

SAVONIA

ammattikorkeakoulu

OPINNÄYTETYÖ - YLEMPI AMMATTIKORKEAKOULUTUTKINTO
TEKNIKAN JA LIIKENTEEN ALA

BIOJÄTTEEN ESIKÄSITTELYN TE- HOSTAMINEN BIOKAASULAITOK- SELLA

TEKNIS-TALOUDELLINEN ESISELVITYS

TEKIJÄ Harri Manu

Koulutusala Tekniikan ja liikenteen ala	
Tutkinto-ohjelma Ympäristötekniikan tutkinto-ohjelma	
Työn tekijä(t) Harri Manu	
Työn nimi Biojätteen esikäsittelyn tehostaminen biokaasulaitoksella: teknis-taloudellinen esiselvitys	
Päiväys 6.3.2023	Sivumäärä/Liitteet 65/2
Toimeksiantaja/Yhteistyökumppani(t) Gasum Oy	
<p>Tiivistelmä</p> <p>Opinnäytetyössä selvitettiin nykyisen biojätteen esikäsittelyprosessin ongelmakohtia ja pullonkauloja Gasum Oy:n Kuopion biokaasulaitoksella sekä pyrittiin löytämään niihin ratkaisuja. Tavoitteena oli kehittää nykyistä esikäsittelyprosessia siten, että biokaasuprosessiin päätyisi mahdollisimman paljon orgaanista ja mahdollisimman vähän epäorgaanista materiaalia, jotta hylkykustannukset saataisiin minimoitua ja lannoittelopputuotteiden laatu täyttäisi lainsäädännön vaatimukset.</p> <p>Työn teoriaosuudessa esiteltiin Kuopion biokaasulaitoksen prosessit, raaka-aineet ja lopputuotteet sekä perehdyttiin kirjallisuuden, tieteellisten artikkelien ja laitosvierailujen kautta muilla biokaasulaitoksilla käytössä oleviin esikäsittelymenetelmiin ja arvioitiin niiden toimintaa. Yleisimmin esikäsittelyprosesseissa käytetyt prosessilaitteet ja niiden toimintaperiaatteet esiteltiin myös. Työn käytännön osuudessa selvitettiin nykyisessä esikäsittelyprosessissa muodostuvien hylkyjakeiden koostumusta visuaalisesti ja laboratorioanalyysin. Selvitystyön tuloksena kehitys- ja tehostamiskohteiksi valittiin runsaasti orgaanista ainesta sisältävä karkea välipähylky sekä prosessihäiriöitä aiheuttanut raskaan hyllyn erottelu, jotka tiedettiin käyttökokemustenkin perusteella tehottomiksi yksikköprosesseiksi. Kirjallisuusselvityksen eri käsittelymenetelmistä ja prosessilaitteista valittiin potentiaalisimmat vaihtoehdot integroitavaksi nykyiseen prosessiin ja kontaktoitiin kyseisten laitteiden valmistajia ja maahantuojia mahdollisten koeajojen järjestämiseksi.</p> <p>Muovin erotteluun parhaaksi vaihtoehdoksi ajateltua rumpuseulaa ei onnistuttu saamaan koekäyttöön, mutta positiivisten käyttäjäkokemusten sekä lyhyen takaisinmaksuajan perusteella sen lisäämistä nykyiseen prosessiin voidaan suositella. Raskaan hyllyn erotteluun parhaimmaksi vaihtoehdoksi arvioitiin hydrosykloni, joka myös saatiin testikäyttöön Kuopion biokaasulaitokselle. Testijakson perusteella hydrosyklonin erottelutehokkuus ei kuitenkaan osoittautunut merkittävästi paremmaksi kuin nykyisessä prosessissa ja sen käyttökustannukset osoittautuivat suuriksi, jolloin laitteen hankinta osoittautui kannattamattomaksi.</p>	
Avainsanat Biokaasu, biojäte, prosessi, kehittäminen, tehostaminen, kiertotalous	

Field of Study Technology, Communication and Transport	
Degree Programme Master's Degree Programme in Environmental Engineering	
Author(s) Harri Manu	
Title of Thesis Development of the Biowaste Pre-treatment Process at a Biogas Plant: A Techno-economic Feasibility Study	
Date 6.3.2023	Pages/Appendices 65/2
Client Organisation /Partners Gasum Ltd	
<p>Abstract</p> <p>The aim of the thesis was to examine the problems and bottlenecks in the current biowaste pre-treatment process at the Kuopio biogas plant of Gasum Ltd and to find solutions to them. The goal was to develop the existing pre-treatment process in such a way that as much organic material and as little inorganic material as possible would end up in the biogas process, so that the reject costs could be minimized, and the quality of the fertilizer products would meet the requirements of the legislation.</p> <p>In the theoretical part of the work, the processes, raw materials and the end products of the Kuopio biogas plant were introduced, and through literature, scientific articles and plant visits, the pre-treatment methods used at other biogas plants were familiarized and their operation was evaluated. The process equipment typically used in pre-treatment processes and their operating principles were also presented. In the practical part of the work, the composition of the reject fractions formed in the existing pre-treatment process was examined both visually and with laboratory analyses. As a result of the research, the development areas were selected to include the coarse screening reject, which contains a lot of organic matter, and the separation of the heavy reject, which caused process failures. Both rejects were also known to be inefficient processes. From the various processing concepts and equipment, the most potential alternatives were selected to be integrated into the current process, and the manufacturers and importers of the equipment in question were contacted to organize possible test runs.</p> <p>The best option for plastic removal would probably be a drum screen, but a test trial could not be arranged. However, based on the positive user feedback and short payback period, adding a drum screen to the existing process can be recommended. A hydrocyclone was considered to be the best option for the separation of heavy reject and the device was given a test run at the Kuopio biogas plant. However, the separation efficiency of the hydrocyclone was not significantly better than that of the existing process and its operating costs proved to be high, making the investment in the device unprofitable.</p>	
<p>Keywords</p> <p>Biogas, biowaste, process, development, circular economy</p>	

SISÄLTÖ

1	JOHDANTO	9
2	TYÖN TAVOITE	11
2.1	Tutkimuskysymykset ja -menetelmät.....	11
2.2	Työn rajaukset.....	11
3	KUOPION BIOKAASULAITOS.....	13
3.1	Vastaanotettavat ja käsiteltävät jakeet	13
3.2	Pääprosessien esittely	13
3.2.1	Vastaanotto ja esikäsittely	13
3.2.2	Hydrolyysi ja hygienisointi	15
3.2.3	Biokaasureaktorit ja kaasun käsittely	15
3.2.4	Mädätysjäännöksen käsittely	16
3.3	Ravinnelopputuotteet	18
4	BIOJÄTTEEN ESIKÄSITTELYPROSESSIT	19
4.1	Esikäsittelyprosessi 1 (rumpuseula+repijä+mäntäpuristin).....	21
4.2	Esikäsittelyprosessi 2 (repijä+mäntäpuristin+ruuvipuristin).....	22
4.3	Esikäsittelyprosessi 3 (repijä-separaattori)	23
4.4	Esikäsittelyprosessi 4 (pulpperi+rumpuseula).....	23
4.5	Lakeuden Etappi Oy:n biokaasulaitoksen esikäsittelyprosessi (repijä-separaattori+rumpuseula) ...	24
4.6	Gasum Oy:n Turun biokaasulaitoksen esikäsittelyprosessi (pulpperi+hydrosykloni)	27
4.7	Gasum Oy:n Kuopion biokaasulaitoksen esikäsittelyprosessi (repijä-separaattori+välppä+laskeutus)	28
5	ESIKÄSITTELYPROSESSIEN PROSESSILAITTEET	29
5.1	Seulat ja välpät.....	29
5.2	Repijä (vasaramylly).....	30
5.3	Puristimet.....	31
5.4	Pulpperi.....	32
5.5	Hydrosykloni.....	33
6	KUOPION BIOKAASULAITOKSEN ESIKÄSITTELYPROSESSIN KEHITTÄMISMAHDOLLISUUDET	35
6.1	Biojätteen esikäsittelyn yksikköprosessit	35
6.1.1	Biojättesilo, siltanosturi ja kahmari	36
6.1.2	Tiger-biopuristin	37

6.1.3	Huber Ro-5 BIO Kompaktilaite.....	40
6.1.4	Hiekan- ja vaahdonpoisto.....	43
6.1.5	Hylkykuljetin ja -lava.....	44
6.2	Kehityskohteiden valinta.....	45
6.3	Laite- ja toimittajakartoitus.....	48
6.4	Tulokset.....	54
6.5	Rumpuseulan kannattavuustarkastelu.....	55
6.6	Hydrosyklonin kannattavuustarkastelu.....	56
6.7	Johtopäätökset.....	58
7	POHDINTA.....	59
	LÄHTEET.....	61
	LIITE 1: HYDROSYKLONIN KOEAJOSUUNNITELMA.....	63
	LIITE 2: MITTAUSPÖYTÄKIRJA.....	65

KUVALUETTELO

Kuva 1.	Gasum Oy:n tarjoamat tuotteet ja palvelut (Gasum Oy 2022b).....	9
Kuva 2.	Gasumin tuotantolaitokset kartalla (mukaillen Gasum 2022a).....	9
Kuva 3.	Kuorman purku ajoneuvosta lietteen vastaanottoaltaaseen (Harri Manu 2014, CC BY-SA).....	14
Kuva 4.	Kuvakaappaus murskaavilla terillä varustetusta Börger-lohkoroottoripumpusta YTM-Industrial Oy:n verkkosivuilta (YTM-Industrial Oy 2022).....	14
Kuva 5.	Biojätettä siilossa Kuopion biokaasulaitoksella (Harri Manu 2016, CC BY-SA).....	15
Kuva 6.	Kuopion biokaasulaitoksen kaasutoiminnot (Harri Manu 2018, CC BY-SA).....	16
Kuva 7.	Andritz D4 -dekanterilinko Kuopion biokaasulaitoksella (Harri Manu 2020, CC BY-SA).....	17
Kuva 8.	Mädätysjäännöksen varastointi Kuopion biokaasulaitoksella (Harri Manu 2016, CC BY-SA).....	17
Kuva 9.	Runsaasti muovia sisältänyt lannoite-erä Kuopion biokaasulaitoksella (Harri Manu 2022, CC BY-SA).....	19
Kuva 10.	Reaktorin sakkakertymä kuvattuna reaktorin kyljen miehistöluukusta (Harri Manu 2022, CC BY-SA).....	20
Kuva 11.	Rumpuseula+repijä+mäntäpuristin-esikäsittelyprosessi (mukaillen Alessi ym. 2020, 3).....	21
Kuva 12.	Repijä+mäntäpuristin+ruuvipuristin-esikäsittelyprosessi (mukaillen Alessi ym. 2020, 3).....	22
Kuva 13.	Repijä-separaattori-esikäsittelyprosessi (mukaillen Alessi ym. 2020, 3).....	23
Kuva 14.	Pulpperi+rumpuseula-esikäsittelyprosessi (mukaillen Alessi ym. 2020, 3).....	24
Kuva 15.	Lakeuden Etappi Oy:n Ilmajoen biokaasulaitoksen esikäsittelyprosessi (mukaillen Kanamäki 2022).....	25
Kuva 16.	Lakeuden Etapin biokaasulaitoksen ravinnelopputuotteessa ei ollut havaittavissa muovia tai muita pakkausmateriaaleja (Harri Manu 2022 CC BY-SA).....	26

Kuva 17. Sekä repijä-separaattorilta (kuvassa vasemmalla) että rumpuseulalta (kuvassa oikealla) tulevat hylkyjakeet eivät silmämääräisesti arvioituna sisältäneet paljoa vettä (Harri Manu 2022 CC BY-SA).	26
Kuva 18. Gasum Oy:n Turun biokaasulaitoksen esikäsittelyn prosessikaavio (mukaillen BTA International 2019b, 20, 24; Lehtonen 2022)	27
Kuva 19. Gasum Oy:n Kuopion biokaasulaitoksen esikäsittelyn prosessikaavio	28
Kuva 20. Rumpuseulan toimintaperiaate (mukaillen Christensen 2011, 330)	29
Kuva 21. Täryseula (mukaillen Pihkala 2011, 41).....	30
Kuva 22. Iskumurskain eli vasaramylly (Pihkala 2011, 22)	31
Kuva 23. Ruuvipuristimen pääosat ja toimintaperiaate (mukaillen Tyagi ym. 2019, 328)	32
Kuva 24. Biojätetulppurin toimintaperiaate (mukaillen BTA International 2019a, 7).....	33
Kuva 25. Hydrosyklonin pääosat ja toimintaperiaate (mukaillen Pihkala 2011, 47)	34
Kuva 26. Biojätteen esikäsittelylaitteisto Kuopion biokaasulaitoksella (Harri Manu 2022 CC BY-SA).....	35
Kuva 27. Kahmari biojätessiilossa (Harri Manu 2022 CC BY-SA)	36
Kuva 28. Biojätessiilosta prosessiin kelpaamattomia, manuaalisesti poistettuja asioita: putkia, aurausviittoja, vaahdonpoistoputkia ja öljykanistereita (Harri Manu 2017 CC BY-SA)	37
Kuva 29. Siiloon päätynyt biojäteastia (Harri Manu 2016 CC BY-SA)	37
Kuva 30. Tiger-laitteen pääkomponentit: 1) Runko, 2) Jalat, 3) Syöttösuppilo, 4) Syöttöruuvi, 5) Murskaus- ja puristusryhmä, 6) Rejektiruuvi, 7) Sähkökeskus, 8) Ohjauskeskus, 9) Lisäsyöttöruuvi (varaus) (mukaillen Cesaro Mac Import 2013, 22)	38
Kuva 31. Yläkuvassa Tiger-laitteen murskaus- ja puristusvaihteen repijäakseli lattialla ennen asennusta ja alakuvassa laitteesta poistettu, kulunut akseli (Harri Manu 2015 CC BY-SA).....	39
Kuva 32. Huber Ro5-BIO-laitteen pääkomponentit: 1) Hiekanerotussäiliö, 2) Syöttöyhde, 3) Välppä, 4) Hiekanerotuksen ilmastusjärjestelmä, 5) Hiekanlajitinruuvi, 6) Akseptin poistoyhde, 7) Vaahdonpoistoruuvi, 8) Hiekankeräysruuvi (mukaillen Huber SE 2014b, 6)	41
Kuva 33. Huber Ro-5 BIO-kompakttilaitteen hienoväljän osat (Harri Manu 2022 CC BY-SA).....	42
Kuva 34. Ro5-BIO-laitteen hienoväljän poistamaa hylkyä (Harri Manu 2020 CC BY-SA).....	43
Kuva 35. Vasemmalla Huber-laitteen poistamaa, raskasta hiekka-munankuorihylkyä ja oikealla kevyttä rasva-vaahtohylkyä (Harri Manu 2022)	44
Kuva 36. Tigerin karkeaa hylkyä ja Huber-laitteen välppähylkyä hylkylavalla (Harri Manu 2022, CC BY-SA). 45	
Kuva 37. Välppähyllyn poistokourua jatkettiin siten, että hylky palautui biojätessiiloon (Harri Manu 2022, CC BY-SA).	46
Kuva 38. Putkitukos avattuna lattialle Kuopion biokaasulaitoksella. Vaaleanruskea sakka on kananmunien kuorta (Harri Manu 2022, CC BY-SA).....	47
Kuva 39. Toimittaja 2 yritti seuloa käsitettävää materiaalia manuaalisesti (Lehtisalo 2022).	48
Kuva 40. Hydrosykloni (keskellä) Kuopion biokaasulaitoksella (Harri Manu 2022, CC BY-SA)	50
Kuva 41. Hydrosyklonin syötön ja purun toteutus Kuopion biokaasulaitoksella (Manu 2023, CC BY-SA)	51
Kuva 42. Laitteiden erottelema materiaali kerättiin kippikontteihin (Harri Manu 2022, CC BY-SA).	52
Kuva 43. Ensimmäisinä koeajopäivinä syklonin erottelutulos oli erinomainen (Harri Manu 2022, CC BY-SA). 53	

Kuva 44. Koeajojen edetessä syklonin poistama hylky muuttui kosteammaksi (Harri Manu 2023, CC BY-SA).	53
Kuva 45. Suositus Kuopion biokaasulaitoksen esikäsittelyprosessin kehittämiseksi ja tehostamiseksi.....	58

1 JOHDANTO

Gasum Oy on pohjoismainen kaasu- ja energiamaarkkinoiden asiantuntijayhtiö, joka tarjoaa energia- ratkaisuja ja asiantuntijapalveluita tie- ja meriliikenteeseen, teollisuuteen, energiantuotantoon sekä maanviljelyyn. Gasumin tarjoamia energiatuotteita ovat bio- ja maakaasu (myös nesteytettyinä) sekä sähkö. Gasum rakentaa ja ylläpitää omaa tieliikenteen tankkausasemaverkostoa sekä tarjoaa poltto- aineratkaisuja ja bunkrauspalveluja meriliikenteeseen. Lisäksi yhtiö tarjoaa energiamaarkkina-, portfo- lio management- ja trading-palveluja sekä kiertotalousratkaisuja (ks. kuva 1.) (Gasum Oy 2022b).



Kuva 1. Gasum Oy:n tarjoamat tuotteet ja palvelut (Gasum Oy 2022b)

Gasum on 17 biokaasulaitoksellaan (ks. kuva 2) ja 650 GWh:n tuotantomäärällään yksi pohjoismai- den johtavista biokaasun tuottajista ja omalla tuotannollaan se mahdollistaa kestävän kiertotalouden toteutumista tuottamalla uusiutuvaa energiaa ja kierrätysravinteita mm. jätevesilietteistä ja biojät- teistä. Yhtiö käsittelee laitoksillaan vuosittain n. 900 000 tonnia biohajoavia jätteitä ja sivuvirtoja sekä tuottaa saman verran kierrätyslannoitteita ja -ravinteita. (Gasum Oy 2022b; Gasum Oy 2022a.)



Kuva 2. Gasumin tuotantolaitokset kartalla (mukaillen Gasum 2022a)

Biokaasuprosessin lopputuotteena syntyvää käsittelyjäännöstä eli mädätysjäännöstä on mahdollista käyttää maataloudessa lannoitteena, maanparannusaineena tai hyödyntää viherrakentamisessa.

Lopputuotteesta voidaan myös jalostaa erilaisia konsentraatteja esimerkiksi teollisuuden tarpeisiin. Lopputuotteiden laatu ja käyttötarkoitus riippuu paitsi laitoksen sijainnista ja toimintaympäristöstä, mutta myös käytettävien raaka-aineiden laadusta ja koostumuksesta. Ravinteet eivät häviä biokaasuprosessissa vaan ne siirtyvät käsiteltävästä raaka-aineesta eli syötteestä mädätysjäännökseen. (Horn, Seppänen, Winquist, Lehtoranta & Luostarinen 2020, 12–13.)

Biokaasulaitoksilla käytettävänä syöteinä toimivat laajasti erilaiset biohajoavat jätteet ja sivuvirrat. Merkittävimmät Gasumin Suomen laitoksilla käsiteltävät jakeet ovat yhdyskuntien jätevesilietteet (puhdistamoliete), erilliskerätty biojäte, kauppojen ruokahävikki (pakkauksellinen biojäte) ja elintarviketeollisuuden sivuvirrat. Biojätteitä käsitellään suurimmalla osalla Gasumin Suomen yhdeksästä laitoksesta. (Gasum Oy 2022a.)

Biojätteiden sisältämät epäpuhtaudet ja reagoimattomat eli inertit materiaalit, kuten muovi, metalli ja maa-aines, tyypillisesti vaikeuttavat jätteenkäsittelyn ja biokaasuprosessin operointia sekä voivat päätyä käsittelyjäännökseen aiheuttaen kierrätysravinteisiin laatuvaihteluita ja -poikkeamia. Biojätteille tehdäänkin yleensä ennen biokaasuprosessiin johtamista mekaaninen esikäsittely, jossa epäpuhtaudet pyritään poistamaan mahdollisimman tehokkaasti. Maailmalla on käytössä useita erilaisia biojätteen esikäsittelymenetelmiä, jotka koostuvat tyypillisesti useista eri laitteista ja vaiheista. Esikäsittelyn tehokkuuden mittareina voidaan pitää ainakin lopputuotteeseen päätyvien epäpuhtauksien määrää sekä kaasuntuottoa. Epäpuhtauksia tehokkaasti poistavalle järjestelmälle ominaista on, että hylkyjakeeseen eli rejektiksi päätyy myös paljon biohajoavaa eli orgaanista materiaalia, mikä vaikuttaa biokaasun tuotantoon heikentävästi. (Alessi ym. 2020, 1–2).

Yleensä biojätteistä eroteltu hylkyrejekti on biokaasulaitostoimijalle myös kustannuserä, koska se on toiminnassa syntyvää jätettä, josta tyypillisesti joutuu maksamaan jätehuoltomaksun, jos jätettä ei voida hyödyntää omassa toiminnassa. Käsittelymenetelmän valinta onkin usein eräänlainen kompromissi ja valintaan vaikuttaa suuresti se, että halutaanko laitokselta maksimaalista kaasuntuottoa vai halutaanko käsittelyjäännöksestä mahdollisimman puhdasta. Suomessa jätehuolto on myös erittäin kilpailtu toimiala ja usein jätteen vastaanotto- ja käsittelysopimukset ovat pitkiä, useiden vuosien mittaisia. Käsittelylaitteiston valinta investointi- ja operointikustannuksineen määrittelee osaltaan, mihin hintaan alan toimijat pystyvät jätteenkäsittelypalvelua tarjoamaan.

Gasumin Suomen biokaasulaitoksilla biojätettä esikäsitellään pääasiassa kahdella eri menetelmällä: Kuopion, Honkajoen, Oulun ja Riihimäen laitoksilla käytetään murskaukseen ja välppäykseen perustuvaa laitteistoa, kun taas Turun ja Lohjan laitoksilla on käytössä märkähajotukseen ja -erotukseen perustuva jätepulpperi. Näiden kahden menetelmän muovinerottelun tehokkuutta tutkittiin Gasumissa vuonna 2021 tehdyssä opinnäytetyössä. Vuorisen (2021, 48) työssä selvitettiin, että pulperilaitteistolla päästään jopa 98 %:n erottelutehokkuuteen muovin määrässä mitattuna, kun taas murskaus-välppäyslaitteistolla jäähdään 94 %:iin. Eri menetelmien investointi-, käyttö- tai kunnossapitokustannuksia ei Vuorisen työssä selvitetty eikä asiaan otettu kantaa.

2 TYÖN TAVOITE

Tämän opinnäytetyön lähtökohtana oli selvittää nykyisen biojätteen käsittelyprosessin kehitys- ja tehostamismahdollisuuksia. Kehittämiskohteena oli Kuopion biokaasulaitoksen esikäsittelylaitteisto ja -prosessi, mutta selvityksen tulokset ovat sovellettavissa muillekin vastaavaa prosessia hyödyntäville laitoksille. Selvitystyön pohjana käytettiin laitoshenkilöstön käyttökokemuksia olemassa olevasta laitteistosta noin yhdeksän vuoden ajalta sekä prosessin- ja tuotannonohjauksjärjestelmistä saatua dataa aine- ja materiaalivirroista sekä prosessin käyttämistä käyttöhyödykkeistä.

2.1 Tutkimuskysymykset ja -menetelmät

Työssä haluttiin selvittää, kuinka nykyistä esikäsittelyprosessia voitaisiin kehittää siten, että mahdolliset investoinnit olisivat taloudellisesti kannattavia ja ne tehostaisivat käsittelyprosessin ja biokaasulaitoksen toimintaa. Jotta selvitystyö voitiin aloittaa, täytyi ensin selvittää prosessin ongelmakohdat ja niiden kehitystarpeet. Yksikköprosessien operointikustannuksia arvioitiin pääasiassa kuluvien käyttöhyödykkeiden ja muodostuvien hylkyjakeiden määrien perusteella vertaamalla niitä muiden toimijoiden prosesseihin. Käyttökokemusten ja käytettävissä olevan datan pohjalta tunnistettiin nykyisen esikäsittelyprosessin ongelmakohdat ja pullonkaulat. Tunnistetuista kehityskohteista valittiin potentiaalisimmat ja keskityttiin löytämään niihin ratkaisuja. Hylkyjakeista pyrittiin selvittämään niiden koostumusta pääasiassa laboratorioanalyysin (kuiva-ainepitoisuus ja hehkutushäviö) sekä visuaalisen arvioin.

Työn kirjallisuuskatsauksessa kuvattiin nykyinen biojäteprosessi materiaalivirtoineen sekä selvitettiin Suomessa ja maailmalla käytössä olevia käsittelymenetelmiä ja arvioitiin niiden toimivuutta saatavilla olevien tietojen pohjalta. Selvityksen perusteella voitiin valita kiinnostavimmat ja potentiaalisimmat laitteet sekä arvioitiin, millainen laitekokonaisuus voisi toimia biojätteen esikäsittelyssä parhaiten ja miltä osin parhaiksi katsottuja laitteita olisi integroitavissa nykyiseen esikäsittelyprosessiin.

Työn käytännön osuudessa tavoitteena oli tutustua selvitystyöhön valittujen laitteiden toimintaan joko hankkimalla laitteistoja koekäyttöön tai vierailemaan kohteissa, joissa kyseisiä laitteita on käytössä. Jossain tapauksessa käsiteltävää materiaalia lähetettiin potentiaaliselle laitetoimittajalle, joka arvioi näytteen perusteella, soveltuuko heidän laitteensa ko. materiaalin käsittelyyn.

Saatujen tulosten pohjalta valittiin potentiaalisimmat vaihtoehdot sille, miten nykyistä prosessia olisi kannattavinta kehittää. Eri vaihtoehdoille arvioitiin kannattavuus arvioimalla takaisinmaksuaikaa vertaamalla hankinta- ja käyttökustannuksia saavutettuun hyötyyn nähden.

2.2 Työn rajaukset

Selvitystyö tehtiin pääasiassa Kuopion biokaasulaitoksella ja kyseisen laitoksen prosessia ja tuotantotiloja ajatellen. Selvitystyön ulkopuolelle jätettiin laitetoimittajat, joiden ratkaisut olisivat ensiarvion mukaan tulleet huomattavan kalliiksi (pitkä takaisinmaksuaika) tai olisivat vaadittavan asennustilan tai muun syyn vuoksi hankalia integroitavaksi nykyiseen prosessiin. Koska kyseessä oli myös taloudellinen selvitys, haluttiin selvitystyötä kohdistaa erityisesti laitteisiin ja toimittajiin, joilla olisi saatavissa kustannussäästöjä esimerkiksi hylkymäärän, huoltokustannusten tai energiankulutuksen alenemisen kautta eli työssä ei ensisijaisesti lähdetty hakemaan lopputuotteiden laadun kehittämistä vaan

mahdolliset parannukset ravinnetuotteiden laadussa tulisivat selvitystyön sivutuotteena. Toisaalta lähtökohtana kuitenkin oli, ettei lopputuotteiden laatu myöskään kärsisi kehitystyön seurauksena. Eri yksikköprosesseista ei välttämättä ollut saatavilla tarkkaa tietoa esimerkiksi niiden käyttämisestä energiavirroista, jolloin prosessin kuluttamaa sähköenergiaa arvioitiin laitteiden sähkömoottorien nimellistehojen sekä moottorien käyttöaikojen perusteella.

3 KUOPION BIOKAASULAITOS

Gasum Oy:n Kuopion biokaasulaitos on vuonna 2014 käyttöönotettu, mesofiiliseen (lämpötila n. 37–39 °C) märkämädätykseen perustuva yhteismädätyslaitos, jonka jätteenkäsittelykapasiteetti on 60000 t/a ja kaasuntuotantokapasiteetti 35 GWh/a. Laitos vastaanottaa ja käsittelee erilaisia biohajoavia jätteitä ja lietteitä yhdyskunnista ja teollisuudesta. Biokaasuprosessissa orgaaniset jätteet mädätetään anaerobireaktoreissa hapettomissa olosuhteissa, jolloin syntyy biokaasua, joka myydään hyödynnettäväksi sähkön ja kaukolämmön tuotannossa. Reaktoripoisteesta eli käsittelyjäännöksestä jalostetaan erilaisia ravinne- ja lannoitetuotteita maatalouteen ja teollisuuteen. (Gasum 2022a.)

3.1 Vastaanotettavat ja käsiteltävät jakeet

Biokaasuprosessin raaka-aineina eli syötteinä käytetään mm. puhdistamolietteitä, biojätteitä, rasva-kaivojätteitä sekä elintarviketeollisuuden sivuvirtoja. Vuonna 2021 eri raaka-aineita vastaanotettiin yli 69000 tonnia eli laitos pyörii erittäin suurella käyttöasteella. Vastaanotetuista jätteistä noin puolet oli puhdistamolietteitä, n. 30 % teollisuuden sivuvirtoja ja muita lietteitä ja n. 20 % biojätteitä. (Gasum 2022c, 3.)

Jätejakeet toimitetaan laitokselle autokuljetuksina ja kuormat punnitaan autovaa’alla. Laitoksella on kaksi erillistä vastaanottolinjaa ja jätteiden purkupaikka biokaasulaitoksella riippuu siitä, sisältääkö tuotava jäte eroteltavia epäpuhtauksia, kuten pakkausmateriaaleja. Jätteen kuiva-ainepitoisuus ei vaikuta purkupaikkaan. Mikäli jätteessä ei ole eroteltavia materiaaleja, puretaan kuormat lietteen vastaanottoon. Muussa tapauksessa jäte otetaan vastaan biojätteen vastaanottolinjaan, jossa siitä erotellaan epäpuhtaudet ennen johtamista prosessiin lopputuotteiden korkean laadun sekä prosessin häiriöttömän toiminnan varmistamiseksi.

3.2 Pääprosessien esittely

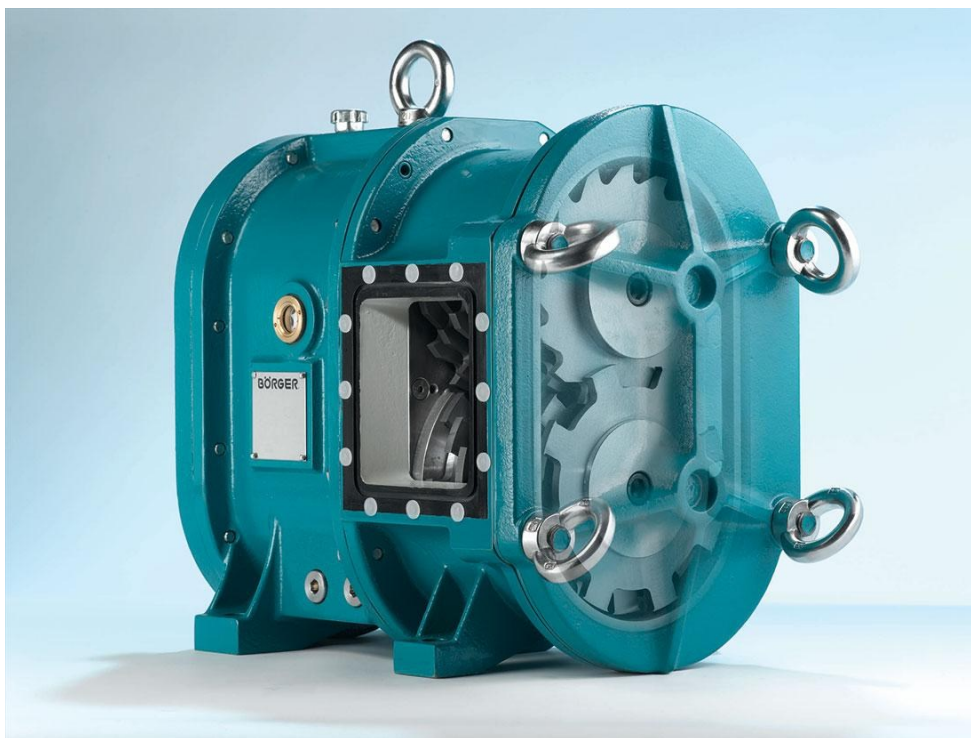
Biokaasulaitoksen pääprosesseja ovat vastaanotto ja esikäsittely, hydrolyysi ja hygienisointi, biokaasureaktorit, mädätysjäännöksen käsittely sekä kaasunkäsittely. Lisäksi laitoksella on useita apuprosesseja, kuten ilmanvaihto ja hajukaasujen käsittely sekä vesijärjestelmät, mutta niitä ei esitellä tässä työssä.

3.2.1 Vastaanotto ja esikäsittely

Lietemäiset jätteet puretaan suoraan ajoneuvosta tilavauudeltaan 400 m³:n vastaanottoaltaaseen (ks. kuva 3), jossa tehokkaalla sekoituksella ja laimentamalla materiaali saatetaan haluttuun, n. 8–12 %:n sakeuteen. Tämän jälkeen materiaali pumpataan kiviloukun ja linjamurskaimen kautta prosessiin. Kiviloukkuun kerätään virtauksen mukana tulevat kivet ja muut kovat esineet, jotta ne eivät vaurioittaisi prosessin pumppuja ja sekoittimia. Linjamurskain (ks. kuva 4) saattaa materiaalin mukana edelleen mahdollisesti tulevat, suuret kiintoainepartikkelit ja -flokkit Maa- ja metsätalousministeriön asetuksen lannoitevalmisteista 24/11 mukaiseen, alle 12 mm:n palakokoon hygienisointia varten Linjamurskain on Börger-lohkoroottoripumppu, jossa on kiintoaineiden murskaamiseen tarkoitettut Multicrusher-terät. (Watrec 2014a; Watrec 2014b, 3–4; YTM-Industrial 2022.)



Kuva 3. Kuorman purku ajoneuvosta lietteen vastaanottoaltaaseen (Harri Manu 2014, CC BY-SA)



Kuva 4. Kuvakaappaus murskaavilla terillä varustetusta Børger-lohkoroottoripumpusta YTM-Industrial Oy:n verkkosivuilta (YTM-Industrial Oy 2022)

Biojätteet ja muut eroteltavia epäpuhtauksia sisältävät jätejakeet vastaanotetaan biojätteen vastaanottolinjaan. Jätteet puretaan suoraan ajoneuvosta n. 100 m³:n maanalaiseen betonisiiloon (ks.

kuva 5), josta ne siirretään kahmarilla esikäsittelyyn. Esikäsittelyssä jätteistä pyritään poistamaan mahdollisimman paljon pakkausmateriaaleja, kuten metallia ja muovia sekä raskasta ainesta, kuten hiekkaa, mutta kuitenkin siten, että hylkyjakeeseen päätyisi mahdollisimman vähän orgaanista materiaalia tai vettä. Esikäsittelyn aikana biojäte laimentuu n. 10–12 %:n sakeuteen ja esikäsitelty biojäteliete johdetaan lietteiden vastaanottoaltaaseen, jossa molempiin linjoihin vastaanotetut jakeet sekoittuvat yhdeksi syötesuspensioksi ennen pumppaamista biologiseen prosessiin. (Watrec 2014a; Watrec 2014b, 2, 29).



Kuva 5. Biojätettä silossa Kuopion biokaasulaitoksella (Harri Manu 2016, CC BY-SA)

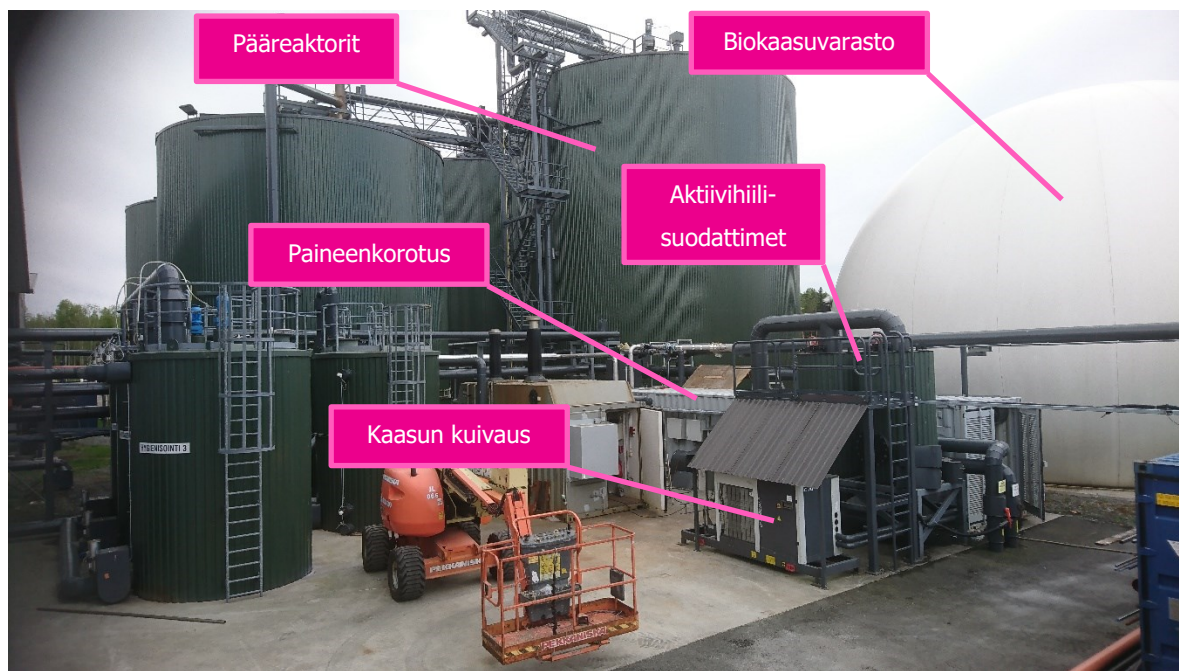
3.2.2 Hydrolyysi ja hygienisointi

Vastaanottoaltaasta syöte pumpataan tilavuudeltaan n. 900 m³:n hydrolyysisäiliöön, joka toimii muun prosessin tasaussäiliönä. Hydrolyysisäiliössä syöte edelleen homogenisoituu ja biologinen prosessi käynnistyy orgaanisten partikkelien liukoistumisen alkaessa. Hydrolyysisäiliöstä syöte pumpataan hygienisointiin, jossa sen lämpötila nostetaan ensin putkilämmönvaihtimilla yli 70 °C:seen ja tämän jälkeen hygienisointiyksiköihin, joissa syöte viipyy tunnin ajan, jolloin sen sisältämät taudinaiheuttajat kuolevat lämpötilan vaikutuksesta. Tunnin käsittelyajan jälkeen syöte jäädytetään mesofiiliselle lämpötila-alueelle ja pumpataan biokaasureaktoreihin (Watrec 2014a; Watrec 2014b, 5–6.)

3.2.3 Biokaasureaktorit ja kaasun käsittely

Biokaasulaitoksen teräsrakenteiset pääreaktorit (2 kpl) ovat tilavuudeltaan n. 2800 m³/kpl. Biokaasureaktorit ovat täyssekoitteisia pystyreaktoreita, joita operoidaan jatkuvatoimisesti. Biokaasureaktoreissa tapahtuu hapettomissa olosuhteissa biologinen hajoamisprosessi, jonka lopputuotteena syntyy biokaasua, joka on kaasuseos, jonka keskimääräinen koostumus on n. 65 % metaania ja 35 % hiilidioksidia sekä pieniä määriä rikkivetyä ja muita epäpuhtauksia. Biokaasu kerätään talteen reaktorien yläosasta. Biokaasureaktoreista massa pumpataan vielä 900 m³:n jälkimädätysreaktoriin, jossa käsitellyn massan biologinen aktiivisuus vähenee ja sen kaasuntuotanto lakkaa. (Konepaja Survonon 2014, 6; Watrec 2014a; Watrec 2014b, 6, 49–55.)

Kaasutoiminnot on esitetty kuvassa 6. Biokaasureaktoreissa muodostunut biokaasu johdetaan välivarastoitavaksi 1800 m³:n kaasupalloon. Ennen paineenkorotusta ja toimittamista asiakkaalle kaasu kuivataan jäädyttämällä se alle 5 °C:seen, jolloin siitä kondensoituu pois kosteutta. Kuivauksen jälkeen kaasusta poistetaan epäpuhtaudet aktiivihiilisuodattimella ja kaasu paineistetaan sen toimittamiseksi asiakkaalle (Waterc 2014b, 66–75).



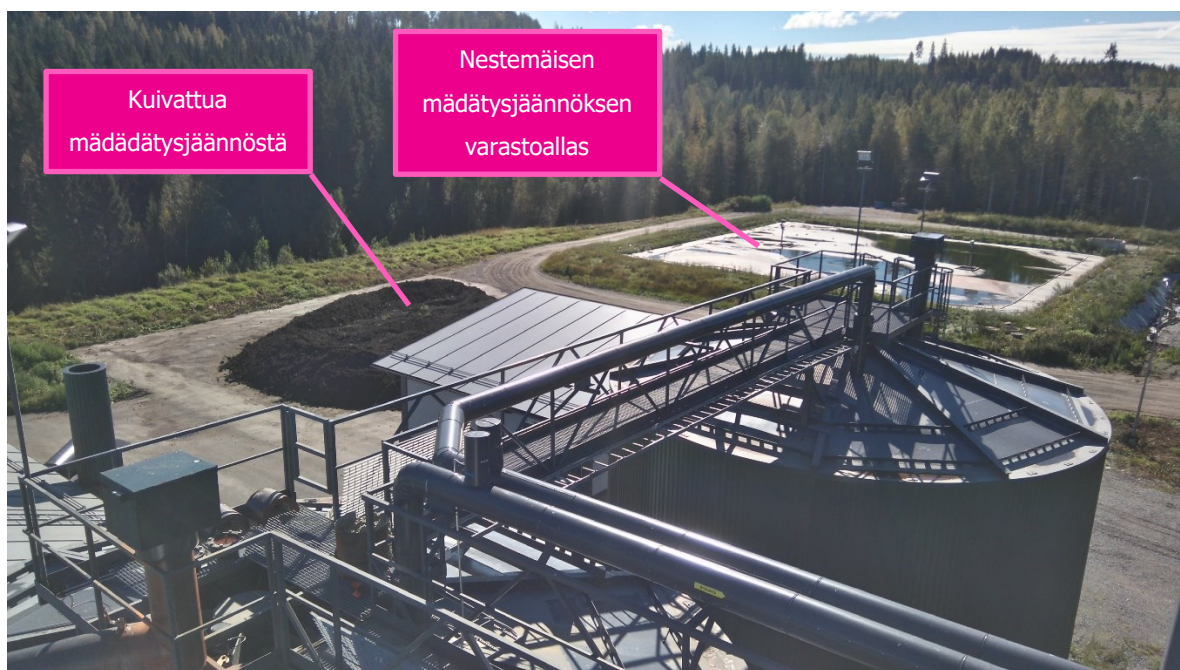
Kuva 6. Kuopion biokaasulaitoksen kaasutoiminnot (Harri Manu 2018, CC BY-SA)

3.2.4 Mädätysjäännöksen käsittely

Jälkimädätysreaktorista stabiloitunut käsittelyjännös voidaan sellaisenaan pumpata varastoaltaisiin, josta se toimitetaan maatalouteen lannoitteeksi tai se voidaan johtaa vedenerotukseen, jossa siitä erotellaan dekantterilingoilla (ks. kuva 7) nestettä. Nestejäte voidaan kierrättää prosessin alkupäähän vastaanottoon ja esikäsittelyyn laimennosvedeksi tai ohjata varastosäiliöihin toimitettavaksi typpiravinteena teollisuuteen. Lingolla kuivattu käsittelyjännös varastoidaan laitoksen varastokentällä, josta se voidaan lastata toimitettavaksi lannoitteena esimerkiksi maatalouteen. Käsittelyjännösten varastointi on esitetty kuvassa 8. (Watrec 2014b, 8–10.)



Kuva 7. Andritz D4 -dekanterilinko Kuopion biokaasulaitoksella (Harri Manu 2020, CC BY-SA)



Kuva 8. Mädätysjäännöksen varastointi Kuopion biokaasulaitoksella (Harri Manu 2016, CC BY-SA)

3.3 Ravinnelopputuotteet

Maa- ja metsätalousministeriön asetuksen mukaan puhdistamolietettä sisältävät valmisteet luokitellaan virallisesti maanparannusaineiksi, mutta niitä koskevat samat vaatimukset kuin muitakin orgaanisia lannoitevalmisteita. Maanparannusaineet vaikuttavan maaperän ominaisuuksiin parantaen kasvien kasvuedellytyksiä. (Maa- ja metsätalousministeriön asetus lannoitevalmisteista 24/11, LIITE I.)

Biokaasulaitoksen hygienisoitu käsittelyjäännös on sellaisenaan valmista käytettäväksi lannoitevalmisteena ja sitä toimitetaan ylivoimaisesti eniten Kuopion biokaasulaitoksen kaikista valmisteista: vuonna 2021 n. 52 000 tonnia. Mädätysjäännöksestä osa kuivataan mekaanisesti dekantterilingoilla, jolloin syntyy kaksi jaetta: kuivattu mädätysjäännös, jonka kuiva-ainepitoisuus (TS, *total solids*) on n. 28–30 % sekä rejektivesi (TS n. 1 %). Kuivattu mädätysjäännös sisältää huomattavasti enemmän fosforia tuorepainoa kohden kuin linkoamaton, joten ravinteiden käyttöä voidaan optimoida valitsemalla lannoitevalmiste halutun pääravinteen mukaan. Vuonna 2021 linkokuivattua mädätysjäännöstä toimitettiin 10 500 tonnia. Linkouksessa syntynyttä rejektivettä käytetään mahdollisimman paljon prosessivetenä biojätteen esikäsittelyssä, mutta sitä toimitetaan myös metsäteollisuuden jätevesien käsittelyyn typpiravinteeksi sen korkean typpipitoisuuden, mutta alhaisen fosforipitoisuuden vuoksi. Vuoden 2021 toimitusmäärä oli 12 500 tonnia (Gasum 2022c, 4).

4 BIOJÄTTEEN ESIKÄSITTELYPROSESSIT

Lainsäädäntö ohjaa biokaasulaitoksilla valmistettavien, orgaanisten lannoitevalmisteiden laatua: Euroopan parlamentin ja neuvoston asetuksen (EU) 2019/1009 mukaisesti käsittelyjäännös saa sisältää makroskooppisia epäpuhtauksia muovien, metallien ja lasin muodossa yhteensä enintään 5 g/kg kuiva-ainetta. Lisäksi kansallinen lainsäädäntö voi asettaa vieläkin tiukempia rajoituksia. Maa- ja metsätalousministeriön asetuksessa lannoitevalmisteista 24/11 pakkaamatta myytävissä orgaanisissa lannoitevalmisteissa epäpuhtauksia saa esiintyä 0,5 % tuorepainosta. Kuvassa 9 on esitetty liikaa muovia sisältänyt, epäkurantti lannoite-erä Kuopion biokaasulaitoksella. Erä johduttiin toimittamaan merkittävien kustannuksin jätteenä jätteenkäsittelytoimijalle eikä sitä voinut käyttää lannoitteena. Helsingin seudun ympäristöpalvelujen (2016, 56) teettämän tutkimuksen mukaan valtaosa biojätteen sisältämästä epäpuhtauksista – ja siten myös biokaasuprosessiin päätyvästä – on biohajoamatonta muovia. Biohajoava muovikaan ei lyhyen viipymääjan vuoksi ennätä hajoamaan prosessissa vaan päätyy lopputuotteeseen, mutta kompostoituu ajan kuluessa.



Kuva 9. Runsaasti muovia sisältänyt lannoite-erä Kuopion biokaasulaitoksella (Harri Manu 2022, CC BY-SA)

Alessin ym. (2020, 1) mukaan biokaasulaitoksen anaerobisessa mädätysprosessissa epäpuhtaudet voivat aiheuttaa laiterikkoja ja toimintahäiriöitä, laitteiden ja materiaalien ennenaikaista kulumista sekä tukoksia ja kerrostumia putkistoihin ja säiliöihin. Tämänkin vuoksi on tärkeää esikäsitellä biojäte epäpuhtauksien poistamiseksi ennen johtamista biokaasuprosessiin. Kuopion biokaasulaitoksella

tyhjennettiin keväällä 2022 toinen pääreaktori sen pohjalle kertyneen sakan vuoksi. Pohjasakka (ks. kuva 10), joka koostui lähinnä hiekasta ja kananmunien kuorista, aiheutti jatkuvia tukoksia reaktorin purkuputkistossa ja -pumpuissa.



Kuva 10. Reaktorin sakkakertymä kuvattuna reaktorin kyljen miehistöluukusta (Harri Manu 2022, CC BY-SA)

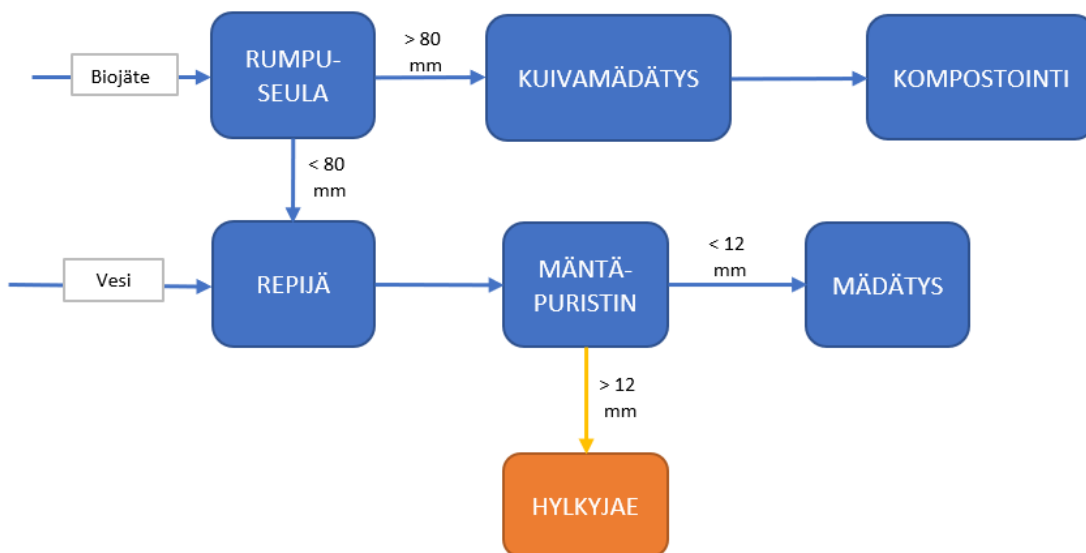
Biojätettä muodostuu ja sitä kerätään useissa eri lähteissä, kuten kaupoissa, ravintoloissa, teollisuudessa ja asumisessa. Biojätteen laadussa ja koostumuksessa onkin runsaasti eroavaisuuksia riippuen syntypaikasta. Leskisen (2022, 23) mukaan erilliskerätty biojäte sisältää n. 10 % biojätteeseen selkeästi kuulumatonta materiaalia, kuten muovia ja pakkausmateriaaleja. Lisäksi erilliskerätty biojäte sisältää keskimäärin n. 15 % pehmopaperia ja haravointijätettä, joista tyypillisesti pieninä määrinä ei ole haittaa biokaasuprosessille, mutta joita ei kuuluisi lajitella biojätteeseen. Pakattu biojäte on yrityksissä, kuten kaupoissa ja elintarviketeollisuudessa muodostuvaa, pakkauksellista biojätettä, esimerkiksi vanhentuneita elintarvikkeita. Pakattu biojäte sisältää tyypillisesti runsaasti muovia ja muita pakkausmateriaaleja, joten vastaanottavan käsittelylaitoksen tulee kyetä erottelemaan ne. Joissain tapauksissa biojäte saattaa sisältää runsaasti nestettä, mikä tulee huomioida laitosta ja sen laitteistoja suunniteltaessa: välivarastojen tulee olla nestetiiviitä ja siirtolaitteiden kyetä siirtämään myös nestemäisiä materiaaleja. Korroosionkestävyyden tulee myös kiinnittää huomiota.

Alessin ym. (2020) tutkimuksessa selvitettiin neljän eri biojätteen esikäsittelyprosessin eroja. Laitoksista kaksi sijaitsee Saksassa ja kaksi Itävallassa. Nämä prosessit esitellään tässä luvussa nimityksillä *esikäsittelyprosessi 1, 2, 3 ja 4*. Prosesseista kuvataan laitteet ja materiaalivirrat sekä hyllyn käsittely, jos ne on mainittu alkuperäisessä tutkimuksessa. Tutkimuksessa oli myös selvitetty laitosten syöttestä (esikäsittelyn jälkeen) ja hylkyjakeesta niiden sisältämien epäpuhtauksien, kuiva-aineen ja orgaanisen aineen määrä. Näiden perusteella arvioitiin kunkin prosessin toimivuutta.

Syksyllä 2022 tehtiin tähän työhön liittyvä vierailumatka Lakeuden Etappi Oy:n Ilmajoen biokaasulaitokselle. Lakeuden Etapin prosessi on esitelty luvussa 4.5. Gasum Oy:n Turun biokaasulaitoksen esikäsittelyprosessi on esitelty luvussa 4.6 ja Kuopion biokaasulaitoksen esikäsittelyprosessi luvussa 4.7.

4.1 Esikäsittelyprosessi 1 (rumpuseula+repijä+mäntäpuristin)

Esikäsittelyprosessi 1 (ks. kuva 11) on saksalainen biokaasulaitos, joka käsittelee kotitalouksien erilliskerättyä biojätettä n. 25 000 tonnia vuodessa. Biojäte syötetään rumpuseulaan, jossa erotellaan yli 80 mm:n partikkelikoon fraktio suoraan kuivamädätykseen ja sen jälkeen kompostoitavaksi. Rumpuseulan läpäissyt, alle 80 mm:n fraktio johdetaan repijään, jossa jae laimennetaan puhtaalla ja prosessivedellä 40 mm:n palakokoon. Tämän jälkeen jakeesta erotellaan mäntäpuristimella yli 12 mm:n partikkelit, jotka ohjataan hylkyyn ja jatkokäsiteltäväksi. Alle 12 mm:n fraktio johdetaan märämädätykseen. (Alessi ym. 2020, 2–3.)



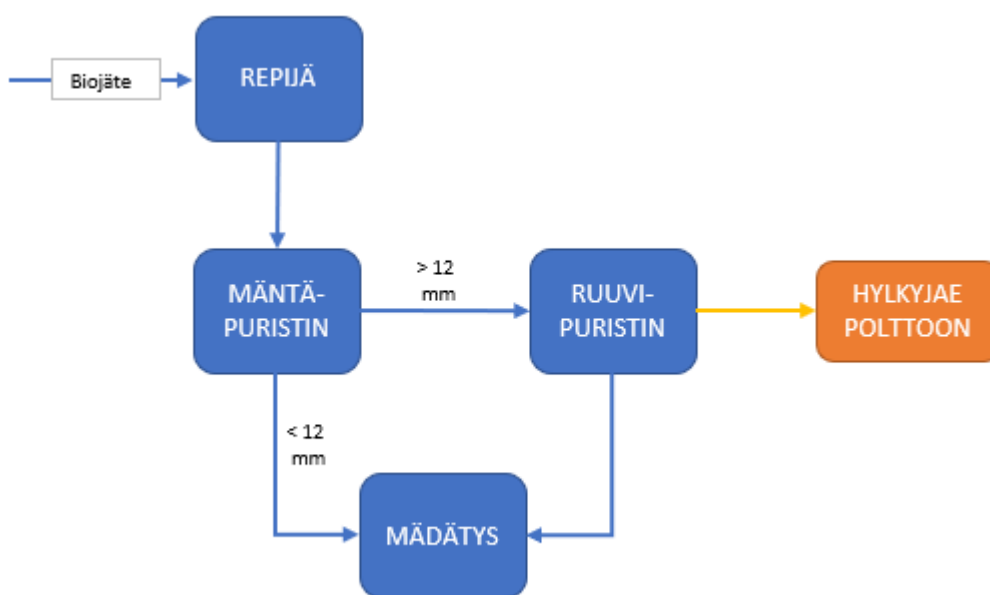
Kuva 11. Rumpuseula+repijä+mäntäpuristin-esikäsittelyprosessi (mukaiillen Alessi ym. 2020, 3)

Alessin ym. (2020, 4–6) tutkimuksessa prosessisakeuksista tai virtaamista ei ollut saatavissa tarkkaa tietoa, mutta käsittelyn jälkeiselle syötelle ja hylkyjakeelle tehtyjen analyysien perusteella syötteen

kuiva-aineesta 12,5 % on epäpuhtauksia (muovia, metallia, lasia ja inerttejä materiaaleja) ja hylkyjakeen kuiva-aineesta paljon, n. 73 % orgaanista materiaalia. Sekä syötteen että hylkyjakeen hehkutushäviö (VS, *volatile solids*) kuiva-aineesta on molemmilla n. 62 %, jota voidaan pitää melko alhaisena arvona biojäteperäiselle syötteelle, mistä on pääteltävissä, ettei prosessi toimi kovin hyvin ja että hylkyyn päätyy paljon biojätettä. Toisaalta kotitalouksien biojäte sisältää tyypillisesti myös harvointijätettä, jonka mukana tuleva, inertti maa-aines laskee syötteen orgaanisen aineen pitoisuutta. Tähän viittaa myös esimerkkitapauksen syötteen sisältämä suuri inerttien partikkelien osuus. Muovien määrä syötteessä on alhainen, vain 0,04 % kuiva-aineesta ja yhteensä makroskooppisia epäpuhtauksia (lasi, metalli ja muovi) syötteen kuiva-aineesta on 0,13 %. Hylkymäärä on esikäsittelyprosessi 1:ssä korkea, 26 % eli yli neljäsosa käsittelyyn sisään menevästä massasta päätyy hylkyyn.

4.2 Esikäsittelyprosessi 2 (repijä+mäntäpuristin+ruuvipuristin)

Esikäsittelyprosessi 2 (ks. kuva 12) on myös saksalainen biokaasulaitos, joka vastaanottaa ja käsittelee n. 5 000 t/a kauppojen ja ravintoloiden pakattua biojätettä. Biojäte lienee melko nestemäistä, koska laimennosvettä ei tarvitse lisätä ollenkaan. Biojäte ohjataan ensin repijään, jossa sen palakoko pienenee 30 mm:iin. Tämän jälkeen jae seulotaan mäntäpuristimessa karkeaan ja hienoon jakeeseen. Alle 12 mm:n hienojae ohjataan suoraan mädätykseen ja yli 12 mm:n jae johdetaan ruuvipuristimeen, jossa siitä puristetaan 12 mm:n seulaverkon läpi nestejake mädätykseen ja läpäisemätön jae hylkyjakeeseen toimitettavaksi polttolaitoksille. (Alessi ym. 2020, 2–3.)



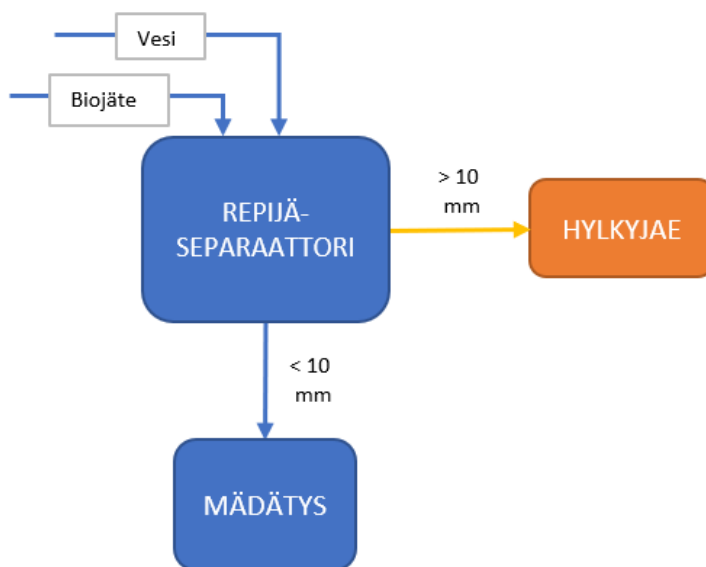
Kuva 12. Repijä+mäntäpuristin+ruuvipuristin-esikäsittelyprosessi (mukaiillen Alessi ym. 2020, 3)

Alessin ym. (2020, 4–6) mukaan prosessi toimii märkämädätysprosessiksi korkeassa sakeudessa, koska laimennosvettä ei lisätä. Syötteen VS/TS-pitoisuus on myös korkea, 93 % ja syöte sisältää epäpuhtauksia – pääasiassa inerttejä materiaaleja – 3 % kuiva-aineesta. Muoveja, metalleja ja lasia

syötteen epäpuhtauksien kuiva-aineesta on 0,7 %. Muodostuvan hylkyrejektin määrä on melko alhainen, n. 8 %, mutta hyllyn sisältämän orgaanisen aineen määrä suuri, 81 %.

4.3 Esikäsittelyprosessi 3 (repijä-separaattori)

Esimerkkiprosessi 3 (ks. kuva 13) on itävaltalainen biokaasulaitos, joka käsittelee kotitalouksista ja majoitustoiminnasta peräisin olevaa biojätettä 2 500 tonnia vuositasona. Määrä on melko pieni, mutta siinä on suuria, turismista johtuvia kausivaihteluita. Käsittelyprosessi on melko yksinkertainen: biojäte ja laimennosvesi johdetaan repijä-separaattoriin, joka on tässä tapauksessa vasaramylly ja seulotaan 10 mm:n seulaverkolla. Seulon läpäissyt aines johdetaan mädätykseen ja läpäisemätön fraktio hylkyyn. (Alessi ym. 2020, 2–3.)



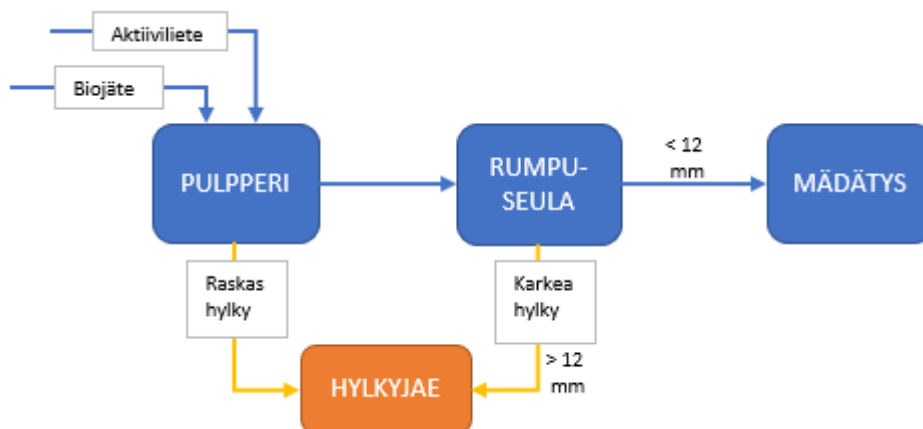
Kuva 13. Repijä-separaattori-esikäsittelyprosessi (mukaillen Alessi ym. 2020, 3)

Alessin ym. (2020, 4–6) mukaan esimerkkiprosessi 3:n esikäsittely syöte sisältää melko vähän (alle 4 % kuiva-aineesta) epäpuhtauksia, josta muovien, metallien ja lasin osuus on noin puolet. Syötteen heikutushäviö ja orgaanisen aineen pitoisuus oli korkea, mutta hylkyjakeeseen päätyi verrattain vähän orgaanista materiaalia, n. 29 %_{ka} hylkyjakeen massasta. Näiden seikkojen valossa prosessi vaikuttaisi toimivan hyvin yksinkertaisuudestaan huolimatta. Tosin käsiteltävä biojättemäärä on vuositasolla pieni eikä sisällä pakkauksellista biojätettä, joten epäpuhtauksien määrä vastaanotettavassa jätteessä lienee lähtökohtaisesti alhaisella tasolla.

4.4 Esikäsittelyprosessi 4 (pulpperi+rumpuseula)

Neljäs esimerkkiprosessi (ks. kuva 14) sijaitsee Itävallassa jätevedenpuhdistamon yhteydessä. Biojäte syötetään pulpperiin, jossa käytetään laimennosvetenä puhdistamoprosessin aktiivilietettä. Käsiteltävä biojättemäärä on pieni, n. 900 t vuodessa ja se on peräisin kotitalouksista ja majoitustoiminnasta. Pulpperissa orgaaninen materiaali hajoaa ja liettyy. Pulpperin pohjalle laskeutunut raskas materiaali johdetaan hylkyyn. Liettynyt biojäte johdetaan pulpperista rumpuseulaan, jossa jätteestä

seulotaan 12 mm:n silmäkoon seulaverkolla karkeat partikkelit pois. Karkea jae johdetaan hylkyyn ja seulan läpäissyt, alle 12 mm:n partikkelit mädätykseen. (Alessi ym. 2020, 2–3.)

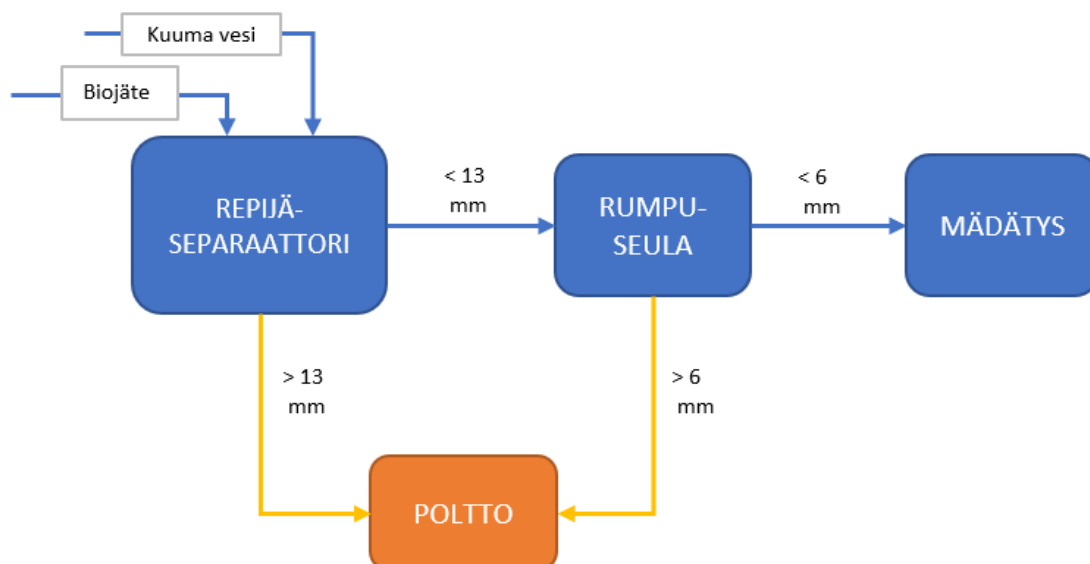


Kuva 14. Pulpperi+rumpuseula-esikäsittelyprosessi (mukaillen Alessi ym. 2020, 3)

Alessin ym. (2020, 4–6) mukaan esimerkkiprosessin 4 erottelu toimii hyvin ja syöte sisältää ainoastaan n. 3 %_{ka} epäpuhtauksia ja muovien, metallien ja lasin osuus on 0,42 %_{ka}. Toisaalta hylkyjakeeseen päätyy paljon myös orgaanista ainesta, minkä vuoksi hylkymäärä on myös korkea: 27 % käsitelyyn tulevasta materiaalista päätyy hylkyyn. Korkea syötteen puhtaustaso saavutetaan siis hylkymäärän kustannuksella, mikä kertoo siitä, että käsittelyjäännöksen korkealle laadulle annetaan paljon painoarvoa.

4.5 Lakeuden Etappi Oy:n biokaasulaitoksen esikäsittelyprosessi (repijä-separaattori+rumpuseula)

Osana tätä työtä järjestettiin tutustumisvierailu Lakeuden Etapin Ilmajoen biokaasulaitokselle, jonka prosessikaavio esitetty kuvassa 15. Biokaasulaitos käsittelee vuositasolla noin 5 600 tonnia erilliserättyä ja pakattua biojätettä kotitalouksista, ravintoloista ja elintarviketeollisuudesta. Biojätteet johdetaan repijä-separaattoriin, joka vaikuttaisi olevan hyvin vastaava vasaramyllysovellus kuin Kuopion biokaasulaitoksen Tiger-biopuristin. Erona Kuopion laitteeseen on pienemmällä, 13 mm:n silmäkoolla varustettu seulakori. Repijä-separaattoriin tuodaan myös vettä laimenteeksi. Erona muihin esikäsittelyprosesseihin, käytettävä laimennosvesi on hyvin kuumaa, noin 60 °C. Kanamäen (2022) mukaan kuuma vesi tehostaa elintarvikkeiden sisältämien rasvojen erottumista ja liukoistumista. Separatoorilta esiseulottu ja laimennettu biojäte johdetaan välisäiliön kautta pumppaamalla rumpuseulalle, jossa biojätteestä edelleen erotellaan karkeita partikkeleita. Käytössä olevan seulan seulakorin silmäkoko on 6 mm. Aiemmin käytössä on ollut myös pienemmän silmäkoon seulakori, mutta sen toimintaan ei oltu tyytyväisiä. Rumpuseulan jälkeen esikäsitelty biojäte putoaa painovoimaisesti seulan alla olevaan välisäiliöön, josta se johdetaan prosessiin.



Kuva 15. Lakeuden Etappi Oy:n Ilmajoen biokaasulaitoksen esikäsittelyprosessi (mukaillen Kanamäki 2022)

Kokonaishylkymäärä Lakeuden Etapin esikäsittelyprosessissa on Kanamäen (2022) mukaan n. 10 %, mitä voidaan pitää melko hyvänä saavutuksena siihen nähden, ettei laitoksen ravinnelopputuotteessa silmämääräisesti arvioituna vaikuttaisi olevan näkyviä epäpuhtauksia (ks. kuva 16). Sekä repijä-separaattorilta että rumpuseulalta tulevat hylkyjakeet vaikuttivat silmämääräisesti melko kuivilta (ks. kuva 17), koska rumpuseulan rejektinpoistoruuvi toimii myös kosteutta poistavana ruuvipuristimena. Maltillinen hylkyosuus ja epäpuhtauksista vapaa lopputuote kertovat, että prosessi toimii hyvin.

Kanamäen (2022) mukaan laitoksen reaktoreita ei ole tarvinnut koskaan tyhjentää, vaikka laitos on otettu käyttöön jo vuonna 2007 – seitsemän vuotta aiemmin kuin Kuopion laitos – mistä voidaan päätellä, ettei prosessiin myöskään kerry merkittäviä määriä sakkaa. Esikäsittelyprosessin käyttämä vesimäärä on hyvin maltillinen, hieman yli 2 m³ biojätetonna kohden. Käytettävä vesi on puhdasta verkostovettä eikä siis kierrätettyä prosessivettä kuten esimerkiksi useimmilla Gasum Oy:n laitoksilla.



Kuva 16. Lakeuden Etapin biokaasulaitoksen ravinnelopputuotteessa ei ollut havaittavissa muovia tai muita pakkausmateriaaleja (Harri Manu 2022 CC BY-SA).

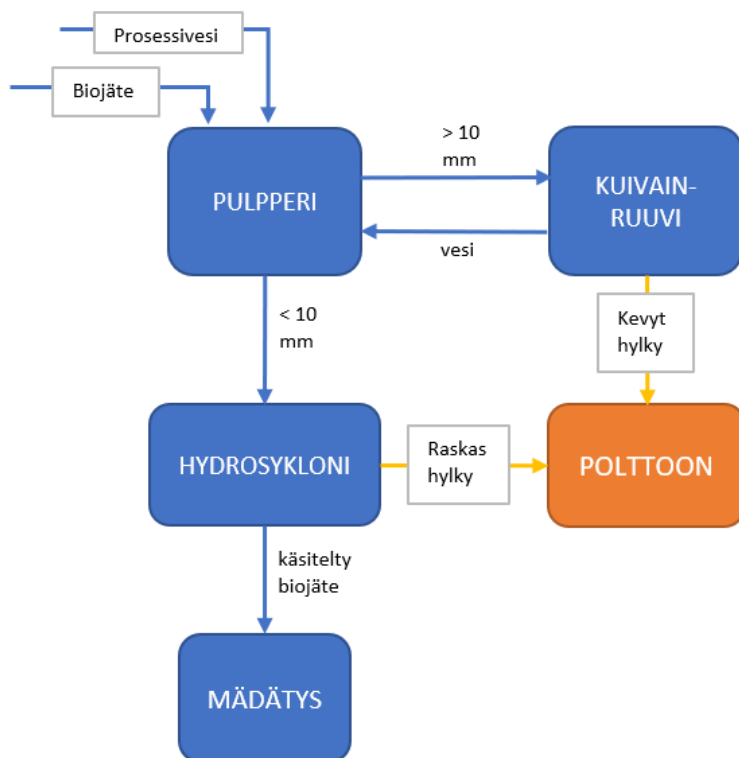


Kuva 17. Sekä repijä-separaattorilta (kuvassa vasemmalla) että rumpuseulalta (kuvassa oikealla) tulevat hylkyjakeet eivät silmämääräisesti arvioituna sisältäneet paljoa vettä (Harri Manu 2022 CC BY-SA).

4.6 Gasum Oy:n Turun biokaasulaitoksen esikäsittelyprosessi (pulpperi+hydro sykloni)

Gasum Oy:n Turun biokaasulaitoksella (ks. kuva 18) käsitellään vuositasolla n. 16 000 tonnia sekä erilliskerättyä että pakattua biojätettä. Esikäsittelyprosessissa biojätteet käsitellään erätoimisesti jätepulpperissa. Biojäte lastataan kahmarilla pulpperin syöttösuppilon, josta haluttu määrä biojätettä annostellaan ruuvikuljettimella pulpperin sisään, jonne on pumpattu valmiiksi sopiva määrä laimennosvettä. Sisään annosteltava biojäte nostaa veden pintaa, kunnes haluttu taso saavutetaan ja pulperointi voidaan aloittaa. (Lehtonen 2022.)

Pulpperin sisällä on hitaasti, n. 200 rpm pyörivä ruuvisekoitin, joka rikkoo biojätepusseja ja pakkaukset, jolloin biojäte pääsee liettymään. Pulpperin pohjalla on sihtilevy, jonka 10 mm:n rei'istä liettynyt biojäte poistetaan pulpperista. Sihtilevyä läpäisemätön, karkea hylkyjäte johdetaan vedenerotukseen, jossa jaetta siirretään ruuvikuljettimella yläviistoon, jolloin sen sisältämä vesi poistuu painovoimisesti ruuvien alapuolisen reikälevykotelon läpi. Erottunut vesi kierrätetään takaisin pulpperiin ja kuivattu hylkyjäte kerätään vaihtolavalle tai puristinkonttiin toimitettavaksi jätteenpolttolaitokselle. Pulpperista poistettu biojäte johdetaan seuraavaksi hydro sykloniin, jossa siitä erotellaan hiekkaa, kananmunien kuoria ja muita raskaita partikkeleita. Hydro syklonin jälkeen biojäte ohjataan prosessiin. (BTA International 2019b, 20, 24; Lehtonen 2022.)



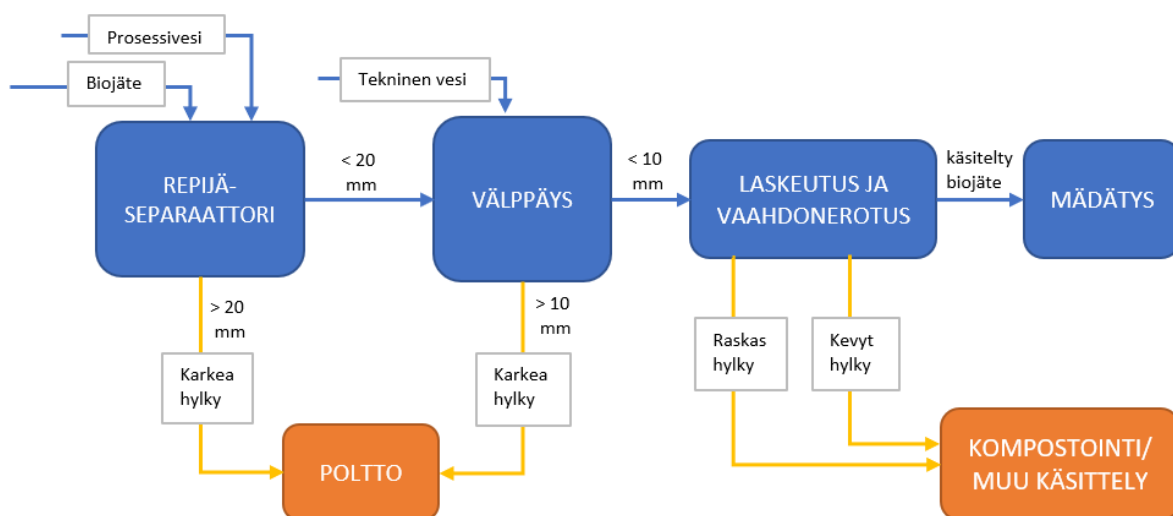
Kuva 18. Gasum Oy:n Turun biokaasulaitoksen esikäsittelyn prosessikaavio (mukaillen BTA International 2019b, 20, 24; Lehtonen 2022)

Turun biokaasulaitoksen esikäsittelyprosessista muodostuva hylkymäärä on keskimäärin n. 8,5 % vastaanotetun jätteen massasta, mitä voidaan pitää erittäin hyvänä tuloksena peilaten Vuorisen (2021, 46) selvitykseen, jossa vastaavan jätepulpperiproessin muovinerottelutehokkuus oli erittäin

korkea, 98,4 %. Hylkyjakeille tehtyjen analyysien mukaan hydro syklonin poistaman raskashylyn kosteuspitoisuus on keskimäärin 32 % ja orgaanisen aineen pitoisuus keskimäärin 21 % kuiva-aineesta. Pulpperilta poistettavan kevyen hylkyjakeen kosteus pitoisuus on keskimäärin 59 %. (Pinja Group 2022; Lounais-Suomen vesi- ja ympäristötutkimus Oy, 2020.)

4.7 Gasum Oy:n Kuopion biokaasulaitoksen esikäsittelyprosessi (repijä-separaattori+välppä+laskeutus)

Kuopion biokaasulaitoksen esikäsittelyprosessissa käsitellään Pinja Groupin (2021) mukaan vuosittain yhteensä n. 13 000 tonnia yhdyskuntien erilliskerättyä ja pakattua biojätettä. Biojäte syötetään esikäsittelyprosessiin jatkuvatoimisesti. Ensimmäisenä vaiheena toimii Tiger-biopuristin-repijä, joka on käytännössä pystyasenteinen vasaramylly, mutta toimii myös erottelijana eli separaattorina staattisen seulakorinsa ansiosta. Tigeriin syötetään laimennosvedeksi prosessivettä, joka on laitoksen prosessin loppupäässä käsiteltyjä jäännöksistä mekaanisesti lingoilla eroteltua rejektivettä. Tigerissä pakkaukset revitään auki, jolloin biojäte liettyy ja seuloutuu 20 mm:n seulaverkon läpi ja yli 20 mm:n partikkelit päätyvät hylkyyn. Liettynyt biojäte johdetaan välppäykseen, jossa seulotaan yli 10 mm:n partikkelit myös karkeaan hylkyjakeeseen. Välppän läpäissyt biojäte ilmastetaan, jolloin siitä erottuu raskaita partikkeleita, kuten hiekkaa ja kananmunien kuorta. Hiekanerotusaltaan pinnalta kaavitaan hylkyyn myös vaahtoa ja vähäisiä määriä kelluvia partikkeleita. Hiekan- ja vaahtonerotuksen jälkeen käsitelty biojäte johdetaan biokaasuprosessiin. Prosessikaavio on esitetty kuvassa 19.



Kuva 19. Gasum Oy:n Kuopion biokaasulaitoksen esikäsittely prosessikaavio

Laitoksen hylkyjakeiden koostumusta ei ole aiemmin määritetty, mutta määrällisesti vuonna 2021 eri hylkyjakeita muodostui n. 13 paino-% vastaanotettavien biojätteiden määrästä. Karkea hylkyjake toimitetaan polttolaitokselle ja laskeutuksen ja vaahtonerotuksen hylkyjake paikalliselle jätehuoltoyhtiölle kompostoitavaksi tai muuhun vastaavaan käsittelyyn (Pinja Group 2021).

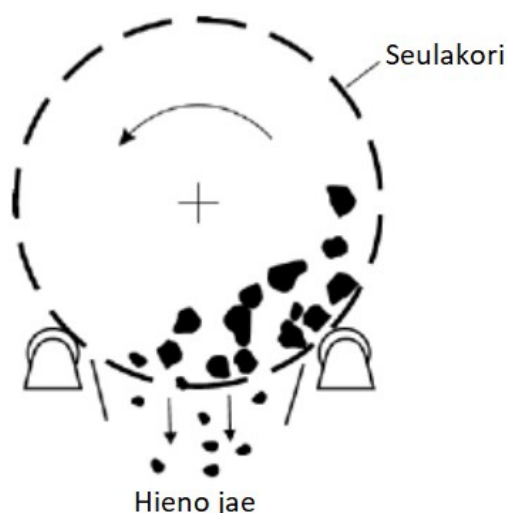
5 ESIKÄSITTELYPROSESSIEN PROSESSILAITTEET

Tässä luvussa esitellään edellisen luvun prosessikuvauksissa esiintyneet prosessilaitteet sekä niiden toimintaperiaatteet. Laitteilla on tyypillisesti useita eri valmistajia ja ne voivat erota toisistaan käsiteltävän materiaalin mukaan esimerkiksi valmistusmateriaalien osalta.

5.1 Seulat ja välpät

Seuloja eli lajittimia käytetään erottelemaan materiaalivirrasta karkeusasteeltaan erilaisia osia kahdeksi tai useammaksi jakeeksi. Seulonta voidaan suorittaa märkä- tai kuivaseulontana, joista ensin mainittua käytetään tyypillisesti jätteenkäsittelyssä. Seulonta voidaan suorittaa ennen tai jälkeen materiaalin murskausta. Seulat voidaan jakaa myös toimintansa perusteella staattisiin ja dynaamisiin lajittimiin. Yksinkertaisimmillaan seula tai välppä voi olla säleikkö, jonka tasavälein sijoitetut säleet tai palkit päästävät vain tietyn karkeusasteen partikkelit läpi. Dynaamisissa seuloissa erottelua tehostetaan liikkeen, kuten värähtelyn tai pyörimisen avulla. Tyypillisiä jätteenkäsittelyssä käytettäviä seuloja ovat esimerkiksi rumpu- ja täryseulat. (Paalumäki, Lappalainen & Hakapää 2015, 225.)

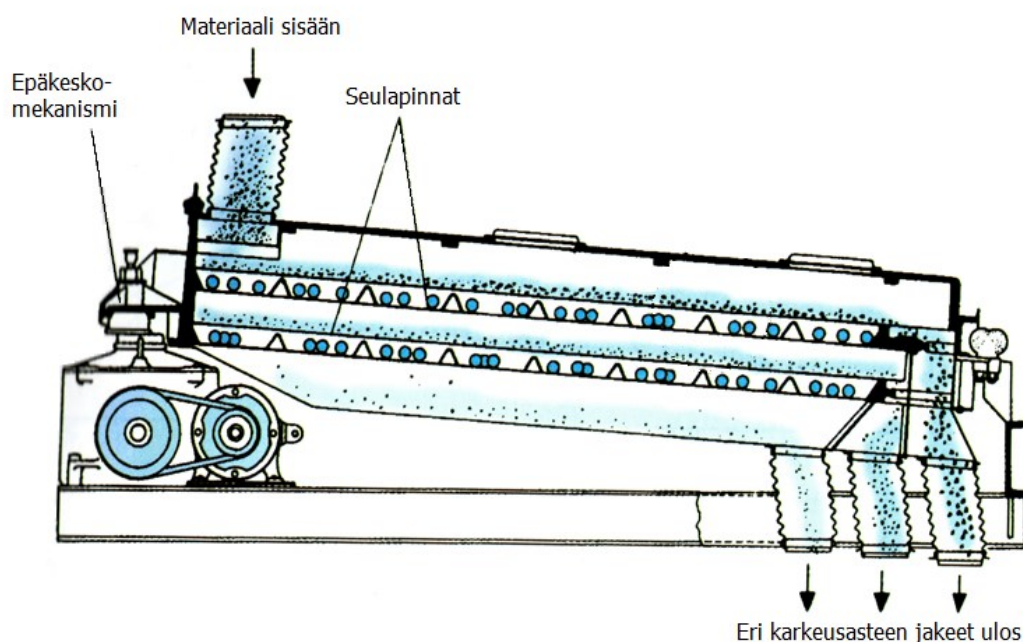
Rumpuseuloja eli rumpulajittelijoita käytetään kivi- ja maa-ainesten, mullan ja kompostin sekä jätteen lajitteluun. Rumpuseula on vaaka-akselilla pyörivä rei'itetty sylinteri eli seulakori (ks. kuva 20). Sylinterin vaipassa olevat reiät voivat olla eri kokoisia ja muotoisia käsiteltävän materiaalin ja halutun lopputuloksen mukaan. Seulottava materiaali voidaan syöttää seulaan esimerkiksi työkonella tai tuoda seulaan kuljetinta käyttäen. Alite poistuu seulakorin reikien läpi ja ylite sylinterin toisesta päästä. (HS Tekniikka Oy 2022; Christensen 2011, 229; Tchobanoglous, Theisen & Vigil 1993, 258.)



Kuva 20. Rumpuseulan toimintaperiaate (mukaillen Christensen 2011, 330)

Rumpuseulan erottelutehokkuuteen vaikuttaa seulaverkon reikien koko ja muoto sekä seularummun halkaisija, kallistuskulma ja pyörimisnopeus. Rummun vaipan sisäpintaan voidaan myös asentaa levyjä, jotka nostavat käsiteltävän materiaalin korkeammalle rummun seinämällä tai sisäpintaa pitkin kulkeva spiraali, joka auttaa kuljettamaan materiaalia rummun sisällä vaakasuunnassa. (Christensen 2011, 329.)

Täryseulojen toiminta perustuu epäkeskomekanismilla aiheutettuun täryliikkeeseen ja niitä käytetään erityisesti kiviainesten kuivaseulontaan. Seulassa voidaan käyttää useita eri karkeusasteen seulapintoja, riippuen kuinka monta eri raekoon jaetta halutaan erotella. Syötettävä materiaali siirtyy värinän vaikutuksesta seulapinnoilla alaviistoon ja seulan läpäissyt materiaali putoaa painovoimaisesti seuraavalle seulapinnalle tai poistuu seulasta (ks. kuva 21). Käytettävän seulapinnan materiaali tulee valita seulottavan materiaalin mukaan. Tyypillisesti käytettäviä materiaaleja ovat erilaiset teräksiset ja monimetalliseokset mutta myös kumi- ja polyuretaanimateriaaleja käytetään. Seulapintojen aukot voivat olla myös eri muotoisia, esimerkiksi pyöreitä tai nelikulmaisia. (Pihkala 2011, 41–43.)

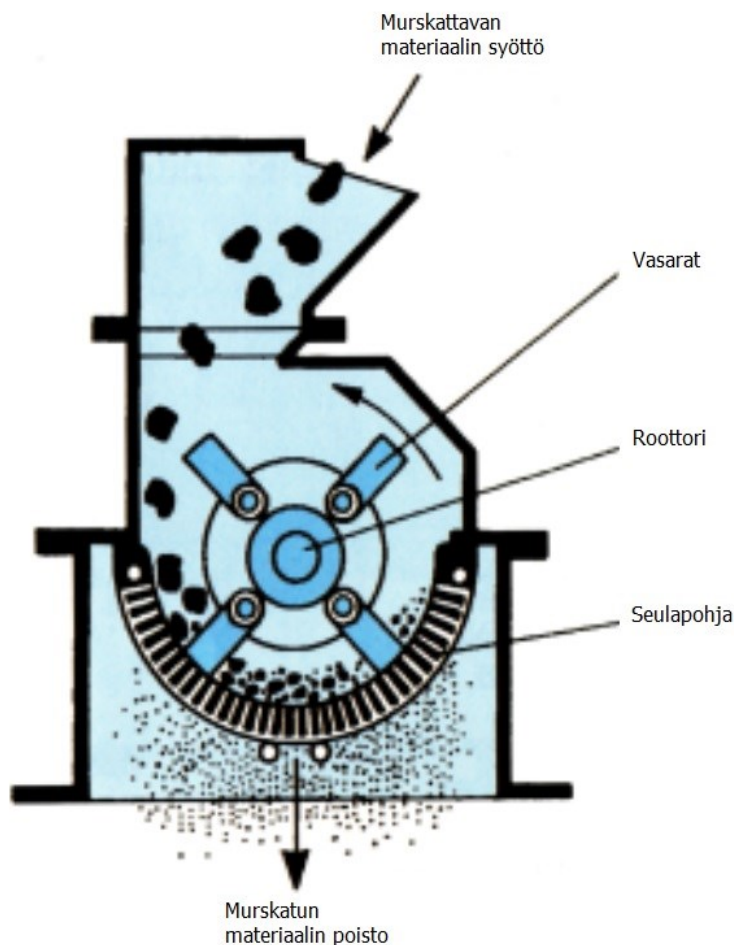


Kuva 21. Täryseula (mukaiillen Pihkala 2011, 41)

5.2 Repijä (vasaramylly)

Repijä-nimitystä (eng. *shredder*) käytetään usein jätteenkäsittelylaitteista, jotka ovat käytännössä isku- tai iskupalkkimurskaimia eli vasaramyllyjä (ks. kuva 22). Iskumurskaimia käytetään tyypillisesti pehmeiden, ei-kuluttavien materiaalien esi-, väli- tai hienomurskaukseen. Murskaus perustuu nopeasti liikkuvien vasaroiden iskeytyessä murskattavaan materiaaliin jatkuvana sarjana. (Pihkala 2011, 22.)

Iskumurskaimia on sekä vaaka-akselisia (HSI, *horizontal shaft impactor*) että pystyakselisia (VSI, *vertical shaft impactor*). Murskaimen nopeasti pyörivästä akselista käytetään nimitystä roottori. Murskattava materiaali hienontuu roottoriin kiinnitettyjen vasaroiden iskeytyessä siihen sekä materiaalin törmätessä murskaimen runkoon ja muuhun murskattavaan massaan. (Paalumäki ym. 2015, 223–224.)

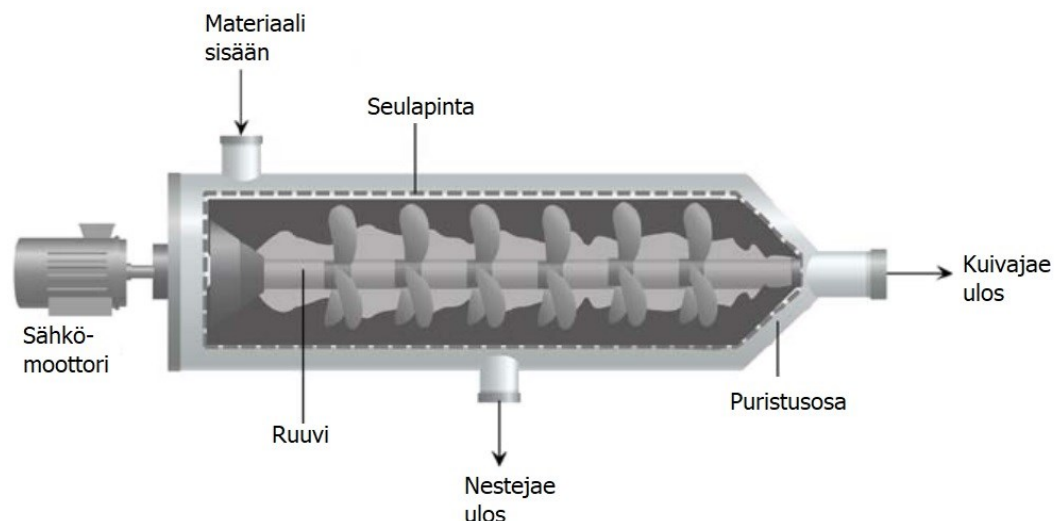


Kuva 22. Iskumurskain eli vasaramylly (Pihkala 2011, 22)

5.3 Puristimet

Christensenin (2011, 345; 609) mukaan puristimia käytetään materiaalien saattamiseksi kompaktim-
paan muotoon sekä nesteen poistamiseksi käsiteltävästä massasta esimerkiksi kuljetustilan ja -kus-
tannusten minimoimiseksi. Puristimia on toiminnaltaan erilaisia, mutta kaikki perustuvat mekaani-
seen kuivaukseen saattamalla käsiteltävä materiaali paineenalaiseksi. Tyypillisiä jätteenkäsittelyssä
käytettäviä puristimia ovat ruuvipuristimet ja mäntäpuristimet.

Ruuvipuristimessa (ks. kuva 23) käsiteltävää materiaalia siirretään ruuvilla lieriön sisällä. Eteenpäin
mentäessä ruovin halkaisija suhteessa puristimen halkaisijaan kasvaa, jolloin aiheutuu vastapaine ja
neste erottuu kiintoaineesta. Neste poistuu paineen ja painovoiman vaikutuksesta lieriössä olevien
reikien kautta ja kiintoaine poistuu tiivistettynä puristimen päädyssä. (Tyagi, Khan, Ng, Khursheed &
Kazmi 2019, 325.)



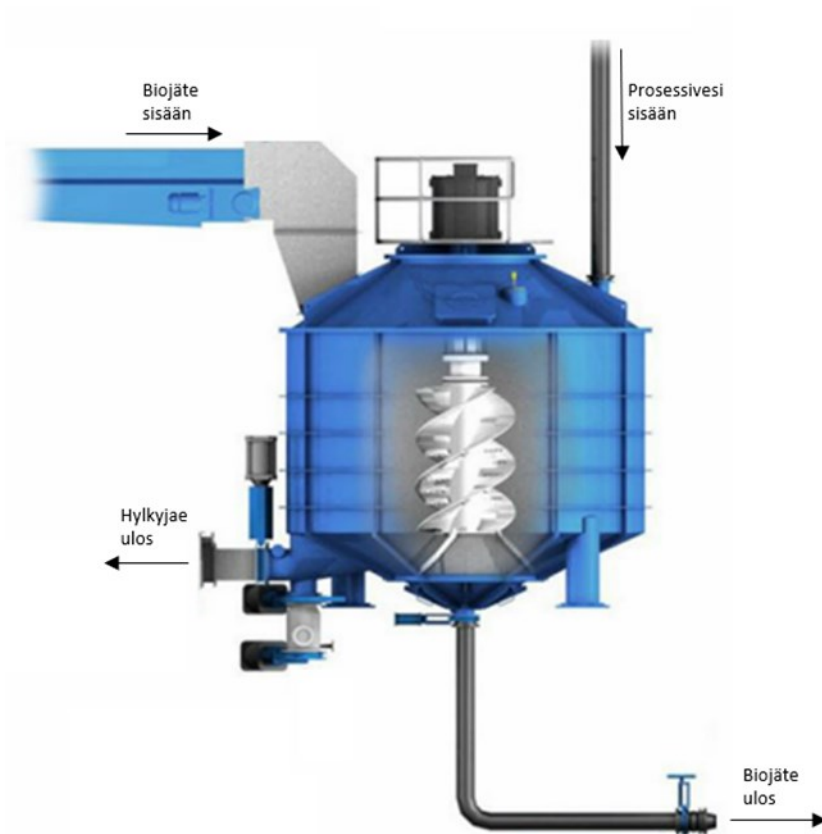
Kuva 23. Ruuvipuristimen pääosat ja toimintaperiaate (mukaillen Tyagi ym. 2019, 328)

Mäntäpuristimessa käsiteltävään materiaaliin muodostetaan paine edestakaisin liikkuvan männän avulla erätoimisesti. Tyypillisesti mäntäpuristimia käytetään materiaalien briketointiin, mutta niitä voidaan käyttää myös epäpuhtauksien erottelamiseen orgaanisesta jätteestä puristamalla käsiteltävä jättemassa seulapinnan läpi, jolloin karkea materiaali jää seulalle orgaanisen massan lävistäessä sen. Tällöin puristimessa tulee olla puristusvaiheen jälkeen rejektinpoisto- ja seulanpuhdistussykli. (Pihkala 2011, 34; Christensen 2011, 609.)

5.4 Pulpperi

Jätepulpperilla (ks. kuva 24) voidaan käsitellä kotitalouksien ja kauppojen jätteitä, yhdyskuntien sekajätteitä sekä puhtaasti orgaanista jätettä. Pulpperia operoidaan tyypillisesti eräkohtaisesti, jolloin saavutetaan paras orgaanisen aineen saanto. Pulpperin keskuskammio on tyypillisesti lieriömäinen rakenne, jossa on kartionmuotoiset ylä- ja alaosat. Käsiteltävä massa tuodaan pulpperin sisään yläosasta syöttöluukun tai -putken kautta. Pulpperiin annostellaan sopiva määrä laimennosvettä ja käsiteltävää materiaalia, jonka jälkeen pulpperointi voidaan aloittaa. Liian suuri määrä käsiteltävää materiaalia voi aiheuttaa tukoksia tai jopa laiterikkoja. (Biotec 2019, 24.)

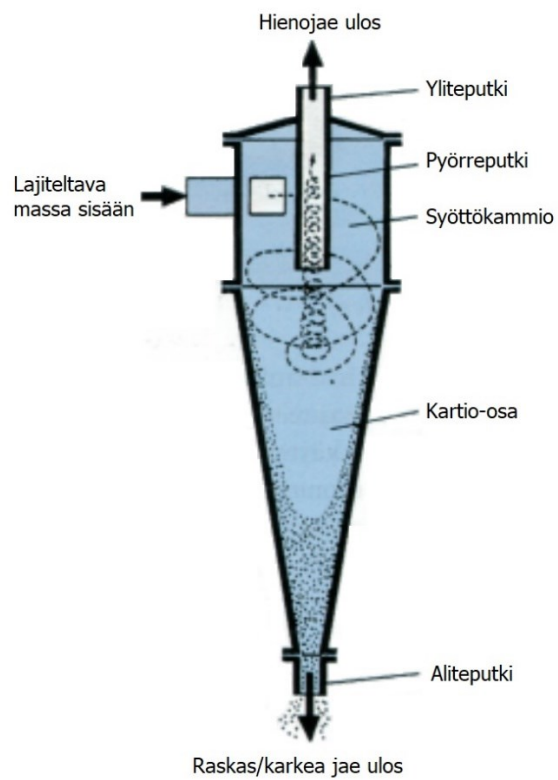
Pulpperin pohjakartiassa voi olla avattavia luokkuja tai loukkuja isojen tai raskaiden esineiden poistamiseksi. Jätepulpperin keskellä on pystysuuntainen, pyörivä sekoitinruuvi, jota pyörittää tyypillisesti taajuusmuuttajaohjattu sähkömoottori. Sekoitin rikkoo käsiteltävän massan mukana tulevat jätepakkaukset ja liettää massan pumpattavaan muotoon. Pulperoitu massa poistetaan pulpperin pohjalta reikälevysihdin läpi. Sekoittimessa voi olla tukkeutumisenestoterä, joka pyörii sekoittimen mukana ja puhdistaa pohjasihtiä pulpperoinnin aikana. Pohjasihtiä läpäisemätön osa, kuten muovi, metalli ja muut pakkausmateriaalit, poistetaan pulpperoinnin päätteeksi hylkyjakeeseen. (Biotec 2019, 24.)



Kuva 24. Biojättepulperin toimintaperiaate (mukaillen BTA International 2019a, 7)

5.5 Hydrosykloni

Hydrosyklonissa (ks. kuva 25) kiinteä ja nestemäinen aine erotellaan toisistaan kiertoliikkeen aiheuttaman keskipakovoiman avulla. Käsiteltävä massa tuodaan syklonin yläosan syöttökammioon tyypillisesti pumppaamalla. Syklonin sisällä massa joutuu voimakkaaseen kiertoliikkeeseen, jolloin tiheydeltään ja rakeisuudeltaan erilaiset jakeet alkavat erottua: karkeat ja raskaat hiukkaset painuvat ulompana syklonin kartion sisäpintaa pitkin alaspäin ja kevyemmät hiukkaset nousevat sisemmässä pyörrevirtauksessa ylös. Hydrosyklonin erottelutehokkuuteen vaikuttaa sekä syöttöaukon että ylite- ja aliteputkien koko, syötettävän aineen määrä (syöttönopeus) ja paine. (Pihkala 2011, 47–48.)



Kuva 25. Hydrosyklonin pääosat ja toimintaperiaate (mukaillen Pihkala 2011, 47)

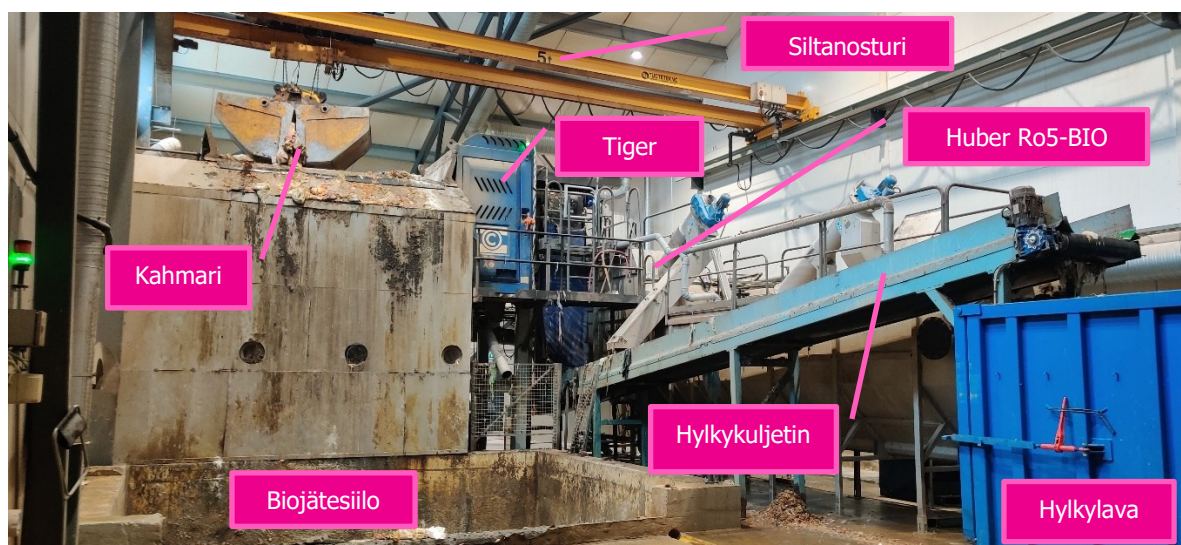
6 KUOPION BIOKAASULAITOKSEN ESIKÄSITTELYPROSESSIN KEHITTÄMISMAHDOLLISUUDET

Watrec Oy:n (2014b, 4) mukaan Kuopion biokaasulaitoksen mitoitusvirtaama lietteenvastaanottoaltaasta on keskimäärin 285 t/vrk maksimissaan 12 %:n kuiva-ainepitoisuuden syötettä. Tarkastelujaksolla (tammikuu-maalliskuu 2022) biojätteitä otettiin vastaan ja esikäsiteltiin Pinja Groupin (2021) mukaan keskimäärin 1124 t/kk ja prosessinohjauksjärjestelmästä saatujen laitteistojen käyntiaikojen perusteella pääteltiin keskimääräiseksi biojätteiden käsittelymääräksi n. 5,2 t/h. Biojätettä ei käsitellä ympärivuorokautisesti vaan käsittely tapahtuu ainoastaan laitoksen oltuna miehitettynä eli pääsääntöisesti arkisin klo 7–18 välisenä aikana. Biojätteen esikäsittelyprosessin tuottama massavirta (esikäsittely biojäte ja laimennusvesi) nykytuotannolla on keskimäärin 167 t/vrk ja teoreettinen maksimivirtaus, jos biojätettä vastaanotettaisiin ja esikäsiteltäisiin ympärivuorokautisesti, on 384 t/vrk eli biojätteen esikäsittely ei tuotantomäärällisesti rajoita muun prosessin operointia eikä siten kokonaisuudessaan toimi pullonkaulana. Esikäsittelykapasiteettia ei näin ollen ole tarvetta lisätä, vaikka vastaanotettava biojättemäärä lisääntyisikin.

Potentiaalisimmat kehittämiskohteet löytyivätkin hyllynkäsittelystä ja vastaan tulleet ongelmat olivat monitahoisia ja ne esitellään tässä luvussa laitteittain ja vaiheittain sekä muodostuvine materiaalivirtoineen. Jokaisen laitteen kohdalla tarkasteltiin niiden kapasiteetin riittävyyttä, sisään meneviä ja ulostulevia materiaalivirtoja sekä pyrittiin selvittämään mahdollisuuksien mukaan muodostuvien hylkyjakeiden koostumusta. Myös energiankulutusta ja energiatehokkuutta arvioitiin. Laitteistojen operointitapoja ja työmenetelmiä tarkasteltiin myös ja pyrittiin löytämään niihinkin parhaat käytännöt.

6.1 Biojätteen esikäsittelyn yksikköprosessit

Biojätteen esikäsittelyjärjestelmä koostuu useasta eri laitteesta ja näihin liittyvistä apujärjestelmistä (ks. kuva 26). Biojätteet puretaan suoraan ajoneuvon säiliöstä biojättesiiloon, josta ne siirretään siltanosturilla ja kahmarilla esikäsittelyyn. Mikäli laiterikon tai muun syyn vuoksi biojättesiiloon purkaminen ei ole mahdollista, on laitoksen piha-alueelle varattu betonielementein rajattu alue varapurku paikaksi. Usein talviaikaan autojen säiliöihin kiinnijäätynyt biojäte täytyy irrottaa koneellisesti ulkona.



Kuva 26. Biojätteen esikäsittelylaitteisto Kuopion biokaasulaitoksella (Harri Manu 2022 CC BY-SA)

6.1.1 Biojättesiilo, siltanosturi ja kahmari

Biojätevarastona toimii betonirakenteinen siilo, joka on rakennettu louhittuun kallioon lattiatason alapuolelle. Siilon tilavuus on n. 100 m³, mikä vastaa nykyisellä operoinnilla noin yhden vuorokauden esikäsittelymäärää. Siltanosturiin liitettyllä kahmarikauhalla (ks. kuva 27) siirretään biojättesiiloon vastaanotetut biojätteet varsinaiseen esikäsittelyprosessiin, jonka ensimmäisenä vaiheena toimii ns. Tiger-biopuristin. Siltanosturia ja kahmariä operoidaan manuaalisesti lattiatasolta. Nosturin ja kahmarin automatisointi olisi teoriassa mahdollista, mutta tämä on katsottu vaikeaksi toteuttaa, koska biojättesiilosta täytyy satunnaisesti poistaa manuaalisesti biojätteen mukana sinne tulleita esineitä, jotka esikäsittelyprosessiin joutuessaan aiheuttaisivat jumiutumisia ja laiterikkoja.

Nosturi ja kahmari eivät sähköenergiaa lukuun ottamatta käytä muita käyttöhyödykkeitä ja laitteiden siirtokapasiteetti on vähintäänkin riittävä nykyiselle tuotannolle eli kapasiteettia ei ole tarvetta kasvattaa. Siltanosturin nostoluokka ja siihen liittyvät mitoitusarvot on kuitenkin arvioitu riittämättömiksi nykyistä käyttöä ja olosuhteita ajatellen, joten Gasum on käynnistänyt erillisen projektin nosturin modernisoimiseksi eikä siihen oteta tässä työssä kantaa. Biojätteen varastointitilavuus sisätiloissa on hieman pieni: esikäsittelyprosessin pysähtyessä esimerkiksi laiterikon vuoksi, on maksimissaan vuorokausi aikaa saattaa laitteisto toimintakuntoiseksi ennen kuin biojätettä joudutaan varastoimaan varapurkupaikalle. Ulkovarastointi voi aiheuttaa hajuhaittoja ja houkuttelee paikalle lintuja. Nykyisen biojättesiilon tilavuutta on kuitenkin vaikeaa kasvattaa järkevästi, joten laitteiden kunnossapito ja kriittisten varaosien hallinta on erittäin tärkeää.



Kuva 27. Kahmari biojättesiilossa (Harri Manu 2022 CC BY-SA)

Biojättesiiloon päätyneet, ei-toivotut sekajätteet (ks. kuvat 28 ja 29) pyritään jäljittämään kameravalvonnan avulla ainakin erän tuoneeseen ajoneuvoon ja tuotannonohjausjärjestelmän kautta jopa jätteen tuottajaan asti. Epäkurantit jäte-erät pyritään reklamoimaan mahdollisimman pikaisesti ja samalla levittämään tietoutta, mitä biojätteeseen voi lajitella. Talviaikaan on tyypillistä, että biojätteen erilliskeräysastia päättyy biojättesiiloon jäteauton mukana (ks. kuva 28). Tämä johtunee astiaan kiinnijäätäneestä biojätteestä, mikä muuttaa astian painopistettä siten, ettei astia tyhjennysvaiheessa,

ylösalaisin kääntyessään pysähdy jäteauton pysäytysvasteeseen vaan päätyy sisältöineen auton jättesäiliöön ja edelleen biokaasulaitokselle.



Kuva 28. Biojättesiilosta prosessiin kelpaamattomia, manuaalisesti poistettuja asioita: putkia, aurasviittoja, vaahtomuovipatjoja ja öljykanistereita (Harri Manu 2017 CC BY-SA)

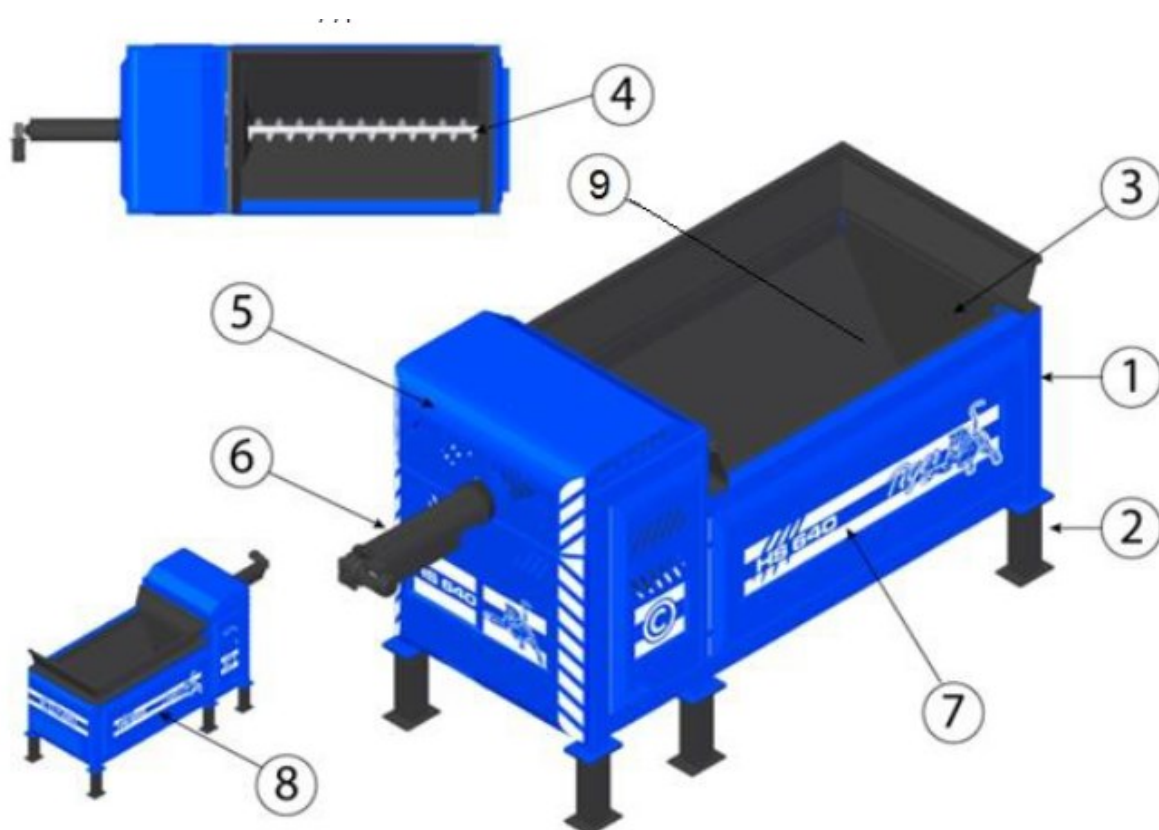


Kuva 29. Siiloon päätynyt biojäteastia (Harri Manu 2016 CC BY-SA)

6.1.2 Tiger-biopuristin

Tiger HS 640 -laite on vasaramyllysovellus, johon on integroitu staattinen seulakori eli laite on tyypillinen repijä-separaattori. Laitteen toiminta koostuu kolmesta päävaiheesta: syöttövaihe, murskaus-

ja puristusvaihe sekä hyllyn poisto. Jokaisessa vaiheessa on oma työtä tekevä elin ja sähkömoottori. Laitteen pääkomponentit on esitetty kuvassa 30.



Kuva 30. Tiger-laitteen pääkomponentit: 1) Runko, 2) Jalat, 3) Syöttösuppilo, 4) Syöttöruuvi, 5) Murskaus- ja puristusryhmä, 6) Rejektiruuvi, 7) Sähkökeskus, 8) Ohjauskeskus, 9) Lisäsyöttöruuvi (varaus) (mukaillen Cesaro Mac Import 2013, 22)

Syöttövaiheessa biojäte siirretään laitteen syöttösuppilosta vaakaruuvilla murskausvaiheeseen. Vaakaruuvi on n. 4 metriä pitkä, mikä on myös maksimisiirtomatka. Syöttöruuvi pyörii verrattain hitaasti ja sen voimanlähteenä toimii 7,5 kW:n sähkömoottori. Syöttövaiheessa prosessiin ei tyypillisesti tuoda muuta materiaalia kuin syöttösuppilon sisältämä biojäte. Satunnaisia tukoksia laitoshenkilöstö avaa manuaalisesti vesiletkulla. Syöttövaiheessa prosessista ei myöskään poisteta materiaalia, ellei syöttösuppiloon ole päätyneet biojätteen mukana ei-haluttuja esineitä, jotka täytyy poistaa manuaalisesti. (Cesaro Mac Import 2013, 22–24.)

Syöttöruuvi tuo biojätteen murskaus- ja puristusvaiheeseen, jossa staattisen seulakorin sisällä pyörii suurella nopeudella pystyakseli eli roottori, jonka voimalähteenä toimii 55 kW:n sähkömoottori. Roottorissa on säännöllisin välimatkoin tylppiä teriä (ks. kuva 31), joiden tehtävänä on repiä ja rikkoa pakkaukset ja pussit kuitenkin hienontamatta niitä liikaa. Samalla seulakorin sisään tuodaan pumppaamalla prosessivettä, jolloin biomassa liettyy ja pehmenee. Akselin terät on asemoitu ja muotoiltu siten, että ne pakottavat revityt, kevyet pakkaukset ja muut karkeat partikkelit ylöspäin samalla puristaen lietemäistä biomassaa sivusuunnassa. Biomassa puristuu seulakorin rei'istä läpi ja valuu painovoimaisesti seulakorin ulkopintaa pitkin laitteen pohjasuppiloon, josta biojäteliete edelleen siirtyy painovoimaisesti seuraavaan esikäsitelyvaiheeseen. (Cesaro Mac Import 2013, 22–24.)



Kuva 31. Yläkuvassa Tiger-laitteen murkaus- ja puristusvaihteen repijäakseli lattialla ennen asennusta ja alakuvassa laitteesta poistettu, kulunut akseli (Harri Manu 2015 CC BY-SA)

Hyllynpoistovaiheessa seulakorin yläosassa sijaitseva vaakaruuvi eli rejektiruuvi poistaa erotellut pakkausmateriaalit, jotka putoavat poistoaukosta kourua pitkin hylkykuljettimelle. Rejektiruuvia pyörittää 2,2 kW sähkömoottori eikä työvaiheeseen tuoda muita hyödykkeitä. Rejektiruuvia joudutaan kuitenkin usein manuaalisesti puhdistamaan sen ympärille kietoutuneista riekaleista ja pakkausmateriaaleista. Puhdistustyö koetaan usein työlääksi ja avainasemassa onkin riittävän tiheä puhdistusväli, jolloin ruuvin ympärille kietoutunut jätemäärä pysyy maltillisena ja helposti poistettavana. Rejektiruuvilla karkeaa hylkyjätettä siirrettävä matka ei ole sivuttaissuunnassa kovin pitkä ja laitetta voisi olla mahdollista modifioida siten, että poistokouru alkaisi välittömästi puristusosan kyljestä, jolloin

rejektiruuvia ei välttämättä tarvittaisi ollenkaan eli hylkyjäte poistuisi puristusosalta oman liike-energiansa voimalla. Tämä kuitenkin vaatisi fyysisiä muutoksia itse laitteeseen, mikä on laitteen käyttöohjeissa kielletty ilman laitetoimittajan suostumusta eikä toimivuutta ei voida taata ilman kokeilua. On myös epäselvää, sallisiko laitteen ohjelmointi rejektiruuvien poistamista eli voiko laitetta operoida ilman ruuvia tai ruuvien moottoria: usein prosessilaitteissa on sisäänrakennettuja turvapiirejä tai diagnostiikkaa, jotka saattavat estää käytön, mikäli jokin osa laitteesta ei toimi tai toimii virheellisesti. Rejektin poistoon voisi toimia paremmin akseliton spiraali, jolloin ruuvien akselin ympärille ei luultavasti takertuisi yhtä paljon muoveja ja muita pakkausmateriaaleja. (Cesaro Mac Import 2013, 22–24.)

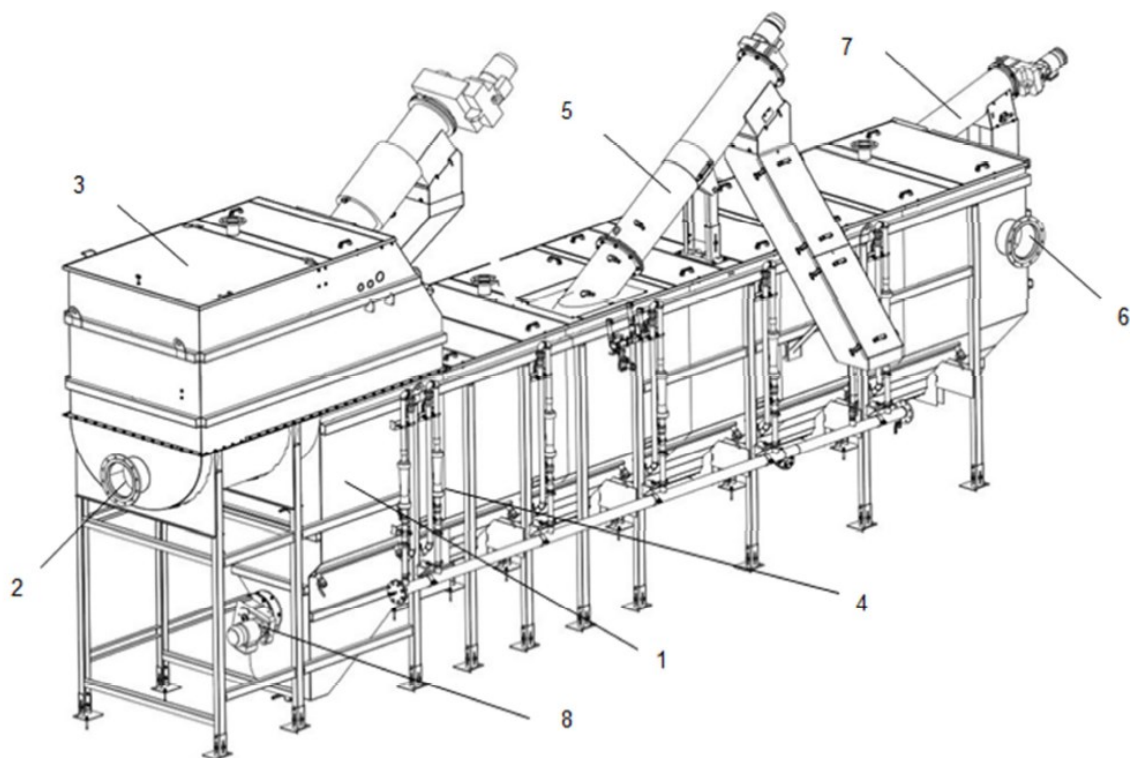
Tiger-laitteelta poistuva karkea hylkyjäte vaikuttaisi silmämääräisesti arvioituna olevan pääsääntöisesti erilaisia muoveja ja muita pakkausmateriaaleja, kuten kartonkia ja alumiinisia säilyketölkkejä. Myös biohajoavat muovipussit erottuvat karkeaan hylkyjakeeseen; ne eivät ennätä hajota biologisessa märkämädätysprosessissa eikä niitä pystytä siirtämään laitoksen sisällä pumppaamalla. Biohajoavaa materiaalia Tigeriltä poistuvaan hylkyjakeeseen poistuu erittäin vähän. Biohajoavista jätteistä hylkyjakeeseen vaikuttaisi päätyvän lähinnä sitrushedelmien kuorijätettä, mikä johtune kuoren ominaisuuksista: kuori imee itseensä huonosti nestettä, jolloin se ei myöskään liety muun biomassan tavoin. Kuori on myös melko sitkeää, jolloin se repeää puristusosalla isoiksi riekaleiksi eikä mahdu poistumaan biomassan mukana seulakorin rei'istä vaan nousee muun karkean rejektin tavoin ylöspäin poistuen lopulta rejektiruuvien kautta.

Hedelmien kuorien erotteluun Tigerin hylkyjakeesta ei järkevää ja taloudellista ratkaisua ole tiedossa. Tuuliseulalla todennäköisesti olisi mahdollista erotella muovi ja muu kevyt materiaali, mutta metallit ja muut raskaat partikkelit täytyisi edelleen saada poistettua, jotta orgaaninen kuori voitaisiin johtaa takaisin prosessiin. Tigerin karkean hylkyjakeen sisältämän orgaanisen aineksen massa arvioitiin sen verran vähäiseksi, ettei sitä katsottu järkeväksi kehityskohteeksi.

Tigerin käyttämä prosessivesi on mädätysjäännöksestä mekaanisesti lingoilla eroteltua, n. 30-asteista rejektivettä. Käytettävä vesimäärä on n. 2,5–3-kertainen käsiteltävään biojättemäärään nähden, riippuen hieman käsiteltävän biojätteen koostumuksesta ja kuiva-ainepitoisuudesta. Tyypillisesti Tigeriltä poistuvan biojäteliikkeen kuiva-ainepitoisuus on n. 12 %, mitä voidaan pitää aika lailla maksimina seuraavia prosessivaiheita ajatellen, joten yhtään pienemmällä vesimäärällä Tiger-laitetta ei pystytä operoimaan.

6.1.3 Huber Ro-5 BIO Kompaktilaite

Tiger-biopuristimelta lietetty biomassa johdetaan painovoimaisesti seuraavalle esikäsitteilylaitteelle, joka on Hydropress Huber Ab:n Ro-5 BIO Kompaktilaite, jossa on useita vaiheita ja toimintoja: välpitys, hiekanerotus ja vaahdonerotus. Laitteen pääkomponentit on esitelty kuvassa 32.



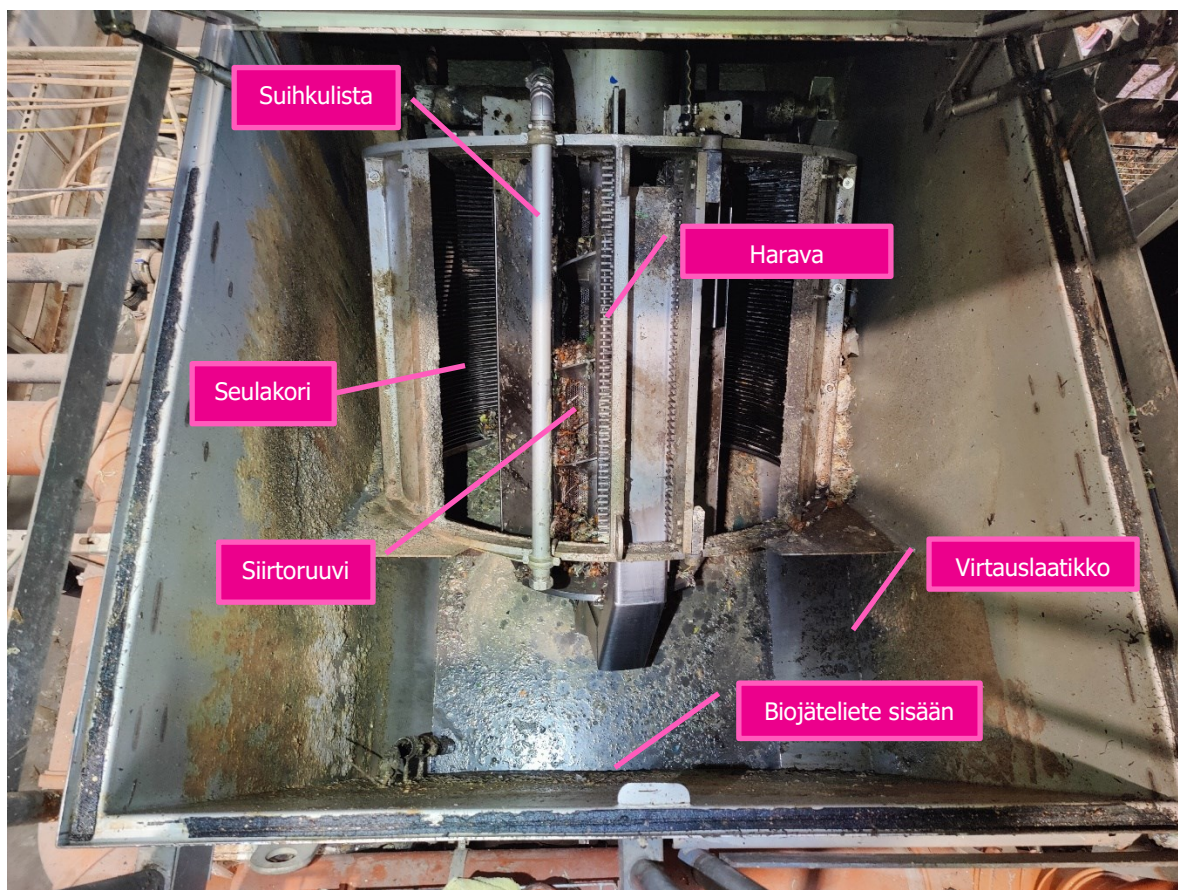
Kuva 32. Huber Ro5-BIO-laitteen pääkomponentit: 1) Hiekkanerotussäiliö, 2) Syöttöyhde, 3) Välppä, 4) Hiekkanerotuksen ilmastusjärjestelmä, 5) Hiekkanlajitinruuvi, 6) Akseptin poistoyhde, 7) Vaahdonpoistoruuvi, 8) Hiekkaneräysruuvi (mukaillen Huber SE 2014b, 6)

Ensimmäisessä vaiheessa Ro5-kompaktilaitteen tarkoituksena on poistaa hienovälppällä Tiger-laitteelta johdattavasta biojäteliitteestä epäorgaanista kiintoainetta, pääasiassa pienempää muovisilppua, joka ei ole erottunut Tigerin karkeaan hylkyjakeeseen. Kokemus on myös osoittanut, että Tigeriltä tulevassa biojätelietevirrassa on todella paljon aterimia, pääosin veitsiä, mikä taas johtuneen niiden kapeasta ja pitkänomaisesta muotoilusta: suippo kärki ohjaa veitsen Tigerin seulakorin reiästä läpi ja aterimen kapea varsi on halkaisijaltaan pienempi kuin seulan silmäkoko. Aterimet ovat joskus aiheuttaneet välppän jumiutumisen kiillautumalla esimerkiksi pyörivän haravan ja välppäsäleikön eli seulakorin väliin. Tämän vuoksi Tigerin ja Huber-laitteen väliseen putkeen on jälkeinpäin hitsattu aterinloukku, joka kerää aterimet ennen välppäystä. Loukku täytyy tyhjentää säännöllisesti käsiventtiilin kautta.

Hienovälppä on virtauslaatikon sisälle asennettu haravavälppä (ks. kuva 33), jossa käsiteltävän massan karkeat partikkelit jäävät kiilalankaseulan koriin muodostaen maton, jolloin pinta virtauslaatikon sisällä alkaa nousta, koska seula tukkeutuu hiljalleen. Virtauslaatikossa on pinnanmittausanturi ja halutulla pinnankorkeustasolla haravavälppä alkaa pyöriä. Haravien (2 kpl) piikit kauhoivat seulakorien tankojen välistä ja niiden päälle kertyneen välppään puhdistuen samalla seulakorin, jolloin pinta virtauslaatikon sisällä alkaa laskea. (Huber SE 2014a, 8.)

Haravat pudottavat keräämänsä välppään välppärungon keskellä sijaitsevalle siirtoruuville, joka poistaa välppään puristusosan kautta samalle hylkykuljettimelle, johon myös Tigeriltä poistettu karkea hylkyjake poistetaan. Pinnan laskettua virtauslaatikon sisällä halutulle tasolle, käynnistyy puhdistus-

sekvenssi, jossa välpän haravat peruuttavat kiinteästi asennettuun kampaan, jolloin haravoihin tarttuneet muovirikaleet irtoavat ja putoavat poistoruuville. Samalla suihkulista pesee haravat. Laitteen vesilinjojen magneettiventtiilit ovat herkkiä veden epäpuhtauksille, joten pesu suoritetaan teknisellä vedellä, joka on prosessivettä puhtaampaa, mm. pesupisteissä käytettävää vettä. Puhdistusvaiheen jälkeen välppä pysähtyy jälleen odottamaan pinnankorkeuden nousua. (Huber SE, 2014a, 8.)



Kuva 33. Huber Ro-5 BIO-kompaktilaitteen hienovälppän osat (Harri Manu 2022 CC BY-SA)

Välppähylky (ks. kuva 34) vaikuttaisi sisältävän silmämääräisesti arvioituna runsaasti orgaanista materiaalia ja on sen vuoksi huomattavan kostea ja siten myös painavaa. Hylkyä myös muodostuu merkittävä määrä, noin puolet kaikesta hylystä, joten välppäys ei vaikuttaisi toimivan optimaalisesti.

Välppän suihkulistan käyttämä teknisen veden määrä on prosessinohjausjärjestelmän mukaan vuositasolla merkittävä, n. 1 530 m³. Tämä määrä olisi mahdollista korvata käyttämällä kierrätettyä prosessivettä, jos laitteen magneettiventtiilit vaihdettaisiin toisentyyppisiin. Kustannussäästöpotentiaali on vuositasolla kymmeniä tuhansia euroja pienentyneinä käsittely- ja lannoitelogistiikkakustannuksina.



Kuva 34. Ro5-BIO-laitteen hienoväljän poistamaa hylkyä (Harri Manu 2020 CC BY-SA)

6.1.4 Hiekan- ja vaahdonpoisto

Ro-5-laitteen hienoväljän läpäissyt materiaali putoaa samaan laitteeseen integroituun hiekanerotus-altaaseen. Altaassa materiaalia ilmastetaan, jolloin materiaalissa oleva hiekka ja muu epäorgaaninen materiaali lajittuu helpommin. Ilmastuksen voimakkuutta voidaan säätää käsiventtiilein tai ilmastuskompressorin pyörimistaajuutta muuttamalla. Raskas materiaali lajittuu altaan pohjalle, jossa se siirretään lajitinruuvilla vastakkaiseen suuntaan muuhun virtaukseen nähden laitteen syöttöpäässä, pohjalla sijaitsevaan kaukaloon. Kaukalosta materiaali poistetaan pystyruuvilla, jolloin ylöspäin siirtyessään kuivuu ennen poistumista laitteesta keräysastiaan (ks. kuva 35). (Huber SE 2014b, 7–8.)

Vaahdonpoisto tapahtuu säiliön pinnalle asennetulla vaakaruuvilla. Ruuvi kerää nestepinnalta vaahdon ja kelluvan materiaalin. Ruuvissa poistaa keräämänsä materiaalin laitteen päädyssä olevan poistokourun kautta erilliseen astiaan (ks. kuva 35).



Kuva 35. Vasemmalla Huber-laitteen poistamaa, raskasta hiekka-munankuorihylkyä ja oikealla kevyttä rasva-vaahtohylkyä (Harri Manu 2022)

Raskasta hiekka-kanamunankuorihylkyä muodostuu kuukausitasolla n. 10–20 tonnia, riippuen biojätteen koostumuksesta sekä kausivaihtelusta. Kevyt vaahtohylky on käytännössä hiekanerotusaltan pinnalta kaavittua epämääräistä, rasvasekaista materiaalia, jonka koostumusta ei tarkkaan tiedetä. Vaahtoa hylkyjakeessa ei kuitenkaan vaikuta juuri olevan, joten vaahdonpoisto ei toimi alkuperäisessä käyttötarkoituksessaan. Vaahdonpoisto onkin säädetty minimiasetuksille, eikä hylkyjaetta määrällisesti paljoa muodostu, joten vaahdonpoistoa ei katsottu järkeväksi kehityskohteeksi tässä työssä.

6.1.5 Hylkykuljetin ja -lava

Hylkykuljetin on n. 12 metriä pitkä hihnakuljetin, joka johtaa Tigerin karkean hyllyn ja Huber-laitteen välppähyllyn hylkylavalle (ks. kuva 36). Kuljetinta on hieman modifioitu alkuperäisestä mm. lyhentämällä, jolloin hylkylavan tilavuus saadaan kokonaan hyödynnettyä sekä vaihtamalla alkuperäinen rumpumoottori ulkoiseksi 2,2 kW:n vaihemoottoriksi, jolloin sama varaosamoottori käy sekä kuljettimeen että Tigerin rejektiruuvimoottoriksi. Kuljettimessa on ollut viime vuosina useita laiterikkoja ja muita käyttöön, siisteyteen ja kunnossapitoon liittyviä ongelmia, jonka vuoksi laitoksella on käynnistetty erillinen hanke kuljettimen uusimiseksi.

Hylkylava on kuljettimen poistopään alle mittitilaustyönä teetetty vaihtolava, johon karkea hylkyjake kerätään. Lavassa on reikälevyvälipohja, jonka tarkoituksena on poistaa hylkyjakeiden mukana tulevaa kosteutta. Vesi poistetaan lavan pohjalta käsiventtiileistä lattiakanaaliin ja palautetaan biojättesii- loon biojätteen joukkoon. Lava tyhjenetään käsittelypäivinä keskimäärin kerran vuorokaudessa läheiseen siirtokuormaushalliin, josta hylky siirtokuormataan toimitettavaksi jätteenpolttolaitokselle.



Kuva 36. Tigerin karkeaa hylkyä ja Huber-laitteen välppähylkyä hylkylavalla (Harri Manu 2022, CC BY-SA)

6.2 Kehityskohteiden valinta

Potentiaalisimmiksi kehityskohteiksi valikoitui Huber Ro5-BIO-laitteen välppähylky sekä raskas hylky. Välppähylky sisälsi silmämääräisestikin arvioituna runsaasti kosteaa ja orgaanista materiaalia ja jakeelle tehty kuiva-ainemääritys vahvisti asian: jakeen kosteuspitoisuus oli 78 %. Jakeesta määritettiin myös heikutushäviö, joka oli niin ikään korkea, 76 %. Korkea heikutushäviö ei kuitenkaan suoraan kerro jakeen sisältämän orgaanisen aineen pitoisuutta, koska orgaanisen aineksen ohella myös muovi häviää (pala) määrityksessä. Kuitenkin muovin kyky imeä itseensä kosteutta on pieni verrattuna biojätteeseen, joten pääteltiin, että hylkyjakeen koostumus on suurimmaksi osaksi kosteutta absorbointua biojätettä. Välppähylkyä vaikutti myös muodostuvan paljon; määrää arvioitiin keräämällä hylkyä poistokourun alta astiaan ja mittaamalla astian täyttymiseen kulunut aika. Täysi astia punnittiin vaa’alla. Välppähylkyä arvioitiin muodostuvan tunnissa n. 1,5–1,9 tonnia, josta tosin osa erottuu hylkylavan vedenpoistojen kautta kosteutena.

Keväällä 2022 tarjoutui laiterikon vuoksi mahdollisuus johtaa välppähylky takaisin biojättesiiloon ja uudestaan esikäsitteilyyn. Tigerin karkean hyllyn ja Ro5-BIO:n välppähyllyn siirtämiseen käytetty hylkykuljetin vaurioitui niin pahoin, että sen korjaaminen kesti lopulta lähes kaksi kuukautta. Kuitenkaan biojätteen vastaanottoa ja käsittelyä ei voitu katkaista näin pitkäksi aikaa vaan hylkylava siirrettiin Tiger-laitteen toiselle puolelle, lähelle rejektiruuvia ja konevuokraamosta noudettiin lyhyt hihnakuuljetin siirtämään karkea hylkyjake Tigerin rejektiruuvilta hylkylavalle. Ro5-BIO:n välppähyllyn

poistokouru oli kuitenkin liian kaukana, joten sitä päädyttiin jatkamaan hylkykuljettimen yli (ks. kuva 37), jolloin välppähylky putosi takaisin biojätessiin eli se kierrätettiin uudestaan Tiger-murskaimen läpi, jolloin sen palakoko edelleen pieneni ja lopulta läpäisi Ro5-BIO:n välpän säleikön ja päätyi prosessiin.



Kuva 37. Välppähyllyn poistokourua jatkettiin siten, että hylky palautui biojätessiin (Harri Manu 2022, CC BY-SA).

Kokeilu onnistui ja laitoksen ja esikäsittelyn operointia voitiin jatkaa melko normaalisti. Kokeilun seurauksena hylkylavalle ei siis päätynyt ollenkaan välppähylkyä vaan ainoastaan Tigerin karkeaa hylkyjakeita. Tämän seurauksena huomattiin, että täyden hylkylavan nettopaino putosi keskimäärin 9,7 tonnista 3,7 tonniin eli yli 60 %. Hylkyjakeista maksettavat jätehuoltomaksut ovat yksi merkittävimmistä yksittäisistä käyttökustannuksista ja kokeilun aikana laitoksen rejekteistä aiheutuneet jätehuoltokustannukset käytännössä puolittuivat. Kokeilua ei kuitenkaan uskallettu jatkaa, koska heräisi epäily, että välppähyllyn sisältämä muovisilppu saattaisi toisella kerralla läpäistä välpän ja päätyä liian suurina määrinä prosessiin ja lopputuotteisiin, vaan tilapäisjärjestely purettiin hylkykuljettimen korjausten valmistuttua.

Säiliöiden pohjalle kertynyt raskas sakka on viime vuosina aiheuttanut paljon tukoksia ja jumeja laitoksen putkistoissa ja pumpeissa. Tukokset joudutaan usein poistamaan imu-paineyhdistelmäajoneuvolla sekä käyttämään avaukseen usein paljon vettä. Tämä vesi-sakkaseos joudutaan toimitta-

maan jätteenä toiselle jätteenkäsittelijälle, jolloin kokonaiskustannus on n. 10-kertainen siihen verrattuna, että materiaali saataisiin poistettua omalla laitteistolla kuivempaan prosessin alkupäässä. Silmämääräisesti arvioituna sakkatukokset koostuvat usein suurelta osin kananmunien kuorista (ks. kuva 38). Kuorisakka luultavasti pääsee läpi biojätteen esikäsittelyprosessista ja laskeutuu kasoiksi säiliöiden pohjalle, josta se lähtee uudelleen liikkeelle suurempina kerrostumina esimerkiksi sekoittimen käynnistyessä aiheuttaen tukoksia. Tukoksista ja niiden aukaisuista aiheutuneet häiriöt ja kustannukset arvioitiin sen verran merkittäviksi, että raskaan materiaalin erottelun tehostaminen valittiin työn toiseksi kehityskohteeksi.



Kuva 38. Putkitukos avattuna lattialle Kuopion biokaasulaitoksella. Vaaleanruskea sakka on kananmunien kuorta (Harri Manu 2022, CC BY-SA).

6.3 Laite- ja toimittajakartoitus

Välppähyllyn käsittelemiseksi parhaaksi vaihtoehdoksi arvioitiin seula, koska varsinkin rumpuseuloja esiintyi useammassakin luvussa 4 esitellyissä prosesseissa. Alkuperäisenä ajatuksena oli siis seuloa välppähylky siten, että seulan läpäissyt materiaali (alite) johdettaisiin takaisin prosessiin ja läpäisemätön materiaali (ylite) putoaisi hylkykuljettimelle. 3 seulatoimittajaa kontaktoitiin ja heille toimitettiin valokuvia ja näytteitä seulottavaksi aiotuista materiaaleista. Yksi toimittaja kävi myös tutustumassa materiaaleihin ja nykyiseen prosessiin Kuopion biokaasulaitoksella.

Toimittaja 1 ehdotti välppähyllyn käsittelemiseksi kumimatto-seulapinnalla varustettua täryseulaa. Koelaitetta toimittaja ei kuitenkaan pystynyt järjestämään vaan laite olisi täytynyt hankkia omaksi. Lisäksi kävi ilmi, että jopa heidän pienin laitteensa olisi ollut hankalasti integroitavissa nykyiseen prosessiin; se ei olisi sopinut välppähyllyn poistoruuvien alle, joten materiaali olisi täytynyt tuoda laitteelle ja poistaa hylkykuljettimelle erillisillä ruuveilla tai kuljettimilla.

Toimittaja 2:lta olisi mahdollisesti löytynyt täryseula koekäyttöön, mutta he halusivat kokeilla materiaalia ensin omissa tiloissaan pienellä käsiseulalla. Toimittajalle lähetettiin näytteet sekä Tiger-laitteelta tulevasta biojäteliitteestä ennen välppäystä sekä välppäylitteestä. Toimittaja 2 teki näytteistä kosteammalle biojäteliitteelle yksinkertaisen seulontakokeen huuhteluineen käyttäen 6–8 mm:n seulaverkkoa. Kokeen tuloksena suurin osa biojäteliitteen sisältävistä orgaanisista partikkeleista jäi seulaverkon päälle (ks. kuva 39) eli niiden palakoko oli liian iso puristuakseen edes tärinän voimasta seulaverkon läpi. Tuloksen perusteella Toimittaja 2 ei edes yrittänyt seuloa kuivempaa välppäylitettä vaan totesi, ettei täryseula heidän näkemyksensä mukaan ole oikea ratkaisu tämäntyyppisen materiaalin lajitteluun. Rumpuseulat eivät kuulu Toimittaja 2:n valikoimiin, joten he vetäytyivät hankkeesta.



Kuva 39. Toimittaja 2 yritti seuloa käsitettävää materiaalia manuaalisesti (Lehtisalo 2022).

Toimittaja 3 kävi tutustumassa materiaaleihin ja esikäsittelyprosessiin Kuopion biokaasulaitoksella. Kyseisen toimittajan rumpuseuloja on käytössä Suomessa ainakin Stormossenin biokaasulaitoksella käsittelyjäännöksen lajittelussa sekä Lakeuden Etapin Ilmajoen biokaasulaitoksella biojätteen esikäsittelyssä. Koelaitetta ei myöskään Toimittaja 3:lta ollut mahdollista saada kokeiltavaksi vaan laite olisi täytynyt hankkia omaksi. Toimittaja 3:n mukaan kuitenkin kummallakin em. biokaasulaitoksella käyttäjät ovat tyytyväisiä laitteiden toimintaan ja suositteli vierailemaan laitoksilla ja tutustumaan laitteiden toimintaan. Varsinkin käsittelyjäännöksen lajittelussa rumpuseula tuntuisi toimivan erittäin hyvin (Karisalmi 2022; Kinnunen 2022).

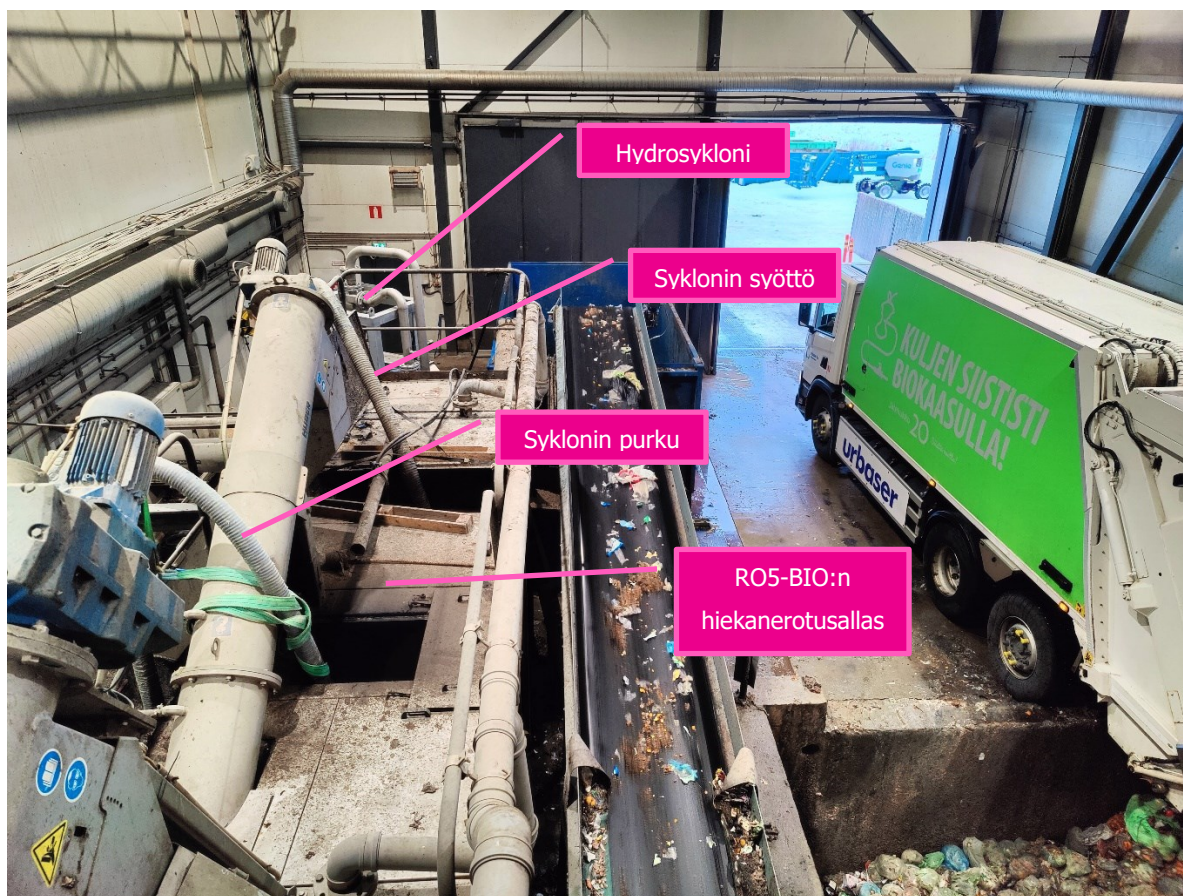
Laitosvierailujen ja puhelinkeskustelujen perusteella potentiaalisimmalta vaihtoehdolta vaikutti, että Ro5-BIO-laitteen välppä poistettaisiin kokonaan, jolloin välppähylkyä ei muodostuisi ollenkaan eli lähes kaikki Tiger-laitteelta tuleva orgaaninen materiaali päätyisi biokaasuprosessiin. Tiger-laitteelta prosessiin karkaava muovi taas voitaisiin erotella rumpuseulalla käsittelyjäännöksestä heti pääreaktorien jälkeen, jolloin se ei aiheuttaisi tukoksia lingoilla tai linkojen lietepumpuissa eikä sitä päätyisi lannoitevalmisteisiin. Tämä mahdollistaisi myös kaariseulasta luopumisen rejektiveden käsittelyssä.

Lehtosen (2022) mukaan Turun biokaasulaitoksella raskaan materiaalin erotteluun käytetty hydrosykloni on toiminut hyvin. Hydrosyklonia ja Kuopion laitoksella käytössä olevaa Ro5-BIO-laitteen raskaan materiaalin erottelua ei kuitenkaan pysty luotettavasti vertailemaan johtuen laitoksen esikäsittelyn ja käsiteltävän materiaalin eroavaisuuksista, joten päätettiin selvittää, olisiko joltain toimittajalta mahdollista saada koelaitte testikäyttöön Kuopion laitokselle. Sopiva toimittaja ja laite löytyi Ruotsista ja hydrosykloni toimitettiin Kuopion laitokselle marraskuussa 2022 (ks. kuva 40).



Kuva 40. Hydrosykloni (keskellä) Kuopion biokaasulaitoksella (Harri Manu 2022, CC BY-SA)

Hydrosykloni tarvitsee toimiakseen paineen ja n. 50–60 m³/h-virtaaman, joka on 2–3-kertainen biojätteen esikäsittelystä läpimenevään virtaamaan nähden. Tämän vuoksi syklonin syöttämiseen tarvittiin erillinen pumppaus, joka toteutettiin laitteen mukana toimitetulla 15 kW:n uppopumpulla. Pumppu asennettiin Ro5-BIO-laitteen hiekanerotusaltaaseen ja biojätelietteen tuonti syklonille ja purku toteutettiin DN100-imuletkuilla. Koska virtaama oli huomattavasti suurempi kuin esikäsittelystä ja hiekanerotusaltaasta läpimenevä, palautettiin syklonin läpi mennyt biojäteliete myös hiekanerotusaltaaseen (ks. kuva 41), jolloin uppopumppu kierrätti materiaalia Ro5-BIO:n sisällä, eikä allas näin ollen päässyt tyhjenemään ja pumppu siten käymään kuivana.



Kuva 41. Hydrosyklonin syötön ja purun toteutus Kuopion biokaasulaitoksella (Manu 2023, CC BY-SA)

Sekä R05-BIO:n että syklonin poistama rejekti kerättiin samanlaisiin kippikontteihin, joiden tyhjä paino tiedettiin. Kontit saatiin sijoitettua vierekkäin (ks. kuva 42), jolloin niiden täyttymistä ja rejektien laatua pystyttiin seuraamaan ja vertailemaan myös visuaalisesti. Täydet kontit kuljetettiin pyöräkuormaajalla autovaa'alle, jossa ne punnittiin. Täyden kontin paino kirjattiin mittauspöytäkirjaan. Pöytäkirjaan kirjattiin myös kokeen aloitus- ja lopetusaika, jolloin pystyttiin määrittämään kuinka paljon raskasta materiaalia laitteet erottelevat aikayksikköä kohden. Rejekteistä määritettiin laitoksen laboratoriossa myös TS- ja VS-pitoisuudet (SFS 3008, 1990, 1–3).



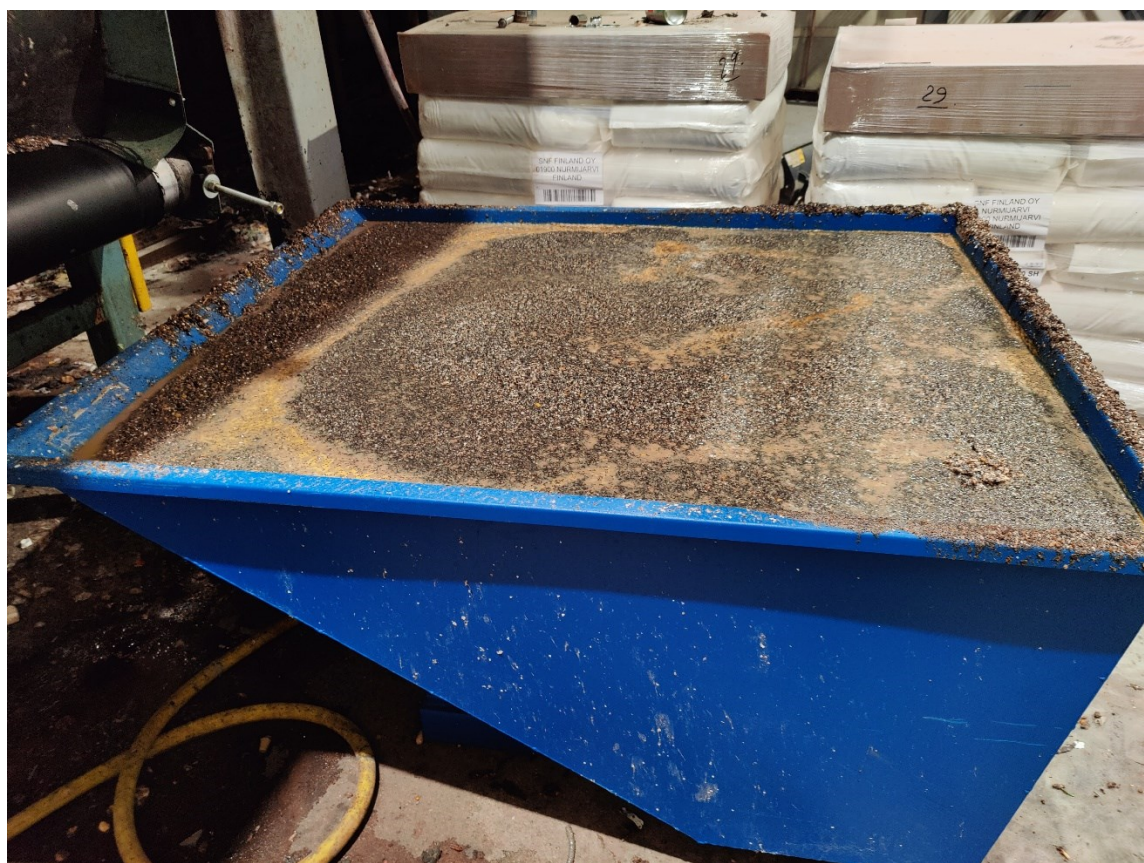
Kuva 42. Laitteiden erottelema materiaali kerättiin kippikontteihin (Harri Manu 2022, CC BY-SA).

Hydrosyklonin koeajoja haittasivat useat laiterikot. Laitteen mukana saapunut pumppu oli jumissa valmiiksi ja se jouduttiin nostamaan nosturiautolla pois hiekanerotusaltaasta jumin poistamiseksi ennen kuin se saatiin tuottamaan virtausta. Hylkykuljettimen telavauriot pysäyttivät koeajot myös useita kertoja testijakson aikana. Hydrosyklonin käyttöpaneeli rikkoontui myös ja uutta paneelia jouduttiin odottamaan Ruotsista jonkin aikaa.

Testijakso oli laiterikkojen vuoksi hyvin katkonainen ja onnistuneita koeajopäiviä saatiin suoritettua vain puolet aiotusta (ks. koeajosuunnitelma LIITE 1). Varsinkin testit, joissa oli tarkoitus ajaa sykloonia tai Huber Ro5-BIO-laitteen hiekanerotusta yksinään ilman toisen laitteen yhtäaikaista käyttöä, jäivät molemmissa tapauksissa yhteen testipäivään, jolloin myös tuloksissa on suurta epävarmuutta. Koeajon ensimmäisinä päivinä syklonin poistama rejekti vaikutti visuaalisesti arvioituna erittäin kuivalta eikä mukana vaikuttanut olevan juurikaan orgaanista materiaalia (ks. kuva 43), minkä myös laboratoriotestit vahvistivat. Kuitenkin koeajojen edetessä syklonin hylky muuttui koko ajan kostemmaksi (ks. kuva 44) eikä tilannetta saatu korjattua edes laitetoimittajan ohjeistuksella säätämällä pumpun virtaamaa tai erotusveden määrää. Jäi siis epäselväksi, mistä suuret vaihtelut erotte-lutuloksissa johtuivat.



Kuva 43. Ensimmäisinä koeajopäivinä syklonin erottelutulos oli erinomainen (Harri Manu 2022, CC BY-SA).



Kuva 44. Koeajojen edetessä syklonin poistama hylky muuttui kosteammaksi (Harri Manu 2023, CC BY-SA).

6.4 Tulokset

Rumpuseulaa ei työssä harmillisesti päästy testaamaan Kuopion biokaasulaitoksella tai sen materiaaleilla, mutta useat positiiviset käyttäjäkokemukset saivat vakuuttuneeksi siitä, että laite toimisi hyvin varsinkin mädätysjäännöksen muovinerotuksessa, jolloin Huber Ro5-BIO-laitteen välppäosasta voitaisiin luopua kokonaan. Tällöin karkeaan hylkyjakeeseen ei päätyisi ollenkaan välppän erottelemaa, orgaanista materiaalia vaan se päätyisi biokaasuprosessiin tuottamaan metaania. Luultavasti esikäsittelyprosessia voitaisiin myös operoida hieman nykyistä sakeampana. Energia- tai muuta käyttöhyödykehyötyä välppän poistosta ei luultavasti tulisi, koska rumpuseula todennäköisesti kuluttaisi saman verran sähköä ja vettä kuin välppäyskin.

Hydrosyklonin koeajojen mittauspöytäkirja on esitetty liitteessä 2. Koeajoissa suoritettiin 3 vaihtoehtoista skenaariota hiekanpoistolle: Huber Ro5-BIO (VE0), hydrosykloni (VE1) ja Ro5-BIO+Hydrosykloni (VE2). Jokaisessa kokeessa laitteen tai laitteiden erottelutehokkuutta arvioitiin määrittämällä, kuinka paljon ne erottelivat raskasta hylkyä aikayksikköä kohden ja kuinka paljon rejekti sisälsi kosteutta, orgaanista ja epäorgaanista ainesta. Taulukossa 1 on esitetty koeajoissa määritetyt erottelutehokkuudet eri laiteyhdistelmillä.

Taulukko 1. Koeajoissa eri laitteilla saavutetut erottelutulokset

	Yksikkö	Ro5-BIO (VE0)	Hydrosykloni (VE1)	Ro5-BIO+ hydrosykloni (VE2)
Raskasta hylkyä	t/h	0,1	0,2	0,1
TS keskimäärin	%	54	42	56 (Ro5) / 55 (HS)
VS keskimäärin	%	22	15	15 (Ro5) / 15(HS)
VS/TS keskimäärin	%	41	35	26 (Ro5) / 32 (HS)
Orgaanista materiaalia hylkyyn	tVS/h	0,03	0,03	0,02
Vettä hylkyyn	t/h	0,05	0,09	0,05
Epäorg. materiaalia hylkyyn	t/h	0,04	0,05	0,045

Jos tarkastellaan ainoastaan epäorgaanisen materiaalin poistotehokkuutta, paras erottelutulos saavutettiin pelkällä hydrosyklonin käytöllä: sykloni poisti keskimäärin eniten raskasta materiaalia ja myös hyllyn sisältämän epäorgaanisen materiaalin osuus oli suurin. Kuitenkin sykloni ja Ro5-BIO poistivat yhtä paljon yhtä paljon orgaanista materiaalia, mutta syklonin poistama rejekti oli keskimäärin huomattavasti kosteampaa.

Ro5-BIO:n ja hydrosyklonin yhtäaikaisella käytöllä saavutettiin lähes yhtä hyvä epäorgaanisen aineen poistotehokkuus, kuin pelkällä syklonin käytöllä, mutta hylkyyn päätyi 36 % vähemmän orgaanista materiaalia kuin muilla kokoonpanoilla. Laiteyhdistelmällä myös rejektien keskimääräinen kosteus oli samalla tasolla kuin pelkän Ro5-BIO-laitteen käytöllä, mutta 43 % alhaisempi kuin pelkän hydrosyklonin käytöllä.

6.5 Rumpuseulan kannattavuustarkastelu

Rumpuseulainvestoinnin suuruusluokka toimittajakeskustelujen perusteella olisi noin 40 000 euroa. Kokonaisinvestointiin täytyy laskea myös suunnittelu-, asennus- ja käyttöönottokustannukset, jotka arvioitiin olevan 15 % laiteinvestoinnista eli 6 000 euroa. Käyttö- ja huoltokustannukset arvioitiin olevan samansuuruiset kuin Ro5-BIO:n välillä, jolloin niillä ei katsottu olevan vaikutusta kannattavuuteen, koska toteutuessaan rumpuseula korvaisi väljän. On mahdollista, että väljän poistaminen voi lisätä prosessin alkupäähän nykyistä enemmän muovista aiheutuvia tukoksia ja muita ongelmia, mutta toisaalta rumpuseulan pitäisi vastaavasti vähentää niitä pääreaktorien jälkeen, joten tällä ei myöskään oletettu olevan vaikutusta kannattavuuteen.

Kannattavuutta arvioitaessa täytyi arvioida investoinnin vuosittainen tuotto ja kulut. Tuottoa arvioitiin muodostuvan hylkymäärän vähenemisen ja lisääntyneen metaanintuoton myötä. Kuluja puolestaan muodostuu rumpuseulan erottelemasta muovista sekä lisääntyvistä lannoitemääristä.

Muodostuvan ja edelleen jätteenä eteenpäin toimitettavan välppähyllyn määräksi arvioitiin 6 tonnia vuorokaudessa, jolloin vuositasolla välppähylkyä muodostuu 1 056 tonnia, jos työpäiviä on vuodessa 264. Yksikköhintana hylkykustannukselle on laskelmassa käytetty Jätekuon (2023) hinnaston mukaista jätemaksua sekajätteelle, 138 euroa/t (alv. 0 %). Selvityksessä ei määritetty välppähyllyn sisältämää todellista muovin määrää, joten laskelmassa välppähyllyn kuiva-aineesta muovin määräksi arvioitiin 30 %, joka oletettiin saatavan eroteltua täysimääräisesti rumpuseulalla 50 % kuiva-ainepitoisuudessa. Loput välppähyllystä ja sen sisältämästä kosteudesta katsottiin muuttuvan prosessissa lannoitevalmisteiksi ja niille arvioitiin prosessointi- ja logistiikkakustannuksia 30 euroa/t, mihin sisältyy myös biokaasulaitoksen prosesseista aiheutuneet kustannukset. Lannoitteille ei laskelmassa huomioitu myyntiarvoa.

Välppähyllyn arvioitiin olevan koostumukseltaan lähellä yhdyskuntien biojätettä, jonka metaanintuottopotentiaali arvioitiin olevan n. 400 m³/tVS. Maa- ja biokaasun hinta on noussut rajusti viime vuosina ja se vaihtelee paljon sen mukaan, myydäänkö kaasu jalostamattomana esimerkiksi sähkön ja lämmöntuotantoon vai jalostettuna liikennepolttoaineeksi. Laskelmassa on käytetty hintana lämmöntuotantoon käytetyn biokaasun vuoden 2017 tasoa (Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskus 2014, 8; Mutikainen 2020, 5).

Kannattavuuden arvioinnissa käytettiin yksinkertaistettua takaisinmaksuajan menetelmää (kaava 1). Investoinnin nykyarvoa ei katsottu järkeväksi määrittää, koska tarkastelun kohteena ei ollut useita vaihtoehtoisia investointeja, vaan päädyttiin ainoastaan selvittävään investoinnin takaisinmaksu aikaan. Laskelmassa ei huomioitu korkokantaa.

$$Takaisinmaksuaika = \frac{\text{Investointimeno}}{\text{Vuotuinen nettotulo}} \quad (1)$$

Rumpuseulasta aiheutuviksi, vuotuisiksi rejekti-, käsittely- ja logistiikkakustannuksiksi määritettiin em. oletuksilla 48 825 euroa ja säästövaikutuksiksi 166 890 euroa. Lisätuloa lisääntyneestä biokaasuntuotannosta olisi mahdollista saada 21 162 euroa vuosittain. Näin ollen vuotuinen nettosäästö-/tulo olisi 127 683 euroa ja takaisinmaksuaika noin 4 kuukautta. Laskelma on esitetty taulukossa 2.

Taulukko 2. Rumpuseulainvestoinnin kannattavuuslaskelma

Investoinnin kustannukset	
Laitehankinta ja asennus	46000 eur
Rumpuseulan rejektin määrä	139,4 t/a
Rumpuseulan rejektin kustannus	19236 eur/a
Käsittely- ja logistiikkakustannus	29589 eur/a
Rejekti- ja käsittelykustannukset vuosittain	48825 eur/a
Investoinnin säästö- ja tulovaikutukset	
Välppähyllyn rejektikustannuksen poisto	145728 eur/a
Myytävän metaanin määrän lisäys	70541 m ³ /a
Myytävän energiamäärän lisäys	705 MWh/a
Biokaasun myynnin lisäys	21162 eur/a
Säästö- ja tulovaikutukset vuosittain	166890 eur/a
Nettosäästö	118065 eur/a
Suora takaisinmaksuaika	0,39 a

6.6 Hydrosyklonin kannattavuustarkastelu

Vastaavan kuin koeajoissa käytetyn hydrosyklonin investoinnin suuruusluokka toimittajakeskustelujen perusteella olisi noin 66 000 euroa, jonka päälle voidaan arvioida tulevan n. 15 % suunnittelusta, asennuksista ja käyttöönotosta aiheutuvia kustannuksia eli n. 10 000 euroa. Syklonin käyttö- ja kunnossapitokustannukset arvioitiin samansuuruisiksi kuin Ro5-BIO:n, joten arvioitaessa syklonin kannattavuutta verrattuna Ro5-BIO-laitteeseen, ei niitä tarvinnut huomioida kannattavuuslaskelmassa. Kuitenkin skenaariossa, jossa molemmat laitteet ovat käytössä, täytyi syklonin käytöstä ja kunnossapidosta aiheutuneet kustannukset ottaa huomioon.

Sykloni käyttää toimintansa aikana n. 10 litraa minuutissa erotusvettä, joka päätyy prosessiin ja lopulta lannoitteisiin, joten sille arvioitiin laskelmassa käsittely- ja logistiikkakustannuksia 30 eur/t. Syklonia syöttää ja purkaa 15 kW pumppu, jonka käyttökustannuksiksi arvioitiin 75 euroa työpäivässä skenaariossa, jossa sykloni lisättäisiin Ro5:n rinnalle. Vaikein, mutta erittäin oleellinen seikka kannattavuuslaskelmassa oli arvioida, kuinka suuri osuus esikäsittelystä prosessiin päätyvästä materiaalista aiheuttaa tukoksia tai muita ongelmia ja täytyy imuautolla tai muuten koneellisesti jossain vaiheessa laitoksen elinkaarta poistaa. Materiaali saattaa kertyä tiettyyn kohtaan prosessia ja se poistetaan vasta isompana, satojen tonnien eränä esimerkiksi kerran kymmenessä vuodessa. Kokeumus on kuitenkin osoittanut, että koneellisen poiston kustannus on n. 10-kertainen siihen nähden, että materiaali saataisiin eroteltua jo esikäsittelyvaiheessa. Laskelmissa käytettiin samaa yksikköhintaa hylkykustannukselle kuin rumpuseulan kannattavuuden arvioinnissa, mutta prosessiin päätyvästä

epäorgaanisesta materiaalista arvioitiin koneellisesti poistettavaksi puolet 10-kertaisella kustannuksella. Päivittäiseksi operointiajaksi arvioitiin 10 tuntia ja vuotuisiksi työpäiviksi 264. Orgaanisen materiaalin metaanintuottopotentiaaliksi arvioitiin 400 m³/t/Vs ja biokaasun hintana lämmöntuotantoon käytetyn biokaasun vuoden 2017 tasoa (Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskus 2014, 8; Mutikainen 2020, 5).

Kannattavuuslaskelmassa tarkasteltiin yksinkertaistetun takaisinmaksuajan menetelmällä kahta eriskenaariota: nykyisen Ro5-BIO-laitteen VE0) korvaamista hydrosyklonilla (VE1) ja hydrosyklonin lisäämistä Ro5-BIO:n rinnalle (VE2). Kummassakin skenaariossa syklonin lisäyksestä aiheutuneet vuotuiset kustannukset kasvoivat suuremmiksi kuin saavutetut säästövaikutukset, joten laite ei maksa itseään koskaan takaisin. Laskelmat on esitetty taulukoissa 3 ja 4.

Taulukko 3. Hydrosyklonin kustannukset ja kannattavuus verrattuna nykyiseen prosessiin

Investoinnin kustannukset VE1 vs. VE0	
Laitehankinta ja asennus	76000 eur
Lisääntyneet operointikustannukset	0 eur/a
Lisääntyneet rejektikustannukset	20766 eur/a
Lisääntyneet käsittelykustannukset	47520 eur/a
Lisääntyneet kustannukset vuosittain	68286 eur/a
Investoinnin säästö- ja tulovaikutukset	
Vähemmän koneellisesti poistettavaa epäorgaanista	18216 eur/a
Säästövaikutukset vuosittain	18216 eur/a
Nettosäästö	-50070 eur/a
Suora takaisinmaksuaika	- a

Taulukko 4. Hydrosyklonin ja Ro5-BIO:n kustannukset ja kannattavuus verrattuna nykyiseen prosessiin

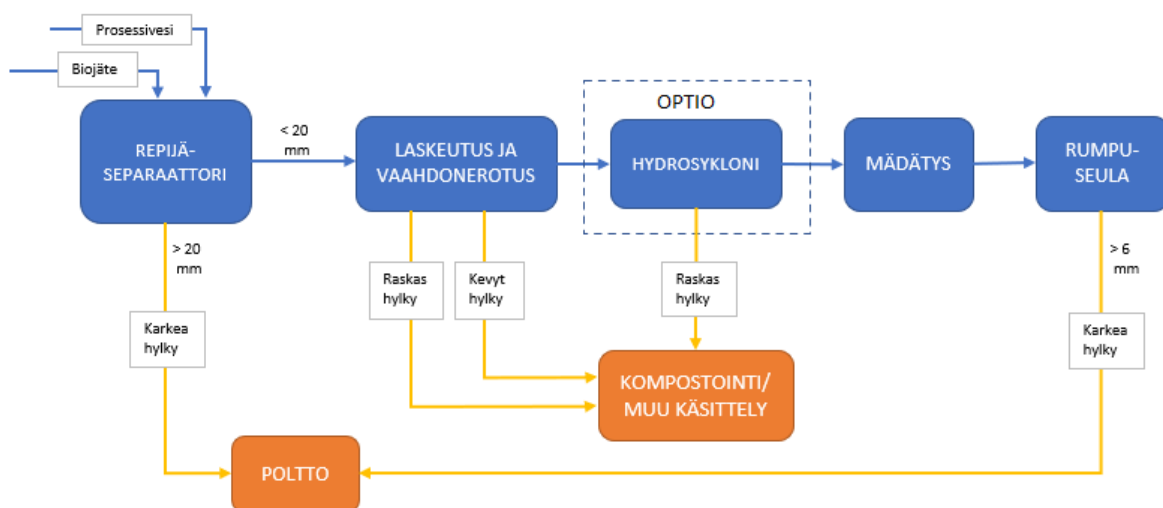
Investoinnin kustannukset VE2 vs. VE0	
Laitehankinta ja asennus	76000 eur
Lisääntyneet operointikustannukset	19800 eur/a
Lisääntyneet rejektikustannukset vuosittain	0
Lisääntyneet käsittelykustannukset vuosittain	47520 eur/a
Lisääntyneet kustannukset vuosittain	67320 eur/a
Investoinnin säästö- ja tulovaikutukset	
Vähemmän koneellisesti poistettavaa epäorgaanista	9108 eur/a
Enemmän orgaanista materiaalia prosessiin	24 t/a
Myytävän energiamäärän lisäys	95 MWh/a
Myytävän energian lisäys	2851 eur/a
Säästövaikutukset vuosittain	11959 eur/a
Nettosäästö	-55361 eur/a
Suora takaisinmaksuaika	- a

6.7 Johtopäätökset

Takaisinmaksuaikalaskelman perusteella rumpuseula olisi todennäköisesti erittäin kannattava investointi. Vaikka laskelmassa käytetyt oletukset osoittautuisivatkin liian optimistisiksi, maksaisi huonostiinkin toimiva rumpuseula luultavasti itsensä takaisin erittäin lyhyessä ajassa. Hyvin toimivan ja oikein mitoitettun seulan takaisinmaksuaika on alle puoli vuotta ja siten sen hankkimista voidaan selvityksen lopputulemana ja useiden positiivisten käyttäjäkokemusten tukemana vahvasti suositella. Välpän poistosta aiheutuva muovin kertymisen riski kannattaa pyrkiä minimoimaan esimerkiksi lisäämällä purkuyhteitä myös reaktorien yläosaan.

Hydrosyklonin investointia ei sen sijaan selvityksen perusteella voida ainakaan varauksetta suositella. Syklonia ei saatu kummassakaan tarkastellussa skenaariossa kannattavaksi. Vaikka sykloni ja syklonin ja Ro5-BIO:n yhdistelmä saivatkin paremman erottelutuloksen kuin pelkkä Ro5-BIO, vuotuiset kustannukset kasvavat niin suuriksi, ettei investointi ole taloudellisesti järkevä. Jos kuitenkin annetaan lisäarvoa toimintavarmuudelle, joka savutetaan kahden eri laitteen yhtäaikaisella käytöllä tai inhimillisille tekijöille, kuten tukosten aiheuttamalle vaivannölle, voi hydrosyklonin investointi olla kannattava hankinta. Investointia kannattaa myös tarkastella uudestaan, jos tulevaisuudessa tarjoutuu mahdollisuus uusille koeajoille ja laite saadaan säädettyä siten, että erottelutulos saadaan pysyvästi samalle tasolle kuin koeajojen ensimmäisinä päivinä.

Selvityksen tuloksena luotiin Kuopion biokaasulaitoksen esikäsittelylle uusi prosessikaavio (ks. kuva 45), jossa jätettiin optio hydrosyklonin lisäämiseksi nykyiseen esikäsittelyprosessiin. Rumpuseula suositellaan lisättäväksi mädätysprosessin jälkeen ja välppäys poistettavaksi kokonaan. Toimittajakeskustelujen perusteella sopiva silmäkoko rumpuseulalle olisi luultavasti 6–8 mm.



Kuva 45. Suositus Kuopion biokaasulaitoksen esikäsittelyprosessin kehittämiseksi ja tehostamiseksi

7 POHDINTA

Selvityksen aikana käydyt keskustelut laitetoimittajien ja laitteiden käyttäjien kanssa puoltavat vahvasti rumpuseulan hankintaa. Investointia tukee myös kannattavuuslaskelma, jonka perusteella laitteen takaisinmaksuaika olisi erittäin lyhyt. Selvityksen aikana ei kuitenkaan löydetty sellaista laitetoimittajaa, joka olisi voinut tarjota sopivan koelaitteen, jolla toiminta ja siten myös kannattavuus olisi aukottomasti pystytty todentamaan. Tämä aiheuttaa mahdolliseen investointiin toiminnallisen riskin; jos laite ei jostain syystä toimita, jää virheinvestoinnista aiheutuneet kustannukset tilaajan kannettaviksi. Jatkoselvitystä sopivan koelaitteen löytämiseksi suositellaan tämän riskin minimoimiseksi.

Väljän mahdollinen poisto voi aiheuttaa muovin kertymistä reaktorien pinnalle, koska reaktorit ovat normaalitilanteessa täynnä. Tästä aiheutuu riski siihen, että reaktorin pinnalla kelluva muovi estää biokaasun vapautumista, josta taas voi aiheutua vaahtoamista ym. odottamattomia ongelmia. Tätä riskiä voidaan pienentää esimerkiksi lisäämällä purkuyhteitä reaktorin yläosaan esimerkiksi näkölasien laippoihin. Tällöin reaktoreita voisi purkaa sekä ylä- että alakautta.

Hydrosyklonin koeajoista saatuihin tuloksiin ei täysin varauksetta voi luottaa, koska laiterikkojen vuoksi varsinaiset koeajopäivät jäivät vähäisiksi. Lisäksi tuloksissa oli suurta variaatiota ja jäi epäselväksi, johtuiko se käsiteltävän biojätteen vaihtelevasta koostumuksesta vai oliko kyseessä esimerkiksi säätötekniinen seikka. Ensimmäisenä koeajopäivänä hydrosyklonilla saavutettu loistava puhdistustulos saattoi johtua myös siitä, että laite oli käyttöönotettaessa täysin puhdas ja kuiva, kun taas seuraavina päivinä koeajot aloitettiin aina siitä tilanteesta, johon edellisellä koeajokerralla oli jääty. Vaikka laitteelle suoritettiinkin loppupesusekvenssi aina koeajopäivän päätteeksi, laitteeseen jäi silti aina sekä vettä että rejektiä.

Yllättävää koeajoissa oli, että määrällisesti suurin erottelutulos saavutettiin pelkän syklonin käytöllä ja yhtäaikaisella syklonin ja Ro5-BIO:n käytöllä tulos jäi samalle tasolle kuin pelkän Ro5-BIO:n käytöllä. Ero voi tosin selittyä käsiteltävän biojätteen koostumuksen vaihtelulla, mutta selkeä vaikutus kahden laitteen yhtäaikaisella käytöllä oli varsinkin Ro5-BIO:n puhdistustulokseen: hydrosykloni nähtävästi aiheutti Ro5-BIO:n laskeutusaltaaseen turbulenssia, joka heikensi raskaan aineksen laskeutumista ja siten myös puhdistustulosta. Toisaalta tulosten perusteella vaikuttaa myös siltä, että syklonin aiheuttama virtausolosuhteiden muutos estää myös orgaanisen aineksen laskeutumisen, jolloin Ro5-laitteen raskaaseen hylkyyn erottui vähemmän orgaanista ainesta kuin ilman syklonia.

Syklonin käyttämä, prosessiin johdettava erotusvesi voi olla kustannustekijä laitoksesta riippuen: Kuopion laitos vastaanottaa merkittävän määrän mm. maidonjalostusteollisuuden nestemäisiä jättejakeita, jotka laimentavat prosessia eikä ylimääräistä laimennusvettä ole siten prosessiin tarvetta lisätä, jolloin syklonin käyttämä erotusvesi laimentaa prosessia entisestään. Tyypillisesti vesi laimentaa myös laitoksen lannoitelopputuotteita ja lisää näin myös lannoitekustannuksia. Kaikki ylimääräinen vesi täytyy myös hygienisoida ja johtaa prosessin läpi, mistä aiheutuu lisää prosessointikustannuksia. Sykloni voisi siis olla kannattavampi biokaasulaitoksella, jonka syöte pohja koostuu kuivemista jakeista ja jossa laimennusvettä muutenkin joudutaan prosessiin lisäämään.

Kannattavuustarkastelussa jouduttiin tekemään useita oletuksia, koska eri kustannustekijöistä ei välttämättä ollut saatavissa tutkittua tietoa, mutta kuitenkin niillä saattaa olla suuri merkitys kustannusten muodostumiseen. Eräs tällainen seikka oli biojätteen esikäsitteilyprosessista biokaasuprosessiin poistuvan epäorgaanisen materiaalin laskeutuminen; tiedossa ei ollut, mikä osuus epäorgaanisesta materiaalista kertyy prosessiin ja joudutaan jossain vaiheessa laitoksen elinkaarta poistamaan putkistoista tai säiliöistä imu-paineautolla tai muuten koneellisesti. Kokemus laitoksen operoinnista on osoittanut, että koneellisen poiston kustannus on moninkertainen massayksikköä kohden verrattuna siihen, että materiaali saataisiin eroteltua jo esikäsitteilyprosessissa.

Paras epäorgaanisen aineen poistotulos saatiin pelkällä syklonin käytöllä. Muut kokoonpanot (Ro5-BIO ja Ro5-BIO+sykloni) päästivät prosessiin enemmän epäorgaanista materiaalia, joka täytyy myöhemmin, ainakin osittain poistaa suuremmilla kustannuksilla. Vaikka pelkkä sykloni poistikin määrällisesti kaikkein eniten epäorgaanista materiaalia, se poisti myös keskimäärin enemmän vettä hylkyjakeeseen kuin muut kokoonpanot. Koeajojen perusteella laitokselle, jossa on jo käytössä Huber Ro5-BIO-kompaktilaitte raskaan hyllyn erottelussa, ei hydrosyklonia kannata investoida. Mikäli kyseessä olisi kokonaan uuden esikäsitteilyprosessin hankkiminen, voisi hydrosykloni olla järkevä valinta, jos on tiedossa, että käsiteltävä materiaali sisältää paljon raskasta, epäorgaanista ainesta. Mikäli laitokselta halutaan toimintavarmuutta, voi olla kannattavaa hankkia molemmat laitteet, jolloin toisen laitteen vaurioituminen ei välttämättä pysäyttäisi koko esikäsitteilyprosessia.

Kuopion biokaasulaitoksella hydrosyklonin toimintaa voisi olla suositeltavaa kokeilla myös lietteen vastaanoton materiaalilla, joka sisältää myös biojätteen esikäsitteilyprosessista tulevan biojätelietteen, mutta prosessisakeus on mm. nestemäisten maitojakeiden vuoksi alhaisempi, jolloin erottelutehokkuuskin olisi luultavasti parempi. Tällöin hydrosykloni ei myöskään tarvitsi omaa pumppua vaan voitaisiin käyttää lietealtaan omaa pumppua, mikä alentaisi operointikustannuksia merkittävästi. Raskaan hylkymateriaalin keräykseen biojätteen esikäsitteilyssä nykyisin käytetyt kippikontit eivät ole optimaalisin ratkaisu kiintoaineksen mukana erottuvan veden vuoksi. Keräystä ja vedenpoistoa kannattaa yrittää jatkokehittää siten, että hylkyjake saataisiin kuivempana jatkokäsittelyyn ja siten hylkykustannuksia alennettua.

Pienempinä parannusehdotuksina voidaan suositella akselittoman spiraalin kokeilua Tiger-biopuristimen hyllyn poistossa sekä Huber-laitteen magneettiventtiilien vaihtamista sellaisiksi, että ne toimisivat myös likaisemmalla prosessivedellä. Akseliton spiraali luultavasti keräisi itseensä vähemmän muovia, jolloin työlääksi koetun ruuvien puhdistuksen tarve harvenisi. Prosessiveden käyttö Huber-laitteella taas vähentäisi teknisen veden ja siten myös puhtaan verkostoveden käyttötarvetta sekä pienentäisi prosessointi- ja lannoitekustannuksia.

LÄHTEET

- Alessi, Alessia, do Carmo Precci Lopes, Alice, Müller, Wolfgang, Gerke, Frédéric, Robra, Sabine & Bockreis, Anke 2020. Mechanical separation of impurities in biowaste: Comparison of four different pretreatment systems. Innsbruck, Itävälta: Unit of Environmental Engineering, Department for Infrastructure, University of Innsbruck
- Biotec Sistemi S.r.l. 2019. 32 m³ BTA® Waste Pulper WP32TMSR Use, Maintenance and Spare Parts Manual. Gasum Oy. Pdf-tiedosto. Dokumentti yrityksen hallussa.
- BTA International GmbH 2019a. Lohja Biogas Plant. Part 1: Technical Concept Annex 7: Preliminary Equipment Data Sheets. Pdf-tiedosto. Dokumentti yrityksen hallussa.
- BTA International GmbH 2019b. Topinoja Digestion Plant. PI-kaavio. Gasum Oy. Pdf-tiedosto. Dokumentti yrityksen hallussa.
- Cesaro Mac Import S.r.l. 2013. HS 640 Tiger Käyttö- ja huolto-opas. Gasum Oy. Pdf-tiedosto. Dokumentti yrityksen hallussa
- Christensen, Thomas H. 2011. Solid Waste Technology & Management. E-kirja. Iso-Britannia: John Wiley & Sons Ltd.
- Euroopan parlamentin ja neuvoston asetus (EU) 2019/1009. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=celex%3A32019R1009>. Viitattu 6.2.2023.
- Gasum Oy 2022a. Gasum Biogas Production in Finland and Sweden EN. Gasum Oy. Powerpoint-esitys. Dokumentti yrityksen hallussa.
- Gasum Oy 2022b. Gasum yritysesittely FIN 2022. Gasum Oy. Dokumentti yrityksen hallussa.
- Gasum Oy 2022c. Ympäristönsuojelun vuosiraportti 2021 – Gasum Oy, Kuopion biokaasulaitos. Pdf-tiedosto. Dokumentti yrityksen hallussa.
- Helsingin seudun ympäristöpalvelut -kuntayhtymä 2016. Pääkaupunkiseudun seka- ja biojätteen koostumus vuonna 2015. Pdf-tiedosto. Julkaistu 31.1.2016. http://kivo.fi/wp-content/uploads/HSY_2016.pdf. Viitattu 27.9.2022.
- Horn, Susanna, Seppänen, Ari-Matti, Winqvist, Erika, Lehtoranta, Suvi & Luostarinen, Sari 2020. Bio-kaasulaitoksen mädätysjäännöksen hyödyntämismvaihtoehdot – vaihtoehtojen ilmastovaikutukset ja taloudellisuus. Suomen ympäristökeskuksen raportteja 42/2020. Suomen ympäristökeskus. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-11-5229-0>. Viitattu 27.9.2022.
- HS Tekniikka Oy 2022. Kone- ja laiteratkaisut materiaalien käsittelyyn. Tuote-esitys. Pdf-tiedosto. https://hstekniikka.com/wp-content/uploads/2021/02/hs_esite_8s_web.pdf. Viitattu 23.9.2022.
- Huber SE 2014a. Käyttöohjeet ROTAMAT® Hienovälppä Ro 1 BIO. Versio 09/14. Gasum Oy. Pdf-tiedosto. Dokumentti yrityksen hallussa.
- Huber SE 2014b. Käyttöohjeet ROTAMAT® Kompaktilaite Ro 5-BIO. Versio 10/14. Gasum Oy. Pdf-tiedosto. Dokumentti yrityksen hallussa.
- Jätekuikko Oy 2023. Kuopion jätekeskuksen hinnasto. Verkojulkaisu. <https://www.jatekuikko.fi/hinnat/kuopion-jatekeskus.html>. Viitattu 11.2.2023
- Kanamäki, Panu 2022. Käsittelypäällikkö. Lakeuden Etappi Oy. Laitosvierailu 8.9.2022.
- Karisalmi, Tero 2022. Myyntijohtaja. Tecalemit Flow Oy. Muovin ym. poisto syötteestä. Yksityinen sähköpostiviesti 18.8.2022. Viestin saaja: Harri Manu.

Kinnunen, Viljami 2022. Senior Process Engineer. Gasum Oy. Stormossenin oppeja mm. muovin poistosta. Yksityinen sähköpostiviesti 16.6.2022. Viestin saaja: Harri Manu.

Konepaja Survonen Oy 2014. Biokaasureaktoriin säiliökirja Kuopion biokaasulaitos. Gasum Oy. Pdf-tiedosto. Dokumentti yrityksen hallussa.

Lehtisalo, Timo. Managing Director. Kapotek Oy. Kapotekin täryseulat. Yksityinen sähköpostiviesti 20.4.2022. Viestin saaja: Harri Manu.

Lehtonen, Ossi 2022. Laitospäällikkö. Gasum Oy. Haastattelu 13.9.2022.

Lounais-Suomen vesi- ja ympäristötutkimus Oy 2020. Testausseloste 3.7.2020. Gasum Oy. Dokumentti yrityksen hallussa.

Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskus 2014. Biokaasulaskurin käyttöohje – käytännön ohjeita biokaasulaitosinvestointia harkitsevalle. Pdf-tiedosto. https://portal.mtt.fi/images/sovellukset/biokaasu/biokaasulaskuri_ohjekirja.pdf. Viitattu 11.2.2023.

Maa- ja metsätalousministeriön asetus lannoitevalmisteista 24/11. Viitattu 23.9.2022. <https://www.finlex.fi/fi/viranomaiset/normi/400001/37638>

Mutikainen, Mirja 2020. Ramboll Finland. Biokaasun tuotannosta liikennekäyttöön – missä tökkii? Uusiutuvan energian ajankohtaispäivä 21.1.2020. Diaesitys. <https://energiavirasto.fi/documents/11120570/16249680/Biokaasu-tuotannosta-liikennek%C3%A4ytt%C3%B6%C3%B6n-Mutikainen-Mirja.pdf/9b75a422-3831-74a6-91c0-131455a20bf6/Biokaasu-tuotannosta-liikennek%C3%A4ytt%C3%B6%C3%B6n-Mutikainen-Mirja.pdf>. Viitattu 11.2.2023.

Paalumäki, Tauno, Lappalainen, Pekka, Hakapää, Antero 2015. Kaivos- ja louhintatekniikka. 3. uudistettu painos. Tampere: Juvenes Print Oy.

Pihkala, Juhani 2011. Prosessitekniikka: Prosessiteollisuuden yksikkö- ja tuotantoprosessit. Tampere: Juvenes Print.

Pinja Group Oy 2021. Gasum Oy. Once-hallintajärjestelmä. Viitattu 23.9.2022. Vain yrityksen käyttöön.

SFS 3008. 1990. Veden, lietteen ja sedimentin kuiva-aineen ja hehkutusjäännöksen määrittäminen. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS.

Tchobanoglous, George, Theisen, Hilary & Vigil, Samuel A. 1993. Integrated Solid Waste Management: Engineering Principles and Management Issues. New York: McGraw-Hill, Inc.

Tyagi, Vinay Kumar, Khan, Abid Ali, Ng, Wun Jern, Khursheed, Anwar, Kazmi, Absar Ahmad 2019. Post Treatments of Anaerobically Treated Effluents. Lontoo: IWA Publishing.

Watrec Oy 2014a. Säiliöluettelo Kuopion biokaasulaitos. Gasum Oy. Pdf-tiedosto. Dokumentti yrityksen hallussa.

Watrec Oy 2014b. Toiminnallinen kuvaus Kuopion biokaasulaitos. Gasum Oy. Pdf-tiedosto. Dokumentti yrityksen hallussa.

YTM-Industrial Oy 2022. Börger lohkoroottoripumput. Verkkojulkaisu. <https://www.ytm.fi/tuotteet/prosessitekniikka/pumput/borger-lohkoroottoripumput/>. Viitattu 27.9.2022.

LIITE 1: HYDROSYKLONIN KOEAJOSUUNNITELMA

KOEAJOSUUNNITELMA 19.9.2022

Hydrosykloni

Kuopion biokaasulaitos

Tarkoitus:

Koeajon tarkoituksena on selvittää, soveltuuko hydrosyklonilaitteisto hiekan ja muiden raskaiden partikkeleiden erottelemiseen murskatusta, lietetystä ja esiseulotusta biojätteestä.

Suorituspaikka ja -ajankohta:

Kuopion biokaasulaitos / biojätteen esikäsittelyhalli. Kokeen aloitus lokakuun toisella viikolla ja kesto n. 3 viikkoa. Kokeen suorittajat ja valvojat: laitoksen operaattorit, vetovastuu laitospäälliköllä.

Esivalmistelut:

- sijoituspaikka ja mekaaninen asennus
- LVI-valmistelut
 - o DN100 letkut ja yhteet (lokaliittimet)
 - o tekninen vesi (1" letku ja kynsiliitin)
 - o paineilma
- sähkö 16A 3-vaihevirta
- hyllynkeräys, riittävästi kippikontteja
- Huberin tyhjennys imuautolla

Suoritus:

1.vko: laitteen asennukset 2 päivää, käyttöönotto 1 päivä, säätöjen etsiminen 2 päivää

2.vko: syklonin ja Huberin yhtäaikainen ajo

3.vko: syklonin ajo, Huberin hiekanpoisto pois päältä

Mittaukset ja tulosten käsittely:

Koe 1 (sykloni & Huber): Molemmille laitteille merkityt kippikontit. Kokeen alussa molempien laitteiden hyllynpoistokourujen alle asennetaan tyhjät kippikontit. Kun jommankumman laitteen kippikontti alkaa olla täynnä, vaihdetaan molemmat kippikontit ja toistetaan koe. Täydet kippikontit punnitaan pyöräkuormaajan kauhavaa'alla tai tarvittaessa autovaa'alla. Koe toistetaan mahdollisimman monta

kertaa. Molempien laitteiden hylkyjakeista otetaan VS/TS-näytteet. VS/TS määritetään kertaalleen käsiteltävästä massasta ennen hiekanerotusta. Kokeen tuloksista voidaan mahdollisesti päätellä, kumpi laitteista poistaa tehokkaammin raskasta hylkyrejektia.

Koe 2 (sykloni): Syklonin poistamaa hylkymäärää seurataan kippilaatikoiden täyttymisnopeuden kautta. Täyttymiseen kulunut aika mitataan ja täysien kippikonttien painot mitataan pyöräkuormaan kauhavaa'alla tai tarvittaessa autovaa'alla. Hylkyjakeesta otetaan VS/TS-näytteet. Tuloksista voidaan päätellä, onko hydrosyklonin raskaan hyllyn poistokapasiteetti riittävä.

