Tartu biojäätmete käitlusuuring

Tellija: Tartu Linnavalitsus

Töö koostaja: Alkranel OÜ

Projektijuht: Alar Noorvee

Vastutavad täitjad: Katrina Kaasik
Paula Nikolajeva

Tartu 2022

Sisukord

Sissejuhatus 5
1. Biojäätmed Eestis 6
1.1 Õiguslik taust 6
1.2 Biojäätmete käitlemise eesmärgid ja probleemid 8
1.2.1 Trendid ja kitsaskohad 10
1.3 Ringmajanduse eesmärgid Eestis 12
2. Biojäätmed Tartus 14
2.1 Biojäätmete kogused Tartus 14
2.2 Biojäätmete käitlemine Tartus 17
2.3 Biojäätmete kogused Lõuna-Eestis 18
2.4 Potentsiaalsete käitlusettevõtete uuring 19
3. Biojäätmete käitlemise üldteooria 22
3.1 Biojäätmete omadused 22
3.2 Kompostimine 24
3.2.1 Aunkompostimine 27
3.2.2 Membraankompostimine 29
3.2.3 Kottkompostimine 30
3.2.4 Vermikompostimine 32
3.2.5 Reaktorkompostimine ehk tunnelkompostimine 34
3.3 Biogaasi tootmine 35
4. Sobiva biojäätmete käitluslahenduse leidmine Tartu linnale 40
4.1 Alternatiiv 1: Köögi- ja sööklajäätmed anaeroobsesse kääritusse ning aia- ja haljastusjäätmed aeroobsele kompostimisele 41
4.1.1 Alternatiiv 1.A.1: Köögi- ja sööklajäätmete anaeroobne kääritus uues rajatavas biogaasijaamas (kuivkääritus) 41
4.1.2 Alternatiiv 1.A.2: Köögi- ja sööklajäätmete anaeroobne kääritus Ilmatsalu biogaasijaamas (märgkääritus) 42
4.1.3 Alternatiiv 1.A.3: Köögi- ja sööklajäätmete anaeroobne kääritus – vedu EKT Ecobio OÜ Maardu biogaasijaama (kuivkääritus) 43
4.1.4 Alternatiiv 1.B.1: Aunkompostimine 44
4.1.5 Alternatiiv 1.B.2: Membraankompostimine 45
4.1.6 Alternatiiv 1.B.3: Kottkompostimine 47
4.1.7 Alternatiiv 1.B.4: Reaktor- ehk tunnelkompostimine 49
4.2 Alternatiiv 2: kõik biojäätmed (nii köögi- ja sööklajäätmed, kui ka aia- ja haljastusjäätmed) aeroobselt kompostimisele 50

4.2.2 Alternatiiv 2.A: Membraankompostimine 50
4.2.3 Alternatiiv 2.B: Kottkompostimine 51
4.2.4 Alternatiiv 2.C: Reaktor- ehk tunnelkompostimine 53
4.3 Käitluslahenduste võrdlus 54
Kokkuvõte 65
Kasutatud materjalid 67

Sissejuhatus

Käesoleva töö eesmärgiks on analüüsida Tartu linnas korraldatud jäätmeveoga kokku kogutavate biolagunevate jäätmete (köögi- ja sööklajäätmed ning aia- ja haljastusjäätmed) käitlemise võimalusi. Seejuures on töö keskmeks ringmajanduslik majandusmudel ning Tartu linna biojäätmete käitlemiseks sobiva lahenduse leidmiseks seatakse esikohale ressursside jätkusuutlik kasutamine.

Uuringu esimeses osas antakse ülevaade olukorrast Eestis, seejuures vaadeldakse (bio)jäätmetega seonduvat õiguslikku tausta, kirjeldatakse üldist jäätmemajandust ja selle toimimist ja tuuakse välja peamised jäätmemajanduse trendid ja probleemid ning antakse ülevaade ka ringmajandusest ja sellega seonduvatest eesmärkidest Eestis. Uuringu teises osas antakse ülevaade biojäätmete tekkekogusest ja nende käitlemisest Tartu linnas ning lühidalt tutvustatakse erinevate biojäätmete käitlusettevõtetega läbiviidud uuringu tulemusi. Uuringu kolmandas osas kirjeldatakse biojäätmete käitlemise üldteooriat ning kirjutatakse lahti aun-, membraan-, kott-, vermi- ja reaktor- ehk tunnelkompostimise ning biogaasi tootmise tehnoloogiad, võimalikud keskkonnaaspektid ning tehnoloogia eelised ja puudused. Uuringu neljandas ning viimases osas võrreldakse eeltoodud käitlusvõimalusi omavahel, leidmaks Tartu linnale sobivaim.

Sobivaima käitluslahenduse leidmiseks hinnati kahte alternatiivi nende alamalternatiividega:

1) köögi- ja sööklajäätmed anaeroobsesse kääritusse ning aia- ja haljastusjäätmed aeroobsele kompostimisele
   - A: Köögi- ja sööklajäätmete anaeroobne kääritus
     - 1.A.1: Uues rajatavas biogaasijaamas
     - 1.A.2: Ilmatsalu biogaasijaamas
     - 1.A.3: Jäätmete vedu EKT Ecobio OÜ Maardu biogaasijaama
   - 1.B: Aia- ja haljastusjäätmete aeroobne kompostimine
     - 1.B.1: Aunkompostimine
     - 1.B.2: Membraankompostimine
     - 1.B.3: Kottkompostimine
     - 1.B.4: Reaktor- ehk tunnelkompostimine
2) kõik biojäätmed (nii köögi- ja sööklajäätmed, kui ka aia- ja haljastusjäätmed) aeroobselt kompostimisele
   - 2.A: Membraankompostimine
   - 2.B: Kottkompostimine
   - 2.C: Reaktor- ehk tunnelkompostimine

Käesolev Tartu linna biojäätmete käitlusuuring valmis Tartu Linnavalitsuse tellimusel. Uuringu viis läbi Alkranel OÜ meeskond, koosseisus:

- Alar Noorvee – projektijuht;
- Paula Nikolajeva;
- Katrina Kaasik.

1. Biojäätmed Eestis

1.1 Õiguslik taust

Jäätmeseaduses on biojäätmed defineeritud kui biolagunevad jäätmed, mille alla kuuluvad aia- ja haljastusjäätmed ning kodumajapidamises, büroos, jaemüügikohas, hulgimüügiettevõttes ja toitlustusasutuses tekkinud toidu- ja köögijäätmed. Lisaks on biojäätmed ka toiduainetööstuses tekkinud jäätmed, mis on oma koostise ja olemuse poolest samalaadsed eelmises loetelus nimetatud jäätmetega.

Biolagunevad jäätmed on jäätmeseaduse kohaselt anaeroobselt või aeroobselt lagunevad jäätmed, nagu toidujäätmed, paber ja papp. Biojäätmete alla kuuluvad kõik eelnevalt nimetatud jäätmed peale paberi ja papi. Toidujäätmeteks loetakse toitu, mis on muutunud jäätmeteks toidutarneahela erinevates etappides (sh lõpptarbimise etapis). Toidukaoks ehk raisatud toiduks loetakse mistahes inimtarbimiseks mõeldud toitu või toiduainet, mis mingil põhjusel jääb tarbimata ja visatakse toidujäätmetena ära.

Jäätmeseaduse reguleerimisalasse ei kuulu loomsed kõrvalsaadused, välja arvatud juhul, kui neid põletatakse, ladestatakse või kasutatakse biogaasi või komposti tootmisel. Loomsete kõrvalsaaduste (ingl *animal by-products*, ABPR) ja nendest saadud toodete tervise-eeskirjad on sätestatud Euroopa Parlamendi ja nõukogu määruses EÜ 1069/2009 ning nende käitlemist korraldab Maaeluministeerium. Loomseteks kõrvalsaadusteks loetakse surnud loomad, inimtoiduks kõlbmatud loomsed jäägid ja sõnnik. Olenevalt inimeste ja loomade terviseriski suurusest liigitatakse need kolme kategooriasse. Esimese kategooria loomsed kõrvalsaadused (kõik haigete loomade kehaosad) tuleb põletada või termiliselt töödelda. Eestis on selleks Väike-Maarjas ajakohane loomajäätmete töötlemiskeskus (AS Vireen, tegevusluba nr 07/ABP/PE01). Teise (sõnnik ja seedekulglasisu) ja kolmanda kategooria loomseid kõrvalsaaduseid (linnupead ja -suled, harjased, karvad, veri, munad, veeloomad, selgrootud ja närilised, loomsed kõrvalsaadused, mis on tekkinud inimtoiduks ette nähtud toodete tootmisel, loomsed saadused või loomseid saadusi sisaldav toit, mis ei ole enam ette nähtud inimtoiduks ärilistel kaalutlustel, loomsed toidujäätmed (v.a loomad või nende osad, mis on surnud muul viisil kui inimtoiduks tapmise läbi, kaasa arvatud tauditõrje eesmärgil hukatud loomad; looted; munarakud, embrüod ja sperma, mis ei ole ette nähtud tõuaretuseks, ning koorumata jäänud linnud)) võib kompostida või toota neist biogaasi. Kompostimisel tuleb järgida erinõudeid. Maaeluministeeriumi reguleerimisalasse kuuluv sõnnik ja seedekulgla sisu on II kategooria loomne kõrvalsaadus ning jäätmeseadus seda jäätmeks ei loe. Kui aga sõnnikut kompostitakse või kasutatakse toorainena biogaasi tootmisel segatuna kas reoveesette või biolagunevate jäätmetega, siis tuleb ka sõnniku käitlemisel järgida jäätmeseaduse nõudeid.

Jäätmeseaduse § 14 lg 11 kohaselt on liigiti kogumine tegevus, mille käigus jäätmed eraldatakse liigi ja olemuse alusel nende edasise käitlemise lihtsustamiseks, sealhulgas taaskasutamise soodustamiseks. § 31 lg 1 sätestab, et kohaliku omavalitsuse üksus korraldab jäätmete liigiti kogumist, et võimaldada nende korduskasutuseks ettevalmistamist, ringlussevõttu või muud taaskasutamist võimalikult suures ulatuses. Olmejäätmete liigiti kogumise ja sortimise nõuded ja kord ning sorditud jäätmete liigitamise alused, suurendamaks korduskasutuseks ettevalmistatavate ja ringlusse võetavate olmejäätmete kogust, on reguleeritud keskkonnaministri 10.06.2022 määrusega nr 28 „Olmejäätmete liigiti kogumise ja sortimise nõuded ja kord ning sorditud jäätmete liigitamise alused“. Olmejäätmete liigiti kogumisega tagatakse mh jäätmematerjali parem kvaliteet ning suurendatakse selle taaskasutusvõimalusi. Seejuures tuleneb jäätmeseaduse §-st 136^{12} kohalikul omavalitsusel

kohustus korraldada hiljemalt 31. detsembriks 2023. aastaks eraldi biojäätmete tekkekohal liigiti kogumist. Biojäätmete liigiti kogumine võimaldab neid lihtsamalt ringlusesse võtta.

Jäätmeseaduse § 16 lg 2 sätestab, et jäätmete ettevalmistamine taaskasutamiseks või kõrvaldamiseks on jäätmete mehaaniline, termiline, keemiline või bioloogiline mõjutamine, kaasa arvatud sortimine, pakendamine ja jäätmetest ainete või esemete eraldamine, mis muudab jäätmete omadusi eesmärgiga vähendada jäätmete kogust või ohtlikkust, hõlbustada nende käitlemist või kõrvaldamist või tõhustada nende taaskasutamist, sealhulgas korduskasutuseks ettevalmistamist ja ringlussevõttu. Biojäätmete taaskasutustoiminguteks on Vabariigi Valitsuse 08.12.2011 määruse nr 148 järgi R3o (bioloogiline ringlussevõtt, sealhulgas kompostimine ja muud bioloogilised muundamisprotsessid) ning R12o (jäätmete taaskasutamisele eelnev bioloogiline töötlus). Biojäätmete käitlemisviisideks on näiteks kompostimine ja ka kääritamine (biogaasi tootmine).

Biolagunevatest jäätmetest komposti kui toote valmistamine on Eestis reguleeritud keskkonnaministri 08.04.2013 määrusega nr 7 „Biolagunevatest jäätmetest komposti tootmise nõuded“ (edaspidi määrus nr 7). Lisaks rakenduvad biolagunevate jäätmete (sh biojäätmete) anaeroobse kääritusprotsessi käigus tekkinud kääritusjäägile keskkonnaministri 10.05.2016 määruse nr 12 „Nõuded biolagunevatest jäätmetest biogaasi tootmisel tekkiva kääritusjäägi kohta“ (edaspidi määrus nr 12) nõuded.

Eestis toodetud komposti kvaliteedinõuete koostamisel on võetud eeskuju ECN-QAS-st (European Compost Network-Quality assurance) ja seetõttu on ka lubatud ainete piirväärtused ning mõõtmisele ja esitamisele kuuluvad näitajad sellega ühesugused. Määrusega nr 7 on reguleeritud, milliseid jäätmeid tohib toote valmistamiseks kasutada (määruse nr 7 lisa 1: biolagunevate jäätmete loend), kompostitava materjali viibeaeg sõltuvalt temperatuurist, materjali segamise või õhutamise nõue. Sertifitseeritud komposti tootmisel on reguleeritud komposti hügieen (patogeensed indikaatorid), võõriste sisaldus, umbrohuseemnete sisaldus ja raskmetallide sisaldus. Samuti on nõutud käitlusprotsessi dokumenteerimine ja enesekontrollisüsteemi rakendamine. Lisaks lubatud piirväärtustele, on vajalik toote puhul näidata orgaanilise aine sisaldust, lämmastiku, fosfori ja kaaliumi sisaldust (% kuivaines), maksimaalset osiste suurust (mm), tihedust (g/l), veesisaldust (g/l), soolsust/elektrijuhtivust mS/m ning pH väärtust.

Määruse nr 7 nõuete järgimisel on komposti tootjatel võimalus väljuda selle nõuete täitmisel materjaliga jäätmerežiimist ja tuua turule toode. Vastavalt jäätmeseaduse § 21 lakkavad jäätmed olemast jäätmed ja muutuvad taas tooteks, kui nad on läbinud taaskasutustoimingu, k.a ringlussevõtu ning vastavad Euroopa Parlamendi ja nõukogu direktiivi 2008/98/EÜ artikli 6 lõikes 2 sätestatu alusel kehtestatud kriteeriumitele. Jäätmekäitlejatele ja -valdajatele sätestatud kriteeriumidega tagatakse jäätmetega seotud võimalike riskide minimeerimine tervisele ja keskkonnale. Kriteeriumid peavad vajadusel sisaldama saasteainete piirväärtusi ning võtma arvesse aine või eseme kõiki võimalikke negatiivseid mõjusid keskkonnale ja inimese tervisele. Taaskasutamistoiming, mille järel jäätmed on lakanud olemast jäätmed, peab olema määratud taaskasutamistoimingut läbi viinud ettevõtja jäätmekäitlemise keskkonnaloas või tööstusheite seaduse alusel antud keskkonnaloas (Civitta Eesti AS ja Alkranel OÜ, 2019).

Vastavalt määrusele nr 12 on biolagunevate jäätmete kääritusjäägi tootmisel ja kasutamisel reguleeritud hügieen (patogeensed indikaatorid), võõriste sisaldus, umbrohuseemnete sisaldus ja raskmetallide sisaldus. Samuti on nõutud käitlusprotsessi dokumenteerimine ja enesekontrollisüsteemi rakendamine. Määruse nr 12 lisas 3 on samuti esitatud biolagunevate jäätmete loend, mille korral ei ole sertifitseerimine vajalik. Lisas 3 on toodud jäätmed grupist koodiga 02 (põllumajanduses, aianduses, vesiviljeluses, metsanduses, jahinduses ja kalapüügil

ning toiduainete valmistamisel ja töötlemisel tekkinud jäätmed). Seega ei kuulu jäätmed grupist 20 (olmejäätmed (kodumajapidamisjäätmed ja samalaadsed kaubandus-, tööstus- ja ametiasutusjäätmed), sealhulgas liigiti kogutud jäätmed) erandi alla ning jäätmerežiimist väljumiseks on jäätmete koodidega 20 01 08 ning 20 02 01 käitlemise korral kääritusjäägi sertifitseerimine vajalik. Kui kääritusjääk suunatakse edasi kompostimisele tooteks saamise eesmärgil, tuleb järgida keskkonnaministri 8. aprilli 2013. a määruse nr 7 „Biolagunevatest jäätmetest komposti tootmise nõuded“ esitatud nõudeid.

Kui kompost või kääritusjääk ei ole sertifitseeritud ja lakanud olemast jääde, siis on see endiselt jäätme staatuses ning selle kasutamine peab toimuma jäätmeseaduse alusel. Sertifitseerimata komposti kasutamine on jäätmeseaduse mõistes taaskasutamistoiming. Jäätmeseaduse § 73 lõike 2 punkti 2 kohaselt on jäätmete taaskasutamiseks vajalik omada jäätmekäitlemise keskkonnaluba. Keskkonnaministri 21.04.2004 määruse nr 21 „Teatud liiki ja teatud koguses tavajäätmete, mille vastava käitlemise korral ei ole jäätmeloa omamine kohustuslik, taaskasutamise või tekkekohas kõrvaldamise nõuded“ lisas 1 on loetletud tegevused, mille korral ei ole jäätmeluba (uus termin: keskkonnaluba) vajalik ja piisab jäätmekäitleja registreerimisest Keskkonnaametis. Määruse lisas 1 on nimetatud ainult jäätmeid koodiga 20 02 01 (biolagunevad jäätmed) ja 03 01 05 (saepuru). Kuna sertifitseerimata komposti saab käsitleda tahkete jäätmete aeroobsel töötlemisel tekkinud jäätmetena (19 05), näiteks praakkompostina (19 05 03), siis peab sellise materjali taaskasutamiseks omama kas jäätmekäitleja registreerimistõendit või keskkonnaluba. Keskkonnaministri 21.04.2004 määruse nr 21 §-i 2 kohaselt ei ole keskkonnaluba vajalik, kui tavajäätmeid taaskasutatakse kuni 5 t aastas või kõrvaldatakse nende tekkekohas kuni 1 t aastas. Seega on sertifitseerimata biolagunevate jäätmete komposti taaskasutamisel alla 5 t aastas jäätmete kasutaja kohustatud registreerima end jäätmekäitlejana. Enam kui 5 t aastas sertifitseerimata biolagunevate jäätmete komposti taaskasutamise koguse korral peab taotlema keskkonnaloa.

1.2 Biojäätmete käitlemise eesmärgid ja probleemid

Eesti jäätmevaldkonna eesmärgiks on taaskasutada võimalikult palju tarbimisest tekkinud jäätmeid, kuid olulisim on hoopiski vältida jäätmete tekkimist. Jäätmehoolduses tuleb juhinduda jäätmehierarhiast (vt ka Joonis 1.1). Hierarhia kohaselt tuleb esmajärjekorras jäätmeteket vältida ja kui see osutub võimatuks, tuleb jäätmeid nii palju kui võimalik ette valmistada korduskasutuseks, siis ringlusse võtta ja muul viisil taaskasutada, et ladestada prügilasse võimalikult vähe jäätmeid. Tegemist on EL jäätmete raamdirektiivist (2008/98/EÜ) lähtuva põhimõttega, mille järgimist eeldatakse kõigilt liikmesriikidelt. Lähtudes jäätmete käitlemisel jäätmekäitluse hierarhiast, saab mõju keskkonnale minimeerida.

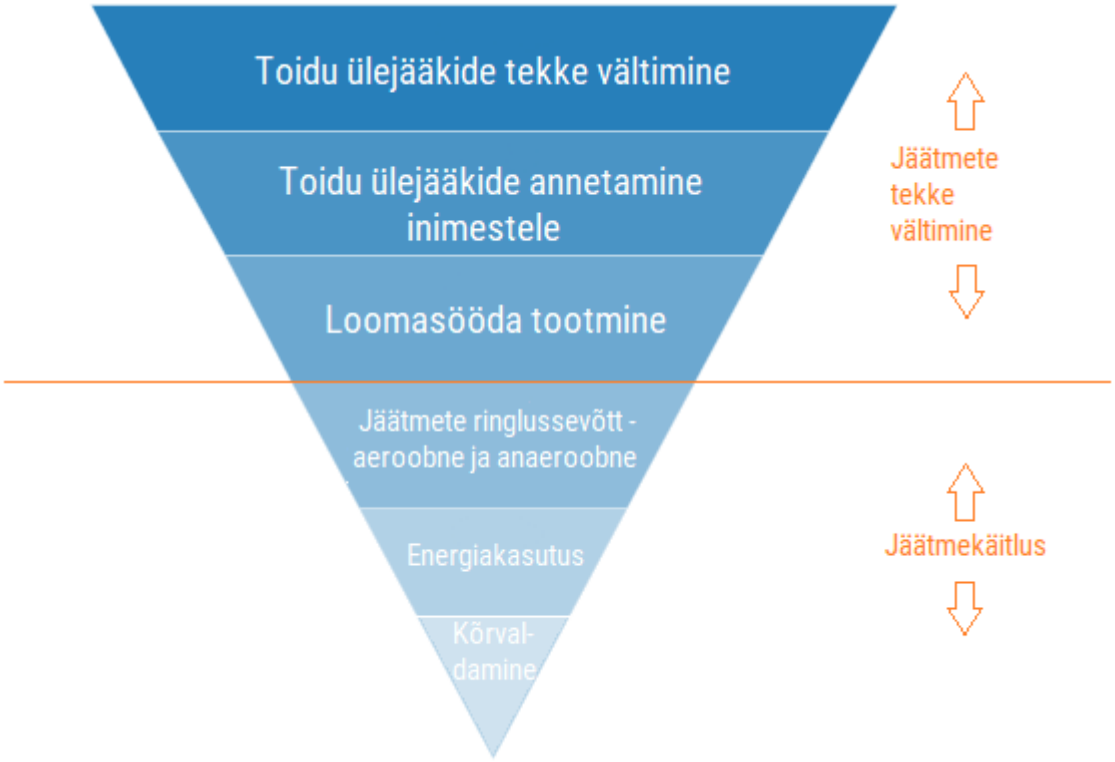
Joonis 1.1 Jäätmehierarhia (Keskkonnaministeerium, 2021)

Jäätmehoolduse kavandamisel tuleb juhinduda põhimõttest, et jäätmekäitluskohtade võrgustik oleks lõimitud nii, et jäätmete käitlemine oleks nende tekkekohale võimalikult lähedal. See tähendab, et nii linna- kui ka maapiirkonna elanikele on loodud mugavad käepärased võimalused olmes tekkinud jäätmete äraandmiseks. Jäätmete tekkekohal kogumine (nn kohtkogumine) on üks lahendus puhta toorme kogumiseks elanikkonnalt. Jäätmete kui võimaliku ressursi edaspidine kasutamine sõltub toorme puhtusest, mistõttu on kohtkogumine koostöös kokkukandepunktis (nt avalikud konteinerid) ning jäätmejaamas kogumisega efektiivne süsteem. (Keskkonnaministeerium, 2014)

Jäätmemajanduse planeerimisel ning seejuures arengu hindamisel lähtutakse sihtarvudest, mis üldiselt tulenevad Euroopa Liidu ühistest kokkulepetest, mille liikmesriigid võtavad üle oma õigusruumi. Sellest omakorda lähtub, kas liikmesriigid peavad kinni keskkonna- ja kliimaeesmärkide saavutamiseks kokkulepitud strateegiatest. Euroopa Liidu kokkulepete kohaselt peavad liikmesriigid võtma nt 2030. aastaks uuesti kasutusse, kas materjali või sama tootena, üle 60% tekitatud olmejäätmetest ja 70% pakendijäätmetest (Eesti Maaülikool, MTÜ Jäätmehalduskeskus, OÜ Technopolis Grupp, 2020-2021; RT I, 27.05.2022, 8).

Otseselt ei ole võimalik vähendada aia- ja haljastusjäätmete teket. Võimalik on vähendada köögi- ja sööklajäätmete teket. Toidujäätmete tekke vältimise kava (2021) kohaselt tuleks toidujäätmetega seotud poliitika kujundamisel ja meetmete võtmisel lähtuda jäätmehierarhial põhinevast toidujäätmete hierarhiast (vt ka Joonis 1.2). Eestis on seni toidujäätmete tekke vähendamiseks oluliseks peetud pikemaajaliste, eelkõige kodumajapidamistele suunatud, kampaaniate tegemist toidu raiskamise vältimiseks ja vähendamiseks. Kavaga on toidujäätmete tekke vältimiseks, vähendamiseks ning sotsiaalse vastutuse tõstmiseks kogu toidutarneahelas esmatootmisest lõpptarbijani seatud kuus tegevusvaldkonda:

1) andmekorje ja toidujäätmete tekkekoguste kaardistamine;
2) seadusandlik raamistik ja regulatiivsete eesmärkide kokkuleppimine;
3) tõhusa koostöö rakendamine eesmärkide elluviimiseks;
4) innovatsiooni ning teadus- ja arendustegevuse rakendamine eesmärkide elluviimiseks;
5) toidu ümberjaotamise edendamine eesmärkide elluviimiseks;
6) järjepidev teadlikkuse tõstmine, teavitamine ja koolitus eesmärkide elluviimiseks.



Joonis 1.2 Toidujäätmete hierarhia (Keskkonnaministeerium, 2021)

Maailmapanga poolt teostatud uuringus (2021) toodi ühe soovitusena välja omavalitsuste omavaheline koostöö, kus võiks kehtestada nõuded ja mehhanismid, mis toetavad omavalitsuste koostööd viisil, et mitu omavalitsust saaks seada sisse ühised jäätmekäitlusteenused ja/või -rajatised. Muuhulgas hinnati biojäätmete käitlemise võimekust Eestis piisavaks ning kuigi suurel määral hõlmab see tänases olukorras jäätmete kompostimist, oleks biojäätmete käitlemist Maailmapanga hinnangul võimalik parandada anaeroobse töötlusega (biogaasi tootmisega).

1.2.1 Trendid ja kitsaskohad

ÜRO Toidu- ja Põllumajandusorganisatsiooni raportis (2013) on välja toodud, et ÜRO hinnangul läheb maailmas kogu inimkonna jaoks toodetud toidust raisku üks kolmandik. Samas raportis on ka välja toodud, et toiduraiskamisega kaasnevad kasvuhoonegaaside heide ja bioloogilise mitmekesisuse vähenemine, samuti veeraiskamine ja põllumajandusmaa tarbetu kasutamine. Rohelise raamatu järgi (Euroopa Komisjon, 2008) tekitavad biolagunevad jäätmed (sh biojäätmed) prügilasse ladestamisel prügilagaasi, mis suurendab kasvuhoonegaasiefekti, kui seda kokku ei koguta.

Uuringust „Toidujäätmete ja toidukao teke Eesti toidutarneahelas“ (2021) selgub, et Eestis moodustab kõigist toidujäätmetest 50% (ehk Eesti puhul ligikaudu 84 000 tonni) raisku läinud toit, millest omakorda ligi 41% moodustab kodumajapidamistes raisku läinud toit. Lisaks võrreldi uuringus omavahel 2014. ja 2020. aastat, mille tulemusena selgus, et toidu raiskamine elanike seas on kasvanud (13% 2014. aastal ja 33% 2020. aastal) ning selle põhjuseks toodi sissetulekute (sh üldise heaolu) suurenemist. Ühe toidukao tekkimise põhjusena tuuakse välja toiduainete riknemist; vähemal määral ka näiteks toidu liiga kauaks seisma jäämist või tähtaja ületamist, mõningal juhul toodi põhjuseks ka liiga suure koguse toidu valmistamist.

Riigikontroll toonitab oma aruandes „Olmejäätmete hulgas olevate biojäätmete ringlussevõtt“ (2021), et Eestis satub võrreldes mitme teise Euroopa Liidu riigiga liiga palju olmejäätmeid ja biojäätmeid (toidujäätmeid ja aia- ning haljastusjäätmeid) ühte prügikasti. Biojäätmete (peamiselt toidujäätmete) osakaal olmejäätmetes on ligi 25%. Sama tulemuseni jõuab oma uuringus ka SEI Tallinn (2020), kus biojäätmete üldine sisaldus olmejäätmetes oli Eestis keskmiselt 32%, sh moodustasid toidujäätmed olmejäätmetes 24%. Kontrolliaruandes seisab, et Eesti on jäänud biojäätmete eraldi kogumises samale tasemele seisma juba kümneks aastaks. Suur osa olmejäätmetest, seejuures neis sisalduvad biojäätmed, jõuab sortimata kujul prügilatesse ladestamisele või jäätmekäitlustehasesse põletamisele, mille tõttu olmejäätmetes olevad biojäätmed ringlusse ei jõua. Lisaks sellele määrivad olmejäätmete hulgas olevad biojäätmed teisi jäätmeliike ja teevad nende taaskasutamise selle võrra keerulisemaks, rahaliselt ebamõistlikuks või hoopiski võimatuks.

Samuti toob Riigikontroll (2021) välja, et biojäätmete ringlussevõtu olemasolevad (ja kavandatavad) võimalused (nt käitlusvõimsused) ei ole piisavad, et võtta ringlusse kõik biojäätmed (eeskätt toidujäätmed) ning hetkel on kõigist biojäätmetest omakorda ringlusse võetud vaid 11%. Negatiivsena tuuakse välja ka see, et riigis ei ole soodustatud nõudlust biojäätmetest tehtavate toodete järele ega ei ole ka väärtustatud biojäätmete jõudmist uuesti ringlusse – biojäätmetest saadav kompost peaks jõudma tagasi põldudele, asendamaks tehisväetisi ja viimaks väärtuslikke toitaineid põldudele. Samas tuuakse käitlemise poolelt välja, et biojäätmete hulgas on palju võõriseid, mille tõttu ei saa neid nt biogaasi tootmisel kasutada; võõrised võivad peale kompostimist jõuda ka põldudele (nt mikroplastina).

Tuginedes Keskkonnaotsuste infosüsteemi (KOTKAS) andmetele ning Riigikontrolli aruandele (2021), on Eestis peamisteks biojäätmete käitluslahendusteks kompostimine ja biogaasi tootmine. Arvestades seda, et Eesti on oma üldiseks suunaks võtnud jäätmetekke vähendamise ja ringmajanduse, on oluline, et kompost ja/või biogaasi kääritusjääk jõuaks kindlasti kasutusse, näiteks väetisena, täitepinnasena, haljastuses – ainult sellisel viisil on tegu ringmajandusega. Kompostimise puhul on kasutuses mitmeid meetodeid, näiteks aunkompostimine (populaarseim) ja kottkompostimine, täpsema ülevaate tehnoloogilistest lahendusest leiab peatükist 3. Riigikontrolli aruande (2021) järgi toodetakse biogaasi eelkõige põllumajandusjääkidest, näiteks sõnnikust, vähemal määral ka rohtsest biomassist (nt hein, põhk, pilliroog).

Eelmainitud Riigikontrolli aruandes toodi ka välja, et biojäätmete kompostimise protsess peab olema kontrollitud ning kompost peab reaalselt jõudma ka ringlusse (st põllule väetiseks, haljastusse vms kasutus), et keskkonnale sellest kasu oleks. Vastasel korral, kui kompostimise protsess on ebakvaliteetne ja komposti kasutusse ei võeta, tekitatakse sellega keskkonnale pigem kahju. Kompostimisprotsessi negatiivne külg on võimalik lõhnahäiring. Kompostimise positiivse küljena saab välja tuua selle, et see loob võimaluse käidelda väikseid koguseid ning kompostimisväljaku rajamine võrreldes nt biogaasi tehase ehitamisega on suhteliselt väike investeering.

Eesti ringmajanduse tulevikupotentsiaali ja vajalike meetmete uuringus (osa 3, jäätmevaldkonna tulevikuvisioon) (2020-2021) on välja toodud viis peamist puudust, mis on Eestis hetkel kasutusel olevatel kompostimistehnoloogiatel:

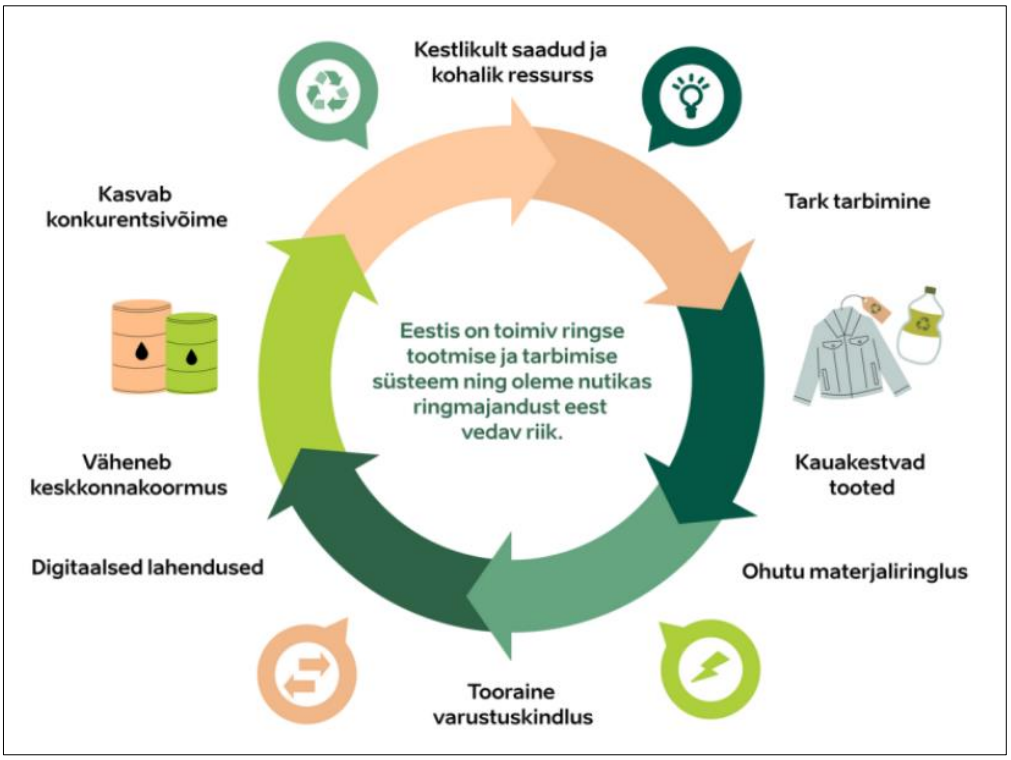
- need ei ole sobivad talvistes oludes – paljud jäätmekäitlejad ei praktiseeri talvel kompostimist;
- biolagunevaid jäätmeid kompostivad ettevõtted on jätnud lõhnahäiringud lahendamata ning lagugaase ei koguta ega puhastata;

- kompostimiseks ei ole rajatud hooneid, st, kompostimine toimub lageda taeva all, mis mõjub negatiivselt komposti kvaliteedile;
- ühelgi komposti tootjal peale Tallinna Jäätmete Taaskasutuskeskuse ei ole kompostimisprotsessi juhtimise üle kontrolli;
- kompostitootjate (st jäätmete käitlemise) mahud on väikesed.

1.3 Ringmajanduse eesmärgid Eestis

Ringmajanduse valge raamatu (Keskkonnaministeerium, 2022) järgi on ringmajandus ringse tootmise ja tarbimise süsteem, kus rõhk on võimalikult väikestel kadudel, mis tähendab seda, et tooted kestavad pikka aega, materjalid on ohutult kaua ringluses ning looduskeskkonna ressursse kasutatakse kestlikult. Seega on ringmajandus majandusmudel (vt ka Joonis 1.3), mis seab esikohale ressursside jätkusuutliku kasutamise ning selle eesmärk on siduda majanduskasv lahti taastumatu toorme kasutamisest. Lisaks ergutab ringmajandus ka tehnoloogilist arengut, materjalide täiustamist ja energiatõhusust.

Ringmajanduse toimimiseks on olulised selle toimimiskeskkond ja toimimispõhimõtted. Ringmajanduse toimimiskeskkonna tingimusteks on teadlikkus, koostöö ja süsteemne lähenemine, nutikad IT lahendused ja korrastatud õigusmaastik. Need tingimused on olulised selleks, et Eestis oleks võimalik rakendada ringmajanduse põhimõtteid. Ringmajanduse toimimispõhimõtted tähistavad otsuseid ja valikuid, mida ringmajanduse osapooled (riigiasutused, omavalitsused, ettevõtted, eraisikud jne) peavad tegema, et Eestis oleks võimalik edukas üleminek ringmajandusele ning edaspidi tõhus ringmajandamine. Ringmajanduse toimimispõhimõteteks on vajaduspõhine tootmine ja tarbimine, ringdisaini põhimõtetest lähtumine, parima võimaliku lähenemise kasutamine, materjalihierarhiast lähtumine ning kestlike valikute toetamine.



Joonis 1.3 Ringmajanduse mudel. Allikas: Keskkonnaministeeriumi ringmajanduse koduleht, 2022 (vaadatud 29.09.2022).

Eesti on oma ringmajanduse edendamiseks seadnud järgmised prioriteetsed arengusuunad (Keskkonnaministeerium, 2022):

1. ressursse kasutatakse vastutustundlikult ja nõudlusest lähtuvalt, ressursikasutus on läbi mõeldud ja jäätmeteke on viidud miinimumi;
2. Eesti ettevõtete ärimudelid on jätkusuutlikud ja ringmajandussuunitlusega;
3. Eestis on ringmajanduse rakendamiseks vajalik oskusteave ja eksperdid ning toimiv koostöö erinevate valdkondade ja sektorite vahel;
4. loodud on toimivad digitaalsed IT lahendused ringmajanduse toetamiseks ning tagatud kvaliteetsed andmed olukorra seiramiseks;
5. ringmajandus on riiklikul tasandil hästi koordineeritud ning loodud on ringmajandust toetav õigus- ja majanduskeskkond;
6. juurdunud on keskkonnateadlik mõtteviis ja keskkonnahoidlik käitumine.

Lisaks on välja toodud iga arengusuuna juures strateegilised valikud. Seejuures on esimese prioriteetse arengusuuna juures üheks strateegiliseks valikuks ohutu materjaliringluse tagamine. Mh on esimese prioriteetse arengusuuna juures välja toodud järgmist: „*Edendama hakatakse kohalike ja ringlusse suunatud materjalide kasutamist, energiasäästlikke tehnilisi lahendusi, toote eluea lõppemisel selle demonteerimist, jäätmete liigiti kogumist ja väärindamist. Ressursside kasutamisel saab tagatud ohutu materjaliringlus ja tootmise lahutamatuks osaks saab kõrvalproduktide ringlus.*“

Eesti ringmajanduse tulevikupotentsiaali ja vajalike meetmete uuringus (osa 3, jäätmevaldkonna tulevikuvisioon) (Eesti Maaülikool jt, 2020-2021) on seoses biojäätmete käitlusega välja toodud mh järgmist: „*Eestis toodetakse biogaasi valdavalt sõnnikust, reoveesettest ning rohtsest biomassist. Eeluuringutest on teada, et toidujäätmete biometaani potentsiaal on kolm korda suurem kui reoveesettel. Toidujäätmetest biogaasi tootmine on mõistlikum kui neid kompostida, sest saadakse gaasi ning ära jääb tugimaterjali hankimine. Biogaasi tootmist toidujäätmetest on proovitud ka kohaliku omavalitsuse tasandil (Kuressaare RVP juures). Probleemid tekivad siis, kui biogaasijaama jõuavad toidujäätmed koos võõristega (koos plast-, metall- või klaaspakendiga).*“

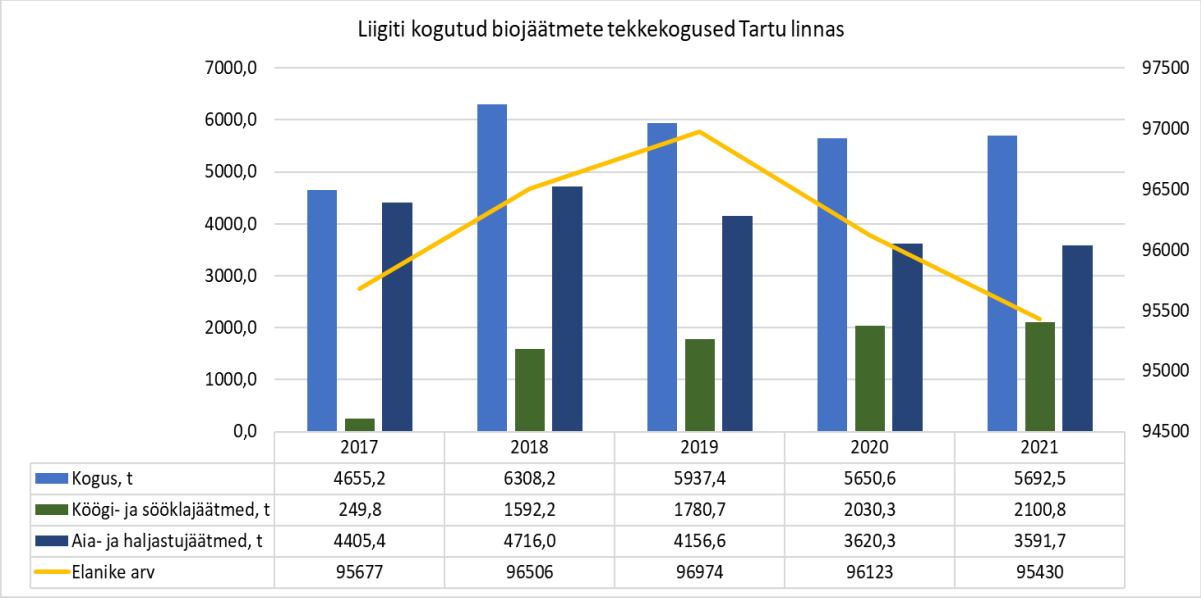
2. Biojäätmed Tartus

2.1 Biojäätmete kogused Tartus

Tartu linnas korraldatud jäätmeveo raames kogutavate biolagunevate jäätmete koguste hindamisel on arvesse võetud biolagunevate köögi- ja sööklajäätmete (20 01 08) ning biolagunevate aia- ja haljastusjäätmete (20 02 01) tekkekoguseid. Biojäätmete koguste hindamisel on vaadeldud riikliku jäätmestatistika alusel aastatel 2017 kuni 2021 tekkinud jäätmekoguseid.

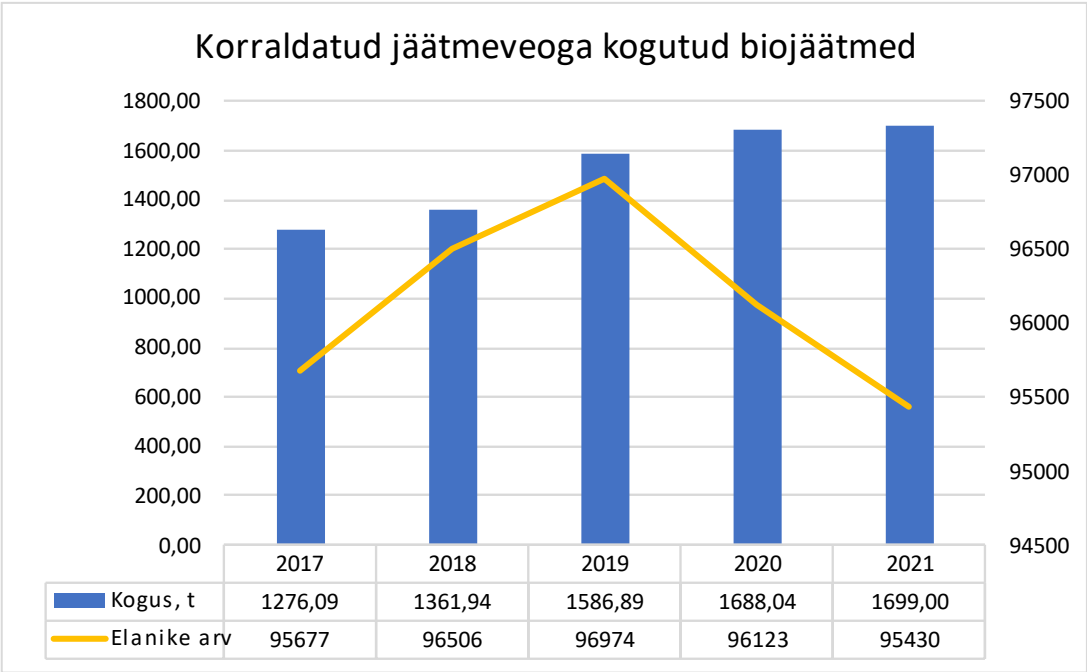
Tartu linna jäätmete sorteerimise juhendi (2016) kohaselt ei ole biojäätmete konteinerisse lubatud panna vedelaid jäätmeid, sh toiduõli ja -rasva. Toiduõli ja -rasva ei tohiks biojäätmete hulka lisada, kuna mh võivad need põhjustada lekkeid, mis omakorda põhjustavad halba lõhna, võimalikku reostust ning jäätmekäitlejad võivad keelduda jäätmekonteineri tühjendamisest (Food Standards Agency, 2018). Seejuures liigse toiduõli ja -rasva lisamine kompostile aeglustab kompostimise protsessi, vähendades õhu liikumist ning asendades vett, mis on aeroobse kompostimise puhul oluline (Grant, 2022). Toiduõli ja -rasva saab ümber töödelda mitmeks erinevaks tooteks, kuid peamine neist on biodiisli tootmine läbi ümberesterifitseerimise protsessi (European Biomass Industry Association, 2022; Deo, Domenico, Ferrara, Abate, Osseo, 2020). Lähtuvalt eelnevast, ei ole antud uuringus biojäätmete hulka kaasatud toiduõli ja -rasva koguseid. Taustinfona saab aga välja tuua, et aastate 2017–2021 jooksul tekkis Tartu linnas vastavalt riiklikule jäätmestatistikale ning seejuures valdavalt ettevõtetest 32,08–45,09 tonni toiduõli ja -rasva.

Riikliku jäätmestatistika kohaselt Tartu linnas tekkinud liigiti kogutud kodumajapidamistest ning ettevõtetest ja asutustest tekkivate samalaadsete biojäätmete (20 01 08; 20 02 01) kogused on esitatud joonisel 2.1. Liigiti kogutud kodumajapidamistest ning ettevõtetest ja asutustest tekkivate samalaadsete biojäätmete tekke osas ei ole võimalik ühest trendi (sh elanike arvu suhtes) Tartu linnas vaadeldud perioodi 2017–2021 jooksul määrata. Kui aga vaadelda eraldiseisvana köögi- ja sööklajäätmete ning aia- ja haljastusjäätmete koguseid, siis selgub, et liigiti kogutud köögi- ja sööklajäätmete kogused on aasta-aastalt kasvanud ja aia- ning haljastusjäätmete kogused kahanenud. Riiklik jäätmestatistika ei kajasta seda, millisel määral toimub biolagunevate jäätmete kohtkompostimine kodumajapidamistes.



Joonis 2.1 Tartu linnas liigiti kogutud kodumajapidamistest ning ettevõtetest ja asutustest tekkivate samalaadsete biojäätmete (20 01 08; 20 02 01) kogused (tonnides) aastate 2017-2021 lõikes (Keskkonnaagentuur, 2022; Statistikaamet, 2022)

Tartu linnas on biojäätmete eraldi kogumine korraldatud jäätmeveo osaks. Korraldatud jäätmeveopiirkonnad on jagatud neljaks ning hõlmavad endas ka endise Tähtvere valla ala. Korraldatud jäätmeveoga kokku kogutud biojäätmete kogused Tartu linnas on viimase viie aasta jooksul pidevas tõusutrendis (vt ka Joonis 2.2). Korraldatud jäätmeveo raames kokku kogutud biojäätmete aina suurenev kogus on positiivne, kuna see näitab, et elanikud koguvad jäätmeid liigiti aina rohkem.

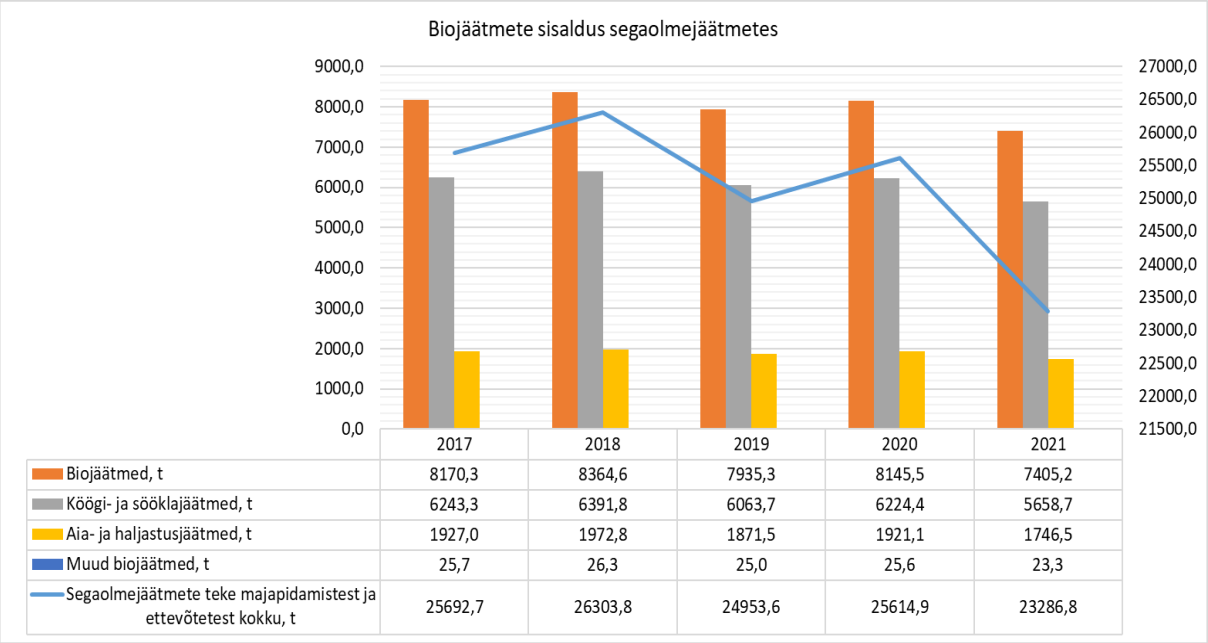


Joonis 2.2 Korraldatud jäätmeveo raames kogutud biojäätmete kogused (tonnides) Tartu linnas aastate 2017-2021 lõikes (AS Eesti Keskkonnateenused, 2022; Statistikaamet, 2022)

Tartu linnas korraldatakse sügishooajal haljasaladelt ja majapidamiste juurest puulehtede äravedu. Aastatel 2020 ja 2021 oli kokku kogutud puulehtede kogus olnud ligikaudu 1000 t/a.

Eelduslikult sisaldub puulehtede kogus riiklikus jäätmestatistikas liigiti kogutud aia- ja haljastusjäätmete hulgas.

2019. aastal viidi läbi Tartu linna olmejäätmete sortimisuuring, mille kohaselt oli biojäätmete keskmine sisaldus segaolmejäätmetes 31,8%. Sellest moodustasid köögi- ja sööklajäätmed keskmiselt 24,3%, aia- ja haljastusjäätmed 7,5% ning muud biojäätmed 0,1%. Koguseliselt oli Tartu linna segaolmejäätmetes vaadeldud aastate jooksul keskmiselt 8000 tonni biojäätmeid aastas (vt ka Joonis 2.3). Võrreldes 2011. aastal läbiviidud sortimisuuringuga, on Tartu linna segaolmejäätmetes biojäätmete sisaldus vähenenud ligikaudu 7%.



	2017	2018	2019	2020	2021
Biojäätmed, t	8170,3	8364,6	7935,3	8145,5	7405,2
Köögi- ja sööklajäätmed, t	6243,3	6391,8	6063,7	6224,4	5658,7
Aia- ja haljastusjäätmed, t	1927,0	1972,8	1871,5	1921,1	1746,5
Muud biojäätmed, t	25,7	26,3	25,0	25,6	23,3
Segaolmejäätmete teke majapidamistest ja ettevõtetest kokku, t	25692,7	26303,8	24953,6	25614,9	23286,8

Joonis 2.3 Segaolmejäätmete kogused ning segaolmejäätmetes sisalduvate biojäätmete kogused (tonnides) Tartu linnas aastatel 2017 - 2021 (Algandmed: Keskkonnaagentuur, 2022 ja Tartu linna olmejäätmete sortimisuuring. OÜ Maves, 2019)

Lähtuvalt Tartu linna olmejäätmete sortimisuuringust (OÜ Maves, 2019) ning riiklikust jäätmestatistikast, on 2017–2021. aastate lõikes biojäätmed Tartu linna segaolmejäätmetes koguseliselt moodustanud 7405,2 kuni 8364,6 tonni aastas – väikseim kogus 2021. aastal ning suurim kogus 2018. aastal. Seejuures on köögi- ja sööklajäätmed moodustanud kogu biojäätmete kogustest keskmiselt 6100 tonni, aia- ja haljastusjäätmed keskmiselt 1900 tonni ning muud biojäätmed keskmiselt 25 tonni aastas (vt ka Joonis 2.3).

Lähtuvalt eelpool toodud andmetest (vt ka Joonis 2.2), on Tartu linnas korraldatud jäätmeveo raames aastatel 2019-2021 keskmiselt kogutud biojäätmeid 1660 t/a. Kuna biojäätmete liigiti kogumine on kohustuslik kinnistutel, kus on 5 ja enam korterit ning muudel juhtudel, kui kinnistul tekib üle 80 liitri biolagunevaid jäätmeid nädalas, siis võib eeldada, et peamiselt on korraldatud jäätmeveo raames kokku kogutud köögi- ja sööklajäätmeid.

Riikliku jäätmestatistika kohaselt on 2019–2021 kodumajapidamistest ja ettevõtetest ning asutustest samalaadseid biojäätmeid liigiti kogutud keskmiselt 5760 t/a, millest aia- ja haljastusjäätmed moodustavad 3790 t/a ning köögi- ja sööklajäätmed 1971 t/a. Võib eeldada, et korraldatud jäätmeveoga kokku kogutud biojäätmete kogused sisalduvad riiklikus jäätmestatistikas.

Segaolmejäätmete keskmine kogus on 2019–2021 aastatel olnud keskmiselt 24618 t/a, köögi- ja sööklajäätmete keskmine sisaldus segaolmejäätmetes 5982 t/a, aia- ja haljastusjäätmete keskmine sisaldus segaolmejäätmetes 1887 t/a ning muude biojäätmete sisaldus 25 t/a. Kui võtta eeldus, et teadlikkuse tõstmise ning jäätmete liigiti kogumise arendamisega õnnestuks maksimaalselt segaolmejäätmetest kätte saada kuni 80% nendes sisalduvatest köögi- ja sööklajäätmetest ning 70% aia- ja haljastusjäätmetest, siis saab prognoosida käitlemist vajavate kodumajapidamistes ja ettevõtetes ning asutustest tekkivate samalaadsete biojäätmete kogused Tartu linnas alljärgnevalt (vt ka Tabel 2.1).

Tabel 2.1. Tartu linnas tekkivate ja liigiti käideldavate kodumajapidamistes ning ettevõtetes ja asutustes tekkivate samalaadsete biojäätmete tekkekoguste prognoos

	Köögi- ja sööklajäätmete keskmine kogus (t/a)	**Aia- ja haljastusjäätmete keskmine kogus (t/a)**	**Biojäätmed kokku. Keskmine kogus t/a**
Liigiti kogutud 2019–2021	1971	3790	5761
Segaolmejäätmetest eelduslikult tulevikus liigiti kogutavad (80% segaolmejäätmetes sisalduvast köögi- ja sööklajäätmete ning 70% segaolmejäätmetes sisalduvast aia- ja haljastusjäätmete kogusest)	4786	1293	6079
Kokku	**6757**	**5083/4436,5***	**11 840/11 200***

*sobiva käitluslahenduse leidmisel arvestatakse edaspidi, et segaolmejäätmetest välja sorditavates aia- ja haljastusjäätmete kogusest 50% kompostitakse jäätmete tekkekohas ning 50% jõuab kesksesse käitluskohta.

2.2 Biojäätmete käitlemine Tartus

Biojäätmeid kogutakse seni Tartu linnas korraldatud jäätmeveo raames osaliselt. Lähtuvalt linna jäätmehoolduseeskirjast (2021) peab jäätmete kogumiseks olema eraldi kogumismahuti kinnistutel, kus on 5 ja enam korterit ning muudel juhtudel, kui kinnistul tekib üle 80 liitri biolagunevaid jäätmeid nädalas. Teistel juhtudel tuleb biojäätmed kompostida nõuetele vastavalt samal kinnistul või üle anda asjakohast luba omavale isikule. Jaemüügikohas, toitlustusasutuses ja toiduainetetööstuses tekkivad biolagunevad köögi- ja sööklajäätmeid tuleb koguda liigiti ning and üle asjakohast luba omavale isikule ega ei ole osaks korraldatud jäätmeveost. Biolagunevaid aia- ja haljastusjäätmeid võtavad vastu ka jäätmejaamad.

Vastavalt jäätmeseaduse § 31 lõikele 4 peab kohaliku omavalitsuse üksus korraldama biojäätmete liigiti kogumise tekkekohalt, kui neid ei ole võimalik tekkekohal ringlusse võtta. Seejuures peab jäätmeseaduse §-st 136[12] kohaselt korraldama biojäätmete tekkekohal liigiti kogumise hiljemalt 31. detsembriks 2023. a.

Kodumajapidamistes tekkinud biojäätmete kompostimiseks viis Tartu linn seejuures 2021. aastal läbi projekti „Biojäätmete kohtkompostimise edendamine Tartus“, mille raames jagati eramute ja väikekortermajade elanikele välja 600 kiirkompostrit köögijäätmete aastaringseks kompostimiseks.

Linnas kokku kogutud aia- ja haljastusjäätmete ning köögi- ja sööklajäätmete kompostimine toimub põhiliselt Aardlapalu ümberlaadimisjaamas (keskkonnaluba nr L.JÄ/333513).

Kompostimisprotsess on Aardlapalus sertifitseeritud, kuid toodetud komposti partiisid ei ole enamasti õnnestunud sertifitseerida. Peamiselt on kompsti sertifitseerimist takistanud ülenormatiivne plii sisaldus kompostis. Seetõttu ei ole komposti võimalik tootena müüa ning seda on võimalik vaid edasi anda ettevõtetele, kes omavad keskkonnaluba või registreerimistõendit.

Tartu linnas on kaks biogaasijaama — AS Tartu Veevärk (biogaasijaam seotud reoveepuhasti vee erikasutuse keskkonnaloaga, jäätmete käitlemisega seotud keskkonnaluba puudub) ja OÜ Tartu Biogaas (keskkonnaluba nr KL-510203) — ning kuigi OÜ-s Tartu Biogaas toodetakse biogaasi lisaks vedelsõnnikule ka toiduainete tootmisel tekkinud biojäätmetest ning AS-is Tartu Veevärk lisaks reoveesettele ka rasvapüüniste setetest, ei tooda kumbki 2022. a sügise seisuga biogaasi kodumajapidamistes või ettevõtetes ja asutustes tekkinud samalaadsetest biojäätmetest.

Kuna alates 2024. aastast muutub biojäätmete liigiti kogumine kohustuslikuks kõigile jäätmevaldajatele, tuleb biojäätmete käitluskoguste sisse arvestada ka segaolmejäätmetes sisalduvad biojäätmed.

Eelnevast (mh ptk-s 2.1) lähtuvalt käsitletakse antud töö raames biojäätmete vajaliku käitlusmahuna perspektiivis Tartu linnas kuni 11 200 t/a. Sellest aia- ja haljastusjäätmed moodustavad ~t/a ning köögi- ja sööklajäätmed ~6760 t/a (vt ka Tabel 2.1)**.**

Tartu olmejäätmete sortimisuuringu (2019) käigus hinnati Tartust kogutud biolagunevate jäätmete hulgas sisalduvate võõriste (kilekotid, pakendid jms) osakaalu. Visuaalsel vaatlusel domineerisid kogutud biolagunevate jäätmete hulgas mittelagunevad kilekotid, ning lähemal vaatlusel võis tuvastada kogutud jäätmete hulgas ka pakendeid. Kogutud biolagunevate jäätmete hulgas sisaldus võõriseid hinnanguliselt keskmiselt 5% kogutud jäätmete massist.

2.3 Biojäätmete kogused Lõuna-Eestis

Kuna biojäätmete käitlustehnoloogiate arendamisel (eeskätt uue biogaasijaama või reaktorkompostimisrajatise arendamisel) on optimaalsed käitlemisele suunatavate jäätmete kogused suuremad kui Tartu linnast eelduslikult maksimaalselt kokku kogutavad kogused (vt ka Tabel 2.1), siis vaadeldi ka biojäätmete võimalikke koguseid kogu Lõuna-Eestist. Lõuna-Eestist arvestati lisaks Tartu linnale biojäätmete teket mujalt Tartu maakonnast, Põlva maakonnast, Valga maakonnast, Võru maakonnast, Jõgeva maakonnast ja Viljandi maakonnast. Seejuures arvestati Lõuna-Eestist ainult kodumajapidamistest ning ettevõtetest ja asutustest tekkivate samalaadsete biolagunevate köögi- ja sööklajäätmete (20 01 08) koguseid. Biolagunevate aia- ja haljastusjäätmete (20 02 01) tekkekoguseid väljaspool Tartu linna ei arvestatud. Seda seetõttu, et eelduslikult rakendatakse suurele osale kodumajapidamistes tekkivatele aia- ja haljastusjäätmetele Lõuna-Eesti piirkonnas kohtkompostimist kodumajapidamiste juures või on aia- ja haljastusjäätmeid mõistlik üle anda kohapealsetesse käitluskohtadesse (arvestades piirkonna valdavat asustusstruktuuri).

Lõuna-Eestis (va Tartu linnas) tekkivate biojäätmete (köögi- ja sööklajäätmete) tekkekoguste prognoos on esitatud alljärgnevas tabelis (

Tabel 2.***2***).

Tabel 2.2. Lõuna-Eestis tekkivate ja liigiti käideldavate kodumajapidamistes ning ettevõtetes ja asutustes tekkivate samalaadsete köögi- ja sööklajäätmete tekkekoguste prognoos

Piirkond	Elanike arv	2021. segaolme-jäätmete (20 03 01) kogus (maja-pidamised + ettevõtted), t/a	Köögi- ja söökla-jäätmete sisaldus segaolmes lähtuvalt Tartu linna jäätmete sortimis-uuringust (endine Tähtvere vald), %	80% köögi- ja söökla-jäätmete kogus segaolmes, t	Liigiti kogutud köögi- ja söökla-jäätmed (20 01 08), t/a	Köögi- ja söökla-jäätmete teke kokku, t/a
Tartu maakond (v.a Tartu linn)	59 446	16 024	23,5	3013	198	3211
Põlva maakond kokku (2022)	23 989	4222	23,5	794	144	938
Valga maakond kokku (2022)	27 650	5876	23,5	1105	224	1329
Võru maakond kokku (2022)	34 182	7072	23,5	1330	159	1489
Jõgeva maakond kokku (2022)	27 857	6468	23,5	1216	105	1321
Viljandi maakond kokku (2022)	45 411	10 726	23,5	2017	258	2274
Lõuna-Eesti kokku	316 847					**10 562**

Seega on koos Tartu linnas tekkivate köögi- ja sööklajäätmetega biojäätmete teke Lõuna-Eestist kokku 17 319 t/a. Kui sinna lisaks arvestada ka Tartu linnas kokku kogutavad aia- ja haljastusjäätmed, siis 21 756 t/a.

2.4 Potentsiaalsete käitlusettevõtete uuring

Uuringu kirjeldus

Töö koostajad viisid läbi uuringu (intervjuu vormis) saamaks teada, kas ja millistel tingimustel oleksid valimisse kaasatud ettevõtted valmis käitlema Tartu linna korraldatud jäätmeveo raames kogutud biojäätmeid. Intervjuu viidi läbi käitiste seas, kes tegelesid nii kompostimisega kui ka biogaasi tootmisega Tartu piirkonnas. Lisaks kaasati uuringusse ka OÜ EKT Ecobio Maardu käitlustehas, kellel valmis Maardu linnas (mh Eestis esimene) peamiselt toidujäätmetest kuivkäärituse teel biogaasi tootev tehas.

Järgnevalt on esitatud lühidalt põhilised küsimused, mida intervjuu käigus esitati (vt täpsemalt lisast 1):

1) kompostimisega tegelevatele ettevõtetele:
    a. Kas oleksite huvitatud Tartu linna biojäätmete (köögi- ja sööklajäätmed, aia- ja haljastusjäätmed) vastuvõtmisest?
    b. Kui palju biolagunevaid jäätmeid käitlete hetkel aastas? Milline on tehniline varustus?
    c. Kas ja kui palju on Teil hetkeseisuga võimalik jäätmeid veel lisaks vastu võtta – palju on nn vaba mahtu? Kas ja millisel määral on võimalik olemasolevat ala ka laiendada?
    d. Mis saab toodetud kompostist? Kuidas õnnestub seda realiseerida?
2) biogaasi tootmisega tegelevatele ettevõtetele:
    a. Kas oleksite huvitatud Tartu linna biojäätmete (köögi- ja sööklajäätmed, aia- ja haljastusjäätmed) vastuvõtmisest? Kas ja millistel tingimustel oleksite valmis keskkonnaluba muutma (kui ei ole 20 koodiga gruppi keskkonnaloas)?
    b. Kui palju biolagunevaid jäätmeid käitlete hetkel aastas? Milline on tehniline varustus?
    c. Kas ja kui palju on Teil hetkeseisuga võimalik jäätmeid veel lisaks vastu võtta – palju on nn vaba mahtu? Kas ja millisel määral on võimalik olemasolevat ala ka laiendada?
    d. Mis võiks olla maksimaalne võõriste osakaal (%) jäätmetes?
    e. Mis saab toodetud biogaasist? Mis saab kääritusjäägist?

Valimi valik

Valimi puhul oli esmatähtsaks kriteeriumiks keskkonnaloaga lubatud biojäätmete (20 grupi jäätmed) käitlusmaht. Siinkohal võeti aluseks, et kompostimisega seotud ettevõtted, kes võiksid mahu poolest sobida, peaksid jääma Tartu maakonda, arvestades energia- ja kütusekulu jäätmete transportimisel. Biogaasi tootmise puhul võeti samuti aluseks käitlusmahud ning 20 grupi jäätmete olemasolu keskkonnaloas – kui 20 grupiga jäätmeid keskkonnaloas ei olnud (nt Ilmatsalu biogaasitehases), kuid käitis asus Tartu maakonnas, lisati ka see valimisse. EKT Ecobio Maardu käitlustehas võeti valimisse peamiselt, kuna EKT Ecobio emaettevõttega Eesti Keskkonnateenused läbiviidud intervjuus väljendati valmisolekut ka EKT Ecobio Maardu tehasesse Tartu piirkonna biojäätmete vastuvõtmise osas ning tegemist on ringmajanduslike põhimõtetega haakuva biojäätmete käitlustehnoloogiaga.

Intervjuude kokkuvõtted

<u>Aardlapalu ümberlaadimisjaam (Eesti Keskkonnateenused OÜ):</u> ettevõte tegeleb biojäätmete kompostimisega membraankompostimise meetodil. Kogutavate biojäätmete käitlemisega saab ettevõte hakkama, ent mahtude suurenemisel jääb kompostimisplats väikeseks ning kompostimisväljakut ei ole praeguse seisuga kavas laiendada. Ettevõttel on kompostimisprotsess sertifitseeritud (sertifikaat nr 7).

<u>Ettevõte X (nimi ei kuulu avalikustamisele):</u> ettevõte tegeleb aia- ja haljastusjäätmete kompostimisega looduslikul meetodil, mille protsess kestab ligikaudu kuus aastat ning lõpp-produkt müüakse elanikele. Ettevõte ei ole huvitatud Tartu linna köögi- ja sööklajäätmete kompostimisest, kuna see eeldaks teise tehnoloogia kasutamist, seejuures puudub ettevõttel üldine huvi ka laienemise vastu. Tartu linna ja valla aia- ja haljastusjäätmed suunatakse kõnealusesse ettevõttesse, mistõttu ei ole nad huvitatud ka vastuvõetavate koguste

suurendamisest. Kogutavate jäätmete käitlemisega saab ettevõte hakkama, ent mahtude suurenemisel jääb kompostimisplats väikeseks.

Ecobio Maardu käitlustehas (OÜ EKT Ecobio): ettevõte toodab biogaasi ja sellest biometaani ning on huvitatud Tartu linna biojäätmete käitlemisest käitlustehases, mille käitlusvõimsuseks on planeeritud 20 000 t/a ning mis on mh spetsialiseerunud ka toidujäätmete käitlusele. Kääritusjääk on ettevõttel kavas suunata põllumajandusega tegelevatele partneritele. Enamus biogaasi läheb puhastatult Eesti Gaasi võrku (biometaan), osa biogaasist kasutatakse ära kohapeal koostootmisjaamas. Aia- ja haljastusjäätmeid biogaasi tootmise protsessi sisendina kasutada ei soovita.

Ilmatsalu biogaasijaam (Tartu Biogaas OÜ): ettevõte toodab biogaasi vedelsõnnikust, põllumajanduslikest rohtsetest biojäätmetest ning toiduainete töötlemisel tekkinud biojäätmetest (va arvatud kolmanda kategooria loomsed kõrvalsaadused). OÜ Tartu Biogaas on huvitatud Tartu linna biojäätmete käitlemisest tingimustel, et võõriste osakaal biojäätmetes oleks 0%, sest hetkel ei ole ettevõttel veel võõriste eraldamiseks vajalikku seadet. Samuti puudub käitises hetkel pastörisaator (ehk hügienisaator). Ettevõttel on tulevikus kavas laieneda ning on mahtude mõttes võimeline korraldatud jäätmeveo raames kokkukogutavaid biojäätmeid Tartust vastu võtma. Ettevõte on valmis kaaluma võõriste separeerimisseadme ning pastörisaatori soetamist. Kääritusjääk läheb kohalikele põllumeestele väetiseks, biogaasi kasutatakse osaliselt kompleksi rajatud koostootmisjaamas või puhastatakse biometaaniks, mis suunatakse maagaasivõrku. Aia- ja haljastusjäätmeid biogaasi tootmise protsessi sisendina kasutada ei soovita.

Tartu Veevärgi Tartu reoveepuhasti biogaasijaam (Tartu Veevärk AS): ettevõte toodab biogaasi reoveesettest ja võtab protsessi vastu ka rasvapüüniste setteid. Põhimõtteliselt saab biogaasijaamas reoveesetet anaeroobselt käidelda koos muude orgaaniliste jäätmetega, mida võib olla kuni 10% kogumahust kuivainena. Ainsana võetakse protsessi praegu vastu rasvapüüniste setteid. Praegusel hetkel ei ole Tartu Veevärk AS huvitatud Tartu linna biojäätmete käitlemisest, sest võõrised (sisaldus peaks olema 0%) rikuvad ära biogaasi tootmise protsessi. Hetkel ei ole ettevõttel võõriste eraldamiseks vajalikku seadet (separaatorit). Olemas on pastörisaator (ehk hügienisaator). Kehtivate vee-ettevõtteid puudutavate heitvee rangete piirväärtuste saavutamise vajaduse ning veeteenuse hinna Konkurentsiametiga kooskõlastamise regulatsioonide tõttu ei soovi Tartu Veevärk AS korraldatud jäätmeveo raames kokku kogutavaid biojäätmeid lähiajal käitluseks vastu võtta.

3. Biojäätmete käitlemise üldteooria

Käesolevas peatükis tutvustatakse biojäätmete erinevaid käitluslahendusi, mis potentsiaalselt võiksid olla sobilikud Tartu linna biojäätmete käitlemiseks.

Esmalt tutvustatakse erinevaid kompostimisviise. Kompostimine on Keskkonnaministri 08.04.2013 määrusega nr 7 defineeritud kui kontrollitud tingimustes kulgev aeroobne eksotermiline bioloogiline lagundamisprotsess, milles orgaaniline aine laguneb bakterite ja seente ning muude organismide elutegevuse toimel homogeenseks huumusrikkaks materjaliks. Biojäätmetest komposti tootmise nõuded on sätestatud eelnimetatud määrusega, seejuures komposti ohutus- ja kvaliteedinäitajad on toodud määruse lisas 2.

Seejärel antakse ülevaade biogaasi tootmise tehnoloogiast. Biogaas on gaasiline kütus, mida saadakse anaeroobse kääritamise teel, kuid mida saab vajadusel toota ka tehislikult, luues selleks sobilikud tingimused. Biogaasi saab toota põllumaal kasvavast ning tootmises tekkivast biomassist, tööstuslike protsesside jäätmetest, prügilagaasist ning olmejäätmetest (Elering AS, 2016). Biogaasi puhastamise teel saab toota ka kõrgema küttevääртusega biometaani. Biogaasi tootmine ei ole õigusaktidega reguleeritud, kuid keskkonnaministri 10.05.2016 määrusega nr 12 on reguleeritud biolagunevatest jäätmetest biogaasi tootmisel tekkiva kääritusjäägi nõuded.

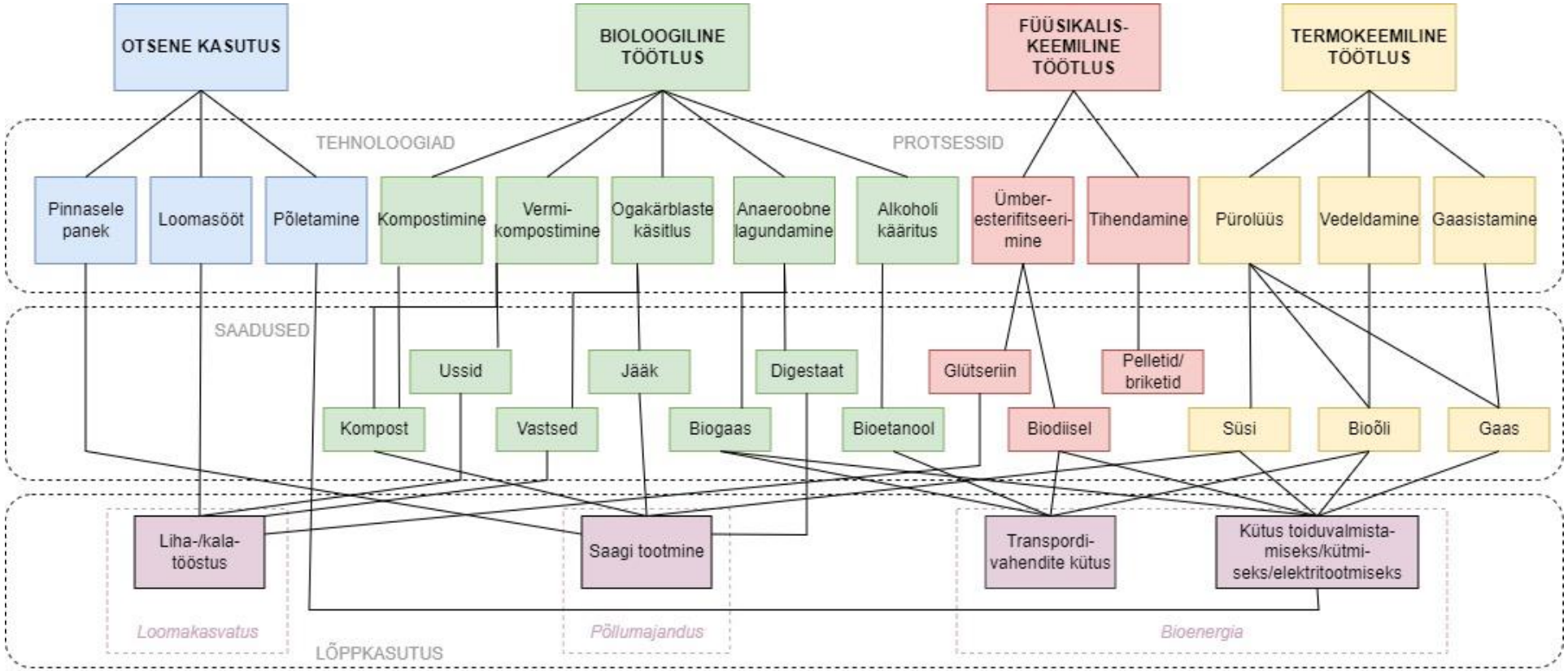
3.1 Biojäätmete omadused

Biojäätmeid on võimalik käidelda mitmel moel (vt ka Joonis 3.1), näiteks aeroobselt ja anaeroobselt. Aeroobse käitluse korral muutub orgaaniline aine huumuseks, süsihappegaasiks ja veeks. Anaeroobse protsessi käigus lagundatakse orgaaniline mass hapnikuvaeses keskkonnas kääritusjäägiks ja biogaasiks, mis koosneb peamiselt metaanist ja süsihappegaasist. Pärast aeroobset protsessi tuleb lõpp-produkt ehk kompost jätta järelvalmima. Järelvalmimisfaas kestab umbes 12 nädalat, mille käigus moodustub huumus ning komposti väetusväärtus suureneb, sest toitained muutuvad taimedele kättesaadavaks (Eesti Maaülikool jt, 2020-2021). Biogaasi tootmisel tekkiv kääritusjääk omab väetusväärtust. Kääritusjääk (digestaat) on vedel või püdel. Kuigi kääritusjääki tohib vedelana põllule viia, võib olla otstarbekas see tahendada, lahutada vedel ja tahefraktsiooniks (väduks ja taheseks) ning tahke kääritusjääk üle kompostida (Eesti Maaülikool ja Eesti Taimekasvatuse Instituut, 2015).

Anaeroobse käitluse kääritusjääk võib omakorda läbida järelkompostimise ja muutuda kompostiks. Nii komposti kui ka kääritusjääki saab kasutada mulla väetisena või mulla parendajana; komposti saab kasutada ka multšina (Eesti Taimekasvatuse Instituut ja Maaeluministeerium, 2020).

Vermikompostimisel on teiste, käesolevas töös vaadeldud, kompostimisviisidega võrreldes lõppsaaduseks huumusaine- ja mikroorganismirikkam kompost, mis pärsib taimehaigusi ja taimedele kahjulike nematoodide elutegevust, soodustab taimekasvu ning suurendab mikroobikoosluse aktiivsust ja seemnete idanevust (Eesti Maaülikool, 2016).

Biojäätmete käitluseks on ka muid viise, nagu füüsikalis-keemiline töötlus ja termokeemiline töötlus (vt Joonis 3.1). Kuid kuna need ei ole Eesti ringmajanduse tulevikupotentsiaali ja vajalike meetmete uuringus (osa 3, jäätmevaldkonna tulevikuvisioon) (Eesti Maaülikool jt, 2020-2021) käsitlust leidnud, siis ei vaadelda neid käesolevas töös võimalike biojäätmete käitlusalternatiividena.



Joonis 3.1 Biojäätmete käitlustehnoloogiad, nende saadused ning lõppkasutus (Lohri, Diener, Zabaleta, Mertenat ja Zurbrügg, 2017)

Biojäätmete käitlemisel optimaalse toitainesisalduse saavutamiseks on mitmeid meetodeid, kõige otstarbekam on tavaliselt erinevaid jäätmeliike omavahel segada (vt ka Tabel 3.1).

Tabel 3.1. Süsiniku ja lämmastiku suhe erinevates biolagunevates jäätmetes (Enprima Estivo AS, 2005)

Jäätmeliik	C/N suhe
Aiapraht	29
Muruniitmed	15-25
Hein	40-100
Puulehed	30-80
Toidujäätmed	14
Saepuru	100-500
Puukoor	100-130
Juurvili	15-20
Kohvipuru	20
Sõnnik	5-25

Niiskus on vajalik mikroobide ainevahetuse toimimiseks ning mh mõjutab jäätmete niiskusesisaldus ka lämmastikukadusid. Jäätmete niiskusesisaldus omab olulist rolli just kompostimisprotsessis. Tabelis 3.2 on toodud erinevate jäätmeliikide hinnangulised niiskusesisaldused.

Tabel 3.2. Niiskusesisaldus erinevates biolagunevates jäätmetes (Enprima Estivo AS, 2005)

Jäätmeliik	Niiskus %
Saepuru, hakkpuit (toorpuidust)	55-70
Paber	15-55
Köögijäätmed	50-75
Linnapühkmed	55-65
Fekaalid	55-90

3.2 Kompostimine

Aeroobne kompostimine on hapniku ja mikroorganismide juuresolekul ning kindlatel tingimustel toimuv orgaaniliste materjalide lagundamise protsess. Kompostimise protsessi ajal tarbivad mikroorganismid hapnikku ja toituvad orgaanilisest ainest. Aktiivsest kompostimisprotsessist eraldub märkimisväärselt soojust, CO_2-te ja veeauru. CO_2-e ja veekaod moodustavad umbes poole algse materjali kaalust, mille tõttu on komposti ruumala ja mass väiksemad algse materjali omast. (Enprima Estivo AS, 2005). Kompost on aeroobsete mikrobioloogiliste protsesside (kõdunemise) tulemusena orgaanilistest jäätmetest (sealhulgas aia- ja haljastusjäätmetest) tekkinud lõppsaadus, mis sisaldab rohkesti stabiilset orgaanilist ainet.

Kompostimine toimub optimaalsetel tingimustel läbi nelja faasi (AS Enprima Estivo, 2005):

1) mesofiilne faas – kestab mõned päevad, mesofiilsed bakterid lagundavad kiiresti lahustuvaid ja kergelt lagundatavaid ühendeid;
2) termofiilne faas – võib kesta mõnest päevast mõne kuuni, faasi käigus kiireneb valkude, rasvade, süsivesinike lagunemine;
3) jahutusfaas – energiaallikate ammendumisel hakkab komposti temperatuur langema;
4) küpsemisfaas – kestab mitmeid kuid, temperatuur on langenud ning domineerivad termofiilsed bakterid, algab järelejäänud orgaanika lagundamine ning stabiilsemaks muutumine.

Kompostitav segu ei tohi sisaldada bioloogilisi protsesse pidurdavaid aineid ega mürke, mistõttu ei sobi segu hulka antiseptitud puit, kemikaalid ega ohtlikud ained. Lubi ja tuhk muudavad komposti aluseliseks ja pidurdavad mikroorganismide tegevust, kuid neid võib segada valmiskomposti hulka. Kompostimisprotsessi mõjutavad sh järgnevad tegurid (AS Enprima Estivo, 2005):

- **hapnik ja õhutamine** – hapniku juurdepääs protsessi peab olema piisav, minimaalne hapniku kontsentratsioon kompostiosakeste vahedes ja poorides peab olema 5%, normaalset kompostimist võimaldab üle 10% kontsentratsioon. Ebapiisava hapniku juurdepääsu korral võib protsess muutuda anaeroobseks (palju aeglasem ning ebameeldiva lõhnaga ning mürgist gaasi levitav protsess). Hapniku juurdepääsu tagamiseks tuleb komposti aegajalt õhutada (segada);
- **süsiniku-lämmastiku (C:N) suhe** – süsinik, lämmastik, fosfor ja kaalium on esmatähtsad toitained, mida kompostimises osalevad mikroorganismid vajavad. Süsinik kulub energia saamiseks ja kasvamiseks, lämmastik proteiinide saamiseks ja paljunemiseks. Õige C:N suhe tagab tavaliselt ka teiste vajalike toitainete olemasolu õigetes kogustes. Aktiivse kompostimisprotsessi läbiviimiseks on ideaalne toormaterjali segu, mille C:N suhe on 25:1 kuni 30:1, algse suhtega 20:1 kuni 40:1 annavad samuti suhteliselt häid tulemusi. Kui C:N suhe on toormaterjalisegus alla 20:1, kasutatakse süsinik täielikult ära ilma lämmastikku stabiliseerimata, mis võib omakorda viia liigse ammoniaagi ja ebameeldiva lõhna tekkele. Kui C:N suhe on aga üle 40:1, puudub piisavalt lämmastikku mikroorganismide kasvuks ja kompostimise protsess aeglustub oluliselt. Tihti osutub kompostimisprotsessi ebaõnnestumise põhjuseks vähene lämmastikusisaldus või lämmastiku liigsed kaod protsessis;
- **niiskus** – niiskus on vajalik mikroobide ainevahetuse toimimiseks, seejuures peaksid kompostitavad materjalid peaksid sisaldama 40–65% niiskust. Kompostimisprotsess aeglustub, kui niiskuse osakaal langeb alla 40%, kuid kui osakaal tõuseb üle 65%, hakkab vesi asendama õhku kompostitavate materjalide poorides (õhu liikumine muutub piiratuks ja võib tekkida anaeroobne protsess). Niiskuse osakaal üldjuhul kompostimisprotsessi kulgemisel väheneb, mistõttu tuleb komposti protsessi käigus niisutada;
- **pH tase** – kompostitava materjalisegu pH optimaalne vahemik on 6–8, kompostimisprotsessis aga tavaliselt vahemikus 5–9. Kui pH asub väljaspool toodud vahemikku, siis biolagunemise kiirus aeglustub ning kui pH ületab 9, hakkab eralduma lämmastik erinevate gaasiliste ühenditena;
- **saasteaineid lagundavate bakterite olemasolu** – biolagundamise efektiivseks toimimiseks on vaja elujõulist bakterite populatsiooni ning neid võib protsessi kiirendamiseks (juhul kui segus on baktereid vähe) segusse juurde lisada. Heterotroofsete bakterite arvukust hinnatakse ühikuga CFU/grammi mulla kohta (kolooniat moodustav ühik). Kompostimise efektiivseks toimimiseks on vajalik summaarne bakterite arv üle 1000 CFU/g kuiva pinnase kohta;
- **osakeste suurus** – kompostimise kiirus on suurem väiksemate osakeste suuruste korral, samas võivad väikesed osakesed takistada õhu liikumist vaalus või hunnikus. Kompostimise optimaalsed tingimused saavutatakse, kui tükkide läbimõõt on 3 mm kuni 5 cm;
- **temperatuur** – kompostimine toimub kahes temperatuurivahemikus: mesofiilne protsess 10–45 °C ning termofiilne protsess 45–75 °C. Lagunemisel eralduv soojusenergia kiirendab komposti valmimist, kuid temperatuuri tõus ei tohi ületada aeroobse termofiilse käärimise ülempiiri (75 °C), seejuures termofiilse temperatuuri juures hävinevad patogeensed bakterid ja kompost steriliseerib. Kompostimisprotsessi saab läbi viia ka mesofiilsetes tingimustes (kuni 45 °C), kui ei ole karta tõvestavate

mikroobide olemasolu kompostisegus. Soovituslik kompostimisprotsessi temperatuurivahemik on 40–65 °C;

- **kompostihunniku (auna) suurus** – aun peab olema piisavalt suur, tagamaks soojuse ja niiskuse hiire hajutamise, kuid samas piisavalt väike, tagamaks õhu tsirkulatsiooni. Saavutamaks mõlemad tingimused ning tagamaks auna piisavat mahtu, rajatakse kompostimishunnikud vaaludena, mille pikkust ei limiteerita. Kompostimissüsteemi rajamisel on oluline arvestada kohaliku kliimaga.

Kompostile lisatakse vajadusel ka **tugiainet**, millega on võimalik saavutada mitut eesmärki – suurendada kompostitava massi poorsust, vähendada selle niiskust või korrigeerida C:N suhet. Tugiaine lisamine on kindlasti oluline sõnniku või loomsete kõrvalsaaduste kompostimisel. Tugiainetena sobivad hästi puukoor, hakkpuit, hakkpõhk, turvas ja puulehed, mh kasutatakse tugiainena ka tuhka. (Eesti Maaülikool, 2016) Tugiaine lisamine on oluline mh köögi- ja sööklajäätmete kompostimisel, see-eest aia- ja haljastusjäätmete kompostimisel seda vaja ei ole.

Kompostimisprotsessi üheks keskkonnaaspektiks on ebameeldiva lõhna levik. Lõhn võib tekkida kompostimisettevõtte erinevates osades:

- kompostmaterjali transport, ladustamine ja segamine tugiainega – lõhnareostus sõltub suuresti kompostitava materjali omadustest. Kui see on eelnevalt käärima läinud, siis tekib lõhna rohkem;
- kompostaunad – ebameeldivat lõhna eraldub kõige rohkem kompostimisprotsessi alguses kahe nädala jooksul. Sel ajal on protsessi hapnikutarve väga suur ja isegi sundõhustamise korral ei jõua hapnik piisavalt kiiresti kõikjale auna sees. Lõhnavate vaheühendite teke on kiirem kui nende lagundamine;
- kompostaunade segamine – segamise käigus pääsevad kompostauna kogunenud lõhnaained sealt välja. Samas aitab sobiva sagedusega segamine ühtlustada kompostimistingimusi ka sundõhustatava auna sees ja aktiveerib protsessi, parandades seega komposti kvaliteeti ja kiirendades selle valmimist. Summaarset lõhnaainete eraldumist segamine optimaalselt toimiva protsessi puhul oluliselt ei mõjuta;
- komposti järelvalmimine – järelvalmimisetapis on lõhnavate komponentide eraldumine oluliselt aeglasem, kuid võib intensiivistuda ebasoodsate tingimuste korral (nt liigne niiskus). Järelvalmiv kompost üldjuhul ebameeldivalt ei lõhna.

Biolagunevate jäätmete kompostimisel peab käitluskoht olema ümbritsetud taraga, varustatud valveseadmetega või ööpäevaringse valvega, kaetud vettpidava pinnakattega ja varustatud nõrg- ja sademevee kogumise süsteemiga. Nõrgvesi on keskkonnaministri 08.04.2013 määrusega nr 7 määratletud kui igasugune kompostitavast materjalist nõrguv vedelik, mis jääb käitluskohta või voolab käitluskohast välja. Nõrgvesi ja jäätmetega kokkupuutunud sademevesi kogutakse kokku ning vajadusel puhastatakse, seejuures peab suublasse juhitav nõrgvesi vastama veeseaduses kehtestatud nõuetele ning on oluline vältida nõrgvee imbumist pinnasesse ning pinna- ja põhjavee reostamist.

Komposti sertifitseerimisel hinnatavad ohutus- ja kvaliteedinäitajad on määratud keskkonnaministri 08.04.2013 määrusega nr 7 „Biolagunevatest jäätmetest komposti tootmise nõuded“.

Järgnevalt (vt Tabel 3.3) on toodud kompostimisviiside lühivõrdlus.

Tabel 3.3. Kompostimisviiside võrdlused (Eesti Maaülikool, 2016)

Kompostimisviis	Plussid	Miinused
Passiivne kompostimine loomuliku õhustusega aunades	• Lihtne ja odav korraldada • Protsess ei ole kapriisne ning sobib ka haljastusjäätmete kompostimiseks	• Komposti kvaliteet on ebaühtlane: osa orgaanikast jääb lagunemata, sest temperatuur aunas ei ole ühtlane • Kompostimine võtab kaua aega • Liigniiskes keskkonnas võib segu hapnikupuuduse tõttu roiskuma minna
Aunkompostimine mehaaniliselt segatavates aunades	• Sobib igasuguste biojäätmete jaoks • Samal väljakul võib rajada eri liiki orgaaniliste jäätmete jaoks eraldi aunad • Suhteliselt odav • Sagedase läbisegamise tõttu on kompost ühtlaste omadustega	• Aeglane ja töömahukas • Aunad võtavad palju ruumi • Komposti peab tihti läbi segama • Vaja on suurt kõvakattega väljakut ja aunapöörleid • Ilmastiku mõju on suur – külmaga protsess aeglustub • Valgvesi ja lagugaasid võivad põhjustada keskkonnaprobleeme
Kompostimine lahtistes sundõhustatavates aunades	• Õhustamine on automaatne ning tööjõudu kulub vähe • Aunapöörleid ei ole vaja • Haisu tekib vähem kui aunade segamisel • Aunasid on võimalik vajaduse korral kinni katta	• Sundõhustusele kulub palju energiat • Õhutusseadmed on kallid ning nende jaoks on vaja hoonet • Kompost jääb klompi ning niiskus, toitesoolad ja hapnik ei jagune aunas ühtlaselt • Jahe õhk jahutab komposti
Kompostimine kaetud aunades, kambrites või kanalites	• Ei ole vaja kalleid reaktoreid • Ilmastikumõju on väike • Lagugaase on lihtne koguda ja puhastada	• Sundõhustusele kulub palju energiat • Õhutusseadmed on kallid ning nende jaoks on vaja hoonet • Kompost jääb klompi ning niiskus, toitained ja hapnik ei jagune massis ühtlaselt • Jahe õhk jahutab komposti

3.2.1 Aunkompostimine

Aunkompostimine on levinuim kompostimisviis (Eesti Maaülikool, 2016).

Tehnoloogia

Aunkompostimisega lagundatakse bioloogiliselt orgaaniline materjal (aiandus-, toidu-, paberi- ja olmejäätmed, reoveesetted) ning hävitatakse selles olevad patogeenid. Aunkompostimist võib rakendada nii väli- kui ka sisetingimustes, seejuures võivad aunad asuda üksteise suhtes

erinevatel kaugustel ning segamisel võib aunad tõsta teise kohta, segada saab mh tavalise kopplaaduriga. (Eesti Taimekasvatuse Instituut ja Maaeluministeerium, 2020).

Aunkompostimine viiakse tavaliselt läbi vett mitteläbilaskval asfaltväljakul, mis on varustatud äravoolutorustikuga nõrgvee juhtimiseks heitveepuhastisse või mõnda lokaalsesse käitlussüsteemi, näiteks ühtlusmahutisse koos pinnasfiltriga (Eesti Taimekasvatuse Instituut ja Maaeluministeerium, 2020). Biojäätmete aunkompostimisel on oluline saavutada kümneks järjestikuseks päevaks temperatuur ≥ 55°C, kuid ≥ 65°C puhul piisab kolmest päevast. Aunades kompostimisel tuleb kompostitavat materjali regulaarselt mehaaniliselt läbi segada või lisada aunadesse gaasivahetuse kanalid tagamaks nõuetekohane protsess kogu materjali ulatuses (RT I, 18.12.2020, 23).

Aunasid tuleb õhustamiseks segada, seejuures mida sagedamini segatakse, seda kiirem on ka protsess. Seejuures võib kompostimise algfaasis olla segamine vajalik iganädalaselt, kuid selle üle saab otsustada ka pooride hapnikusisalduse järgi – kui see langeb alla 10-15%, on vaja auna õhustada. Kompostiaunu segatakse tavaliselt spetsiaalse aunapöörli abil, mis mh õhustab, peenestab ning vajadusel ka niisutab kompostitavat massi. Sundõhustatavaid aunu ei segata – õhustamiseks pannakse aunade alla või sisse sissepuhke- või väljatõmbetorustik ning õhku antakse tavaliselt ventilaatori abil kas pidevalt või vahelduvalt (Eesti Maaülikool, 2016).

Kompostimise protsess kestab ligikaudu 4-6 kuud (Alkranel OÜ, 2009/2010), millele järgneb järelvalmimine. Väikese jäätmekoguse, eelarve, tööjõu või vajalike masinate puudumise korral on piisava ruumi omamisel võimalik rakendada passiivset aunkompostimist, mis on vähenõudlik ja kulutõhus protsess. Aunasid segatakse vähe või mitte üldse, kuid protsess võtab see-eest 2–5 aastat aega (Eesti Maaülikool, 2016).

(Võimalikud) keskkonnaaspektid

- Maakasutus (kuna kompostimisprotsess on ajaliselt võrreldes teiste tehnoloogiatega pikem, on maa-ala vajadus suurim)
- Loodusressursside kasutus
- Energiakasutus (nt aunasegajate ja kopplaadurite kütus)
- Ebameeldiv lõhn, mh lagugaaside õhku lendumine
- Nõrgvee käitlus ja selle pinnasesse ja veekeskkonda sattumise risk

Eelised, puudused

+ Olenevalt õhustusmeetodist võib protsess olla suhteliselt odav ning lihtne

+ Sobib hästi aia- ja haljastusjäätmete kompostimiseks

+ Meetodit saab kasutada sise- ja välitingimustes

– Tugevalt mõjutatud ilmastikust. Mõjutajaks on nii välistemperatuur kui ka sademete hulk, mis mõjutavad nii protsessi toimumise optimaalset temperatuuri, kui ka niiskusesisaldust

– Loomsete kõrvalsaaduste aunkompostimine ei ole mõistlik.

– Lahtises aunas ei ole soovitav köögi- ja sööklajäätmeid kompostida. Mh on köögi- ja sööklajäätmete niiskusesisaldus üldjuhul kõrgem optimaalsest niiskusesisaldusest kompostimiseks, mis pidurdab hapniku ligipääsu materjalile ja võib tekitada lõhnaprobleeme

– Olenevalt õhustusmeetodist võib protsess olla aeglane ning energia- ja töömahukas

– Suurte temperatuuri kõikumiste korral on komposti kvaliteet ebaühtlane

– Nõrgvesi ja lagugaasid võivad põhjustada keskkonnaprobleeme, sh lõhnaprobleeme

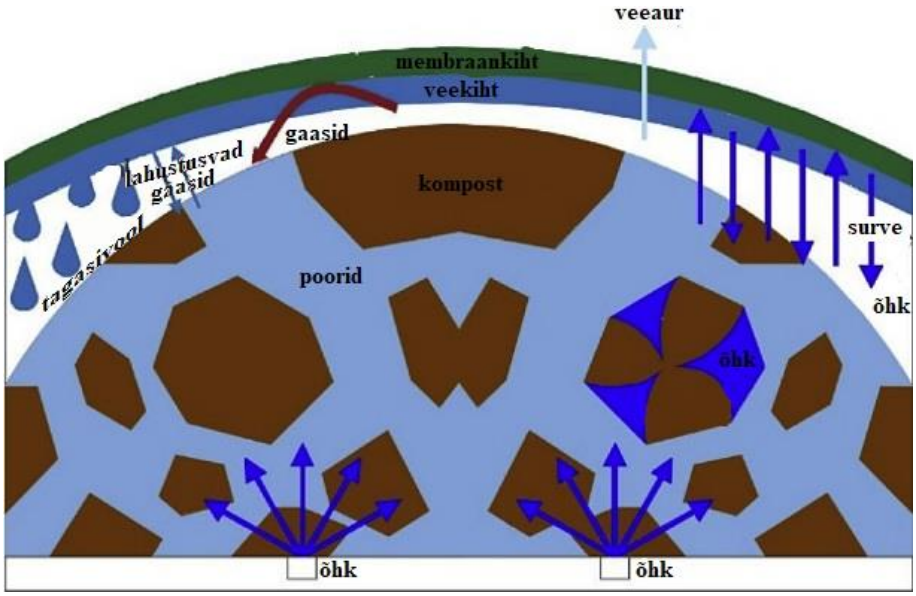
– Vajab suurt maa-ala

– Kuna protsess on vähem kontrollitav, siis on toodetava komposti sertifitseerimine keeruline

3.2.2 Membraankompostimine

Tehnoloogia

Tehnoloogiliselt tegemist sundõhustatava aunkompostimisega, mis kaetakse pealt membraankattega (vt ka Joonis 3.2) Membraankate võimaldab õhu liikumist, kuid tagab ilmastikukindluse, piirab haisu levimist, vähendab soojuse kadu ning hoiab massi optimaalselt niiskena. Aunade alune väljak kaetakse kõva kattega. Sundõhutamisega tagatakse hapniku parem ligipääs auna sees, kuid ebaühtlase hapniku jaotuse tõttu vajavad aunad aeg-ajalt segamist. (Eesti Maaülikool ja Eesti Taimekasvatuse Instituut, 2015; Alkranel OÜ, 2010) Kompostimise protsess kestab ligikaudu 6 nädalat, millele järgneb järelvalmimine.



Joonis 3.2 Membraankompostimise lihtsustatud protsess (Sun, Ma, Han, Li, Schlick, Chen ja Huang, 2018)

(Võimalikud) keskkonnaaspektid

- Maakasutus
- Loodusressursside kasutus
- Energiakasutus (sh energiakulu sundõhustamisele)
- Ebameeldiv lõhn, mh lagugaaside õhku lendumine (eeskätt aunade moodustamise ja segamise ajal)
- Nõrgvee sattumine pinnasesse
- Membraankihi kasutusea lõppedes selle käitlemine

- Nõrgvee käitlus ja selle pinnasesse ja veekeskkonda sattumise risk (oluliselt väiksem võrreldes lahtises aunas kompostimisega)

Eelised, puudused

Membraankompostimine on samuti tugevalt mõjutatud ilmastikust, kuid vastupidi ptk 3.1-s kirjeldatule seejuures:

+ Sobib erinevatele jäätmeliikidele, mh aia- ja haljastusjäätmetele ning ka köögi- ja sööklajäätmetele

+ Protsess võib olla kiire

+ Väiksema tõenäosusega haisu levik, võrreldes lahtise aunkompostimisega

+ Esineb väiksem soojuse kadu, võrreldes lahtise aunkompostimisega

+ Membraankiht hoiab niiskusesisaldust kompostitavas massis optimaalsel tasemel, kompostimine on sademete eest kaitstud

+ Lõpp-produkt on võrreldes lahtiselt aunas kompostimisega ühtlasema kvaliteediga

+ Võimalik kompostida loomseid kõrvalsaadusi

+ Komposti temperatuuri hoitakse protsessi käigus ühtlasena

– Membraankate on kallis

– Membraankatte eemaldamine võib olla keerukas

– Tugevalt mõjutatud ilmastikust. Peamiseks mõjutajaks on välistemperatuur

– Nõrgvesi ja lagugaasid võivad põhjustada keskkonnaprobleeme

– Vajab suurt maa-ala

– Lõppsaaduse sertifitseerimine on Eesti senise praktika kohaselt keeruline

3.2.3 Kottkompostimine

Biolagunevate (sh bio-)jäätmete kompostimiseks kasutatakse ka kottkompostimise tehnoloogiat.

Tehnoloogia

Kottkompostimisel toimub kompostimine kilest tunnelites, mis täidetakse spetsiaalse seadme abil (vt ka Joonis 3.3). Lisaks on kottides õhutustorud, mille tõttu ei ole vajadust komposti kotis segada. Kottide kasutamise eesmärk on hoida kontrolli all kompostimisprotsessiks vajalikke keskkonnatingimusi, samuti aitab kottide kasutamine vähendada lõhna eraldumist ning on kaitseks sademete eest. Kotid lasevad õhku läbi, ent ei lase läbi vett ning suuremate molekulidega halbu lõhnu tekitavaid gaase; lisaks hoiavad kotid endas ka tekkivat nõrgvett. Kottkompostimise protsessi saab pidevalt jälgida, vajadusel saab reguleerida aeratsiooni ja

lisada toitainete vesilahust. Kompostimisprotsess kestab 2-3 kuud, peale mida peab kottide sisu ka järelvalmima. (OÜ Alkranel, 2010; OÜ Hendrikson & Ko ja OÜ RealEnviron, 2006) Kottkompostimisel tuleks paigutada kotid võimalikult tihedalt üksteise vastu, et vältida külma ilmaga soojakadu (Componordic System AB, 2007).

Joonis 3.3 Kottkompostimine. (AgBag System, 2015)

(Võimalikud) keskkonnaaspektid

- Energiakasutus (sh energiakulu sundõhustamisele)
- Maakasutus
- Loodusressursside tarbimine
- Kottide kasutusea lõppedes nende käitlemine

Eelised, puudused

+ Kompostimiskottide alust ala ei ole tingimata vajalik katta kõvakattega

+ Protsess on paremini kontrollitav võrreldes lahtiselt aunas kompostimisega ja mõnevõrra ka võrreldes membraankompostimisega

+ Kompostimine on sademete eest kaitstud, kottide membraan hoiab niiskusesisaldust kompostitavas massis optimaalsel tasemel

+ Komposti temperatuuri hoitakse protsessi käigus ühtlasena

+ Saab kompostida nii köögi- ja söökla, kui ka aia- ja haljastusjäätmeid

+ Väiksema tõenäosusega haisu levik, võrreldes lahtise aunkompostimisega

+ Esineb väiksem soojuse kadu, võrreldes lahtise aunkompostimisega

+ Lõpp-produkt on võrreldes lahtiselt aunas kompostimisega ühtlasema kvaliteediga

+ Võimalik kompostida loomseid kõrvalsaadusi

– Vajalik on kottide täitmise seadme soetamine

– Kompostimisel kasutatavate kottide käitlemine

– Vajab suurt maa-ala

– Tugevalt mõjutatud ilmastikust. Peamiseks mõjutajaks on välistemperatuur

– Lõppsaaduse sertifitseerimine on Eesti senise praktika kohaselt keeruline

3.2.4 Vermikompostimine

Tehnoloogia

Vermi- ehk vihmausskompostimisel lagundavad orgaanilisi jäätmeid vihmaussid. Sobivaid ussiliike on palju, kuid Eestis kasutatakse peamiselt sõnnikuusse *Eisenia foetida* ja *Eisenia andrei*. Kompostimise protsessis osalevad ka mikroobid, selgrootud ja mikrolülijalgsed (valgelimuklased (*Enchytraeidae*), nematoodid (*Nematoda*), lestad (*Acarina*), hooghännalised (*Collembola*) ja putukad, kes satuvad kompostitavasse massi peamiselt jäätmetega. Vihmausside abil kompostitakse Eestis peamiselt loomasõnnikut ning toidujäätmeid. (Eesti Maaülikool, 2016)

Vermikompostimist saab rakendada nii sise- kui ka välistingimustes, suures ja väikeses mahus. Välistingimustes kompostimist piirab Eestis aga pikk külm talv, kuid sõnnikuussid taluvad temperatuuri vahemikus 0–35 °C ning on aktiivseimad temperatuuril 15–25 °C. Vihmaussid omastavad hapnikku ja eemaldavad süsihappegaasi naha kaudu, mistõttu peab nende elukeskkond olema niiske – soodsaim 80–90% (Eesti Maaülikool, 2016). Sobivaim toormaterjal vihmaussidele, olenemata millises süsteemis vermikompostimist läbi viiakse, on niiskust hoidev, pakub ussidele varjupaika, on tekstuurilt nn lahtine ning poorne (Sherman, 2018).

Teiste kompostimismeetodite puhul on oluline materjali ümberkeeramine, kuid vermikompostimisel ei tohi materjali mehaaniliselt liigutada – vihmausside tegevus õhutab materjali. Protsessi käigus ei hävi umbrohuseemned, mistõttu on tähtis seemnete sattumist lähtematerjali vältida või kombineerida komposti tootmiseks termofiilse (aun-, membraan-, kott-, reaktorkompostimine) ja vermikompostimise meetodeid. Eestis ei saa talvel antud kompostimismeetodit välitingimustes rakendada, mistõttu on mõistlik viia sisetingimustes läbi pideva läbivooluga protsessina, mis on ka tõhusam kui teha seda maapealsetes hunnikutes. Sellise protsessi puhul lisatakse materjali ühelt poolt (enamasti ülalt) ja valmis komposti eemaldatakse alt ning kuna vihmaussid püsivad ülemises 15–20 cm sügavuses kihis, ei pea vihmausse lõpptoodangust eraldama. (Grand, 2020) Peamine erinevus teistest kompostimisliikidest on see, et vermikompostimisel jäätmed ei kuumene, mistõttu on vajalik jäätmeid eelnevalt termofiilse kompostimise meetodiga töödelda (Eesti Maaülikool ja Eesti Taimekasvatuse Instituut, 2015).

Protsessi tuleks alustada ca 15 cm toormaterjali kihiga, seejuures on oluline tagada ussidele vajalikud tingimused, kuid mitte panna toormaterjali algselt liiga palju. Vastasel juhul on oht aeroobse kompostimisprotsessi tekkimiseks – komposti temperatuur hakkab tõusma. Ligikaudu 0,5 kg usse 0,09 m^2 suuruse ala peale on ideaalne kogus, ülempiiriks on 0,9-1,1 kg. Lisades vähem usse sama ala peale aeglustab protsessi ning suurendab usside ületoitmise riski. Vihmaussid liiguvad toitumiseks alati materjalis ülesse poole, mistõttu ei ole oluline

käideldava materjalikoguse sügavus, vaid pinna suurus. Samuti on oluline mitte lisada juurde uut materjali, kui eelnev ei ole veel vihmausside poolt läbi töödeldud. (Sherman, 2018). Vihmaussid söövad päevas pool oma kehakaalust ning nende populatsioon kahekordistub umbes kolme kuuga. Vermikompostimise protsess on kiirem tavalisest kompostimisest ega vaja muuhulgas ka järelvalmimist. Materjal läbib vihmausside seedesüsteemi, mille tagajärjel toimuvad mitmed keemilised protsessid ning kompost on mikrobioloogiliselt aktiivne, rikkalik taimedele vajalikest kasvuregulaatoritest ning suurema kahjurikindlusega. Kuigi antud meetodit on võimalik rakendada ka suures mahus, on see peamiselt levinud sõnnikukäitluses ning ühe koduse kompostimise viisina. (Nutriloop OÜ; 2020)

(Võimalikud) keskkonnaaspektid

- Maakasutus
- Loodusressursside kasutus
- Energiakasutus
- Nõrgvee käitlus

Eelised, puudused

+ Eeldusel, et toormaterjalist on umbrohuseemned eraldatud või eelnevalt on läbiviidud termofiilne kompostimine, on vermikompostimise lõppsaadus kõrgekvaliteediline kompost/väetis, mida on võimalik tavalisest kompostist kõrgema hinna eest edasi müüa

+ Sobib hästi nii aia- ja haljastusjäätmete kui ka köögi- ja sööklajäätmete käitlemiseks

+ Eeldusel, et protsess on korrektselt läbi viidud ning nõrgvesi korralikult eraldi kogutud, on protsessi tagajärjel tekkinud nõrgvesi (nn ussitee) kõrge toitainetesisaldusega kõrvalsaadus

– Vajab eelnevalt termofiilse kompostimise meetodi läbiviimist või toormaterjalist umbrohuseemnete eemaldamist. Loomsete kõrvalsaaduste kompostimine ei ole ilma termofiilse kompostimiseta võimalik.

– Talvel protsessi läbiviimine keerukam ning eeldab rohkem ressursse, sh ruumi siseruumides protsessi läbiviimiseks

– Kompostis on ussidele oluline saavutada väga spetsiifilised tingimused

– Kvaliteetse lõppsaaduse saamiseks tuleb kompostiga pidevalt tegeleda

Lähtuvalt esitatud teabest leiavad töö koostajad, et vermikompostimist ei ole otstarbekas Tartu linna korraldatud jäätmeveoga kokku kogutavate biojäätmete käitlemiseks rakendada. Eelkõige köögi- ja sööklajäätmete, mis moodustavad Tartu linna biojäätmetest ka enamiku, kompostimisel tuleb eelnevalt läbi viia termofiilne kompostimine, mistõttu on vermikompostimine sellele justkui järelkompostimine või väärindamise vorm, mitte aga käitlusmeetod. Sellest lähtuvalt on vaja kompostimisrajatiste jaoks ruumi ka täies mahus mõlema kompostimisviisi tarbeks, mistõttu on maa-ala vajadus ebaratsionaalselt suur, seejuures just omavalitsuse jaoks. Kuigi vermikompostimine on tõhus kompostimise viis, siis seda peamiselt väikestes mahtudes (sh kodus). Sellest lähtuvalt ei kaaluta käesoleva töö raames vermikompostimist kui reaalset alternatiivi Tartu linna korraldatud jäätmeveoga kokku kogutavate biojäätmete käitlemiseks.

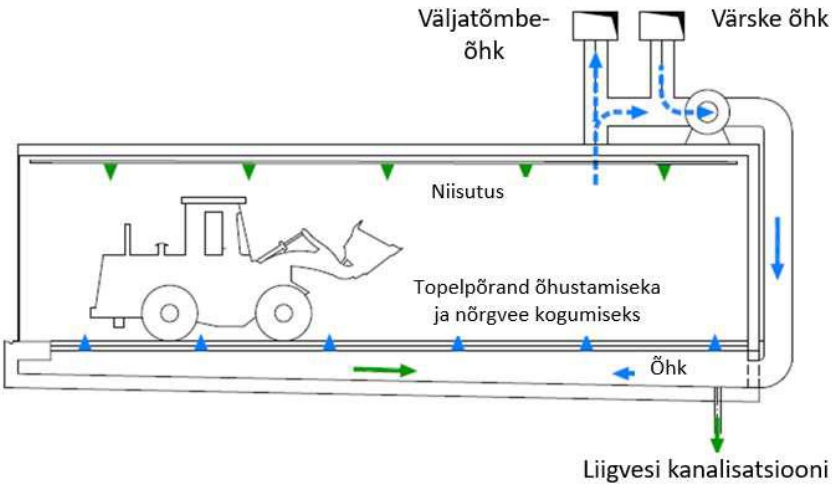
3.2.5 Reaktorkompostimine ehk tunnelkompostimine

Reaktorkompostimine sobib suure hulga orgaaniliste jäätmete kiireks lagundamiseks. Selle tehnoloogia puhul kestab kompostimine kaks nädalat (talvel poole kauem). (Eesti Maaülikool jt, 2020-2021)

Tehnoloogia

Tunnel-kompostimisreaktor on raudbetoonist valmistatud soojustatud kamber (Eesti Maaülikool jt, 2020-2021), mille põhjas on õhustustorustik ja drenaaž; laes asuvad ventilatsiooni- ja niisutustorustikud (vt ka Joonis 3.4). Reaktorkompostimises lagunevad orgaanilised materjalid optimaalsetes tingimustes (olulised parameetrid on niiskusesisaldus, toitainete vahekord, temperatuur ja hapnikusisaldus) ning protsessi käigus tekib soojus, süsinikdioksiid ja veeaur. Reaktormeetodit on otstarbekas kasutada jäätmete puhul, mis on välitingimustes lagundamiseks vähem sobilikud ning seotud ebameeldiva lõhna tekkimise riskiga (nt toidujäätmed). Kompostimisel on kasutuses erinevad reaktorid, mis erinevad üksteisest peamiselt segamisviisi poolest: kamber-, trummel-, torn- ning tunnelreaktorid. Kompostitavat massi segatakse seda reaktorisse pannes ja välja võttes ning hiljem järelvalmimisaunades. Komposti järeltöötlemine peaks toimuma ilmastiku eest kaitstud alal (nt hoones sees või katuse all). Tunnelreaktorist läbi käinud materjal (kompost) tuleks suvel jätta täiendavalt aunadesse laagerduma; talvel seda vajadust ei ole. (Chibueze Azubuike jt, 2016; Eesti Maaülikool jt, 2020-2021)

Tunnelreaktoris on kompostimisel tekkiv massikadu veeauru ja süsihappegaasi arvelt vähemalt 30%, järel-kompostimisel lisandub veel 15% massikadu. Valmiskomposti saadakse 40% biolagunevate jäätmete algmassist; lisaks massikaole sõelutakse materjali (komposti), mille käigus on võimalik eraldada võõriseid ning eemaldatakse ka tugiaine, mis ei ole ära lagunenud. (Eesti Maaülikool jt, 2020-2021)



Joonis 3.4 Tunnel- ehk reaktorkompostimise tehnoloogiaskeem (Pretz, 2021; Eesti Maaülikool jt, 2020-2021)

(Võimalikud) keskkonnaaspektid

- Energia kasutus
- Maakasutus
- Loodusressursside tarbimine

- Nõrgvee ehk liigvee käitlus

Eelised, puudused

+ Protsess on ilmastiku eest kaitstud

+ Protsess on kontrollitud ja hästi automatiseeritav

+ Protsess on kiire

+ Kompost muutub hügieeniliseks

+ Lõhnahäiringud on kontrolli all

– Keerulisem tehnoloogia võrreldes teiste kompostimismeetoditega tagamaks hapniku ja temperatuuri täpset kontrolli

– Alginvesteering on suurem võrreldes aun-, membraan- ja kottkompostimisega

3.3 Biogaasi tootmine

Biogaas on anaeroobse kääritamise teel saadud gaasiline kütus, mis koosneb 50-70% ulatuses metaanist (CH_4) ja 30-40% ulatuses süsinikdioksiidist (CO_2) ning teistest komponentidest, nagu lämmastik (N_2), hapnik (O_2), ammooniumioon (NH_4) ja vesiniksulfiid (H_2S) (vt ka Tabel 3.4). Biogaasi tekib (lisaks spetsiaalseid kääriteid kasutades) ka looduslikes tingimustes, näiteks soodes ja rabades; loomuliku protsessi käigus ka prügilates. Biogaasi kütteväärtus jääb enamasti vahemikku 5-7 kWh/m^3. Biometaan on puhastatud biogaas, mis sisaldab 96-99% metaani ning see on maagaasiga võrdse kütteväärtusega ning seda saab kasutada kõikjal, kus kasutatakse maagaasi. (Eesti Biogaasi Assotsiatsioon, 2014)

Tabel 3.4. Biogaasi keskmine koostis (Eesti Põllumeeste Keskliit, 2008)

Koostisosa	Kontsentratsioon
Metaan (CH_4)	50-75 mahuprotsenti
Süsihappegaas (CO_2)	25-45 mahuprotsenti
Vesi (H_2O)	2-7 mahuprotsenti (20-40 °C)
Vesiniksulfiid (H_2S)	20-20 000 ppm (miljondik osa)
Lämmastik (N_2)	<2 mahuprotsenti
Hapnik (O_2)	<2 mahuprotsenti
Vesinik (H_2)	<1 mahuprotsenti

Eesti Arengufondi aruandes „Biometaani kasutamise avalikud hüved“ (Oja, 2013) on öeldud, et biometaani tootmisega ja tarbimisega kaasnevad mitmed avalikud hüved, näiteks kohaliku taastuvenergia tootmine hajaenergeetikas, energiajulgeoleku suurenemine, sõltumatus ilmastikutingimustest, regionaalne tasakaalustatud areng, töökohtade lisandumine, põllumajanduse mitmekesistamine ja palju muud. Uuringus on välja toodud peamised sisendid biogaasi tootmiseks: reovee muda, biolagunevad jäätmed, suurimad prügilad, arvel olevate sigade ja veiste läga ja sõnnik, roheline biomass nii kõlvikutelt kui ka kasutamata põllumaade pindadelt ja poollooduslikelt rohumaadelt. Toorainete jagunemise poolest on märgitud uuringus suuruselt teiseks allikaks eraldi kogutud biolagunevad köögi- ja sööklajäätmed, mille potentsiaalseks biometaani koguseks on arvestatud Eestis kokku 68 mln Nm^3/a. Martinát jt andmetel (2013) saab 1 tonnist toidujäätmetest (sh aegunud toidust) toota 265 m^3 biogaasi;

Euroopa Komisjoni andmetel (2008) saab igast tonnist töödeldud biojäätmetest 100-200 m^3 biogaasi.

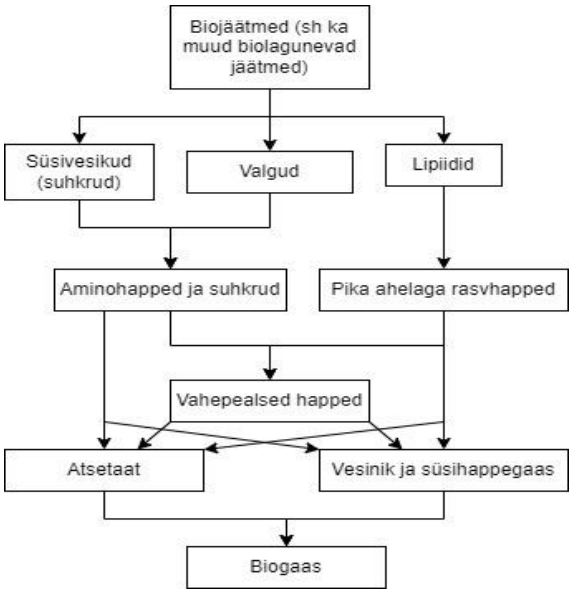
Biogaasi tootmiseks ei sobi reeglina aia- ja haljastusjäätmed, sest need võivad sisaldada palju võõriseid (nt liiv, kivid, suitsukonid, metall jms), mis võivad rikkuda protsessi ja raskendavad kääritusjäägi ringlusesse suunamist (töö koostajate poolt läbiviidud intervjuud ettevõtetega, 2022). Aia- ja haljastusjäätmete hulka kuuluvad näiteks ka oksad, mis sisaldavad tselluloosi ning tselluloos pärsib mikroobide elutegevust anaeroobsel kääritusel (Kumar ja Samadder, 2020).

Euroopa Keskkonnaagentuuri (EEA) andmetel (2020) on biojäätmete käitluse parimaks lahenduseks biogaasi tootmine, sest selle käigus on võimalik kätte saada nii biogaas (asendamaks fossiilseid kütuseid) kui ka kääritusjääk, mis on toitaineterikas ja mida saab kasutada kas kompostina või otse väetisena põldudel. Biogaasi tootmise eeliseks kompostimise ees loetakse Riigikontrolli aruande (2021) järgi ilmastikukindlust, väiksemat ruumivajadust ja lõhnahäiringute mitte-tekkimist, samuti saab biojäätmeid käidelda koos teiste biolagunevate jäätmetega. Riigikontroll (2021) on ka välja toonud, et liigiti kogutud biojäätmete kokkukogumine ja aeroobne kompostimine ei ole keskkonnakaitseliselt ja majanduslikult otstarbekas ega tasuv enamikus Eesti omavalitsustes, kuid siinkohal tuleb välja tuua, et majanduslik otstarbekus sõltub kindlasti biojäätmete kogustest.

Tehnoloogia

Biogaasi saadakse anaeroobse kääritamise teel. Biogaasi tootmiseks kasutatakse erinevate omadustega substraate, näiteks toidujäätmeid, sõnnikut, rohtset biomassi (silo), reoveesetet, energiakultuure (nt mais, peedid); kasutada saab ka erinevaid põllumajandustoodangu töötlemise jääke. Substraatide olulised omadused on kuivaine, orgaaniline kuivaine ja toitained (C, N). Biogaasi tootmise protsessi stabiilseks toimimiseks on oluline C ja N vahekord algmaterjalides, normaalseks toimimiseks on vajalik C:N suhe 10-30. Andmaks bakteritele piisavalt toitaineid elutegevuseks, on vaja C:N:P:S vahekorraks 600:15:5:1. (Eesti Põllumeeste Keskliit, 2008) Teisalt on toodud AS Enprima Estivo uuringus (2005) välja, et anaeroobseks töötluseks on optimaalne C:N suhe vahemikus 20-30.

Biogaasi tekkimise protsess jaguneb neljaks etapiks: hüdrolüüs, kus toitaine lagundatakse aminohapeteks, suhkruteks ning rasvhapeteks; hapete moodustumine, kus tekkinud ainetest toodetakse propioonhapet ja võihapet, aga ka äädikhapet; äädikhappe teke, kus propioonhappest, võihappest ja piimhappest toodetakse äädikhapet, vesinikku ja süsihappegaasi; metaani teke, kus metanogeneesi protsessis toodetakse biogaasi (vt ka Joonis 3.5). (Eesti Põllumeeste keskliit, 2008; Nizami ja Murphy, 2010)



Joonis 3.5. Biojäätmete anaeroobse töötlemise lihtsustatud skeem (Meegoda jt, 2018)

Biogaasi tootmiseks kasutatakse biokääriteid, kuhu juhitakse biomass ning biomassi segades lagundavad kääritis olevad bakterid tooraine biogaasiks ja kääritusjäägiks. Kääriti alumisest osast eemaldatakse kääritusjääk ja ülemisest osast juhitakse biogaas kääritist välja. (Eesti Põllumeeste keskliit, 2008; Nizami ja Murphy, 2010) Biogaasi saab toota kahel viisil: **märgkääritusega** ja **kuivkääritusega**. Märgkääritusel on substraat pumbatav (vedel), kuivkääritusel on substraat kuhjatav (tahke). Käärimisprotsess on kas mesofiilne (32-38ºC) või termofiilne (42-55ºC).

Märgkääritus on üks biogaasi tootmise viise, mis on sobilik madala kuivaine sisaldusega (kuni 15%) eelkõige vedelate orgaaniliste jäätmete käitlemiseks (nt põllumajandussektorist pärit jäätmed, läga, reoveesete jms). Märgkäärituse puhul segatakse tooret pidevalt kääritis ning selle lisamine reaktorisse peab toimuma kindlate ajavahemike tagant, et vältida äkk-koormust, mille suhtes on märgkääritis kasutatavad metanogeensed mikroorganismid tundlikud. Märgkäärituse eelisena tuuakse ühes uuringus (Kumar ja Samadder, 2020) välja biogaasitehase paremad majanduslikud tulemused kui kuivkääritamise tehase puhul (sh väiksem investeerimisvajadus), lisaks tuuakse eelisena kuivkäärituse tehnoloogia ees välja ka lühem biojäätmete lagunemise aeg; samas kulub märgkäärituse korral rohkem vett (ressurssi) ning toorme hoiustamine võib olla keerulisem võrreldes kuivkääritusega. (Eesti Maaülikool jt, 2020-2021; Kumar ja Samadder, 2020; biogasworld.com, 2021). Eesti Maaülikooli jt andmetel (2020-2021) kestab märgkäärimine tavaliselt 15-20 päeva; Eesti Põllumeeste Keskliidu andmetel (2008) kestab aga märgkääritamine 30-60 päeva.

Kuivkääritus on üks biogaasi tootmise viise, mis on sobilik kõrge kuivaine sisaldusega (20-40%) tahkete orgaaniliste jäätmete, sh kodumajapidamistest pärit jäätmete (nt toidujäätmete) käitlemiseks. Kuivkääritamise protsess sarnaneb märgkäärituse protsessile. Vastupidiselt märgkääritamisele, ei segata kuivkääritamise reaktoris uut substraati digestaadiga, vaid need segatakse omavahel enne jäätmete etteandmist väljaspool reaktorit. Reeglina on kuivkääritamise reaktorid eest laetavad, sarnanedes näiteks reaktorkompostritele. Kuivkäärituse eelised märgkäärituse ees on näiteks väiksem vee vajadus protsessis ja suurem paindlikkus protsessi lisatavate jäätmete osas; lisaks väheneb reaktoris liikuvate osade (segamise) puudumise tõttu liivast ja killustikust tulenev hõõrdumine ning süsteem vajab

vähem energiat. Kuivkäärituse puudusteks on pikk biojäätmete lagunemise aeg (42-56 päeva) ja võimalik toksiliste ühendite kuhjumine, mis tihtipeale võib muuta protsessi saagikust. (Rocamora jt, 2020; Riya jt, 2020; biogasworld.com, 2021)

Märgkäärituse levinuimad tehnilised lahendused on järgmised (Eesti Põllumeeste Keskliit, 2008):

- survevoolu meetod – selle meetodi puhul surutakse nt kruvisöötjaga juurdelisatav substraat kääituskambrisse ning massi segamine toimub risti voolusuunaga. See meetod sobib eelkõige kõrge kuivainesisaldusega pumbatavate substraatide jaoks ning on majanduslikult efektiivne ainult väikeste seadmete puhul;
- täieliku segamise meetod – selle meetodi puhul kasutatakse täielikult läbisegatavaid kääriteid ning peamiselt põllumajandusliku biogaasi tootmises; täielik segamine saavutatakse segistiga, mis asub kääituskambris ja mahutid kaetakse pealt gaasitiheda kattega. Meetod sobib vähese või keskmise kuivainesisaldusega pumbatavatele substraatidele.

Samuti on kuivkääritusel mitmeid erinevaid tehnilisi lahendusi (Eesti Põllumeeste Keskliit, 2008):

- konteinermeetod – teisaldatav või kokkulükatav kääriti täidetakse biomassiga ja suletakse õhutihedalt, konteineris on samal ajal värske substraat ja juurde segatud bakteritega substraat (kääritusjääk). Esmalt toimub biomassi soojendamine mikroorganismide poolt, kus õhku antakse juurde ning seejärel, kui temperatuur on piisavalt kõrge, suletakse õhu juurdepääs ja saab alata gaasitekke protsess;
- boksi- või garaažimeetod – kääritusprotsessi kulg on sarnane konteinermeetodile, väliselt meenutab kääituskamber garaaži. Rocamora jt (2020) andmetel on see hetkel populaarseim kuivkääritus meetod Euroopas;
- kiletorumeetod – selle meetodi puhul kasutatakse sama tehnikat, mida loomasööda kilesse sileerimisel ning sarnaselt eelnevatega, toimub ka siin biomassi soojendamine aeroobse protsessi teel. Kiletoru ülemisele osale paigaldatakse kogumistorustik, mille kaudu saab tekkinud biogaasi välja juhtida;
- vann- ehk tunnelmeetod – protsess sarnaneb kiletorumeetodile, ent see toimub spetsiaalsetes vannides või tunnelites ning protsessi on võimalik rohkem kontrollida;
- kompogas-meetod (toppevoolu meetod) – protsessi mehhaniseerituse tase on kõrge. Selle meetodi puhul konstrueeritakse nii vertikaalseid kui ka horisontaalseid kääriteid, kus on mõnel juhul ka paigutatud keskele väike segamisvõll, mis aitab kaasa gaasi eraldumisele. Tekkiv biogaas juhitakse vahesalvestita otse tarbijani.

Kääritatud substraati ehk kääritusjääki tuleb enne põllule laotamist jahutada (ja vaheladustada), mis, vastavalt ilmale, võib kesta kuni pool aastat (Eesti tingimustes ka 8 kuud). Ladustamiseks, sõltuvalt algsest sisendist ja kasutatavast meetodist, tuleb kasutada lägahoidlaid, laguune või nt tunneleid. Arvestades seda, et orgaaniline materjal ei lagune kääituskambris 100% ära, toimub käärimine edasi ka lõpphoidlas. Lõpphoidla kinnikatmisel on lisavõimalus koguda biogaasi. Suletud (kaetud) hoidlad on eelistatud veel sellepärast, et lisaks täiendavale gaasi kogumisele, nõrgeneb ka kääritusjäägi lõhn. (Eesti Põllumeeste Keskliit, 2008)

Biojäätmete ringlussevõtu ahel algab sellega, et neid on vaja tekkekohas lahku sortida ja kokku vedada (nn pruuni konteineri abil). Probleemid tekivad siis, kui biogaasijaama jõuavad toidujäätmed koos võõristega (koos plast-, metall- või klaaspakendiga).

Eesti Maaülikool jt poolt koostatud uuringus (2020-2021) on toodud välja üks võimalus, mis vähendaks biojäätmete hulgas võõriste osakaalu ning tänu millele saaks biojäätmeid hõlpsamalt biogaasitehasesse vedada. Uuringus toodi välja, et probleemi aitaks lahendada biojäätmete (eeskätt toidujäätmete) kohapeal purustamine ning seejärel oleks neid võimalik püdelal kujul paakautoga biogaasitehasesse viia. Purustatud toidujäätmed saab pumbata mahutisse, mis võib asuda ka hoonest väljas ning kogu protsess on hügieeniline ja lihtne. Antud lahendus sobiks näiteks suurköökidele, toitlustusasutustele ja toiduainete valmistamise või pakkimisega seotud ettevõtetele. Toidujäätmete kohapeal purustamine tagab ka paremad eeldused võõriste eemaldamiseks, st – pakendite eraldi kogumiseks. Antud lahendus sobib eelkõige sellistele kääritusjaamadele, kes eelistavad vedelat tooret (märgkääritus) ning kus võõriste osakaal peaks olema 0%.

(Võimalikud) keskkonnaaspektid

- Energia kasutus
- Maakasutus
- Loodusressursside tarbimine
- Plahvatus- ja tuleoht
- Vajadus fossiilsete kütuste – maagaasi – järele langeb (positiivne)

Lõppsaaduse edasine kasutamine

Biogaasi tootmise põhiliseks saaduseks ongi biogaas, mida saab kasutada elektri- ja soojusenergia tootmiseks ning pärast biometaaniks puhastamist ka sõidukite mootorikütusena või otse maagaasivõrku juhtides. Lisaks sellele on lõppsaaduseks ka kääritusjääk, mida saab kasutada mulla väetise või mullaparendajana.

Eelised, puudused

+ Lõhnahäiringud on kontrolli all

+ Lõppsaadusega (biogaasiga või biometaaniga) saab asendada fossiilset maagaasi

+ Jäätmete ja materjali käitlemine on ilmastiku eest kaitstud

+ Protsess on kontrollitud ja hästi automatiseeritav

+ Protsess on kiire

– Keerulisem tehnoloogia võrreldes teiste biolagunevate jäätmete käitlemisviisidega

– Investeeringud tehnoloogiasse on suuremad kui teiste biolagunevate jäätmete käitlemisviiside puhul

– Aia- ja haljastusjäätmete biogaasistamine ei ole sageli otstarbekas

4. Sobiva biojäätmete käitluslahenduse leidmine Tartu linnale

Tartu linnas korraldatud jäätmeveoga kokku kogutavate biolagunevate jäätmete (köögi- ja sööklajäätmed ning aia- ja haljastusjäätmed) käitlemiseks analüüsiti sobivaima lahenduse leidmiseks kahte alternatiivi nende alamalternatiividega:

Alternatiiv 1: köögi- ja sööklajäätmed anaeroobsesse kääritusse ning aia- ja haljastusjäätmed aeroobsele kompostimisele

1.A: Köögi- ja sööklajäätmete anaeroobne kääritus

> 1.A.1: Köögi- ja sööklajäätmete anaeroobne kääritus uues rajatavas biogaasijaamas (kuivkääritus, kuna korraldatud jäätmeveo raames kokku kogutavate toidujäätmete kuivaine sisaldus on üldiselt >15%). Seejuures arvestati, et köögi- ja sööklajäätmed kogutakse lisaks Tartu linnale kokku ka Lõuna-Eesti maakondadest.
>
> 1.A.2: Köögi- ja sööklajäätmete anaeroobne kääritus Ilmatsalu biogaasijaamas (märgkääritus)
>
> 1.A.3: Köögi- ja sööklajäätmete anaeroobne kääritus – vedu EKT Ecobio OÜ Maardu biogaasijaama (kuivkääritus)

1.B: Aia- ja haljastusjäätmete aeroobne kompostimine

> 1.B.1: Aunkompostimine
>
> 1.B.2: Membraankompostimine
>
> 1.B.3: Kottkompostimine
>
> 1.B.4: Reaktor- ehk tunnelkompostimine

Alternatiiv 2: kõik biojäätmed (nii köögi- ja sööklajäätmed, kui ka aia- ja haljastusjäätmed) aeroobselt kompostimisele

2.A: Membraankompostimine

2.B: Kottkompostimine

2.C: Reaktor- ehk tunnelkompostimine – Seejuures arvestati, et köögi- ja sööklajäätmed kogutakse lisaks Tartu linnale kokku ka Lõuna-Eesti maakondadest

4.1 Alternatiiv 1: Köögi- ja sööklajäätmed anaeroobsesse kääritusse ning aia- ja haljastusjäätmed aeroobsele kompostimisele

4.1.1 Alternatiiv 1.A.1: Köögi- ja sööklajäätmete anaeroobne kääritus uues rajatavas biogaasijaamas (kuivkääritus)

Näitlikud mõõtmed

Biogaasitehase suurus sõltub eelkõige tootmisvõimsusest. Tuginedes uuringutele, algab maa-ala vajadus ~20 000 t/a käitlusvõimsusega tehasel ligikaudu 0,4-0,6 hektarist (ERKAS Valduse OÜ, 2011; OÜ EKT Ecobio intervjuu alusel, 2022).

Antud alternatiivi puhul on lisaks Tartu linnas kokkukogutavatele köögi- ja sööklajäätmete kogustele arvestatud ka mujalt Lõuna-Eestist (Tartu maakonnast, Põlva maakonnast, Valga maakonnast, Võru maakonnast, Jõgeva maakonnast ja Viljandi maakonnast) kokkukogutavate kodumajapidamistest ning ettevõtetest ja asutustest tekkivate samalaadsete biolagunevate köögi- ja sööklajäätmete tekkekoguseid. St, et käideldavate jäätmete maht on 17 319 t/a.

Tehniline varustus

Biogaasi tootmiseks:

- jäätmete vastuvõtu ala
- veokikaal vastuvõetavate jäätmete ja üleantava valmiskomposti kaalumiseks
- kopplaadur
- eeltöötlus- ja etteandeseadmed (sh nt võõriste eraldamise seade ehk separaator)
- jäätmete purusti
- pastörisaator (ehk hügienisaator)
- kääriti ehk kääritusskamber
- biogaasihoidla
- ohutuspõleti
- kääritusjääkide hoidla(d) – vajadusel kuivale ja vedelale kääritusjäägi fraktsioonile eraldi hoidlad
- üldjuhul rajatakse kompleksi ka elektri- ja soojusenergia koostootmisjaam

Biometaani tootmiseks:

- kahekordse kattega madalsurve membraanmahuti (järgneb kääritusmahutile) tootmise, puhastamise ja kasutamise ebaühtluse tasandamiseks
- biogaasi puhastusseade koos kompressoriga
- kõrgsurvemahutid
- ohutuspõleti
- tankimisseade (vajadusel, kui soovitakse kasutada gaaskütusel sõidukite/veokite tankimist) või biometaani otse maagaasivõrku juhtimine

Hinnanguline maksumus

Biogaasi tehase (kuivkääritus) rajamise investeeringu maksumuseks on hinnanguliselt **15 500 000 eurot** (vt vajaliku tehnilise varustuse loetelu)**.**

Iga-aastased ekspluatatsioonikulud on hinnanguliselt **1 178 800 eurot/a**. Ekspluatatsioonikuludes on arvesse võetud seadmete ja rajatiste amortisatsioonikulu (arvestusega, et mobiilsete seadmete amortisatsiooniaeg on 10 aastat ning rajatiste amortisatsiooniaeg on 25 aastat), töötajate (sh käitluskeskuse juhi) palgakulu, elektrienergia kulu, kütuse kulu, seadmete hoolduskulu, kääritusjäägi sertifitseerimiskulu (v.a keskkonnaministri 10.05.2016 määruse nr 12 lisas 3 toodud juhtudel) ning ettevõtte kasum. See teeks ühe tonni biojäätmete käitluse maksumuseks **~68 eurot/t.** Hindadele lisandub käibemaks 20%.

Amortisatsioonikulude kalkuleerimisel ei ole arvestatud võimalike investeeringukulude sihtfinantseeringu toetustega, mis vähendaksid omafinantseeringu osa ja selle kaudu ka iga-aastast amortisatsioonikulu (st ka ühe tonni biojäätmete käitlemise maksumust).

Biojäätmete käitluse maksumust mõjutab biogaasi tootmise puhul ka võimalus teenida tulu kas toodetava elektrienergia müügist või biometaani müügist. Arvestades, et Euroopa Komisjoni andmetel (2008) saab igast tonnist töödeldud biojäätmetest 100-200 m^3 biogaasi ning võttes aluseks keskmise biogaasi tootlikkuse 150 m^3 biogaasi tonni biojäätmete kohta, toodetakse 17 391 tonnist biojäätmetest 2 597 850 m^3 biogaasi aastas.

Kui kogu biogaasist toota elektrienergiat ning lahutada sellest maha elektrienergia omatarve, on võimalik võrku müüa ~5300 MWh elektrienergiat aastas. Arvestades elektrienergia keskmiseks müügihinnaks 40 eurot/MWh, saab biojäätmete käitluse maksumuse langetada hinnale **56 eurot/t** (hindadele lisandub käibemaks 20%). 2022. a elektrienergia börsihindu arvestades oleks tõenäoliselt võimalik müüa elektrienergiat ka kallima keskmise hinnaga, mis langetaks ühe tonni jäätmete käitlusmaksumust.

Kui biogaasi töödelda kogu ulatuses biometaaniks arvestusega, et metaani keskmine sisaldus biogaasis on 60%, saab toota kokku kuni 1 558 710 m^3 biometaani aastas. Kui biometaani õnnestuks müüa keskmise hinnaga 0,38 eurot/m^3, saab biojäätmete käitluse maksumuse langetada hinnale **34 eurot/t** (hindadele lisandub käibemaks 20%). 2022. a maagaasi börsihindu arvestades oleks tõenäoliselt võimalik müüa biometaani ka kallima keskmise hinnaga, mis langetaks ühe tonni jäätmete käitlusmaksumust.

Mujalt Lõuna-Eesti piirkonnast biojäätmete Tartu piirkonda kokkuveol lisandub ka jäätmeveo maksumus, mis hinnanguliselt võib olla 6 eurot/t.

Vastav summa lisanduks seega biojäätmete käitlemisele igas maakonnas eraldi ja tuleks liita eelpool toodud biogaasitehase käitlushinnale.

4.1.2 Alternatiiv 1.A.2: Köögi- ja sööklajäätmete anaeroobne kääritus Ilmatsalu biogaasijaamas (märgkääritus)

Antud alternatiivi puhul on arvestatud Tartu linnas kokkukogutavate kodumajapidamistes ning ettevõtetes ja asutustes tekkivate samalaadsete köögi- ja sööklajäätmete kogustega. St, et käideldavate jäätmete maht on 6767 t/a.

Tehniline varustus

- võõriste separaator
- pastörisaator (ehk hügienisaator)

Hinnanguline maksumus

Seadmete soetamise hinnanguliseks investeeringu maksumuseks on **1 938 000 eurot** (vt tehniline varustus).

Iga-aastased ekspluatatsioonikulud on hinnanguliselt **320 150 eurot/a**. Ekspluatatsioonikuludes on arvesse võetud seadmete amortisatsioonikulu (arvestusega, et amortisatsiooniaeg on 25 aastat), töötajate (sh käitluskeskuse juhi) palgakulu, elektrienergia kulu, kütuse kulu, seadmete hoolduskulu ning kääritusjäägi sertifitseerimiskulu (v.a keskkonnaministri 10.05.2016 määruse nr 12 lisas 3 toodud juhtudel) ning ettevõtte kasum. See teeks ühe tonni biojäätmete käitluse maksumuseks **~47 eurot/t**. Hindadele lisandub käibemaks 20%.

Amortisatsioonikulude kalkuleerimisel ei ole arvestatud võimalike investeeringukulude sihtfinantseeringu toetustega, mis vähendaksid omafinantseeringu osa ja selle kaudu ka iga-aastast amortisatsioonikulu (st ka ühe tonni biojäätmete käitlemise maksumust).

Biojäätmete käitluse maksumust mõjutab biogaasi tootmise puhul ka võimalus teenida tulu kas toodetava elektrienergia müügist või biometaani müügist. Arvestades, et Euroopa Komisjoni andmetel (2008) saab igast tonnist töödeldud biojäätmetest 100-200 m^3 biogaasi ning võttes aluseks keskmise biogaasi tootlikkuse 150 m^3 biogaasi tonni biojäätmete kohta, toodetakse 6757 tonnist biojäätmetest 1 013 550 m^3 biogaasi aastas.

Kui kogu biogaasist toota elektrienergiat ning lahutada sellest maha elektrienergia omatarve, on võimalik võrku müüa ~2 230 MWh elektrienergiat aastas. Arvestades elektrienergia keskmiseks müügihinnaks 40 eurot/MWh, saab biojäätmete käitluse maksumuse langetada hinnale **34 eurot/t** (hindadele lisandub käibemaks 20%). 2022. a elektrienergia börsihindu arvestades, oleks tõenäoliselt võimalik müüa elektrienergiat ka kallima keskmise hinnaga, mis langetaks ühe tonni jäätmete käitlusmaksumust.

Kui biogaasi töödelda kogu ulatuses biometaaniks arvestusega, et metaani keskmine sisaldus biogaasis on 60%, saab 6757 tonnist biojäätmetest toota kokku kuni 608 130 m^3 biometaani aastas. Kui biometaani õnnestuks müüa keskmise hinnaga 0,38 eurot/m^3, saab biojäätmete käitluse maksumuse langetada hinnale **14 eurot/t** (hindadele lisandub käibemaks 20%). 2022. a maagaasi börsihindu arvestades, oleks tõenäoliselt võimalik müüa biometaani ka kallima keskmise hinnaga, mis langetaks ühe tonni jäätmete käitlusmaksumust.

4.1.3 Alternatiiv 1.A.3: Köögi- ja sööklajäätmete anaeroobne kääritus – vedu EKT Ecobio OÜ Maardu biogaasijaama (kuivkääritus)

Antud alternatiivi puhul on arvestatud Tartu linnas kokkukogutavate kodumajapidamistes ning ettevõtetes ja asutustes tekkivate samalaadsete köögi- ja sööklajäätmete kogustega. St, et käideldavate jäätmete maht on 6767 t/a.

Tehniline varustus

- Transpordivahend (sadulveok ja haagis) jäätmete vedamiseks

Hinnanguline maksumus

Seadmete soetamise hinnanguliseks investeeringu maksumuseks on **0 kuni 130 000 eurot** (vt tehniline varustus).Investeeringu maksumus sõltub sellest, kas jäätmeveo teenust ostetakse sisse või soetatakse transpordivahend ise.

Transpordivahendi soetamisel on ekspluatatsioonikulude, nt veoautojuhi palgakulu, kütuse kulu, transpordivahendi remondikulu, veoki amortisatsioon (10 aastat), hinnanguliseks iga-aastaseks maksumuseks **103 250 eurot**/a. Amortisatsioonikulude kalkuleerimisel ei ole arvestatud võimalike investeeringukulude sihtfinantseeringu toetustega, mis vähendaksid omafinantseeringu osa ja selle kaudu ka iga-aastast amortisatsioonikulu. Samuti on arvestatud, et jäätmeid vedav veok sõidab Tartusse tagasi tühjalt. Seetõttu kujuneb ühe reisi maksumuseks ~940 eurot (29-tonnine koorem ja 233 reisi aastas).

St, et veoki soetamisel oleks jäätmete veo kulu 32 eurot tonni käideldavate jäätmete kohta. Kui arvestada lisaks jäätmete vastuvõtu kulu 30 eurot/t Maardu biogaasitehases, kujuneks ühe tonni biojäätmete käitluse maksumuseks **62 eurot/t**. Hindadele lisandub käibemaks 20%.

Võimalik on jäätmete veoks tellida ka teenusvedu veoteenust pakkuvatelt ettevõtetelt. Sellisel juhul on arvestuslik ühe veo hind ~450 eurot. Kui arvestada lisaks jäätmete vastuvõtu kulu 30 eurot/t Maardu biogaasitehases, kujuneks ühe tonni biojäätmete käitluse maksumuseks **46 eurot/t**. Hindadele lisandub käibemaks 20%.

4.1.4 Alternatiiv 1.B.1: Aunkompostimine

Antud alternatiivi puhul on arvestatud Tartu linnas kokkukogutavate kodumajapidamistes ning ettevõtetes ja asutustes tekkivate samalaadsete aia- ja haljastusjäätmete kogustega. St, et käideldavate jäätmete maht on 4437 t/a.

Näitlikud mõõtmed

Tartu linna aia- ja haljastusjäätmete käitlemiseks aunkompostimise teel hinnati kompostimisväljaku võimalikku suurust ning seejärel selle maksumust (käsitletud allpool) arvestades järgmisi mõõtmeid:

- trapetsikujulise auna põhja laius 5 m, tipu laius 2,5 m, kõrgus 2 m, , pikkus 100 m, aunade otstesse jäetav ruum 10 m. Aunadevaheline ala 2 m. Aunapaaride vahel peab olema piisavalt ruumi laaduri liikumiseks, vahemaa aunapaaride vahel on arvestatud 5 m.

Arvestades eeltoodud mõõtmeid, tuleks Tartu linna aia- ja haljastusjäätmete (4437 tonni/aastas) aunkompostimiseks rajada ~**26 500 m^2 ehk ligikaudu 2,7 ha suurune väljak**, mis hõlmab endas ~14 200 m^2 suurust kompostimisväljakut, 7 100 m^2 suurust komposti järelvalmimise ala, 2 800 m^2 suurust valmiskomposti ladustamisala ning 2 400 m^2 suurust jäätmete sortimisala.

Tehniline varustus

- kompostimisväljak
- komposti järelvalmimise ala
- valmiskomposti ladustamisala
- jäätmete sortimisala

- aunasegaja
- kopplaadur jäätmete veoks ja komposti töötlemiseks
- hoone (seadmete garaaž ja hooldusala, olmeruumid)
- (oksa)purusti
- sõel/separaator võõriste eemaldamiseks
- sõltuvalt asukohast – kas saab nõrgvee suunata reoveepuhastisse või on vaja lokaalset nõrgveepuhastit
- veokikaal vastuvõetavate jäätmete ja üleantava valmiskomposti kaalumiseks
- piirdeaed
- kaaluda võib kompostimisväljaku või vähemalt järelvalmimise ala katusega katmist

Hinnanguline maksumus

Tartu linnas kodumajapidamistes ning ettevõtetes ja asutustes tekkivate samalaadsete aia- ja haljastusjäätmete aunkompostimise rajatiste rajamise hinnanguliseks investeeringu maksumuseks on **2 535 000 eurot** (vt tehniline varustus). Iga-aastased ekspluatatsioonikulud on hinnanguliselt **373 000 eurot/a**. Ekspluatatsioonikuludes on arvesse võetud seadmete ja rajatiste amortisatsioonikulu (arvestusega, et mobiilsete seadmete amortisatsiooniaeg on 10 aastat ning rajatiste amortisatsiooniaeg on 25 aastat), töötajate (sh käitluskeskuse juhi) palgakulu, elektrienergia kulu, seadmete kütuse kulu, seadmete hoolduskulu, komposti sertifitseerimiskulu ning ettevõtte kasum. See teeks ühe tonni biojäätmete käitluse maksumuseks **~84 eurot/t**. Hindadele lisandub käibemaks 20%.

Amortisatsioonikulude kalkuleerimisel ei ole arvestatud võimalike investeeringukulude sihtfinantseeringu toetustega, mis vähendaksid omafinantseeringu osa ja selle kaudu ka iga-aastast amortisatsioonikulu (st ka ühe tonni biojäätmete käitlemise maksumust). Samuti pole arvestatud võimaliku tuluga komposti müügist.

Endise Aardlapalu prügila juurde rajatud ümberlaadimisjaamas on rajatud kompostimisväljak pindalaga 5915 m^2. Kui rakendada alternatiiv 1.B.1 (aia- ja haljastusjäätmete aunkompostimine) Aardlapalu prügila kompostimisväljakut laiendades, siis on vajalik olemasolevat kompostimisväljakut laiendada 26 500 m^2-ni (täiendav vajadus platside rajamiseks seega ~20 585 m^2). Kinnistul katastrinumbriga 94901:009:0384 (Aardlapalu prügila; 100% jäätmehoidla maa) ei ole väljaspool endise Aardlapalu prügila prügikeha piisavalt ruumi kompostimisväljaku sellises mahus laiendamiseks.

4.1.5 Alternatiiv 1.B.2: Membraankompostimine

Antud alternatiivi puhul on arvestatud Tartu linnas kokkukogutavate kodumajapidamistes ning ettevõtetes ja asutustes tekkivate samalaadsete aia- ja haljastusjäätmete kogustega. St, et käideldavate jäätmete maht on 4 437 t/a.

Näitlikud mõõtmed

Tartu linna aia- ja haljastusjäätmete käitlemiseks membraankompostimise teel hinnati kompostimisväljaku võimalikku suurust ning seejärel selle maksumust (käsitletud allpool) arvestades järgmisi mõõtmeid:

- trapetsikujulise auna põhja laius 8 m, tipu laius 4 m, kõrgus 3 m, pikkus 30 m. Järelvalmimise auna pikkus 50 m, aunade otstesse jäetav ruum 10 m. Aunadevaheline

ala 2 m. Aunapaaride vahel peab olema piisavalt ruumi laaduri liikumiseks, vahemaa aunapaaride vahel on arvestatud 5 m.

Arvestades eeltoodud mõõtmeid, tuleks Tartu linna aia- ja haljastusjäätmete (4437 tonni/aastas) membraankompostimiseks rajada **7300 m^2 ehk ligikaudu 0,73 ha suurune väljak**, mis hõlmab endas ~2300 m^2 suurust kompostimisväljakut, 4100 m^2 suurust komposti järelvalmimise ala, 500 m^2 suurust valmiskomposti ladustamisala ning 400 m^2 suurust jäätmete sortimisala. Kuna tegemist on vaid aia- ja haljastusjäätmetega, siis pole arvestatud tugiaine lisamise vajadusega.

Tehniline varustus

- kompostimisväljak
- komposti järelvalmimise ala
- valmiskomposti ladustamisala
- jäätmete sortimisala
- membraankate
- kompressor ja torustik aunade õhustamiseks
- elektrivarustuse rajamine
- aunasegaja
- kopplaadur
- hoone(d) (seadmete garaaž ja hooldusala, olmeruumid)
- (oksa)purusti
- sõel/separaator võõriste eemaldamiseks
- sõltuvalt asukohast – kas saab nõrgvee suunata reoveepuhastisse või on vaja lokaalset nõrgveepuhastit järelvalmimisalalt tekkiva nõrgvee puhastamiseks.
- veokikaal vastuvõetavate jäätmete ja üleantava valmiskomposti kaalumiseks
- piirdeaed
- kaaluda võib kompostimisväljaku või vähemalt järelvalmimise ala katusega katmist

Hinnanguline maksumus

Tartu linnas kodumajapidamistes ning ettevõtetes ja asutustes tekkivate samalaadsete aia- ja haljastusjäätmete membraankompostimise rajatise rajamise hinnanguliseks investeeringu maksumuseks on **1 586 000 eurot** (vt tehniline varustus).

Iga-aastased ekspluatatsioonikulud on sellisel membraankompostimisrajatisel hinnanguliselt **430 200 eurot/a**. Ekspluatatsioonikuludes on arvesse võetud seadmete ja rajatiste amortisatsioonikulu (arvestusega, et mobiilsete seadmete amortisatsiooniaeg on 10 aastat ning rajatiste amortisatsiooniaeg on 25 aastat), töötajate (sh käitluskeskuse juhi) palgakulu, elektrienergia kulu, seadmete kütuse kulu, seadmete hoolduskulu, komposti sertifitseerimiskulu ning ettevõtte kasum. Sellisel juhul on ühe tonni biojäätmete käitluse maksumuseks **~97 eurot/t**. Hindadele lisandub käibemaks 20%.

Amortisatsioonikulude kalkuleerimisel ei ole arvestatud võimalike investeeringukulude sihtfinantseeringu toetustega, mis vähendaksid omafinantseeringu osa ja selle kaudu ka iga-aastast amortisatsioonikulu (st ka ühe tonni biojäätmete käitlemise maksumust). Samuti pole arvestatud võimaliku tuluga komposti müügist.

Aia- ja haljastusjäätmete membraankompostimine Aardlapalu kompostimisväljakut laiendades

Endise Aardlapalu prügila juurde rajatud ümberlaadimisjaamas on rajatud kompostimisväljak pindalaga 5915 m^2. Hetkel on seal rakendatud membraankompostimistehnoloogiat.

Kui rakendada alternatiiv 1.B.2. (aia- ja haljastusjäätmete membraankompostimine) Aardlapalu prügila kompostimisväljakut laiendades, siis on vajalik olemasolevat kompostimisväljakut laiendada 7300 m^2-ni (täiendav vajadus platside rajamiseks seega ~1385 m^2). Kui võtta eelduseks, et membraankompostimiseks vajalikud seadmed ja masinapark tuleb soetada kõik uus, siis väheneb siiski oluliselt investeeringuvajadus platside rajamiseks. Samuti ei ole eelduslikult vajalik väljaku teenindamiseks uue hoone ja veokikaalu rajamine ega nõrgveepuhasti rajamine. Sellisel juhul kujuneks membraankompostimisrajatise investeeringu maksumuseks **912 000 eurot**.

Iga-aastane ekspluatatsioonikulu langeks koos amortisatsioonikulu arvestusega ~377 000 euroni aastas ning ühe tonni biojäätmete käitluse maksumuseks kujuneks **~85 eurot/t**. Hindadele lisandub käibemaks 20%.

Nagu ka eelpool, ei ole amortisatsioonikulude kalkuleerimisel arvestatud võimalike investeeringukulude sihtfinantseeringu toetustega, mis vähendaksid omafinantseeringu osa ja selle kaudu ka iga-aastast amortisatsioonikulu (st ka ühe tonni biojäätmete käitlemise maksumust). Samuti pole arvestatud võimaliku tuluga komposti müügist.

4.1.6 Alternatiiv 1.B.3: Kottkompostimine

Antud alternatiivi puhul on arvestatud Tartu linnas kokkukogutavate kodumajapidamistes ning ettevõtetes ja asutustes tekkivate samalaadsete aia- ja haljastusjäätmete kogustega. St, et käideldavate jäätmete maht on 4437 t/a.

Näitlikud mõõtmed

Tartu linna aia- ja haljastusjäätmete käitlemiseks kottkompostimise teel hinnati kompostimisväljaku võimalikku suurust ning seejärel selle maksumust (käsitletud allpool) arvestades järgmisi mõõtmeid:

- koti läbimõõt 4,2 m, pikkus 150 m, kottide täitmiseks otstesse jäetav ruum 5 m, kottide vaheline ruum 0,5 m
- trapetsikujulise järelvalmimise põhja laius 8 m, tipu laius 4 m, kõrgus 3 m, pikkus 50 m, aunade otstesse jäetav ruum 10 m. Aunadevaheline ala 2 m. Aunapaaride vahel peab olema piisavalt ruumi laaduri liikumiseks, vahemaa aunapaaride vahel on arvestatud 5 m. Kuna kompostitakse ka köögi- ja sööklajäätmeid, on arvestatud tugiaine lisamise vajadusega.

Arvestades eeltoodud mõõtmeid, tuleks Tartu linna aia- ja haljastusjäätmete (4437 tonni/aastas) kottkompostimiseks rajada **8800 m^2 ehk ligikaudu 0,9 ha suurune väljak**, mis hõlmab endas 3800 m^2 suurust kompostimisväljakut, 4100 m^2 suurust komposti järelvalmimise ala, 500 m^2 suurust valmiskomposti ladustamisala ning 400 m^2 suurust jäätmete sortimisala.

Tehniline varustus

- kottide alune kompostimisväljak (ei pea olema kaetud asfaltkattega)

- komposti järelvalmimise ala (peab olema kaetud asfaltkattega, võib kaaluda ala katusega katmist)
- valmiskomposti ladustamisala
- jäätmete sortimisala
- kopplaadur jäätmete veoks ja komposti töötlemiseks
- (oksa)purusti
- sõel/separaator võõriste eemaldamiseks
- ühekordsed kompostimiskotid
- kompostimiskottide täitmiseks ja eemaldamiseks vajalik seade
- elektrivarustuse rajamine
- kompressor ja torustik kottide õhustamiseks
- aktiivsöe filter väljapuhketorule, mis seob ebameeldivalt lõhnavad ühendid
- hoone(d) (seadmete garaaž ja hooldusala, olmeruumid)
- sõltuvalt asukohast – kas saab nõrgvee suunata reoveepuhastisse või on vaja lokaalset nõrgveepuhastit järelvalmimisalalt tekkiva nõrgvee puhastamiseks.
- veokikaal vastuvõetavate jäätmete kaalumiseks
- piirdeaed

Hinnanguline maksumus

Tartu linnas kodumajapidamistes ning ettevõtetes ja asutustes tekkivate samalaadsete aia- ja haljastusjäätmete kottkompostimise rajatise rajamise hinnanguliseks investeeringu maksumuseks on **1 221 000 eurot** (vt tehniline varustus).

Iga-aastased ekspluatatsioonikulud on hinnanguliselt **352 300 eurot/a**. Ekspluatatsioonikuludes on arvesse võetud seadmete ja rajatiste amortisatsioonikulu (arvestusega, et mobiilsete seadmete amortisatsiooniaeg on 10 aastat ning rajatiste amortisatsiooniaeg on 25 aastat), töötajate (sh käitluskeskuse juhi) palgakulu, elektrienergia kulu, seadmete kütuse kulu, seadmete hoolduskulu, komposti sertifitseerimiskulu ning ettevõtte kasum. See teeks ühe tonni biojäätmete käitluse maksumuseks **~79 eurot/t**. Hindadele lisandub käibemaks 20%.

Amortisatsioonikulude kalkuleerimisel ei ole arvestatud võimalike investeeringukulude sihtfinantseeringu toetustega, mis vähendaksid omafinantseeringu osa ja selle kaudu ka iga-aastast amortisatsioonikulu (st ka ühe tonni biojäätmete käitlemise maksumust). Samuti pole arvestatud võimaliku tuluga komposti müügist.

Aia- ja haljastusjäätmete kottkompostimine Aardlapalu kompostimisväljakut laiendades

Endise Aardlapalu prügila juurde rajatud ümberlaadimisjaamas on rajatud kompostimisväljak pindalaga 5915 m^2. Hetkel on seal rakendatud membraankompostimistehnoloogiat.

Kui rakendada alternatiiv 1.B.3. (aia- ja haljastusjäätmete kottkompostimine) Aardlapalu prügila kompostimisväljakut laiendades, siis piisaks olemasoleva kompostimisväljaku pindalast jäätmete sortimisala, komposti järelvalmimisala ja valmiskomposti ladustusala tarbeks ning vaja oleks rajada vaid ~3800 m^2 suurune kottkompostimise väljak, mis ei pea olema tingimata asfaltkattega.

Kui võtta eelduseks, et kottkompostimiseks vajalikud seadmed ja masinapark tuleb soetada kõik uus, siis väheneb siiski oluliselt investeeringuvajadus platside rajamiseks. Samuti pole

eelduslikult vajalik väljaku teenindamiseks uue hoone ja veokikaalu rajamine ega nõrgveepuhasti rajamine.

Sellisel juhul kujuneks kottkompostimisrajatise investeeringu maksumuseks Aardlapalus **620 000 eurot**.

Iga-aastane ekspluatatsioonikulu langeks koos amortisatsioonikulu arvestusega ~308 000 euroni aastas ning ühe tonni biojäätmete käitluse maksumuseks kujuneks **~69 eurot/t**. Hindadele lisandub käibemaks 20%.

Nagu ka eelpool, ei ole amortisatsioonikulude kalkuleerimisel arvestatud võimalike investeeringukulude sihtfinantseeringu toetustega, mis vähendaksid omafinantseeringu osa ja selle kaudu ka iga-aastast amortisatsioonikulu (st ka ühe tonni biojäätmete käitlemise maksumust). Samuti pole arvestatud võimaliku tuluga komposti müügist.

4.1.7 Alternatiiv 1.B.4: Reaktor- ehk tunnelkompostimine

Antud alternatiivi puhul on arvestatud Tartu linnas kokkukogutavate kodumajapidamistes ning ettevõtetes ja asutustes tekkivate samalaadsete aia- ja haljastusjäätmete kogustega. St, et käideldavate jäätmete maht on 4437 t/a.

Näitlikud mõõtmed

Tartu linna aia- ja haljastusjäätmete käitlemiseks reaktor- ehk tunnelkompostimise teel hinnati kompostimisrajatise võimalikku suurust ning seejärel selle maksumust (käsitletud allpool) arvestades järgmisi mõõtmeid:

- reaktori pikkus 20 m, laius 5 m, kõrgus 3 m, kahe reaktori vaheline ala 1 m
- eeltöötlushoone pikkus 20 m, laius 10 m, kõrgus 3 m
- järeltöötlusala pikkus ja laius 25 m, kõrgus 3 m

Arvestades eeltoodud mõõtmeid, tuleks Tartu linna aia- ja haljastusjäätmete (4437 tonni/aastas) reaktor- ehk tunnelkompostimiseks rajada **2750 m^2 ehk ligikaudu 0,3 ha suurune rajatis**, mis hõlmab endas 1000 m^2 suurust tunnel-kompostimisala koos seda ümbritseva manööverdusalaga, 650 m^2 suurust eeltöötlusala koos seda ümbritseva manööverdusalaga ning 1100 m^2 suurust järeltöötlusala koos seda ümbritseva manööverdusalaga.

Tehniline varustus

- asfalteeritud maa-ala
- eeltöötlushoone koos sisseseadega
- järeltöötlusala ja katusealune järelvalmimisala
- laadur
- tunnelreaktor(id) ehk reaktorkompostrid (4 tk)
- hoone tunnelreaktori jaoks, sh õhutus- ja niisutussüsteemiga
- õhubiofiltrid
- elektriseadmestik
- kaaluhoone
- kanalisatsioon
- tara (eeldus sertifitseerimiseks)

- sõel (materjali ja komposti sõelumiseks)

Hinnanguline maksumus

Tartu linnas kodumajapidamistes ning ettevõtetes ja asutustes tekkivate samalaadsete aia- ja haljastusjäätmete tunnelkompostimise rajatise hinnanguliseks investeeringu maksumuseks on **3 374 000 eurot** (vt tehniline varustus).

Iga-aastased ekspluatatsioonikulud on hinnanguliselt **484 900 eurot/a**. Ekspluatatsioonikuludes on arvesse võetud seadmete ja rajatiste amortisatsioonikulu (arvestusega, et mobiilsete seadmete amortisatsiooniaeg on 10 aastat ning rajatiste amortisatsiooniaeg on 25 aastat), töötajate (sh käitluskeskuse juhi) palgakulu, elektrienergia kulu, seadmete kütuse kulu, seadmete hoolduskulu, komposti sertifitseerimiskulu ning ettevõtte kasum. See teeks ühe tonni biojäätmete käitluse maksumuseks **~109 eurot/t**. Hindadele lisandub käibemaks 20%.

Amortisatsioonikulude kalkuleerimisel ei ole arvestatud võimalike investeeringukulude sihtfinantseeringu toetustega, mis vähendaksid omafinantseeringu osa ja selle kaudu ka iga-aastast amortisatsioonikulu (st ka ühe tonni biojäätmete käitlemise maksumust). Samuti pole arvestatud võimaliku tuluga komposti müügist.

4.2 Alternatiiv 2: kõik biojäätmed (nii köögi- ja sööklajäätmed, kui ka aia- ja haljastusjäätmed) aeroobselt kompostimisele

4.2.1 Alternatiiv 2.A: Membraankompostimine

Antud alternatiivi puhul on arvestatud Tartu linnas kokkukogutavate kodumajapidamistes ning ettevõtetes ja asutustes tekkivate samalaadsete köögi- ja sööklajäätmete ning aia- ja haljastusjäätmete kogustega. St, et käideldavate jäätmete maht on ~11 200 t/a.

Näitlikud mõõtmed

Tartu linna köögi- ja sööklajäätmete ning aia- ja haljastusjäätmete käitlemiseks membraankompostimise teel hinnati kompostimisväljaku võimalikku suurust ning seejärel selle maksumust (käsitletud allpool) arvestades järgmisi mõõtmeid:

- trapetsikujulise auna põhja laius 8 m, tipu laius 4 m, kõrgus 3 m, pikkus 30 m, järelvalmimise auna pikkus 50 m, aunade otstesse jäetav ruum 10 m. Aunadevaheline ala 2 m. Aunapaaride vahel peab olema piisavalt ruumi laaduri liikumiseks, vahemaa aunapaaride vahel on arvestatud 5 m. Kuna kompostitakse ka köögi- ja sööklajäätmeid, on arvestatud tugiaine lisamise vajadusega.

Arvestades eeltoodud mõõtmeid, tuleks Tartu linna köögi- ja sööklajäätmete ning aia- ja haljastusjäätmete (11 200 tonni/aastas) membraankompostimiseks rajada **16 400 m^2 ehk ligikaudu 1,6 ha suurune väljak**, mis hõlmab endas ~5050 m^2 suurust kompostimisväljakut, 9000 m^2 suurust komposti järelvalmimise ala, 500 m^2 suurust tugiaine ladustusplatsi, 1000 m^2 suurust valmiskomposti ladustamisala ning 850 m^2 suurust jäätmete sortimisala.

Tehniline varustus

- kompostimisväljak

- tugiaine ladustamisplats
- komposti järelvalmimise ala
- valmiskomposti ladustamisala
- jäätmete sortimisala
- membraankate
- kompressor ja torustik aunade õhustamiseks
- elektrivarustuse rajamine
- aunasegaja
- kopplaadur
- hoone(d) (seadmete garaaž ja hooldusala, olmeruumid)
- (oksa)purusti
- sõel/separaator võõriste eemaldamiseks
- sõltuvalt asukohast – kas saab nõrgvee suunata reoveepuhastisse või on vaja lokaalset nõrgveepuhastit järelvalmimisalalt tekkiva nõrgvee puhastamiseks.
- veokikaal vastuvõetavate jäätmete ja üleantava valmiskomposti kaalumiseks
- piirdeaed
- kaaluda võib kompostimisväljaku või vähemalt järelvalmimise ala katusega katmist

Hinnanguline maksumus

Tartu linnas kodumajapidamistes ning ettevõtetes ja asutustes tekkivate samalaadsete köögi- ja sööklajäätmete ning aia- ja haljastusjäätmete membraankompostimise rajatise hinnanguliseks investeeringu maksumuseks, on **2 396 000 eurot** (vt tehniline varustus).

Iga-aastased ekspluatatsioonikulud on sellisel membraankompostimisrajatisel hinnanguliselt **799 000 eurot/a**. Ekspluatatsioonikuludes on arvesse võetud seadmete ja rajatiste amortisatsioonikulu (arvestusega, et mobiilsete seadmete amortisatsiooniaeg on 10 aastat ning rajatiste amortisatsiooniaeg on 25 aastat), töötajate (sh käitluskeskuse juhi) palgakulu, elektrienergia kulu, seadmete kütuse kulu, seadmete hoolduskulu, komposti sertifitseerimiskulu ning ettevõtte kasum. Seega kujuneb ühe tonni biojäätmete käitluse maksumuseks **~71 eurot/t**. Hindadele lisandub käibemaks 20%.

Amortisatsioonikulude kalkulatsioonis ei ole arvestatud võimalike investeeringukulude sihtfinantseeringu toetustega, mis vähendaksid omafinantseeringu osa ja selle kaudu ka iga-aastast amortisatsioonikulu (st ka ühe tonni biojäätmete käitlemise maksumust). Samuti pole arvestatud võimaliku tuluga komposti müügist.

Endise Aardlapalu prügila juurde rajatud ümberlaadimisjaamas on rajatud kompostimisväljak pindalaga 5915 m^2. Kui rakendada alternatiiv 2.A (biojäätmete membraankompostimine) Aardlapalu prügila kompostimisväljakut laiendades, siis on vajalik olemasolevat kompostimisväljakut laiendada 16 400 m^2-ni (täiendav vajadus platside rajamiseks seega ~10 485 m^2). Kinnistul katastrinumbriga 94901:009:0384 (Aardlapalu prügila; 100% jäätmehoidla maa) ei ole väljaspool endise Aardlapalu prügila prügikeha piisavalt ruumi kompostimisväljaku sellises mahus laiendamiseks.

4.2.2 Alternatiiv 2.B: Kottkompostimine

Antud alternatiivi puhul on sarnaselt eelmise membraankompostimise alternatiiviga arvestatud Tartu linnas kokkukogutavate kodumajapidamistes ning ettevõtetes ja asutustes tekkivate

samalaadsete köögi- ja sööklajäätmete ning aia- ja haljastusjäätmete kogustega. St, et käideldavate jäätmete maht on ~11 200 t/a.

Näitlikud mõõtmed

Tartu linna köögi- ja sööklajäätmete ning aia- ja haljastusjäätmete käitlemiseks kottkompostimise teel hinnati kompostimisväljaku võimalikku suurust ning seejärel selle maksumust (käsitletud allpool) arvestades järgmisi mõõtmeid:

- koti läbimõõt 4,2 m, pikkus 150 m, kottide täitmiseks otstesse jäetav ruum 5 m, kottide vaheline ruum 0,5 m
- trapetsikujulise järelvalmimise auna põhja laius 8 m, tipu laius 4 m, kõrgus 3 m, pikkus 50 m, aunade otstesse jäetav ruum 10 m. Aunadevaheline ala 2 m. Aunapaaride vahel peab olema piisavalt ruumi laaduri liikumiseks, vahemaa aunapaaride vahel on arvestatud 5 m.

Arvestades eeltoodud mõõtmeid, tuleks Tartu linna köögi- ja sööklajäätmete ning aia- ja haljastusjäätmete (11 200 tonni/aastas) kottkompostimiseks rajada **~19 800 m^2 ehk ligikaudu 2,1 ha suurune väljak**, mis hõlmab endas 8450 m^2 suurust kompostimisväljakut, 9000 m^2 suurust komposti järelvalmimise ala, 500 m^2 tugiaine ladustamisplatsi, 1000 m^2 suurust valmiskomposti ladustamisala ning 850 m^2 suurust jäätmete sortimisala.

Tehniline varustus

- kottide alune kompostimisväljak (ei pea olema kaetud asfaltkattega)
- komposti järelvalmimise ala (peab olema kaetud asfaltkattega)
- valmiskomposti ladustamisala
- tugiaine ladustusplats
- jäätmete sortimisala
- kopplaadur jäätmete veoks ja komposti töötlemiseks
- oksapurusti
- sõel/separaator võõriste eemaldamiseks
- ühekordsed kompostimiskotid
- kompostimiskottide täitmiseks vajalik seade
- elektrivarustuse rajamine
- kompressor ja torustik kottide õhustamiseks
- aktiivsöe filter väljapuhketorule, mis seob ebameeldivalt lõhnavad ühendid
- hoone(d) (seadmete garaaž ja hooldusala, olmeruumid)
- sõltuvalt asukohast – kas saab nõrgvee suunata reoveepuhastisse või on vaja lokaalset nõrgveepuhastit järelvalmimisalalt tekkiva nõrgvee puhastamiseks.
- veokikaal vastuvõetavate jäätmete kaalumiseks
- piirdeaed
- kaaluda võib järelvalmimise ala katusega katmist

Hinnanguline maksumus

Tartu linnas kodumajapidamistes ning ettevõtetes ja asutustes tekkivate samalaadsete köögi- ja sööklajäätmete ning aia- ja haljastusjäätmete kottkompostimise rajatise hinnanguline investeeringumaksumus on kokku **1 896 000 eurot.**

Iga-aastased ekspluatatsioonikulud on hinnanguliselt **645 750 eurot/a**. Ekspluatatsioonikuludes on arvesse võetud seadmete ja rajatiste amortisatsioonikulu (arvestusega, et mobiilsete seadmete amortisatsiooniaeg on 10 aastat ning rajatiste amortisatsiooniaeg on 25 aastat), töötajate (sh käitluskeskuse juhi) palgakulu, elektrienergia kulu, seadmete kütuse kulu, seadmete hoolduskulu, komposti sertifitseerimiskulu ning ettevõtte kasum. See teeks ühe tonni biojäätmete käitluse maksumuseks **~58 eurot/t**. Hindadele lisandub käibemaks 20%.

Amortisatsioonikulude kalkuleerimisel ei ole arvestatud võimalike investeeringukulude sihtfinantseeringu toetustega, mis vähendaksid omafinantseeringu osa ja selle kaudu ka iga-aastast amortisatsioonikulu (st ka ühe tonni biojäätmete käitlemise maksumust). Samuti pole arvestatud võimaliku tuluga komposti müügist.

Endise Aardlapalu prügila juurde rajatud ümberlaadimisjaamas on rajatud kompostimisväljak pindalaga 5915 m^2. Kui rakendada alternatiiv 2.B (biojäätmete kottkompostimine) Aardlapalu prügila kompostimisväljakut laiendades, siis on vajalik olemasolevat kompostimisväljakut laiendada 19 800 m^2-ni (täiendav vajadus platside rajamiseks seega ~13 885 m^2). Kinnistul katastrinumbriga 94901:009:0384 (Aardlapalu prügila; 100% jäätmehoidla maa) ei ole väljaspool endise Aardlapalu prügila prügikeha piisavalt ruumi kompostimisväljaku sellises mahus laiendamiseks.

4.2.3 Alternatiiv 2.C: Reaktor- ehk tunnelkompostimine

Antud alternatiivi puhul on arvestatud Tartu linnas kokkukogutavate kodumajapidamistes ning ettevõtetes ja asutustes tekkivate samalaadsete köögi- ja sööklajäätmete aia- ja haljastusjäätmete kogustega ning mujalt Lõuna-Eestist kokku kogutavate (Tartu maakonnast, Põlva maakonnast, Valga maakonnast, Võru maakonnast, Jõgeva maakonnast ja Viljandi maakonnast) kodumajapidamistest ning ettevõtetest ja asutustest tekkivate samalaadsete biolagunevate köögi- ja sööklajäätmete tekkekogustega. St, et käideldavate jäätmete maht on ~21 750 t/a.

Näitlikud mõõtmed

Tartu linna köögi- ja sööklajäätmete ning aia- ja haljastusjäätmete ning Lõuna-Eesti maakondade köögi- ja sööklajäätmete käitlemiseks reaktor- ehk tunnelkompostimise teel hinnati kompostimisrajatise võimalikku suurust ning seejärel selle maksumust (käsitletud allpool) arvestades järgmisi mõõtmeid:

- reaktori pikkus 20 m, laius 5 m, kõrgus 3 m, kahe reaktori vaheline ala 1 m
- eeltöötlushoone pikkus ja laius 20 m, kõrgus 3 m
- järeltöötlusala pikkus ja laius 25 m, kõrgus 3 m

Arvestades eeltoodud mõõtmeid, tuleks Tartu linna köögi- ja sööklajäätmete ning aia- ja haljastusjäätmete (21 750 tonni/aastas) reaktor- ehk tunnelkompostimiseks rajada **8150 m^2 ehk ligikaudu 0,82 ha suurune rajatis**, mis hõlmab endas ~1950 m^2 suurust tunnel-kompostimisala koos seda ümbritseva manööverdusalaga, ~1000 m^2 suurust eeltöötlusala koos seda ümbritseva manööverdusalaga ning , 5200 m^2 suurust järeltöötlusala koos seda ümbritseva manööverdusalaga.

Tehniline varustus

- asfalteeritud maa-ala

- eeltöötlushoone koos sisseseadega
- järeltöötlusala ja katusealune järelvalmimisala
- laadur
- tunnelreaktor(id) ehk reaktorkompostrid (9 tk)
- hoone tunnelreaktori jaoks, sh õhutus- ja niisutussüsteemiga
- õhubiofiltrid
- elektriseadmestik
- kaaluhoone
- kanalisatsioon
- tara (eeldus sertifitseerimiseks)
- sõel (materjali ja komposti sõelumiseks)

Hinnanguline maksumus

Tartu linna köögi- ja sööklajäätmete ning aia- ja haljastusjäätmete ning Lõuna-Eesti maakondade köögi- ja sööklajäätmete käitlemiseks vajaliku tunnel-kompostimisrajatise hinnanguline investeeringute maksumus on kokku **10 120 000 eurot.**

Iga-aastased ekspluatatsioonikulud on hinnanguliselt **1 127 700 eurot/a**. Ekspluatatsioonikuludes on arvesse võetud seadmete ja rajatiste amortisatsioonikulu (arvestusega, et mobiilsete seadmete amortisatsiooniaeg on 10 aastat ning rajatiste amortisatsiooniaeg on 25 aastat), töötajate (sh käitluskeskuse juhi) palgakulu, elektrienergia kulu, seadmete kütuse kulu, seadmete hoolduskulu, komposti sertifitseerimiskulu ning ettevõtte kasum. Sellisel juhul kujuneb ühe tonni biojäätmete käitluse maksumuseks **~52 eurot/t**. Hindadele lisandub käibemaks 20%.

Amortisatsioonikulude kalkuleerimisel ei ole arvestatud võimalike investeeringukulude sihtfinantseeringu toetustega, mis vähendaksid omafinantseeringu osa ja selle kaudu ka iga-aastast amortisatsioonikulu (st ka ühe tonni biojäätmete käitlemise maksumust). Samuti pole arvestatud võimaliku tuluga komposti müügist.

Mujalt Lõuna-Eesti piirkonnast biojäätmete Tartu piirkonda kokkuveol lisandub ka jäätmeveo maksumus, mis hinnanguliselt võib olla 6 eurot/t.

Vastav summa lisanduks seega biojäätmete käitlemisele igas maakonnas eraldi ja tuleks liita eelpool toodud tunnelkompostimisrajatise käitlushinnale.

4.3 Käitluslahenduste võrdlus

Alljärgnevalt (vt Tabel 4.1 ja Tabel 4.2) on toodud biojäätmete käitluslahenduste alternatiivide kirjeldus vaadeldud aspektide kaupa ning lisaks hinnanguline käitlus- ja opereerimismaksumus eurodes iga tehnoloogia lõikes. **Lisamärkustena tuleb siinkohal välja tuua järgnev:**

- alternatiivide 1.A.1–1.A.3 käitlus- ja opereerimismaksumused on toodud vahemikena ning sõltuvad sellest, kas toodetud biogaas müüakse võrku biometaanina (madalam biojäätmete käitluse hind) või elektrina (kõrgem biojäätmete käitluse hind);
- alternatiivi 1.A.3 hinnanguline investeering on toodud vahemikuna ning sõltub sellest, kas jäätmete veoteenus ostetakse sisse või sõiduvahend soetatakse ise ning palgatakse eraldi autojuht vastavat vedu teostama;

- alternatiivide 1.A.3 ja 2.C keskkonnaaspektide juurde lisati jäätmete veost tingitud kasvuhoonegaaside heite kogus, arvestades seejuures, et jäätmete veoks kasutatakse soetatud autot ega osteta teenust sisse. Kasvuhoonegaaside heite koguse arvutamisel juhinduti SEI Tallinna poolt 2022. aastal koostatud juhendist „KHG jalajälje hindamise juhend“;
- ühikmaksumuste võrdlemiseks arvestati lisaks Tabel 4.1 toodud andmetele täiendavalt kombineeritud biojäätmete käitluse maksumuste võrdlust alternatiiv 1 puhul (köögi- ja sööklajäätmete ning aia- ja haljastusjäätmete kaalutud keskmine käitluse maksumus) – vt Tabel 4.2.

Lähtuvalt käsitletud käitluslahenduste võrdlusest, oleksid Tartu linna biojäätmete käitlemiseks sobivaimad alternatiivid alljärgnevad.

Ringmajanduse aspektist lähtuvalt: biogaasi tootmine: töös käsitletud alternatiividest oleks ringmajanduse mõistes parimaks alternatiiviks biogaasi tootmine, olenemata, kas ehitatakse uus biogaasijaam või viiakse köögi- ja sööklajäätmed olemasolevasse Ilmatsalu või Maardu biogaasijaama. Tehnoloogia suurimaks miinuseks on asjaolu, et aia- ja haljastusjäätmed ei sobi biogaasi tootmiseks eelkõige võõriste sisalduse tõttu. See-eest köögi- ja sööklajäätmetest (ja teistest sobivatest toorainetest) biogaasi tootmisega tõstetakse kohalikul tasandil taastuvenergia tootmise/kasutamise määra ning suurendatakse selle sõltumatust ilmastikutingimustest (võrreldes tuule- ja päikeseenergia tootmisega). Tootmisel tekkivat kääritusjääki saab seejuures ära kasutada põldudel väetisena ning seeläbi asendada ka piirkonnas osaliselt mineraalväetiste kasutamist. Ringmajandusliku majandusmudeli puhul rõhutakse võimalikult väikeste materjali kadude saavutamisele, mis biogaasi tootmisega ja kääritusjäägi väetusainena kasutamisega ka saavutatakse.

Biojäätmete käitlemiseks Maardusse transportimisega kaasneb aga suur transpordimõju. Köögi- ja sööklajäätmete veoga Tartust Maardusse tekib hinnanguliselt 74,0 t CO_2 ekv aastas. Võrdluseks köögi- ja sööklajäätmete kokkuveoga Lõuna-Eestist Tartu piirkonda tekib hinnanguliselt 33,9 t CO_2 ekv aastas.

Hinnangulise investeeringu maksumuse aspektist lähtuvalt: köögi- ja sööklajäätmete vedu Maardu biogaasijaama ning aia- ja haljastusjäätmete kompostimine kottkompostimise teel – töös käsitletud alternatiividest oleks hinnangulise maksumuse mõistes parimaks alternatiiviks kombinatsioon köögi- ja sööklajäätmete veost Maardu biogaasijaama (alternatiiv 1.A.3) ning aia- ja haljastusjäätmete kompostimisest kottkompostimise teel (alternatiiv 1.B.3). Jäätmete veoks teenuse sisse ostmisel kuluks algseks investeeringuks 1 221 000 eurot ning hiljem lisanduks teenuse sisseostu maksumus. Kuid kui jäätmete veoks soetataks sõiduvahend, siis kuluks algseks investeeringuks 1 351 000 eurot.

See-eest kui eesmärk on korraldatud jäätmeveoga kokku kogutud jäätmed ühes kohas käidelda, oleks sobivaimaks alternatiiviks kottkompostimine (alternatiiv 2.B), mille algseks investeeringuks kuluks 1 896 000 eurot.

Maa-ala vajaduse aspektist lähtuvalt oleks parim lahendus: köögi- ja sööklajäätmete vedu Maardu biogaasijaama ning aia- ja haljastusjäätmete kompostimine reaktor- ehk tunnelkompostimise teel – töös käsitletud alternatiividest oleks maa-ala vajaduse mõistes parimaks alternatiiviks kombinatsioon jäätmete veost Maardu biogaasijaama (alternatiiv 1.A.3) ning jäätmete kompostimisest reaktor- ehk tunnelkompostimise teel (alternatiiv 1.B.4). Antud kombinatsiooni maa-ala vajadus oleks 0,3 ha, mis kuluks reaktor- ehk tunnelkompostimise käitise rajamiseks. Kui aga kasutada aia- ja haljastusjäätmete kompostimisrajatise rajamiseks

võimalust laiendada olemasolevat Aardlapalu kompostimisväljakut, siis oleks kõige väiksema täiendava maa-ala vajadusega membraankompostimise rajamine Aardlapalu kompostimisväljaku laiendamise teel.

Väikese maa-ala vajadusega on ka kombinatsioon uuest rajatavast biogaasijaamast köögi- ja sööklajäätmete käitlemiseks (alternatiiv 1.A.1) ning aia- ja haljastusjäätmete kompostimisest reaktor- ehk tunnelkompostimise teel (alternatiiv 1.A.3). Ka antud variandi puhul on võimalik kasutada aia- ja haljastusjäätmete kompostimisrajatise rajamiseks võimalust laiendada olemasolevat Aardlapalu kompostimisväljakut. Sel juhul oleks samuti kõige väiksema täiendava maa-ala vajadusega membraankompostimise rajamine Aardlapalu kompostimisväljaku laiendamise teel.

See-eest, kui eesmärk on kõik korraldatud jäätmeveoga kokku kogutud biojäätmed ühes kohas käidelda, oleks sobivaimaks alternatiiviks maa-ala vajaduse põhjal reaktor- ehk tunnelkompostimine (alternatiiv 2.C), mille maa-ala vajadus oleks 0,8 ha.

Hinnangulisest jäätmete käitluse ühikmaksumusest lähtuvalt o**n parimaks alternatiiviks Tartu piirkonnas kombinatsioon, kus köögi- ja sööklajäätmed suunatakse anaeroobsesse kääritusse Ilmatsalu biogaasijaama (alternatiiv 1.A.2) ning aia- ja haljastusjäätmed suunatakse kottkompostimisele (alternatiiv 1.B.3). Seejuures on kõige soodsam lahendus, kui rajada kottkompostimine olemasoleva Aardlapalu prügila kompostimisväljaku laiendusena.** Siiski ei arvesta antud alternatiivi käsitlus Ilmatsalu biogaasijaama varasemalt tehtud investeeringute amortiseerimise ja muude käitluskuludega.

Võib eeldada, et kombinatsioon köögi- ja sööklajäätmete kääritamisele suunamisest Ilmatsalu biogaasijaama ning aia- ja haljastusjäätmete kompostimisest, on igal juhul soodsam, kui kõikide biojäätmete ühtsesse kompostimisrajatisse kompostimisele suunamine.

Lisaks köögi- ja sööklajäätmete olemasolevasse Ilmatsalu biogaasijaama suunamisele on samuti biojäätmete käitlemise ühikmaksumus soodsam, kui kõikide biojäätmete ühtsesse kompostimisrajatisse kompostimisele suunamisel, variandi korral, kus Tartu piirkonda rajatakse uus kuivkääritustehnoloogial biogaasijaam köögi- ja sööklajäätmete kääritamiseks ning aia- ja haljastusjäätmed suunatakse kompostimisele. Soodsamaks muudab selle asjaolu, et biogaasi jaamas toodetavat biogaasi on võimalik töödelda biometaaniks ning müüa biometaani gaasivõrku, mis võimaldab olulise osa jäätmete käitlemisele tehtavatest kuludest tagasi teenida. Alternatiivina võib toota biogaasist elektrit, seda samuti elektrivõrku müües.

Biojäätmete käitlemise ühikmaksumust mõjutab ka võimalik investeeringute maksumuse osaline katmine sihtfinantseeringu toetuse abil. Sellisel juhul väheneb käitlusrajatise iga-aastane amortisatsioonikulu, mis võimaldab biojäätmete käitluse hinda vähendada.

Tabel 4.1 Biojäätmete käitluslahenduste alternatiivide kirjeldus vaadeldud aspektide kaupa

Alternatiiv	Keskkonna-aspektid	Eelised	Puudused	Saaduse lõppkasutus	Maa-ala vajadus (ha)	Hinnangu-line investeering kokku (€)	Hinnangu-line käitlus- ja opereerimis-maksumus (€/t)
1.A.1 köögi- ja sööklajäätmete anaeroobne kääritus uues rajatavas biogaasijaamas	Energiakasutus, maakasutus, loodusressursside tarbimine, plahvatus- ja tuleoht, vajadus fossiilsete kütuste (maagaasi) järele langeb	Lõhnahäiringud on kontrolli all, lõppsaadusega (biogaasiga) saab asendada fossiilset maagaasi, jäätmete ja materjali käitlemine on ilmastiku eest kaitstud, protsess on kontrollitud ja hästi automatiseeritav, protsess on kiire.	Keerulisem tehnoloogia võrreldes teiste käitlemisviisidega, investeeringud tehnoloogiasse on suuremad kui teiste käitlemisviiside puhul, aia- ja haljastusjäätmete biogaasistamine ei ole otstarbekas. Vajalik on lisaks Tartu linna köögi- ja sööklajäätmetele ka mujalt Lõuna-Eestist öögi- ja sööklajäätmete kogumine.	Biogaasi saab kasutada elektri- ja soojusenergia tootmiseks, puhastatud biogaasi (biometaani) saab kasutada sõidukite mootorikütusena või juhtida maagaasi võrku; kääritusjääki saab kasutada mulla väetisena või mulla parendajana	0,4-0,6	15 500 000	34-56
1.A.2 köögi- ja sööklajäätmete anaeroobne kääritus Ilmatsalu biogaasijaamas	Energiakasutus, maakasutus, loodusressursside tarbimine, plahvatus- ja tuleoht, vajadus fossiilsete kütuste (maagaasi) järele langeb	Lõhnahäiringud on kontrolli all, lõppsaadusega (biogaasiga) saab asendada fossiilset maagaasi, jäätmete ja materjali käitlemine on ilmastiku eest kaitstud, protsess on kontrollitud ja hästi automatiseeritav, protsess on kiire	Keerulisem tehnoloogia võrreldes teiste käitlemisviisidega, aia- ja haljastusjäätmete biogaasistamine ei ole otstarbekas. Vajadus hakata 20 koodiga köögi- ja sööklajäätmete vastuvõtmise korral kääritusjääki sertifitseerima. Hetkel Ilmatsalus kääritusjääki sertifitseerima ei pea.	Biogaasi saab kasutada elektri- ja soojusenergia tootmiseks, puhastatud biogaasi (biometaani) saab kasutada sõidukite mootorikütusena või juhtida maagaasi võrku; kääritusjääki saab kasutada mulla väetisena või mulla parendajana	-	1 938 000	14-34

Alternatiiv	Keskkonna-aspektid	Eelised	Puudused	Saaduse lõppkasutus	Maa-ala vajadus (ha)	Hinnangu-line investeering kokku (€)	Hinnangu-line käitlus- ja opereerimis-maksumus (€/t)
1.A.3 köögi- ja sööklajäätmete anaeroobne kääritus Maardu biogaasijaamas	Energiakasutus, maakasutus, loodusressursside tarbimine, plahvatus- ja tuleoht, vajadus fossiilsete kütuste (maagaasi) järele langeb, jäätmete veoga Tartust Maardusse tekib hinnanguliselt 74,0 t CO_2 ekv aastas	Lõhnahäiringud on kontrolli all, lõppsaadusega (biogaasiga) saab asendada fossiilset maagaasi, jäätmete ja materjali käitlemine on ilmastiku eest kaitstud, protsess on kontrollitud ja hästi automatiseeritav, protsess on kiire	Keerulisem tehnoloogia võrreldes teiste käitlemisviisidega, aia- ja haljastusjäätmete biogaasistamine ei ole otstarbekas	Biogaasi saab kasutada elektri- ja soojusenergia tootmiseks, puhastatud biogaasi (biometaani) saab kasutada sõidukite mootorikütusena või juhtida maagaasi võrku; kääritusjääki saab kasutada mulla väetisena või mulla parendajana	-	0-130 000	46-62
1.B.1 aia- ja haljastus-jäätmete aun-kompostimine	Maakasutus, loodusressursside kasutus, energiakasutus, ebameeldiv lõhn (mh lagugaaside õhku lendumine), nõrgvee käitlus ja selle pinnasesse ja veekeskkonda sattumise risk	Olenevalt õhutusmeetodist võib protsess olla suhteliselt odav ja lihtne, sobib aia- ja haljastusjäätmete kompostimiseks, meetodit saab kasutada sise- ja välistingimustes	Tugevalt mõjutatud ilmastikust (välistemperatuur, sademed), lahtises aunas ei ole otstarbekas köögi- ja sööklajäätmeid kompostida (lõhnaprobleemid), olenevalt õhutusmeetodist võib protsess olla aeglane ning energia- ja töömahukas, komposti kvaliteet ebaühtlane, nõrgvesi ja lagugaasid võivad põhjustada keskkonnaprobleeme, suur maa-ala vajadus, komposti sertifitseerimine keeruline	Kasutatakse mulla väetisena, mulla parendajana ja multšina	2,7	2 535 000	84

Alternatiiv	Keskkonna-aspektid	Eelised	Puudused	Saaduse lõppkasutus	Maa-ala vajadus (ha)	Hinnangu-line investeering kokku (€)	Hinnangu-line käitlus- ja opereerimis-maksumus (€/t)
1.B.2 aia- ja haljastus-jäätmete membraan-kompostimine	Maakasutus, loodusressursside kasutus, energiakasutus, ebameeldiv lõhn (mh lagugaaside õhku lendumine), nõrgvee sattumine pinnasesse, membraankihi kasutusea lõppedes selle käitlemine, nõrgvee käitlus	Sobib erinevatele jäätmeliikidele, protsess võib olla kiire, väiksema tõenäosusega haisu levik (võrreldes lahtise aunkompostimisega), membraankiht hoiab niiskusesisaldust optimaalsel tasemel, lõpp-produkt on (võrreldes lahtise aunkompostimisega) ühtlasema kvaliteediga, temperatuur hoitakse protsessi käigus ühtlasena. Võimalus rakendada olemasolevat Aardlapalu kompostimisväljakut laiendades.	Membraankate on kallis, membraankatte eemaldamine võib olla keerukas, tugevalt mõjutatud ilmastikust (välistemperatuur), nõrgvesi ja lagugaasid võivad põhjustada keskkonnaprobleeme, maa-ala vajadus on suur, lõppsaaduse sertifitseerimine on keeruline	Kasutatakse mulla väetisena, mulla parendajana ja multšina	0,7 laiendades Aardlapalu kompostimis-väljakut 0,1	1 586 000 laiendades Aardlapalu kompostimisväljakut, 912 000	97 laiendades Aardlapalu kompostimisväljakut, 85

Alternatiiv	Keskkonna-aspektid	Eelised	Puudused	Saaduse lõppkasutus	Maa-ala vajadus (ha)	Hinnangu-line investeering kokku (€)	Hinnangu-line käitlus- ja opereerimis-maksumus (€/t)
1.B.3 aia- ja haljastus-jäätmete kott-kompostimine	Energiakasutus, maakasutus, loodusressursside tarbimine, kottide kasutusea lõppedes nende käitlemine	Kompostimiskottide alust ala ei ole tingimata vajalik katta kõvakattega, protsess on paremini kontrollitav võrreldes aun- ja mõnevõrra ka membraan-kompostimisega, protsess on sademete eest kaitstud, sobib erinevatele jäätmeliikidele, lõpp-produkt on ühtlasema kvaliteediga. Võimalus rakendada olemasolevat Aardlapalu kompostimisväljakut laiendades.	Kottide täitmise seadme soetamine, kottide käitlemine, maa-ala vajadus on suur, tugevalt mõjutatud ilmastikust (välistemperatuur), lõppsaaduse sertifitseerimine on keeruline	Kasutatakse mulla väetisena, mulla parendajana ja multšina	0,9 laiendades Aardlapalu kompostimis-väljakut 0,4	1 221 000 laiendades Aardlapalu kompostimisväljakut, 620 000	79 laiendades Aardlapalu kompostimis väljakut, 59
1.B.4 aia- ja haljastus-jäätmete reaktor-ehk tunnel-kompostimine	Energiakasutus, maakasutus, loodusressursside tarbimine, nõrgvee ehk liigvee käitlus	Protsess on ilmastiku eest kaitstud, protsess on kontrollitud ja hästi automatiseeritav, protsess on kiire, kompost muutub hügieeniliseks, lõhnahäiringud on kontrolli all	Keerulisem tehnoloogia võrreldes teiste kompostimismeetoditega, alginvesteering on võrreldes teiste kompostimismeetoditega suurem	Kasutatakse mulla väetisena, mulla parendajana ja multšina	0,3	3 374 000	109

Alternatiiv	Keskkonna-aspektid	Eelised	Puudused	Saaduse lõppkasutus	Maa-ala vajadus (ha)	Hinnangu-line investeering kokku (€)	Hinnangu-line käitlus- ja opereerimis-maksumus (€/t)
2.A köögi- ja sööklajäätmete ning aia- ja haljastus-jäätmete membraan-kompostimine	Maakasutus, loodusressursside kasutus, energiakasutus, ebameeldiv lõhn (mh lagugaaside õhku lendumine), nõrgvee sattumine pinnasesse, membraankihi kasutusea lõppedes selle käitlemine, nõrgvee käitlus	Sobib erinevatele jäätmeliikidele, protsess võib olla kiire, väiksema tõenäosusega haisu levik (võrreldes lahtise aunkompostimisega), membraankiht hoiab niiskusesisaldust optimaalsel tasemel, lõpp-produkt on (võrreldes lahtise aunkompostimisega) ühtlasema kvaliteediga, -temperatuur hoitakse protsessi käigus ühtlasena	Membraankate on kallis, membraankatte eemaldamine võib olla keerukas, tugevalt mõjutatud ilmastikust (välistemperatuur), nõrgvesi ja lagugaasid võivad põhjustada keskkonnaprobleeme, maa-ala vajadus on suur, lõppsaaduse sertifitseerimine on keeruline	Kasutatakse mulla väetisena, mulla parendajana ja multšina	1,6	2 396 000	71

Alternatiiv	Keskkonna-aspektid	Eelised	Puudused	Saaduse lõppkasutus	Maa-ala vajadus (ha)	Hinnanguline investeering kokku (€)	Hinnanguline käitlus- ja opereerimis-maksumus (€/t)
2.B köögi- ja sööklajäätmete ning aia- ja haljastus-jäätmete kott-kompostimine	Energiakasutus, maakasutus, loodusressursside tarbimine, kottide kasutusea lõppedes nende käitlemine	Kompostimiskottide alust ala ei ole tingimata vajalik katta kõvakattega, protsess on paremini kontrollitav võrreldes aun- ja membraankompostimisega, protsess on sademete eest kaitstud, sobib erinevatele jäätmeliikidele, lõpp-produkt on (võrreldes lahtise aunkompostimisega) ühtlasema kvaliteediga, võimalik kompostida loomseid kõrvalsaadusi	Kottide täitmise seadme soetamine, kottide käitlemine, maa-ala vajadus on suur, tugevalt mõjutatud ilmastikust (välistemperatuur), lõppsaaduse sertifitseerimine on keeruline	Kasutatakse mulla väetisena, mulla parendajana ja multšina	2,0	1 896 000	58
2.C köögi- ja sööklajäätmete ning aia- ja haljastus-jäätmete reaktor- ehk tunnel-kompostimine	Energiakasutus, maakasutus, loodusressursside tarbimine, nõrgvee ehk liigvee käitlus, jäätmete kokkuveoga tekib hinnanguliselt 33,9 t CO_2 ekv aastas	Protsess on ilmastiku eest kaitstud, protsess on kontrollitud ja hästi automatiseeritav, protsess on kiire, kompost muutub hügieeniliseks, lõhnahäiringud on kontrolli all	Keerulisem tehnoloogia võrreldes teiste kompostimismeetoditega, alginvesteering on võrreldes teiste kompostimismeetoditega suurem. Vajalik on lisaks Tartu linna biojäätmetele ka mujalt Lõuna-Eestist öögi- ja sööklajäätmete kogumine.	Kasutatakse mulla väetisena, mulla parendajana ja multšina	0,8	10 120 000	52

Tabel 4.2 Biojäätmete käitlemise kombineeritud maksumuste võrdlus alternatiiv 1 puhul (köögi- ja sööklajäätmete ning aia- ja haljastusjäätmete kaalutud keskmine käitluse maksumus)

	Hinnanguline käitlus- ja opereerimis-maksumus (€/t) (biometaani müües)	**Hinnanguline käitlus- ja opereerimis-maksumus (€/t) (elektrit müües)**
1.A.1 köögi- ja sööklajäätmete anaeroobne kääritus uues rajatavas biogaasijaamas + 1.B.1 aia- ja haljastusjäätmete aunkompostimine	44,2	61,7
1.A.1 köögi- ja sööklajäätmete anaeroobne kääritus uues rajatavas biogaasijaamas + 1.B.2 aia- ja haljastusjäätmete membraankompostimine	46,8	64,4
1.A.1 köögi- ja sööklajäätmete anaeroobne kääritus uues rajatavas biogaasijaamas + 1.B.2 aia- ja haljastusjäätmete membraankompostimine LAIENDADES AARDLAPALU KOMPOSTIMISVÄLJAKUT	44,4	61,9
1.A.1 köögi- ja sööklajäätmete anaeroobne kääritus uues rajatavas biogaasijaamas + 1.B.3 aia- ja haljastusjäätmete kottkompostimine	43,3	60,8
1.A.1 köögi- ja sööklajäätmete anaeroobne kääritus uues rajatavas biogaasijaamas + 1.B.3 aia- ja haljastusjäätmete kottkompostimine LAIENDADES AARDLAPALU KOMPOSTIMISVÄLJAKUT	41,2	58,7
1.A.1 köögi- ja sööklajäätmete anaeroobne kääritus uues rajatavas biogaasijaamas + 1.B.4 aia- ja haljastusjäätmete reaktor- ehk tunnelkompostimine	49,4	66,9
1.A.2 köögi- ja sööklajäätmete anaeroobne kääritus Ilmatsalu biogaasijaamas + 1.B.1 aia- ja haljastusjäätmete aunkompostimine	28,3	44,2
1.A.2 köögi- ja sööklajäätmete anaeroobne kääritus Ilmatsalu biogaasijaamas + 1.B.2 aia- ja haljastusjäätmete membraankompostimine	30,9	46,8
1.A.2 köögi- ja sööklajäätmete anaeroobne kääritus Ilmatsalu biogaasijaamas + 1.B.2 aia- ja haljastusjäätmete membraankompostimine LAIENDADES AARDLAPALU KOMPOSTIMISVÄLJAKUT	28,5	44,4
1.A.2 köögi- ja sööklajäätmete anaeroobne kääritus Ilmatsalu biogaasijaamas + 1.B.3 aia- ja haljastusjäätmete kottkompostimine	27,4	43,3

	Hinnanguline käitlus- ja opereerimis-maksumus (€/t) (biometaani müües)	**Hinnanguline käitlus- ja opereerimis-maksumus (€/t) (elektrit müües)**
1.A.2 köögi- ja sööklajäätmete anaeroobne kääritus Ilmatsalu biogaasijaamas + 1.B.3 aia- ja haljastusjäätmete kottkompostimine LAIENDADES AARDLAPALU KOMPOSTIMISVÄLJAKUT	25,3	41,2
1.A.2 köögi- ja sööklajäätmete anaeroobne kääritus Ilmatsalu biogaasijaamas + 1.B.4 aia- ja haljastusjäätmete reaktor- ehk tunnelkompostimine	33,4	49,4
1.A.3 köögi- ja sööklajäätmete anaeroobne kääritus Maardu biogaasijaamas + 1.B.1 aia- ja haljastusjäätmete aunkompostimine	53,8*	66,5**
1.A.3 köögi- ja sööklajäätmete anaeroobne kääritus Maardu biogaasijaamas + 1.B.2 aia- ja haljastusjäätmete membraankompostimine	56,4*	69,1**
1.A.3 köögi- ja sööklajäätmete anaeroobne kääritus Maardu biogaasijaamas + 1.B.2 aia- ja haljastusjäätmete membraankompostimine LAIENDADES AARDLAPALU KOMPOSTIMISVÄLJAKUT	53,9*	66,7**
1.A.3 köögi- ja sööklajäätmete anaeroobne kääritus Maardu biogaasijaamas + 1.B.3 aia- ja haljastusjäätmete kottkompostimine	52,8*	65,6**
1.A.3 köögi- ja sööklajäätmete anaeroobne kääritus Maardu biogaasijaamas + 1.B.3 aia- ja haljastusjäätmete kottkompostimine LAIENDADES AARDLAPALU KOMPOSTIMISVÄLJAKUT	50,8*	63,5**
1.A.3 köögi- ja sööklajäätmete anaeroobne kääritus Maardu biogaasijaamas + 1.B.4 aia- ja haljastusjäätmete reaktor- ehk tunnelkompostimine	58,9*	71,6**

*biojäätmete vedu Tartust Maardusse veoteenust sisseostes
**biojäätmete vedu Tartust Maardusse ise veoki soetamisel ja vedu teostades

Kokkuvõte

Käesoleva töö eesmärgiks oli analüüsida Tartu linnas korraldatud jäätmeveoga kokku kogutavate biolagunevate jäätmete (köögi- ja sööklajäätmed ning aia- ja haljastusjäätmed) käitlemise võimalusi. Seejuures oli töö keskmeks ringmajanduslik majandusmudel ning Tartu linna biojäätmete käitlemiseks sobiva lahenduse leidmiseks seati esikohale ressursside jätkusuutlik kasutamine.

Tartu linnas korraldatud jäätmeveo raames kogutavate biolagunevate jäätmete koguste hindamisel võeti arvesse biolagunevate köögi- ja sööklajäätmete (20 01 08) ning biolagunevate aia- ja haljastusjäätmete (20 02 01) tekkekoguseid riikliku jäätmestatistika alusel aastatel 2017 kuni 2021. Liigiti kogutud biojäätmete tekke osas ei olnud võimalik ühest trendi (sh elanike arvu suhtes) Tartu linnas vaadeldud perioodi jooksul määrata, mistõttu hinnati sobivaima käitluslahenduse leidmiseks Tartu linna 2019-2021 aastate biojäätmete tekkekoguseid. Eelnevast lähtudes olid liigiti kogutud biojäätmete kogused järgnevad: 1971 tonni köögi- ja sööklajäätmeid, 3790 tonni aia- ja haljastusjäätmeid, seega kokku 5761 tonni biojäätmeid.

Seejuures arvestati, et antud jäätmeliikidest oleks hinnanguliselt 80% köögi- ja sööklajäätmeid ning 70% aia- ja haljastusjäätmeid võimalik tuleviku perspektiivis ka segaolmejäätmete hulgast välja sortida, mis koguseliselt teeks vastavalt 4786 tonni ning 1293 tonni aastas, kokku seega biojäätmeid 6079 tonni/a. Samas hinnati, et segaolmejäätmetest välja sorditavatest aia- ja haljastusjäätmete kogustest hinnanguliselt pool kompostitaks tekkekohal ning ülejäänud pool jõuaks kesksesse käitluskohta. Kokkuvõttes hinnati sobivaimate biojäätmete käitlusalternatiivide leidmiseks järgnevate biojäätmete tekkekogusete põhjal: 6757 tonni köögi- ja sööklajäätmeid, 4436,5 tonni aia- ja haljastusjäätmeid, kokku seega ~11 200 tonni biojäätmeid aastas.

Potentsiaalsete jäätmekäitlusettevõtete uuringu valimi puhul oli esmatähtsaks kriteeriumiks keskkonnaloaga lubatud biojäätmete (20 grupi jäätmed) käitlusmaht. Siinkohal võeti aluseks, et kompostimisega seotud ettevõtted, kes võiksid mahu poolest sobida, peaksid jääma Tartu maakonda, arvestades energia- ja kütusekulu jäätmete transportimisel. Biogaasi tootmise puhul võeti samuti aluseks käitlusmahud ning 20 grupi jäätmete olemasolu keskkonnaloas – kui 20 grupiga jäätmeid keskkonnaloas ei olnud (nt Ilmatsalu biogaasitehases), kuid käitis asus Tartu maakonnas, lisati ka see valimisse.

Tartu linnas korraldatud jäätmeveoga kokku kogutavate biojäätmete sobivaima käitlusvõimaluse leidmiseks vaadeldi kahte erinevat põhialternatiivi nende üheksa alamalternatiiviga, seejuures hinnati olemasoleva Aardlapalu ümberlaadimisjaama laiendamise võimalusi. Leiti, et Tartu linna biojäätmete käitlemiseks on sobivaimad alternatiivid:

a) ringmajanduse aspektist lähtuvalt: biogaasi tootmine olemasolevas Maardu või Ilmatsalu biogaasijaamas või piirkonda rajatavas uues biogaasijaamas;
b) hinnangulise investeeringu maksumuse aspektist lähtuvalt: köögi- ja sööklajäätmete vedu Maardu biogaasijaama ning aia- ja haljastusjäätmete kompostimine kottkompostimise teel;
c) maa-ala vajaduse aspektist lähtuvalt: köögi- ja sööklajäätmete vedu Maardu biogaasijaama ning aia- ja haljastusjäätmete kompostimine reaktor- ehk tunnelkompostimise teel.;
d) hinnangulisest jäätmete käitluse ühikmaksumusest lähtuvalt: köögi- ja sööklajäätmete suunamine anaeroobsesse kääritusse Ilmatsalu biogaasijaama ning aia- ja

haljastusjäätmete suunamine kottkompostimisele. Seejuures on kõige soodsam lahendus rajada kottkompostimine olemasoleva Aardlapalu prügila kompostimisväljaku laiendusena.

e) hinnangulisest jäätmete käitluse ühikmaksumusest lähtuvalt on teisel kohal Tartu piirkonda uue biogaasijaama rajamine köögi- ja sööklajäätmete käitlemiseks ning aia- ja haljastusjäätmete suunamine kottkompostimisele. Seejuures on kõige soodsam lahendus rajada kottkompostimine olemasoleva Aardlapalu prügila kompostimisväljaku laiendusena. Tartu piirkonda

Köögi- ja sööklajäätmete Ilmatsalu biogaasijaama suunamise peamiseks kitsaskohaks on vajadus hakata seejärel kääritusjääkis sertifitseerima. Anaeroobse kääritusprotsessi käigus tekkinud kääritusjäägile rakenduvad keskkonnaministri 10.05.2016 määruse nr 12 „Nõuded biolagunevatest jäätmetest biogaasi tootmisel tekkiva kääritusjäägi kohta“ nõuded. Määruse nr 12 lisas 3 on samuti esitatud biolagunevate jäätmete loend, mille korral ei ole sertifitseerimine vajalik ning praegusel hetkel kasutatakse Ilmatsalu biogaasijaamas biogaasi tootmisel jäätmeid, mille korral pole kääritusjäägi sertifitseerimine vajalik. Määruse nr 12 lisas 3 on toodud jäätmed grupist koodiga 02 (põllumajanduses, aianduses, vesiviljeluses, metsanduses, jahinduses ja kalapüügil ning toiduainete valmistamisel ja töötlemisel tekkinud jäätmed). Seega ei kuulu jäätmed grupist 20 (olmejäätmed (kodumajapidamisjäätmed ja samalaadsed kaubandus-, tööstus- ja ametiasutusjäätmed), sealhulgas liigiti kogutud jäätmed) erandi alla ning jäätmerežiimist väljumiseks on jäätmete koodidega 20 01 08 ning 20 02 01 käitlemise korral kääritusjäägi sertifitseerimine vajalik.

Tartu piirkonda uue biogaasitehase rajamise peamiseks kitsaskohaks on vajadus lisaks Tartu linnas kokku kogutavatele köögi- ja sööklajäätmetele ka mujalt Lõuna-Eestist (Tartu maakonnast, Põlva maakonnast, Valga maakonnast, Võru maakonnast, Jõgeva maakonnast ja Viljandi maakonnast) köögi- ja sööklajäätmete kogumine ja transport rajatavasse biogaasijaama.

Kasutatud materjalid

AgBag Systems. (2015). Composting. Loetud aadressil https://www.agbag.co.uk/services/composting/

Altof, K. (2019). Biogaasi väärindamistehnoloogiate võrdlus protsessis kasutatavate tehnoloogiliste seadmete tööparameetrite alusel. Magistritöö, Tallinna Tehnikaülikooli materjali- ja keskkonnatehnoloogia instituut.

AS Civitta Eesti, OÜ Alkranel. (2019). Uuring „Biolagunevatest jäätmetest ja/või reoveesettest saadud materjalide kasutamise võimalused haljastustöid hõlmavates riigihangetes ja karjääride korrastamisel“.

AS Elering. (2016). Gaasituru käsiraamat. Loetud aadressil https://elering.ee/gaasituru-kasiraamat

AS Enprima Estivo. (2005). Biolagunevate jäätmete käitlemine. Projekt 617539.

AS Maves. (2019). Tartu linna olmejäätmete sortimisuuring. Töö nr 18098.

Biogasworld. (2021). State-of-the-art dry and wet anaerobic digestion systems for solid waste. Loetud aadressil: https://www.biogasworld.com/news/dry-wet-anaerobic-digestion-systems/

Biolagunevatest jäätmetest komposti tootmise nõuded. (2021). RT I, 18.12.2020, 23. Loetud aadressil https://www.riigiteataja.ee/akt/110042013001?leiaKehtiv

Chibueze Azubuike, C., Blaise Chikere, C., Chijioke Okpokwasili, G. (2016). Bioremediation techniques–classification based on site of application: principles, advantages, limitations and prospects. *World Journal of Microbiology & Biotechnology*, 32 (11), 180.

Componordic System AB. (2007). Handbook for composting organic waste with the Ag-Bag System.

EEA (Euroopa Keskkonnaagentuur). (2020). Bio-waste in Europe – turning challenges into opportunities. Report No 4/2020.

Eesti Arengufond, Oja, A. (2013). Biometaani kasutamise avalikud hüved.

Eesti Biogaasi Assotsiatsioon. (2014). Tootmine ja kasutamine. Loetud aadressil http://eestibiogaas.ee/tootmine-ja-kasutamine/

Eesti Maaülikool, Eesti Taimekasvatuse Instituut. (2015). Biolagunevatest jäätmetest valmistatud komposti ohutu kasutamine põllumajanduses.

Eesti Maaülikool, MTÜ Jäätmehalduskeskus, OÜ Technopolis Grupp. (2020-2021). Eesti ringmajanduse tulevikupotentsiaali ja vajalike meetmete uuring: osa 3. Jäätmevaldkonna tulevikuvisioon.

Eesti Maaülikool. (2016). Abiks väiketootjale. Komposti valmistamine. Loetud aadressil http://www.recycling.ee/wp-content/uploads/2017/04/KOMPOST_2016.pdf

Eesti Põllumeeste Keskliit. (2008). Biogaasi tootmine ja kasutamine (käsiraamat).

Eesti Taimekasvatuse Instituut, Maaeluministeerium. (2020). Hea põllumajandustava.

ERKAS Valduse OÜ. (2011). Biogaasitehase rajamine Tartu linnaliinitranspordi kütuse tootmiseks. Teostatavus-tasuvusuuring.

Euroopa Komisjon. (2008). Roheline raamat. Biojäätmete käitlus Euroopa Liidus.

European Biomass Industry Association. (2022). Used Cooking Oil. Loetud aadressil https://www.eubia.org/cms/wiki-biomass/biomass-resources/challenges-related-to-biomass/used-cooking-oil-recycling/

Feo, G. D., Domenico, A. D., Ferrera, C., Abate, S., Osseo, L. S. (2020). Evolution of Waste Cooking Oil Collection in an Area with Long-Standing Waste Management Problems. *Sustainability*, 12, 8578. doi:10.3390/su12208578.

Food and Agriculture Organization of the United Nations (ÜRO Toidu- ja Põllumajandusorganisatsioon). (2013). Food wastage footprint: Impacts on natural Resources.

Grand, A. (2020). Compost: Vermicompost. Loetud aadressil https://www.best4soil.eu/assets/factsheets/5.pdf

Grant, A. (2022). Vegetable Oil In Compost Bins: Should You Compost Leftover Cooking Oil. Loetud aadressil https://bit.ly/3STU7Uh

J. N. Meegoda, B. Li, K. Patel, and L. B. Wang. (2018). A review of the processes, parameters, and optimization of anaerobic digestion. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, vol. 15, no. 10, doi: 10.3390/ijerph15102224.

Jäätmeseadus. (2022). RT I, 27.05.2022, 8. Loetud aadressil https://www.riigiteataja.ee/akt/127052022008?leiaKehtiv

Keskkonnaministeerium. (2014). Riigi jäätmekava 2014–2020 (pikendatud kuni 2022 lõpuni). Loetud aadressil https://www.envir.ee/media/808/download

Keskkonnaministeerium. (2021). Jäätmed. Loetud aadressil https://www.envir.ee/ringmajandus/jaatmed

Keskkonnaministeerium. (2021). Toidujäätmete tekke vältimise kava.

Keskkonnaministeerium. (2022). Ringmajanduse valge raamat.

Kumar, A., Samadder, S. R. (2020). Performance evaluation of anaerobic digestion technology for energy recovery from organic fraction of municipal solid waste: A review. *Energy*, 197, 117253.

Lohri, C. R., Diener, S., Zabaleta, I., Mertenat, A., Zurbrügg, C. (2017). Treatment technologies for urban solid biowaste to create value products: a review with focus on low- and middleincome settings. *Rev Environ Sci Biotechnol*, 16, 81–130. DOI 10.1007/s11157-017-9422-5.

Luude, A. (2021). Mis muutub seoses biogaasitehase rajamisega Maardusse. ERR arvamusartikkel. Loetud aadressil https://www.err.ee/1608204802/argo-luude-mis-muutub-seoses-biogaasitehase-rajamisega-maardusse 10.10.2022

Maailmapank. (2021). Eesti tahkete jäätme käitlemise süsteemiga seotud poliitikasoovitused ja tegevuskava.

Martinát, S., Dvořák, P., Frantál, B., Klusáček, P., Kunc, J., Kulla, M., Mintálová, T., Navrátil, J., van der Horst, D. (2013). Spatial consequensces of biogaas production and agricultural changes in the Czech Republic after EU accession: mutual symbiosis, coexistence or parasitism? *Acta Universitatis Palackianae Olomucensis – Geographica*, Vol. 44(2), 75-92.

Nizami, A., Murphy, D. (2010). What type of digester configurations should be employed to produce biomethane. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 1558-1568.

Nutriloop OÜ. (2020). Ringmajandusel põhineva biojäätmete käitluslahenduse väljatöötamine Keila linnale.

OÜ Alkranel. (2009/2010). Lääne-Virumaal Sõmeru vallas asuva Papiaru lauda (77004:001:0027) maaüksuse osadetailplaneeringu keskkonnamõju strateegiline hindamine. Aruanne.

OÜ Alkranel. (2010). Jäätmekäitluslahenduste tasuvusuuring „Vaivara valla Riigiküla kalmistu jäätmekava 2010-2015“.

OÜ Alkranel. (2017). Uuring „Jäätmete ringlussevõtuks ettevalmistamise ja ringlussevõtu parimate praktikate kaardistus“. Lõpparuanne.

OÜ Hendrikson & Ko, OÜ RealEnviron. (2006). AS Epler & Lorenz ohtlike jäätmete käitluskompleksi (asukohaga Ravila 75a, Tartu) keskkonnakompleksloa taotlemise keskkonnamõju hindamine. Keskkonnamõju hindamise lõpp-aruanne.

Piirsalu, E., Moora, H., Väli, K., Aro, K., Värnik, R., Lillemets, J. (2021). Toidujäätmete ja toidukao teke Eesti toidutarneahelas.

Riigikontroll. (2021). Olmejäätmete hulgas olevate biojäätmete ringlussevõtt.

Riya, S., Meng, L., Wang, Y., Lee, C. G., Zhou, S., Toyota, K., Hosomi, M. (2020). Dry Anaerobic Digestion for Agricultural Waste Recycling. DOI: 10.5772/intechopen.91229.

Rocamora, I., Wagland, S. T., Villa, R., Simpson, E. W., Fernández, O., Bajón-Fernández, Y. (2020). Dry anaerobic digestion of organic waste: A review of operational parameters and their impact on process performance. – *Bioresource Technology*, 299, 122681.

SA Stockholmi Keskkonnainstituudi Tallinna Keskus (SEI Tallinn). (2020). Segaolmejäätmete, eraldi kogutud paberi- ja pakendijäätmete ning elektroonikaromu koostise ja koguste uuring.

SA Stockholmi Keskkonnainstituudi Tallinna Keskus (SEI Tallinn). (2022). KHG jalajälje hindamise juhend.

Sherman, R. (2018). The worm farmer's handbook: mid-to large-scale vermicomposting for farms, businesses, municipalities, schools, and institutions. White River Junction, Vermont: Chelsea Green Publishing.

Sreenivasan, E. (2018). Handbook of vermicomposting technology. Loetud aadressil https://bit.ly/3MwqSo8

Statistikaameti andmebaas (tabeli kood RV0282U).

Sun, X., Ma, S., Han, L., Li, R., Schlick, U., Chen, P., Huang, G. (2018). The effect of a semi-permeable membrane-covered composting system on greenhouse gas and ammonia emissions in the Tibetan Plateau. *Journal of Cleaner Production*, 204, 778–787. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.09.061

Tartu linna jäätmehoolduseeskiri. (2021). RT IV, 29.05.2021, 10. Loetud aadressil https://www.riigiteataja.ee/akt/429052021010?leiaKehtiv

Tartu linna jäätmekava 2020-2024. (2020). Loetud aadressil https://www.riigiteataja.ee/aktilisa/4290/1202/0045/Lisa.pdf#

Tartu Linnavalitsus. (2016). Jäätmete sorteerimise juhend. Loetud aadressil https://tartu.ee/sites/default/files/uploads/Heakord_ja_keskkond/2016jaatmevoldikTartus.pdf