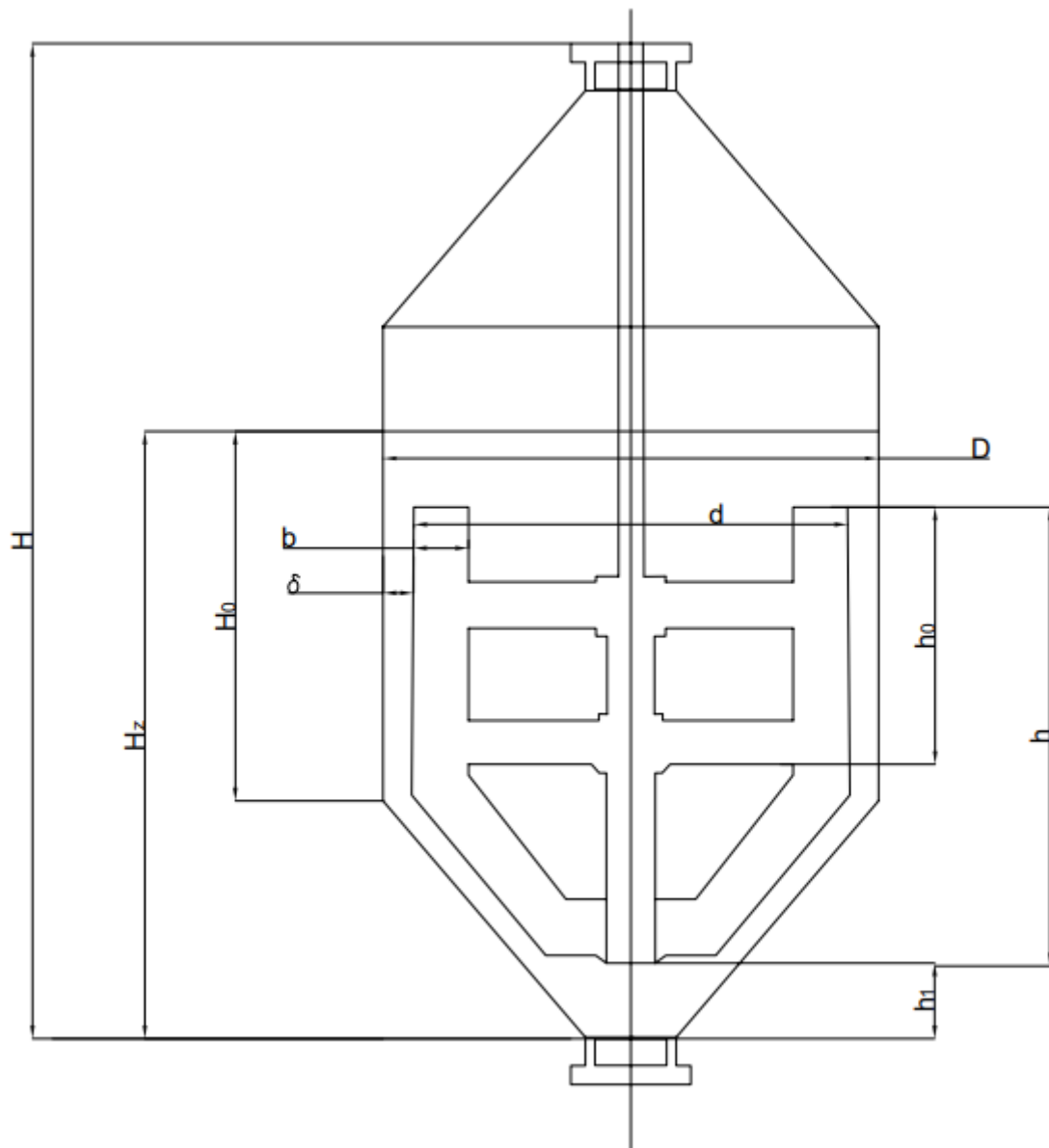
4. Leiame puudueeva seguri ja kääriti mõõtmete suhted.

Valemi (3.27) alusel ei saa rakendada süllogismi mõõtmete h_0 ja H_0 avaldamiseks.

Avaldame raamseguri raami läbimõõdu b valemi (3.30) alusel:

$$b = d * 0,07$$

$$b = 12,42 * 0,07 = 0,87\text{m} = 870\text{mm}$$



Joonis 2.1 1000 m³ metaankääríti koos raamseguriga

$$D = 12,5 \text{ m} = 12500 \text{ mm}$$

$$d = 12,42 \text{ m} = 12420 \text{ mm}$$

$$H = 10,55 \text{ m} = 10550 \text{ mm}$$

$$H_z = 7,91 \text{ m} = 7910 \text{ mm}$$

$$h = 6,33 \text{ m} = 6330 \text{ mm}$$

$$\frac{h_0}{H_0} = 0,56$$

$$h_1 = (190 \div 275) \text{ mm}$$

$$\delta = 0,04 \text{ m} = 40 \text{ mm}$$

$$b = 0,87 \text{ m} = 870 \text{ mm}$$

3.2.2. 1600 m³ kääritusanuma seguri arvutamine ja joonestamine

Tabeli 3.2 alusel on 1600 m³ kääriti teadaolevad mõõtmed järgnevad:

$$D = 15 \text{ m} = 15000 \text{ mm}$$

$$K_{\text{ülemine koonus}} = 2,35 \text{ m}$$

$$K_{\text{silindriline osa}} = 7,5 \text{ m}$$

$$K_{\text{alumine koonus}} = 2,6 \text{ m}$$

5. Leiame seadme kogukõrguse H valemi (3.31) abil.

$$H = 2,35 + 7,5 + 2,6 = 12,45 \text{ m} = 12450 \text{ mm}$$

6. Arvutame seguri mõõtmed valemi (3.32) abil, seguri mõõtmete suhteid muutmata.

$$H_z = 0,75 * 12,45 = 9,34 \text{ m}$$

7. Arvutame vajaliku elektrimootori võimsuse 1600 m³ mahuti raamseguri juhtimiseks, mis on varustatud horisontaalsete labadega.

Leiame seguri läbimõõdu valemi (3.33) abil:

$$d = 15000 - 2 * 40 = 14920 \text{ mm} = 14,92 \text{ m}$$

Arvutame seguri kõrguse valemi (3.34) abil:

$$h = 0,6 * 12,45 = 7,47 \text{ m}$$

Arvutame seguri pöörlemiskiiruse, kui seguri välimise osa liikumiskiirus on 1 m/s valemi (3.35) abil:

$$n = \frac{1}{3,14 * 14,92} = 0,021 \text{ p/s}$$

Arvutame Reynoldsi kriteeriumi väärtuse valemi (3.36) abil:

$$Re_c = \frac{0,021 * 14,92^2 * 1020}{0,56} = 8515$$

Arvutame võimsuse N ja koefitsendi K_N vastavalt valemite (3.37) ja (3.38) abil:

$$K_N = 12 * 8515^{0,77} \left(\frac{7,47}{14,92} \right) = 6382,27$$

$$N = 6382,27 * 0,56 * 0,021^2 * 14,92^3 = 5234,90 \text{ W} \approx 5,23 \text{ kW}$$

Arvutame võimsuse, N_c mis läheb kaotsi mootori tihendis valemi (3.39) abil ning tihendi pikkuse valemi (3.40) abil, kasutades sama läbimõõduga seguri võlli, $d_{võll} = 0,04\text{m}$:

$$l_{tih} = 4d_{võll} = 4 * 0,04 = 0,16 \text{ m}$$

$$N_c = 9,84 * (2000 + 98000) * 0,2 * 0,16 * 0,021 * 0,04^2 = 1,06 \text{ W}$$

Arvutame elektrimootori võimsuse N_e ja koefitsendi K_1 valemite (3.41) ja (3.42) abil:

$$K_1 = \frac{H_z}{D} = \frac{9,34}{15} = 0,62$$

$$N_e = \frac{K_1 K_2 N + N_c}{\eta} = \frac{0,62 * 1,75 * 5234,90 + 1,06}{0,85} = 6683,44 \text{ W} \approx 6,68 \text{ kW}$$

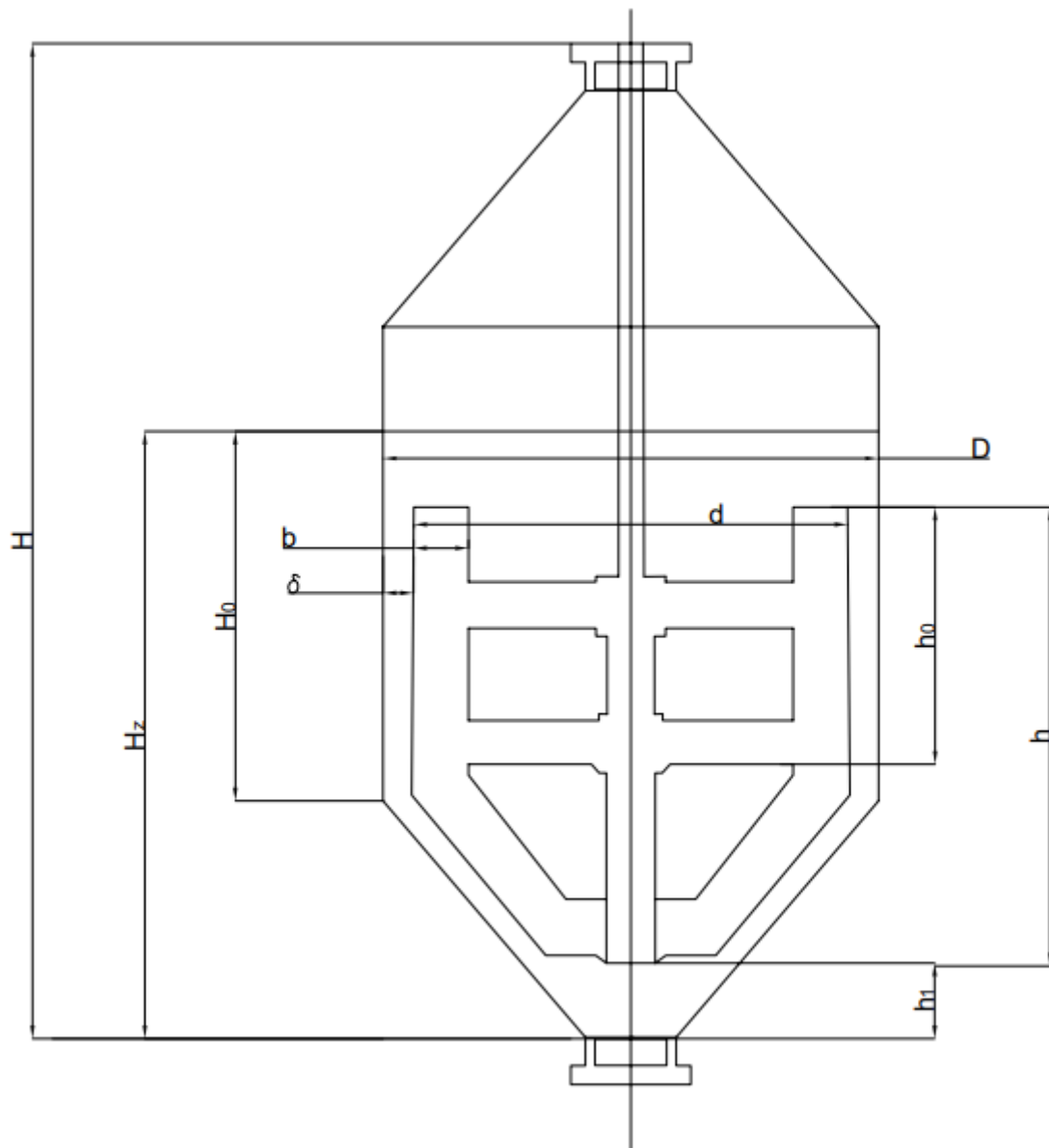
8. Leiame puuduevad seguri ja kääriti mõõtmete suhted.

Valemi (3.27) alusel ei saa rakendada süllogismi mõõtmete h_0 ja H_0 avaldamiseks.

Avaldame raamseguri raami läbimõõdu b valemi (3.30) alusel:

$$b = d * 0,07$$

$$b = 14,92 * 0,07 = 1,04 \text{ m} = 1040 \text{ mm}$$



Joonis 3.2 1600 m³ metaankääriti koos raamseguriga

$$D = 15m = 15000mm$$

$$d = 14,92m = 14920mm$$

$$H = 12,45m = 12450mm$$

$$H_z = 9,34m = 9340mm$$

$$h = 7,47m = 7470mm$$

$$\frac{h_0}{H_0} = 0,56$$

$$h_1 = 190 \div 275mm$$

$$\delta = 0,04m = 40mm$$

$$b = 1,04m = 1040mm$$

3.2.3. Kääritusseadmete tehnoloogiliste parameetrite võrdlus

Tabelitesse 3.5 ja 3.6 on koondatud kääriteid ja segureid iseloomustavad parameetrid

Tabel 3.5 Käärititeid iseloomustavad parameetrid

	1000 m ³ kääriti	1600 m ³ kääriti
Seadme kõrgus, m	10,55	12,45
Diameeter, m	12,5	15
Ülemise koonus kõrgus, m	1,9	2,35
Silindrilise osa kõrgus, m	6,5	7,5
Alumise koonuse kõrgus, m	2,15	2,6
Kasulik maht, m ³	1000	1600
Kääriti täitedoos, %	22,11	13,82
Gaasitootmis saagikus tuhavaga aine kohta, m ³ /kg	0,44	0,44
Biogaasi tekkekogus, m ³ /ööpäevas	893,30	1339,95

Tabel 3.6 Segureid iseloomustavad parameetrid

	1000 m ³ kääriti raamsegur	1600 m ³ kääriti raamsegur
Kääritussegu tihedus, kg/m ³	1020	1020
Kääritussegu viskoossus, N*s/m ²	0,56	0,56
Seguri läbimõõt, m	12,42	14,92
Raami läbimõõt, m	0,87	1,04
Võlli läbimõõt, m	0,04	0,04
Seguri kõrgus, m	6,33	7,47
Pöörlemiskiirus, p/s	0,026	0,021
Reynoldsi arv	7305	8515
Segamiseks rakendatav jõud, kW	4,14	5,23
Elektrimootori minimaalne võimsus, kW	5,38	6,68

Põhilised erinevused kääritite vahel seisnevad nende mõõtmetes ning sellest tulenevalt on ka parameetrid, mis kääriti dimensioonidest sõltuvad, pisut erinevad. Biogaasi tootlikusvõime kääritisse laetud tuhavaba aine kohta on konstantne, see ei sõltu kääriti suurusest, vaid on seotud heitveemuda lagunemisinäitajaga. Tuleb arvestada sellega, et heitveemuda on keerulise koostisega substant ning kääriti tegelik biogaasi tootlikus võib olulisel määral ajas muutuda. Biogaasi tekkekogus kääritis on sõltub kääriti mahust. Kääritisse, kuhu saab lisada rohke kääritussegu, toodab ka rohkem biogaasi.

Kääritite segurite mõõtmed sõltuvad kääritite mõõtmetest, sellest tulenevalt on kääritite sees toimuvad protsessid pisut erinevad. Reynoldsi arv, mis iseloomustab segu hüdraulilist režiimi on pisut erinev ning on turbulentssem 1600 m³ kääritis. Reynoldsi arvu erinevust saab seostada seguri läbimõõduga kuna Reynoldsi arv iseloomustab seguri hüdraulilist režiimi seguri välimise otsa tipust. Tulenevalt sellest ei pruugi kääriti keskel olla segunemine nii intensiivne. Välistada ei saa ka surnud tsoonide olemasolu kääriti keskel kuid selle välja selgitamine vajaks edasist uurimist. Segurite pöörlemiskiirus (p/s) erineb kahe kääriti vahel ning see tuleneb sellest, et arvutuste tegemiseks on kasutatud seguri välimise osa pöörlemiskiirust 1 m/s. Elektrimootorite võimsus ning segamiseks rakendatavad jõud sõltuvad kääritite mõõtmetest. Energiakulu kasv on seoses kääriti kasvava mahuga. [42]

Kääritite termodünaamilisi protsesse antud töös ei käsitleta, sest nende arvutamiseks on tarvis leida kääriti konstruktsiooni elementide tehnoloogilisi parameetreid. Eelduste kohaselt võiksid suuremad energeetilised kaod läbi seinte olla 1600 m³ kääritil kuna geomeetriliselt lähenedes on selle seinapindala suurem kui 1000 m³ kääritil. Kääriti disainimisel on vajalik arvutada soojusvaheti, kuna anaeroobne käärimine mesofiilsetes tingimustes toimub kõrgendatud temperatuuridel, võrreldes kääriti välistemperatuuriga.

Reaalse kääritusprotsessi disainimiseks on tarvis hinnata majandustehnilisi näitajaid ja leida odavaim realiseeritav disain. Siinkohal ei tasu unustada ka seadmete amortisatsiooni arvutamist, sest sellest tulenevalt võib esialgselt odavam disain muutuda ülalpidamiskulude tõttu kulukamaks.

KOKKUVÕTE

Järve Biopuhastuses kasutatava heitveemuda komposteerimistehnoloogia puudujääkide tõttu satuvad ümbritsevasse õhkkonda erinevad saasteained, mis tulenevad kompostihunnikutes tekkivates anaeroobstest tsoonidest. Gaasilise emissiooni vähendamiseks on võimalik olemasolevat komposteerimissüsteemi täiustada, viies komposteerimine üle suletud anumasse, kuid ka suletud keskkonnas komposteerimine ei elimineeri emissiooni täielikult. Heitveemuda kääritamine annab parema tulemuse gaasilise saastekoormuse vähendamisel, sest kääritamist viiakse läbi sisuliselt suletud anumas.

Kõrgema lisandväärtusega heitveemuda töötlemistehnoloogia on kääritamine, mille produktina on võimalik saada metaanirikast biogaasi ja stabiliseeritud reoveesetet. Järve Biopuhastusele võiks olla sobilikuks lahenduseks heitveemuda töötlemisel täielikult segatud kääriti oma robustse disaini tõttu.

Biogaasi potentsiaalse rakenduse ja puhastustehnoloogiate vajaduse üle tuleks ettevõtetel teha oma hinnang. Töötlemata biogaas sisaldab saasteaineid, mis limiteerivad selle kasutuskõlblikkust.

Heitveemuda on oma olemuselt raskesti kirjeldatav materjal. Sellest tulenevalt tuleb selle kirjeldamiseks rakendada statistilisi meetmeid. Heitveemudast teoreetiliselt saadava metaani hulga arvutamiseks eeldatakse, et substant laguneb täielikult, kuid kogu substant ei ole võimeline lagunema ning sellest tulenevalt on teoreetilise ja reaalse biokeemilise metaani tootmispotentsiaali vahe väärtuselt peaaegu pool teoreetilisest potentsiaalst.

Metaankääritite arvutused põhinesid eeldatava reovee kvaliteedi ja koguse baasil, seega võib arvutuslik protsess anda võrreldes reaalse protsessiga kallutatuid tulemusi. Järve Biopuhastuse jaoks arvutati välja kaks metaankääritit koos vajalike seguritega. Põhilised erinevused arvutatud kääritite vahel tulenesid mõõtmetest ja nendest sõltuvatest parameetritest. Biogaasi tootlikusvõimet see ei mõjutanud, sest see on otseselt seotud heitveemuda kvaliteediga. Segurite mõõtmed sõltuvad metaankääritite mõõtmetest ning on arvutatud kasutades vastavaid proportsioone. Reaalse metaankääriti disainimiseks ja ehitamiseks oleks vaja arvesse võtta majandus-tehnilisi tegureid.

SUMMARY

The topic of this graduation thesis is „Modernisation of Järve Biocleaning sewage sludge disposal“ in which the author of this thesis, Jarek Kurul, researches sewage sludge treatment options and conducts calculations for designing an anaerobic digester for Järve Biocleaning sewage treatment plant. The aim of this thesis is to offer a solution to minimize gaseous emissions emitted from the treatment plant and offer a value added solution for treating sewage sludge.

Wastewater treatment plants separate pollutants from sewage and release the treated effluent back into the environment. The more thorough the wastewater treatment, the cleaner the effluent becomes. Due to differences in wastewater pollutants, various specific treatment technologies are used to remove pollutants. Wastewater treatment is a standardized process aimed at removing major pollutants in large quantities. However, the treatment of resulting waste from the treatment becomes problematic.

As a result of wastewater treatment, a large amount of wastewater sludge is generated, which may also contain pollutants, such as pharmaceutical residues that lead to pathogenic microorganisms developing antibiotic-resistance and causing humans, that come into contact with said microorganisms, to develop severe and hard to treat illnesses and complications. From an environmental perspective, it is necessary to treat such waste so that less hazardous products are produced.

Due to deficiencies in the composting technology used at the Järve Biocleaning sewage treatment plant, various pollutants from anaerobic zones in the compost piles are released into the surrounding air. To reduce gaseous emissions, it is possible to improve the existing composting system by transferring composting to a closed container, but even this does not eliminate emission completely. Anaerobic digestion of wastewater sludge yields better results in reducing gaseous pollution because digestion is carried out in a digester, which essentially represents a closed container.

Anaerobic digestion is a wastewater sludge treatment technology with higher added value, which can produce methane-rich biogas and stabilized sludge. Anaerobic digestion with complete mixing could be a suitable solution for wastewater sludge treatment at the Järve Biocleaning sewage treatment plant due to its robust design.

Wastewater sludge is inherently a material that is difficult to characterize. Therefore, statistical measures should be applied to describe it. The amount of methane theoretically obtainable from wastewater sludge is computed assuming the substances degrade completely, but not all substances are able to degrade, resulting in almost half the difference between theoretical biochemical methane production potential and real potential.

The company should assess the potential applicability of biogas and the need for purification technologies. Untreated biogas contains pollutants that limit its applicability.

The calculations for methane digesters were based on the expected quality and quantity of the wastewater, so the computational process may yield biased results compared to the real process. Two methane digesters were considered and calculated for the Järve Biocleaning sewage treatment plant along with the necessary mixers. The main differences between the calculated digesters are due to dimensions and dimension related parameters. This did not affect the biogas productivity, as it is directly related to the quality of wastewater sludge. The dimensions of the mixers depend on the dimensions of the methane digesters and are calculated using appropriate proportions. Designing and building a real methane digester would require consideration of economic and technical factors.

KASUTATUD KIRJANDUS

1. AS Järve Biopuhastus Majandusaasta aruanne 2022. [Online] https://www.idavesi.ee/failid/File/aastaaruanded/10854476_2022_Aruanne_10854476.pdf (08.05.2024)
2. Veekeskonnale ohtlike ainete allikate analüüsi aruanne. [Online] http://baltacthaz.bef.ee/files/c15/c55/Report_SourceTracking_EST_Final.pdf (08.05.2024)
3. Reovee puhastusprotsess. [Online] <https://tallinnavesi.ee/ettevoted/tegevused/reoveepuhastus/heitvee-puhastusprotsess/> (08.05.2024)
4. Wastewater and Sewage Treatment. [Online] [https://chem.libretexts.org/Bookshelves/Introductory_Chemistry/Chemistry_for_Changing_Times_\(Hill_and_McCreary\)/14%3A_Water/14.08%3A_Wastewater_Treatment](https://chem.libretexts.org/Bookshelves/Introductory_Chemistry/Chemistry_for_Changing_Times_(Hill_and_McCreary)/14%3A_Water/14.08%3A_Wastewater_Treatment) (08.05.2024)
5. Monitoring and Controlling the Second Mechanical Cleaning Stage in Wastewater Treatment Plants. [Online] <https://www.pepperl-fuchs.com/global/en/33474.htm> (08.05.2024)
6. Eesti veemajanduse ülevaade aruande veekasutus alusel. [Online] <https://keskkonnaagentuur.ee/media/375/download> (08.05.2024)
7. Baroutian, S.; Eshtiaghi, N.; Gapes, D.J. Rheology of a primary and secondary sewage sludge mixture: Dependency on temperature and solid concentration. [Online] <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960852413007384> (08.05.2024)
8. Sludge treatment and disposal. [Online] <https://www.britannica.com/technology/wastewater-treatment/Sludge-treatment-and-disposal> (08.05.2024)
9. Sludge sorts. [Online] <https://www.lenntech.com/library/sludge/sorts/sludgesorts.htm> (08.05.2024)
10. Chang, H.; Zhao, Y.; Xu, A.; Damgaard, A.; Christensen, . Mini-review of sewage sludge parameters related to system modelling. [Online] <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC10170565/> (08.05.2024)
11. Duan, Z.; Lu, W.; Mustafa, M.F.; Du, J.; Wen, Y. Odorous gas emissions from sewage sludge composting windrows affected by the turning operation and associated health risks. [Online] <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0048969722030935> (08.05.2024)
12. Azis, F.A.; Rijal, M.; Suhaimi, H.; Abas, P.E. Patent Landscape of Composting Technology: A Review. [Online]

- https://www.researchgate.net/publication/360683008_Patent_Landscape_of_Composting_Technology_A_Review (08.05.2024)
13. Aerated Static Pile vs. In-Vessel vs. Turned Pile Composting. [Online] <https://compostsystems.com/forced-aeration-composting/> (08.05.2024)
 14. Aerated Static Pile (ASP) Composting. [Online] [Aerated Static Pile \(ASP\) Composting - Engineered Compost Systems](#) (08.05.2024)
 15. Sludge disposal. [Online] https://www.geo.fu-berlin.de/en/v/iwrm/Implementation/technical_measures/Wastewater-treatment/Sludge-treatment-reuse-and-disposal/Sludge-disposal/index.html (08.05.2024)
 16. Farzadkia, M.; Bazrafshan, E. Lime Stabilization of Waste Activated Sludge. [Online] <https://brieflands.com/articles/healthscope-20091#> (08.05.2024)
 17. Sludge stabilization, sludge digestion. [Online] <https://www.essde.com/en/glossary/sludge-stabilization-sludge-digestion-2636> (08.05.2024)
 18. Anaerobic Digester/Biogas System Operator Guidebook. [Online] <https://www.epa.gov/sites/default/files/2020-11/documents/agstar-operator-guidebook.pdf> (08.05.2024)
 19. Anaerobic System Design and Technology. [Online] <https://www.epa.gov/agstar/anaerobic-system-design-and-technology> (08.05.2024)
 20. Natural Resources Conservation Service Conservation Practice Standard Anaerobic Digester. [Online] https://www.nrcs.usda.gov/sites/default/files/2022-08/Anaerobic_Digester_366_CPS_Oct_2017.pdf (08.05.2024)
 21. Everything You Need to Know About Covered Lagoons. [Online] <https://bristola2.com/blog/everything-you-need-to-know-about-covered-lagoons/> (08.05.2024)
 22. Dry digestion in the LARAN® plug-flow digester. [Online] https://www.strabag-umwelttechnik.com/databases/internet_public/content.nsf/web/FA01F708E945624CC1257EE50033F358 (08.05.2024)
 23. Types of Anaerobic Digesters. [Online] <https://farm-energy.extension.org/types-of-anaerobic-digesters/> (08.05.2024)
 24. Types Of Anaerobic Digesters. [Online] <https://bristola2.com/blog/types-of-anaerobic-digesters/> (08.05.2024)
 25. Biogas composition. [Online] https://www.biogas-renewable-energy.info/biogas_composition.html (08.05.2024)

26. Zamorska-Wojdyła, D.; Gaj, K.; Hołtra, A.; Sitarska, M. Quality evaluation of biogas and selected methods of its analysis. [Online] <https://intapi.sciendo.com/pdf/10.2478/v10216-011-0008-9> (08.05.2024)
27. What is biogas? [Online] <https://www.nationalgrid.com/stories/energy-explained/what-is-biogas> (08.05.2024)
28. Brosnan, J.T.; Brosnan, M. The sulfur containing amino acids: an overview. [Online] <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/16702333/> (08.05.2024)
29. Basics Of Biogas Upgrading. [Online] <https://www.biocycle.net/basics-biogas-upgrading/> (08.05.2024)
30. Biogas Desulfurization. [Online] <https://sulfatrap.com/applications/biogas-desulfurization/> (08.05.2024)
31. Biogas Drying. [Online] <https://condorchem.com/en/biogas-drying/> (08.05.2024)
32. Теоретические основы защиты окружающей среды [Online] https://vgasu.ru/attachments/oi_kuzmichev_02.pdf (08.05.2024)
33. Wastewater Amounts Produced In The Home. [Online] <https://www.wte-ltd.co.uk/wastewater-amounts-in-the-home.html> (08.05.2024)
34. Kohtla-Järve reoveepuhasti kasvas suuremaks. [Online] <https://pohjarannik.postimees.ee/6582753/kohtla-jarve-reoveepuhasti-kasvas-suuremaks> (08.05.2024)
35. Xu, Y.; Wu, Y.; Sun, Q. Flow Characteristics of the Raw Sewage for the Design of Sewage-Source Heat Pump Systems. [Online] <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4053585/> (08.05.2024)
36. Design of biogas plant. [Online] <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:604559/FULLTEXT02> (08.05.2024)
37. An introduction to biogas and biomethane. [Online] <https://www.iea.org/reports/outlook-for-biogas-and-biomethane-prospects-for-organic-growth/an-introduction-to-biogas-and-biomethane> (08.05.2024)
38. Козулин, Н.А. Примеры и задачи по курсу оборудования заводов химической промышленности: издательство машиностроение Москва 1966 Ленинград.
39. Reynolds number (laminar and turbulent flow). [Online] <https://www.tec-science.com/mechanics/gases-and-liquids/reynolds-number-laminar-and-turbulent-flow/> (08.05.2024)
40. Sewage Sludge – Viscosities. [Online] https://www.engineeringtoolbox.com/sewage-sludge-viscosity-solids-content-d_2217.html (08.05.2024)
41. Ветошкин А. Г. Технические средства инженерной экологии: Санкт-Петербург – Москва - Краснодар 2018.

42. Learn the essence of the mixing Reynolds number. [Online] <https://www.shi-pe.shi.co.jp/english/products/mixing/lecture/basic007/> (08.05.2024)