

LAADUKAS BIOKIERRÄTYS

Macon Oy



Ympäristöministeriö
Miljöministeriet
Ministry of the Environment

Suomen Biokierto ja Biokaasu ry (SBB): Laadukas Biokierrätys

Selvitys biokaasutuotannon ja kompostoinnin vierasaineiden erottelumenetelmistä

Helmikuu 2026

SISÄLLYSLUETTELO

SISÄLLYSLUETTELO

1	JOHDANTO.....	5
1.1	Tausta ja tarkoitus.....	5
1.2	Käsittelymenetelmien vertailu- ja arviointikriteerit (-/+ /++ /+++).....	5
1.3	Sisältö ja työvaiheet.....	6
2	EPÄPUHTAUDET JA NIIDEN RAJOITTEET	7
2.1	Epäpuhtaudet ja raaka-aineet.....	7
2.2	Vaikutukset tuotantoprosesseissa.....	9
2.3	Vaikutukset lopputuotteissa	10
2.4	Lainsäädäntö sekä laadunhallinta Suomessa.....	11
3	KÄSITTELYMENETELMÄT EPÄPUHTAUKSIEN POISTOON JA EROTTELUUN.....	14
3.1	Esikäsittelymenetelmät.....	14
3.2	Epäpuhtauksien poisto ja erottelu tuotantoprosessien yhteydessä	16
3.3	Jälkikäsittely	19
3.4	Epäpuhtauksien poiston yhteenveto ja BAT-arvio.....	21
4	KÄSITTELYMENETELMIEN CASE-ESIMERKKEJÄ.....	23
4.1	CASE 1: Rumpuseula, silppuri, murskain sekä mäntäpuristin.....	23
4.2	CASE 2: Silppuri sekä mäntä- ja ruuvipuristin	24
4.3	CASE 3: Vasaramylly (märkämurskain) sekä seulonta.....	25
4.4	CASE 4: Pulpperi ja rumpuseula.....	26
4.5	CASE 5: Saksa, Dortmund, kompostointi ja mädätyslaitos	27
4.6	CASE 6: Espanja, Katalonia, pienkompostointilaitos	28
5	KAUPALLISIEN EPÄPUHTAUKSUEN KÄSITTELYMENETELMIEN VERTAILU.....	29
5.1	Ratkaisujen arviointimenetelmä	29
5.2	Esikäsittelymenetelmät.....	30
5.2.1	Tiger Depack: Ruuvipuristin ja mekaaninen murskaus.....	30
5.2.2	Mavitec Paddle Depacker: Mekaaninen murskaus.....	32
5.2.3	Palmieri Advanced Splitting System (PASS): kaksoisroottorimurskaus	34
5.2.4	Atritor Separator (Thor/Turbo): Kaksoisruuvipuristin ja separaattori....	36
5.2.5	Ecogi: Biopulpperi ja pakkauksenpoisto	38
5.2.6	Nihot SDS Windshifter: Aerodynaaminen lajittelulaitteisto	40

5.2.7	Tomra Autosort: Optiset ja sensorivusteiset lajittelulinjat	42
5.2.8	Doppstadt: rumpuseula ja silppuri	44
5.3	Jatkuvatoimiseen sekä jälkikäsittelyyn soveltuvia ratkaisuja	46
5.3.1	Taron Activated Sludge Filter: Dynaaminen membraanisuodatin	46
5.3.2	Andritz HydraDisc: kiinteä kiekkosuodatin	48
5.3.3	Salsnes Filter: Mekaaninen mikroseula	49
5.3.4	Parkson DynaSand: hiekkapetisuodatin	50
5.3.5	Multotec syklonit: hydrosykloniratkaisut	52
5.4	Jälkikäsittely	54
5.4.1	Pyreg biochar: Pyrolyysilaitteisto	54
5.4.2	Ingelia HTC: Hydroterminen karbonisointi (HTC)	55
5.5	Räätälöityjen ratkaisujen toimittajat	56
5.5.1	Käsittelyratkaisut eri prosessivaiheisiin	56
5.5.2	Räätälöidyt suodatusratkaisut	57
5.5.3	Räätälöidyt puristinratkaisut	57
5.5.4	Märkämädätyslaitokset: BTA International	58
5.5.5	Märkämädätyslaitokset: Haarslev	59
5.5.6	Märkä- ja kuivämädätyslaitokset: Kanadevia Inova	60
6	TYÖPAJA JA LAITOSVIERAILUT	61
6.1	Työpaja	61
6.2	Vierailukohteiden kysymysluettelo	63
6.3	Vierailukohteet	64
7	EPÄPUHTAUKSIEN PARHAAT KÄYTTÖKELPOISET POISTOMENETELMÄT	65
7.1	Parhaat käyttökelpoiset menetelmät epäpuhtauksittain	65
7.1.1	Muovimateriaalit	65
7.1.2	Inertit materiaalit: kivi, hiekka, lasi ja metalli	66
7.1.3	Lääkeaineet ja orgaaniset haitta-aineet	67
7.1.4	Raskasmetallit	68
7.1.5	Yhteenveto	68
7.2	Parhaat käyttökelpoiset menetelmät raaka-aineittain	68
7.2.1	Erilliskerätty kotitalouksien biojäte	68
7.2.2	Kauppojen ja elintarviketeollisuuden sivuvirrat	69
7.2.3	Maatalouden eläinlannat	71

7.2.4	Maa- ja metsätalouden kasviperäiset biomassat.....	72
7.2.5	Puhdistamoliete	73
7.2.6	Yhteenveto.....	74
8	YHTEENVETO.....	75
8.1	Erottelumenetelmät.....	75
8.2	Tehokkuus epäpuhtausittain	76
8.3	Tehokkuus raaka-aineittain.....	77
8.4	Johtopäätökset	78

LÄHDELUETTELO

LIITE 1: TYÖPAJAN MENTIMETER-KYSELYN TULOKSET, ESITETYT ESIMERKIT VIERAILUKOhteista SEKÄ YHTEENVETO

LIITE 2: VIERAILUKOhteiden RAPORTIT

1 JOHDANTO

1.1 Tausta ja tarkoitus

Selvityksessä kartoitetaan Suomen olosuhteisiin sopivia teknisiä ratkaisuja epäpuhtauksien poistamiseksi kompostointi- ja biokaasulaitosten esi- ja jälkikäsittelyssä. Raportti on julkinen. Hankkeen osalta pidetään aloituspalaveri (lokakuu) sekä yhteinen työpaja Helsingissä (joulukuu), joiden perusteella laitosvierailuille varataan viisi kohdetta (ml. Gasum Honkajoki, tammikuu). Työvaiheiden aikana ja lopuksi koostetaan raporttia selvityksestä, jonka alustava versio toimitetaan kommentoitavaksi. Raporttia täydennetään ja muodostetaan loppuraportti yhteistyössä kommenttien ja lisähuomioiden mukaisesti.

Selvityksen tarkoituksena on tarjota epäpuhtauksien poistomenetelmistä Suomen olosuhteissa selkeä arviointikokonaisuus, jonka avulla voidaan tarkastella erilaisissa tuotantolaitoksissa harkittavia lisäinvestointeja epäpuhtauksien erotteluun niiden koostumuksen mukaisesti. Tämä mahdollistaa yrityksille lisäinvestoinnin harkintaa pienemmällä vaivalla.

Projektipäällikkönä Macon Oy:n osalta selvityksessä toimii FM Mikko Ahokas, jolla on pitkä kokemus biojätteiden esikäsittelyn ja jalostuksen teknologioiden parissa. Työhön osallistuvat Macon Oy:ltä myös Ins. Joni Saviniemi sekä DI Henri Saarela.

1.2 Käsittelymenetelmien vertailu- ja arviointikriteerit (-/+/++/+++)

Erottelumenetelmän tehokkuus arvioidaan erilaisien kriteerien osalta tavoitteena muodostaa yhtenäinen menetelmä erilaisten teknisten, taloudellisten ja turvallisuuteen liittyvien ratkaisujen arvioimiseksi. Arviointia toteutetaan tuotantoteknologioiden ominaisuuksien ja mahdollisuuksien mukaisesti. Pisteytyksen avulla voidaan vertailla eri erottelumenetelmien vahvuuksia ja heikkouksia. Arviointi muodostetaan pisteytysmallina, jossa osa-alueita arvioidaan arvosanalla -, +, ++ tai +++ seuraavasti:

- -, ratkaisulla ei arvioida olevan merkittävää vaikutusta,
- +, perustason ratkaisu, joka täyttää minimivaatimukset,
- ++, hyvä teknisesti ja taloudellisesti käyttökelpoinen ratkaisu ja
- +++, optimaalinen ratkaisu, erinomainen soveltuvuus, korkea energiatehokkuus ja turvallisuustaso.

Selvityksen tarkastelu toteutetaan eri vaihtoehdoille alkaen erottelumenetelmän teknisestä katsauksesta kirjallisuuskatsauksen muodossa. Erottelumenetelmän tehokkuus arvioidaan (-/+/++/+++)-asteikolla erilaisien kriteerien perusteella:

- epäpuhtauksien poistotehokkuus (esim. muovi, lasi tai metallijakeet),
- käsiteltävän materiaalin määrä (soveltuvuus pienille tai suurille tuotantolaitoksille),
- muodostuvan rejektin määrä,

- kustannustehokkuus ja
- soveltuvuus Suomen olosuhteisiin.

1.3 Sisältö ja työvaiheet

Selvityksessä toteutetaan kirjallisuuskatsaus, jonka avulla koostetaan epäpuhtauksien erottelumenetelmien ja vaatimusten olennaisimpia huomioita. Kirjallisuuskatsauksessa epäpuhtauksista kootaan alustava yhteenveto (luku 2) sekä tarkastellaan erottelumenetelmien teknisiä ratkaisuja toiminnan ja ominaisuuksien mukaisesti (luku 3). Esimerkkejä menetelmien yhdistelmistä esitetään CASE-esimerkkien avulla (luku 4). Yksittäisiä kaupallisia ratkaisuja ja räätälöityjä kokonaisuuksia sekä niiden ominaisuuksia, kuten erottelutehokkuutta ja kustannuksia, tarkastellaan seuraavassa osiossa (luku 5). Työpajan sisältö esitetään liitteenä (liite 1) sekä sen sisällön perusteella muodostuneet kiinnostuksen kohteet, kysymysluettelo ja vierailukohteiden ja/tai jatkotoimenpiteiden raportit omana osuutenaan (luku 6).

Edeltävien osioiden pohjalta koostetaan yhteenveto, jossa esitetään erilaisien epäpuhtauksien käsittelymenetelmien tehokkuutta eri epäpuhtauksien sekä eri raaka-aineiden käsittelyssä (luku 7). Lopuksi raportissa esitetään yhteenveto (luku 7).

2 EPÄPUHTAUDET JA NIIDEN RAJOITTEET

2.1 Epäpuhtaudet ja raaka-aineet

Biokaasu- ja kompostointilaitokset käsittelevät **useista erilaisista orgaanisista biomassoista** muodostuvia raaka-ainevirtoja. Biomassojen mukana prosessiin päätyy myös vierasaineita, eli epäpuhtauksia, joita ei voida hajottaa käytössä olevilla prosesseilla. Lisäksi ne vaikeuttavat sekä hidastavat muun tuotannon toimintaa muodostaen tukoksia ja kuluttaen laitteistoa. Kemialliset epäpuhtaudet, kuten lääkeaineet tai antibiootit, hidastavat myös biomassan kaasuuntumista¹. Raaka-aineet eroavat toisistaan koostumuksen, kosteuden, ravinnepitoisuuden ja epäpuhtauksien suhteen. Epäpuhtauksien **määrä ja laatu** vaihtelevat myös keräysalueiden, keräysmenetelmien sekä vuodenaikojen mukaan.

Suomessa raaka-aineiden luokittelu toteutetaan yleisesti jakamalla ne **erilaisiin biomassojen tyyppeihin**: erilliskerätty biojäte, elintarviketeollisuuden sivuvirrat, kauppojen ja ammattikeittiöiden biojakeet, maatalouden eläinperäiset biomassat, maa- ja metsätalouden kasviperäiset biomassat sekä puhdistamolietteet. Kompostoinnissa käytetään lisäksi tukiaineita, kuten puuhaketta, turvetta sekä muita kuiva-ainepitoisia materiaaleja, jotka parantavat seoksen ilmavuutta ja tehostaen kompostointiprosessin toimintaa. Seuraavaksi esitetään eri syöteaineiden epäpuhtauksia koskeva kuvaus. Tarkastelu ei ota kantaa epäpuhtauksien määrään tai niiden suhteelliseen osuuteen käsiteltävistä kokonaismassoista.

Erilliskerätyn biojätteen osalta suuri osa epäpuhtauksista muodostuu biojätteiden keräyksessä käytettävistä muovipusseista sekä kotitalouksien lajitteluvirheistä. Kauppan alan erilliskerätty biojäte toimitetaan osin myös myyntipakkauksissaan ja sisältää tämän vuoksi huomattavia määriä muovijakeita. Lajitteluvirheiden sekä orgaanisen materiaalin sisällön mukaan seassa voi olla myös raskasmetalleja.

Elintarviketeollisuuden sivuvirtojen biomassojen epäpuhtaudet muodostuvat pääosin elintarvikepakkausista (muovi, lasi ja metalli). Epäpuhtauksia päätyy sivuvirtoihin myös jossain määrin elintarviketeollisuuden lajitteluvirheiden seurauksena. Lajitteluvirheiden sekä orgaanisen materiaalin sisällön mukaan seassa voi olla myös raskasmetalleja.

Maatalouden eläinperäisiä biomassoja ovat esimerkiksi kuiva- ja lietalannat. Näiden epäpuhtaudet muodostuvat pääosin eläimille syötetyistä lääkeaineista (kuten antibiootit) sekä ruokaan tai kerättyyn biomassaan päätyneistä epäpuhtauksista kuten hiekka ja muovirokat². Suomessa antibioottien määrä on vähäisempää verrattuna Keski-Eurooppaan. Ruokaan päätyvät epäpuhtaudet ovat tavanomaisesti eläinten syömiä materiaaleja, kuten tuulen mukana kulkeutuvat tai maasta löytyvät epäpuhtaudet, kuten hiekka, muovipakkauksien kappaleet, pienet kivenpalaset tai jopa tölkit. Lattialta tai lantakourusta kerättyä mukana voi päätyä myös helpommin irtonaisia kiven kappaleita.

¹ (Rao, ym., 2024)

² (Qi, ym., 2025)

Maa- ja metsätalouden kasviperäisiä biomassoja ovat maanviljelystä muodostuvat sivuvirrat eloperäisistä materiaaleista. Sivuvirrat koostuvat kasviperäisien materiaalien kappaleista, jotka eivät ole myyntiin päätyviä materiaaleja ja jotka erotellaan päätuotteesta. Sivuvirrat voivat siis sisältää esimerkiksi kasvien varsia, kuoria, lehtiä, juuria tai hakkuutähteitä. Näiden epäpuhtaudet muodostuvat pääasiassa biomassoihin päätyneen maa-aineksen mukana tulleista epäpuhtauksista, kuten kivet ja hiekka. Jakeet voivat sisältää myös erilaisia mekaanisten laitteiden osia, jotka irtoavat käsittelyprosesseissa hyödynnettävistä laitteista ja koneista, kuten tiivisteitä, kumin tai muovin palasia tai metallisia osia.

Puhdistamolietteet ovat jätevedenpuhdistamoilta saatavaa orgaanisia rejektimateriaaleja. Tässä selvityksessä puhdistamolietteistä puhuttaessa tarkoitetaan vain yhdyskuntalietteistä muodostuneista lietteistä, ei teollisuudesta muodostuvista puhdistamolietteistä. Niiden epäpuhtaudet johtuvat pääasiassa yhdyskuntien toiminnasta muodostuvien jätevesilietteiden sisältämistä lääkeaineista, raskasmetalleista sekä mikromuoveista³. Elintarviketeollisuudessa biojätteet ovat usein irtonaista biojätettä, joka ei sisällä juurikaan epäpuhtauksia sen ollessa pakkaamatonta raaka-ainetta⁴.

Epäpuhtaudet sekä tarkasteltavat raaka-aineet kootaan yhteenvedoksi taulukkoon (Taulukko 1.). Taulukossa esitetään raaka-aineet ja arvio niissä esiintyvistä epäpuhtauksista.

Taulukko 1. Arvioitu epäpuhtauksien jakauma eri biomassojen välillä asteikolla epätodennäköinen (-), harvoin (+), usein (++) ja tavanomaisesti (+++).

Vierasaine	Erilliskerätty biojäte	Kauppojen ja elintarviketeollisuuden sivuvirrat	Maatalouden eläinlannat	Maa- ja metsätalouden kasviperäiset biomassat	Puhdistamoliete
Muovi	++	+++	+	-	+
Lasi	++	+++	-	-	-
Metalli	++	+++	-	+	-
Hiekka	-	-	++	+++	-
Kivi	-	-	++	+++	-
Lääkeaineet	-	-	+	-	+++
Raskasmetallit	+	+	+	-	+

Esimerkiksi Tanskassa biojätteestä ei ole aiemmin tavanomaisesti eroteltu pakkauksia vaan näiden erottelu on toteutettu osana raaka-aineen käsittelyä biokaasun tuotantoprosessia⁵. Ruotsissa toimintamalli on myös ollut samankaltainen ja yleisesti biojätteistä eroteltujen muovien kierrätyksen on todettu olevan haastavaa, jonka takia nämä päätyvät yleensä polttokäyttöön⁶. Nykyisin Tanska on siirtynyt pääosin erillisten epäpuhtauksien erottelulaitosten käyttöön ja Ruotsi on siirtymässä kohti näiden erottelua erillisissä kohteissa siirtäen vastuuta jätteiden syntypaikalle⁷.

³ (Fjäder, ym., 2022)

⁴ (Suarez;Sambusiti;Grassl;& Monlau, 2024)

⁵ (Ecogi, 2025)

⁶ (Avfall Sverige, 2025)

⁷ (Naturvardsverket, 2025)

Kokonaisuudessaan **lopputuotteessa** (kuten mädätejäännös tai komposti) esiintyvien epäpuhtauksien määrät vaihtelevat sekä raaka-aineen epäpuhtauksien määrästä, laadusta sekä käsittelymenetelmistä. Epäpuhtauksien määräksi mitattiin esimerkiksi eräissä tutkimuksissa lopputuotteissa: 6,5 % lasia, kiveä tai hiekkaa, 5,9 % muovia ja 5,8 % paperia tai kartonkia⁸. Muovijakeista muodostuu osittain mekaanisessa käsittelyssä mikromuoveja, joten on yleisesti suositeltavaa vähentää epäpuhtauksia jo ennen prosessia⁹. Lannoitelainsäädäntö asettaa raja-arvot lopputuotteessa oleville epäpuhtauksille.

2.2 Vaikutukset tuotantoprosesseissa

Epäpuhtaudet vaikuttavat kompostointi- ja biokaasuprosessien toimintaan useiden mekanismien kautta. Prosessin läpi kulkevat ylimääräiset materiaalit voivat **heikentää tuotantotehokkuutta** vähentäen itse tuotantonopeutta. Kaikki epäpuhtaudet, jotka kulkeutuvat prosessien läpi **vähentävät myös biokaasutuotantoa** vähentämällä hyödynnettävää reaktoritilavuutta. Kompostoinnissa kaikki epäpuhtaudet vähentävät myös hyödynnettävää kompostointikentän tai kompostorin tilavuutta. Pehmeät muovit ja erilaiset epäpuhtauksien kertymät (esimerkiksi putkistoissa) voivat hidastaa prosessien toimintaa esimerkiksi virtausnopeuden osalta.

Määrät voivat olla hetkellisesti pieniä, mutta vaikutukset voivat olla suuria pitkällä aikavälillä. Kaikki epäpuhtaudet ovat myös lopputuotteiden **laatua** heikentäviä tekijöitä. Epäpuhtauksia eroteltaessa niiden mukana poistuu usein myös **käyttökelpoista raaka-ainetta**.

Erityisesti **muovijakeita** on monipuolisesti. Pehmeämmät muovit tukkivat erityisesti suodattimia ja seuloja aiheuttaen erityisesti kunnossapitokustannuksia. Erityisen venyvät muovit puolestaan kiertyvät helpommin käsittelylaitteistoon ja voivat aiheuttaa tukoksia tai heikentää laitteiston toimintaa. Muovi usein silppuuntuu pienemmiksi paloiksi itse prosessiin, jos sitä ei saada eroteltua, kulkien käsittelyprosessien läpi päätyen lopputuotteiden sekään usein pieninä jakeina, kuten mikro- tai makromuovina. Perinteisen muovin lisäksi pakkauksissa ja biojätepusseissa käytetään biohajoavaa ja kompostoituvaa biopohjaista muovia, joka voi osittain tai kokonaan hajota käsittelyn aikana. Kierrätyslaitoksen laitteisto ei tyypillisesti pysty erottelemaan eri muovityyppejä, vaan kaikki muovin kaltaiset epäpuhtaudet pyritään poistamaan käsittelyssä. Markkinoilla on erilaatuisia biohajoavia muovimateriaaleja, joiden kierrätettävyydessä ja biohajoavuudessa on eroja. Viime vuosina on tullut markkinoille biohajoavia muovimateriaaleja (esimerkiksi OKCompostHOME-sertikaatin mukaiset), jotka hajoavat helpommin eivätkä aiheuta vastaavia ongelmia kuin ensimmäisen sukupolven biopussit¹⁰.

Mikro- ja makromuovit voivat myös vaikuttaa esimerkiksi mikrobien toimintaan hidastaen mädätysprosessista muodostuvan kaasun tuotantoa¹¹. Muovijäänteet vaikuttavat biokaasureaktoreissa hydrolyysin tehokkuuteen ja orgaanisten materiaalien happamoitumiseen muuttaen reaktorin olosuhteita sekä kuormittaen mikrobikantaa.

⁸ (Shyamal;Ali;Singh;& Kazmi, 2024)

⁹ (Aponte;Kabir;& Tompkins, 2023)

¹⁰ (Lehtinen, Nurkkanen, Raiko, & Holopainen, 2024)

¹¹ (Liu, ym., Microplastics, Antibiotics, and Heavy Metals in Anaerobic Digestion Systems: A Critical Review of Sources, Impacts, and Mitigation Strategies, 2025)

Korkeilla muovipitoisuuksilla reaktorissa ei muodostu yhtä suuria määriä rasvahappoja orgaanisen happamoitumisen seurauksena. Mikäli muovijäänteitä on kuiva-ainemassassa korkeita määriä (20–60 partikkelia per gramma) voi biokaasuntuotantoa hidastua tai vähentyä jopa 9–24 %.²

Mekaanisesti kovat materiaalit (kovat muovit, lasi, metalli, hiekka, kivi) ovat materiaaleja, jotka eivät hajoa orgaanisessa käsittelyssä. Mekaanisesti kovat materiaalit jauhaantuvat prosessissa pitkällä aikavälillä kuluttaen laitteistoa ja vaatien paljon mekaanista työtä ja tämän seurauksena myös energiaa samalla vahingoittaen ja kuluttaen käsittelylaitteita lisäten huoltoseisakkeja sekä -kustannuksia.

Raskasmetallit sekä lääkeaineet voivat hidastaa bioreaktorin sekä kompostoinnin mikrobien toimintaa. Mikrobitoiminnan hidastuminen hidastaa myös mädätysprosessista muodostuvan kaasun tuotantoa tai orgaanisten yhdisteiden hajoamista.¹¹

Epäpuhtauksien poiston tehostamista sekä rejektin muodostumisen vähentämistä edistävät keskeiset ajurit ovat siis laitteiston käyttöiän pidentäminen, huoltotarpeiden vähentäminen sekä tuotantotehokkuuden tehostaminen. Muita ajureita epäpuhtauksien poiston tehostamiselle voivat olla myös esimerkiksi jätteiden käsittelyn kustannukset, ympäristövaikutuksien vähentäminen ja ongelmallisten epäpuhtauksien hyödyntäminen jossain toisessa jatkojalostustoiminnassa.

2.3 Vaikutukset lopputuotteissa

Lopputuotteita biokaasutuotannossa ovat **biokaasu sekä mädätejäännös**. Biokaasun sisältämät epäpuhtaudet heikentävät biokaasun energiasisältöä ja ovat kaasumaisia. epäpuhtauksia erotellaan, mikäli biokaasu suodatetaan puhtaammaksi biometaaniksi. Tarkasteltavat epäpuhtaudet eivät kuitenkaan kaasuunnu, joten nämä päätyvät mädätejäännöksen sekaan.

Kompostoinnissa lopputuotteena muodostuu **hajukaasuja, kompostia sekä eroteltua kiintoainetta**. Kompostia hyödynnetään myyntikelpoisena lannoiteaineena, hajukaasuja pyritään usein vähentämään esimerkiksi biopohjaisista raaka-aineista valmistettuun suodattimia hyödyntäen. Esimerkiksi turvetta ja eroteltua kiintoainetta usein kierrätetään prosessissa myös seosaineena.

Mekaanisesti kovien materiaalien pienikokoiset jäänteet päätyvät lopputuotteisiin. Materiaalit lisäävät kuljetuskustannuksia ylimääräisenä massana sekä tilavuutena ja vähentävät esimerkiksi lopputuotteen ravinnepitoisuutta. Kompostoinnissa suurikokoisemmat jäänteet (erityisesti metallista ja lasista) voivat aiheuttaa myös ongelmia maanviljelyssä. Kasvatettavat eläimet voivat syödä materiaaleja, jotka voivat pienikokoisinakin vaurioittaa sisäelimiä.

Muovit ovat ympäristössä erittäin pysyviä ja pienikokoisina jäänteinä ne päätyvät helposti eliöihin³. Biohajoavista muoveista voidaan kompostoinnissa 90 päivän aikana hajottaa arviolta vain alle 20 %¹², joten kompostoinnissakin lopputuotteeseen jää jäljelle usein suurin osa biohajoavista muoveista. Tavanomaisista muoveista hajoaa vielä pienempi osuus kuin biohajoavista muoveista, joten voidaan arvioida, että vähintään 80

¹² (Cucina;De Nisi;Trombino;Tambone;& Adani, 2021)

% prosessiin päätyvistä muoveista päätyy lopputuotteiden sekaan, jos sitä ei erotella raaka-aineesta.

Mikromuovien päätyemisestä ympäristöön muodostuu monenlaisia haittavaikutuksia, kuten niiden pienien määrienkin syömisen tarkoittavan niiden päätyvän ravintoverkkoon. Ympäristöön päädyttyään mikromuovit voivat päätyä myös monilla tavoilla vesistöihin, joissa ne voivat aiheuttaa myös monenlaisia haittavaikutuksia sekä toimia myös reittinä ravintoverkkoon.³

Kompostoinnissa ja mädätyksessä **raskasmetalleja** ei juurikaan saada eroteltua ilman erillisiä prosessivaiheita vaan ne pysyvät osana kiinteää lopputuotetta. **Metallien ja lääkejäämien** pitoisuudet voivat vaikuttaa lopputuotteiden hyväksyttävyyteen sekä käytettävyyteen esimerkiksi lannoitekäytössä. Hyväksyttävyyys sekä käytettävyys ovat riippuvaisia sekä paikallisesta, että EU:n lainsäädännöstä. Kuten mikromuovitkin, päätyvät lääkeaineet sekä raskasmetallit helposti ympäristöstä osaksi ravintoverkkoa¹³.

2.4 Lainsäädäntö sekä laadunhallinta Suomessa

Laadunhallinnan kannalta epäpuhtaudet vaikuttavat kompostin ja mädätejäännöksen **hyväksyttävyyteen** sekä jatkokäyttöön maa- ja ympäristörakentamisessa sekä lannoiteaineena. Hygienisointi on lainsäädännöllisesti vaadittua, kun jätevesilietteitä tai eläinperäisiä sivutuotteita (kuten kalajätteet tai eläinlannat) hyödynnetään biokaasutuotannossa, lannoitekäytössä tai maanparannusaineena¹⁴. Vaatimus perustuu EU:n eläinperäisiä sivutuotteita koskevaan asetukseen (EY) N:o 1069/2009 ja sen täytäntöönpanoasetukseen (EU) N:o 142/2011, joita Ruokavirasto valvoo.^{15,16,17}

EU:n lannoitevalmisteasetus (FPR, 2019/1009) määrittää raja-arvot CE-merkittyjen lannoitevalmisteiden osalta (Taulukko 2). EU-lannoitevalmisteasetus on osaharmonisoitu säädös. Tämä tarkoittaa, että vierasainepitoisuuksien hyväksyttävät määrät esitetään EU:n säädöksessä, mutta näille voi olla tarkemmin määriteltyjä kansallisia lainsäädännön asettamia raja-arvoja sekä sääntelyä. Lannoitevalmisteet saavat lisäksi sisältää vain 6 mg PAH₁₆-yhdisteitä per kilogramma kuiva-ainetta.¹⁵

¹³ (Czatkowska;Rolbiecki;Korzeniewska;& Harnisz, 2024)

¹⁴ (Finkex, 2022)

¹⁵ (European parliament and council, 2019)

¹⁶ (Euroopan parlamentti ja neuvosto, 2009)

¹⁷ (Euroopan parlamentti ja neuvosto, 2011)

Taulukko 2. Raskasmetallijäänteiden ja epäorgaanisten epäpuhtauksien raja-arvot kilogrammassa kuiva-ainetta erilaisille valmisteille (mukaillen (European parliament and council, 2019)).

Tuotetyyppi	Epäorgaaninen lannoite (*/**/***)	Orgaaninen lannoite	Orgaaninen kivennäislannoite	Epäorgaaninen pääravinnelannoite
Alkuaine	mg/kg kuiva-ainetta			
Epäorgaaninen arseeni (As)	40	40	40	40
Kadmium (Cd)	1,5	1,5	1,5	1,5
Lyijy (Pb)	120	120	100	120
Elohopea (Hg)	1	1	1	1
Kromi VI (Cr VI)	2	2	2	300
Kupari (Cu)	300	300	200	600
Nikkeli (Ni)	100	50	50	750
Sinkki (Zn)	800	800	1500	500
Fosforipentoksidi (P ₂ O ₅) -ekv. alle 5 % fosforipitoisuudella			3	3
Fosforipentoksidi (P ₂ O ₅) -ekv. yli 5 % fosforipitoisuudella			60	60
Biuretti (C ₂ H ₅ N ₃ O ₂)			12 000	12 000
Perkolaatti (ClO ₄)				50
*Kasvualustalla lisäksi tiukennettu 200 kupari- ja 500 sinkkipitoisuus.				
**Kasvibiostimulanilla lisäksi korkeampi 600 kupari- ja 1 500 sinkkipitoisuus.				
***Kalkitusaineella lisäksi 2 kadmium- ja 90 nikkelpitoisuus.				

Epäorgaaniselle hivenravinnelannoitteelle raja-arvoja on määritetty vähemmän: Epäorgaaninen arseeni 1 000, kadmium 200, lyijy 600, elohopea 100 ja nikkeli 2 000 mg per kg kuiva-ainetta.

Lannoitevalmisteasetus asettaa epäpuhtauksille raja-arvot, jotka ovat linjassa EU-asetuksen kanssa. Mädate ja komposti saavat 31 joulukuuta 2027 asti sisältää:

- yli 2 millimetrin epäpuhtauksia enintään 5 grammaa kilogrammassa kuiva-ainetta joissain seuraavista muodoista: lasi, metalli tai muovi; ja
- edellä a alakohdassa tarkoitettuja epäpuhtauksia yhteensä enintään 10 grammaa kilogrammassa kuiva-ainetta. ^{15,18}

Mädate ja komposti saa 1 päivästä tammikuuta 2028 alkaen sisältää:

- yli 2 millimetrin epäpuhtauksia enintään 2,5 grammaa kilogrammassa kuiva-ainetta joissain seuraavista muodoista: lasi, metalli tai muovi; ja
- edellä a alakohdassa tarkoitettuja epäpuhtauksia yhteensä enintään 5 grammaa kilogrammassa kuiva-ainetta. ^{15,18}

Epäorgaanisia aineita voi toistaiseksi siis olla lasin, metallin tai muovin muodossa korkeintaan 5 gramma per kilogramma kuiva-ainetta ja epäorgaanisia aineita, kuten kiviä tai hiekkaa, 5–10 grammaa, riippuen lasi, metalli ja muovijäänteiden pitoisuudesta.^{15,18}

Suomen lainsäädännössä tarkennetut raja-arvot (Taulukko 3) määrittää lannoitevalmisteasetus (357/2025). Kansallinen lainsäädäntö myös kieltää *Salmonellan* esiintymisen kokonaisuudessaan. *E. Coli* bakteeria saa esiintyä korkeintaan 1000 pmy/g keskiarvolla. Huomioitavaa on, että kromipitoisuus ei koske vain kromi VI vaan kromia yleisesti ja arseenipitoisuus ei koske vain orgaanista arseenia. Raskasmetallipitoisuuksille viljelymaassa on myös asetettu raja-arvot, joihin saakka maaperän metallipitoisuudet saavat korkeintaan olla, mikäli puhdistamolietettä sisältävää lannoitevalmistetta levitetään viljelymaalla. Epäorgaaniselle hivenravinnelannoitteelle on Suomen lainsäädännössä asetettu EU:n lainsäädäntöä huomattavasti tarkemmat raja-arvot: Arseni 60, elohopea 2, kadmium 3, kromi 600, lyijy 200, nikkeli 150 ja sinkki 1 500 mg/kg kuiva-ainetta. Suomen lainsäädännössä esitetyt rajat epäorgaaniselle hivenravinnelannoitteelle sisältävät siis enemmän rajoitteita ja ovat myös jokaisen epäpuhtauden osalta tarkempia.¹⁸

Taulukko 3. Lannoitevalmisteiden epäpuhtauksien tarkennukset Suomen lainsäädännössä (mukaillen (Finlex, 2025)).

Tuotetyyppi	Orgaaninen maanparannusaine	Biostimulantti	Viljelymaan pitoisuus JVL-käytön seurauksena
Alkuaine	mg/kg kuiva-ainetta		
Arseni (As)	40	40	40
Kadmium (Cd)	25	1,5	1,5
Lyijy (Pb)	150	100	120
Elohopea (Hg)	1	1	1
Kromi (Cr)	300	300	300
Kupari (Cu)	300	600	600
Nikkeli (Ni)	120	70	750
Sinkki (Zn)	4 500	1 500	500

¹⁸ (Finlex, 2025)

3 KÄSITTELYMENETELMÄT EPÄPUHTAUKSIEN POISTOON JA EROTTELUUN

3.1 Esikäsittelymenetelmät

Raaka-aineiden esikäsittely (pre-treatment) ja pakkauksenpoisto (depackaging) menetelmiä ja ratkaisuja on useita ja ne toimivat eri tavoin eri raaka-aineiden sekä epäpuhtauksien kohdalla. Esikäsittelyllä tarkoitetaan menetelmiä, joita hyödynnetään ennen varsinaista biomassan käsittelyprosessia, kuten anaerobista mädätysprosessia tai kompostointia. Käsittelyä voidaan toteuttaa kuivakäsittelynä tai raaka-aineista voidaan muodostaa biolietettä. Kompostoinnissa voidaan hyödyntää kuivakäsitteltyjä raaka-aineita tai niitä voidaan sekoittaa kuiva-aineisiin. Kuivamädätyksessä tuotetaan biokaasua paksusta vähän kosteutta sisältävästä materiaalista. Märkämädätyksessä käsitellään biomassasta valmistettua biolietettä.

Esikäsittelyllä poistetaan erityisesti raaka-aineen laatua ja koostumusta heikentäviä inerttejä materiaaleja, kuten hiekkaa, kiviä, ja muoveja¹⁹. Epäpuhtauksien vähentämisellä mahdollisimman aikaisessa vaiheessa voidaan tehostaa biokaasutuotannon ja kompostoinnin prosessin taloudellista tehokkuutta parantaen myös lopputuotteen laatua²⁰. Esikäsittelymenetelmien valintaan vaikuttaa erityisesti syötteen ja sen sisältämien epäpuhtauksien määrä ja koostumus. Esikäsittelyllä vaikutetaan siis suoraan:

- epäpuhtauksien määrään prosessissa,
- prosessin toiminta- ja huoltovarmuuteen (tukokset, kuluminen, virtausongelmat),
- rejektin määrään,
- lopputuotteen kelpoisuuteen lannoite- ja maanparannuskäytössä ja
- prosessilaitteiston elinkaareen.

Esikäsittelymenetelmiä tarkastelleessa tutkimuksessa (WRAP – Final Report) 49 % laitoksista hyödynsi seulontaa, 29 % **mekaanisia** pakkauksenpoistomenetelmiä ja 24 % silppuamista⁹. Vähemmän yleistyneitä menetelmiä ovat käsin toteutettu erottelu (15 %) sekä biolietettäminen⁹. **Manuaalista käsin toteutettua** hidasta ja kallista jätteen lajittelua voidaan myös korvata **automatoisoidulla erottelujärjestelmällä**, joka tunnistaa ja erottelee epäpuhtauksia mekaanisesti²¹. Järjestelmät tunnistavat epäpuhtauksista esimerkiksi muovia ja lasia niiden valon taittumisen avulla²¹. Automatoisoi tunnistusprosessi toimii erityisen hyvin valmiiksi mekaanisesti käsitellyn kuivan materiaalin erotteluun²¹. Biomateriaalin käsittelyssä ratkaisut voidaan siis nähdä hyvänä vaihtoehtona muovien, metallien ja kivien poistossa kuivamurskaukseen yhdistettynä.

Mekaanisella esikäsittelyllä voidaan erotella epäpuhtauksia perustuen näiden mekaanisiin ominaisuuksiin. Mekaanisia ominaisuuksia, joiden avulla erottelua usein toteutetaan ovat paino, tiheys, koko, lujuus, magneettisuus, sähkönjohtavuus sekä valon

¹⁹ (Alessi, ym., 2020)

²⁰ (Coker, 2014)

²¹ (Senanayake & Arashpour, 2025)

taittavuus^{20,22}. Mekaanisella esikäsittelyllä tarkoitetaan useita menetelmiä, kuten **murskausta, puristimia, silppureita, suodattimia sekä hydro- ja aerodynaamista käsittelyä sekä magneettierottelua**. Mekaaninen käsittely on yleinen esikäsittelyratkaisu sen kustannustehokkuuden vuoksi. Mekaanisilla käsittelymenetelmillä on kuitenkin usein haasteita muovikalvojen ja pehmeiden sekä venyvien epäpuhtauksien poistossa.

Aerodynaamisessa erottelussa jo murskattu raaka-aine jaotellaan tiheyden ja painon perusteella ilmavirtaa hyödyntäen. **Hydrodynaamisessa** erottelussa erottelu toteutetaan keräämällä biolietteestä kevyitä jakeita nesteen pinnalta tai raskaita jakeita lieteputken tai säiliön pohjalta painovoimaan pohjautuvilla ratkaisuilla. **Magneettisella erotuksella** voidaan erotella raaka-aineista magneettisia metalleja (rauta ja teräs) ja **induktiovirtaerotuksella** ei-magneettisia metalliesineitä erityisesti murskatusta raaka-aineesta²³.

Biologisella suodatuksella voidaan poistaa raaka-aineesta mikromuovia, antibiootteja sekä raskasmetalleja erityisesti jo mekaanisesti käsitellylle biomassalle²⁴. Biologisessa käsittelyssä voidaan hyödyntää maatalousperäisiä biosorbentteja, kuten riisinkuoria tai biohiiltä sitomaan raskasmetalleja ja antibiootteja itseensä²⁴. Aktiivihiihtä voidaan käyttää suodatinmaisena ratkaisuna esikäsittelyssä tai lisätä biolietteeseen suodatettavaksi pois myöhemmissä vaiheissa (Kuva 1)²⁴.

Elektrokemialliset käsittelymenetelmät voivat toimia epäpuhtauksien poistomenetelmänä, jonka avulla poistetaan erityisesti raskasmetalleja raaka-aineesta. Esimerkkejä menetelmistä ovat ioninvaihtohartsien ja sulfidien käyttö.

Hygienisoinnilla poistetaan orgaanisia epävakaita aineita, kuten mikrobeja (*Salmonella* ja *E. Coli*), joita ei saa esiintyä lopputuotteessa sekä lääkkeitä, jotka voivat myös vaikeuttaa reaktorin mikrobitoimintaa. Hygienisoinnissa liete kuumennetaan vähintään 70 celsiusasteeseen vähintään yhden tunnin ajaksi²⁵. Ratkaisuja on monipuolisesti useilta laitevalmistajilta.

Rejektin pesulla voidaan välttää käyttökelpoisen orgaanisen materiaalin päätymistä rejektimateriaaliin. Rejektin pesussa kaasuuntuvaa biomassaa kerätään prosessiveden avulla takaisin prosessiin ja tätä voidaan toteuttaa myös esikäsittelymenetelmien yhteydessä. Rejektin määrä on riippuvainen raaka-aineen laadusta ja sen sisältämä biomassan määrä taas on usein riippuvainen rejektimateriaalin karkeudesta. Karkea jakoisempi materiaali kerää itseensä helpommin biomassaa. Rejektien mukana prosessista poistuva biomassa ja orgaanista materiaalia sisältävä nestemassa voivat heikentää biokaasun saantoa jopa 10–33 % riippuen prosessista ja sen raaka-aineista⁹. Rejektin pesua on syytä tarkastella, mikäli rejekti sisältää selkeästi paljon orgaanista materiaalia. Rejektin pesun voidaan arvioida olevan kannattavinta esikäsittelyvaiheessa.

Biolietteitä voidaan myös käsitellä **hygienisoinnilla** ennen tai jälkeen bioreaktoriin syöttöä. Biolietteitä voidaan myös käsitellä kemiallisesti prosessien eri vaiheissa lisäten

²² (Lahtela & Kärki, 2017)

²³ (Luo, ym., 2024)

²⁴ (Oberoi, ym., 2022)

²⁵ (Gasum, 2025)

siihen **flokkulantteja**, kuten polymeerejä, jotka auttavat muodostamaan helpommin mekaanisesti eroteltavia sitkeitä flokkeja esimerkiksi mikromuoveista.

3.2 Epäpuhtauksien poisto ja erottelu tuotantoprosessien yhteydessä

Jatkuvatoiminen epäpuhtauksien poisto keskittyy useimmiten materiaaleihin, joita ei saada poistettua esikäsittelyn aikana. Nämä ovat siis tavanomaisesti epäpuhtauksia, joita on haastavaa poistaa mekaanisella käsittelyllä eli erityisen **pienikokoiset jakeet**. Pienikokoisia jakeita ovat erityisesti raaka-aineiden sisältämät lääkeaineet, raskasmetallit, hiekka sekä mikromuovit. Esikäsittelyssä muodostuu myös pienikokoisia jakeita, kuten lasi- ja kivimursketta sekä mikromuoveja.

Biolietteen kierrätyksessä biolietettä palautetaan aikaisempiin prosessivaiheisiin tavanomaisesti reaktorin pinnalta tai pohjasta. Kierrätettävä bioliete voidaan suodattaa tai syöttää suoraan takaisin prosessin aikaisempiin vaiheisiin. Epäpuhtauksia voidaan saada kerättyä edeltävää vaihetta paremmin talteen esimerkiksi flokkulanttien tai polymeerien käytön seurauksena. Vaikeasti ja hitaasti hajoavat yhdisteet voidaan myös kierrättää uudelleen hygienisoinnin kautta reaktorille, jolloin niiden hajoamista tuetaan.

Lisäaineilla, kuten aktiivihiilellä, polymeereillä sekä erilaisilla flokkulanteilla voidaan kuitenkin edesauttaa suurempien kiinteiden partikkeleiden muodostumista ja sakkautumista reaktorin pohjalle. Sakkautuneet materiaalit painuvat reaktorin pohjalle ja pysyvät reaktorissa kauemmin, jonka seurauksena näistä suurempi osa hajoaa ennen reaktorista poistumista. Sakkautuneita materiaaleja on myös helpompi erotella mekaanisesti tai suodattaa, jos tämä nähdään tarpeellisena.

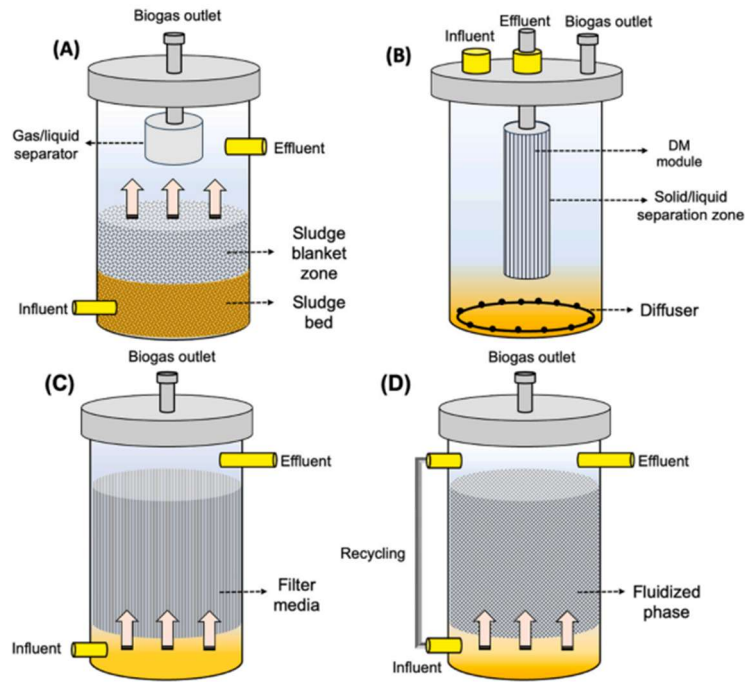
Mekaanisella epäpuhtauksien poistolla prosessin aikana voidaan poistaa pääasiassa reaktorin pinnalla olevia kevyitä kappaleita tai reaktorin pohjaan päätyviä raskaita materiaaleja. Mekaanisissa menetelmissä tavanomaisesti kierrätetään pohjassa tai pinnalla olevaa biolietettä mekaanisten suodatinratkaisujen läpi. Mekaaniset ratkaisut voivat olla esimerkiksi erilaisia suodattimia, hydrosykloneita tai seuloja.

Dynaamisia membraaniratkaisuja (DMBR) voidaan hyödyntää biolietteen suodatuksessa ennen tai jälkeen bioreaktoria (Kuva 1, kohdat A ja B) tai reaktorissa itsessään toimivana membraanipetinä (Kuva 1, kohdat C ja D) epäpuhtauksien poistamisessa. DMBR-ratkaisujen hyödyntämistä on tutkittu viime vuosina erityisesti Kiinassa ja koekäytetty lupaavilla tuloksilla 100 m³ päivittäisen käsittelykapasiteetin reaktoreissa. Epäpuhtauksien poisto perustuu siihen, että epäpuhtaudet pysyvät reaktorissa kauemmin ja ne hajoavat päätyttyä lopputuotteisiin.^{1,26,27,28}

²⁶ (Segredo-Morales;González;& Díaz, 2025)

²⁷ (Samaei;Chen;Li;Whitman;& Xue, 2023)

²⁸ (Asif;Maqbool;& Zhang, 2020)

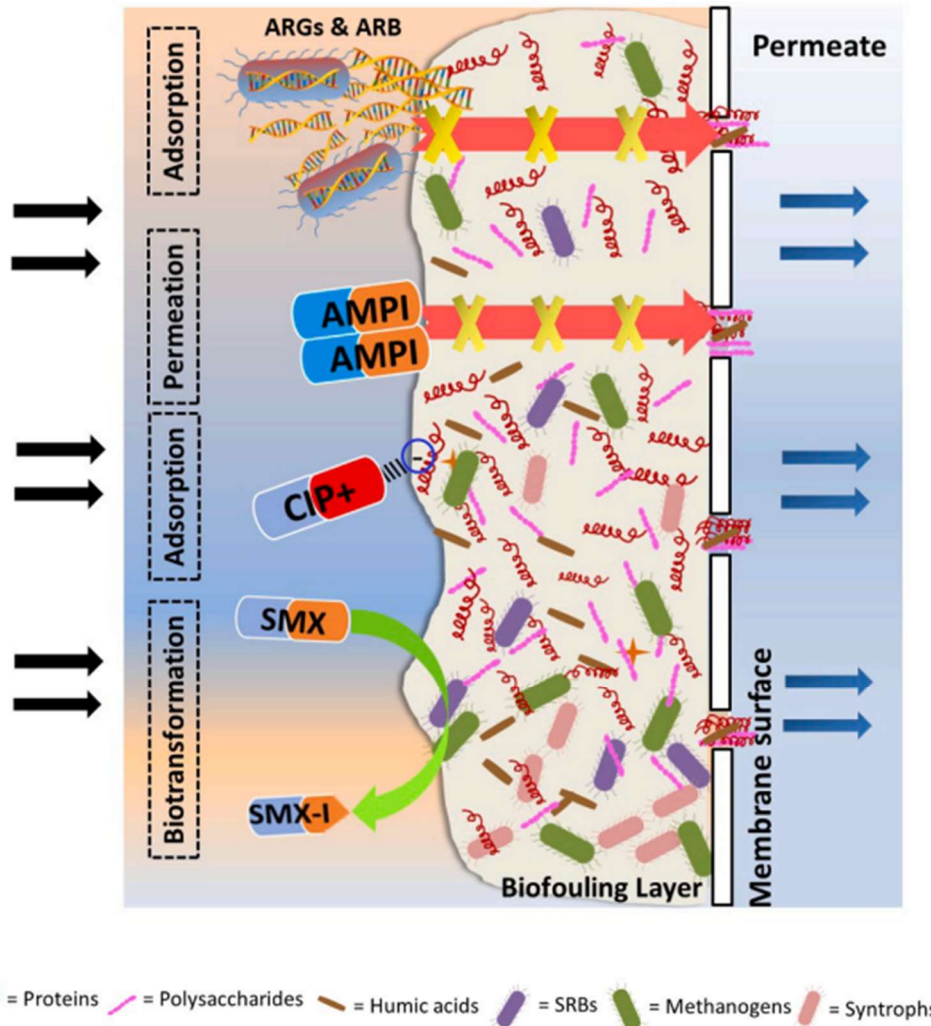


Kuva 1. Esimerkkejä suodatinmaisista dynaamisista membraaniratkaisuista: A: suodatinratkaisu kaasuerottimella; B: kiinteä dynaamisen membraanin (DM) moduuli reaktorissa; C: kiinteä suodatinpeti ja D: kiinteä suodatinpeti lietteen kierrätyksellä.²⁷

DMBR-kalvo tarkoittaa reaktorin sisältämästä biologisesti massasta muodostuvaa biofilmimäistä suodatinkalvoa. DMBR-kalvo muodostuu reaktoriin itsestään biolietteestä, mutta tarvitsee muodostuakseen karkean tukirakenteen. Tukirakenteena voi toimia esimerkiksi karkea verkkomainen tukirakenne. DMBR-kalvo toimii epäpuhtauksia itseensä keräävänä suodatinkerroksena tukirakenteen päälle.

Kalvorakenne tarjoaa epäpuhtauksille (erityisesti lääkeaineille, kuten antibiooteille) katalyyttisen kasvualustan, jossa epäpuhtaudet muodostavat stabiilimpia yhdisteitä biotransformaation avulla (Kuva 2). Menetelmällä poistettavia epäpuhtauksia ovat erityisesti vaikeasti ja hitaasti hajoavat yhdisteet, kuten lääkeainejäämät ja mikromuovit, jonka vuoksi menetelmään on herännyt kiinnostusta erityisesti jätevesilietteiden käsittelyn osalta²⁹. DMBR-menetelmällä voidaan vähentää lääkeaineiden poistumaa jopa 70–99 % DMBR-ratkaisuilla suurin haaste on verkkokalvon ”tukkeutuminen”, jos biokalvo kasvaa liian paksuksi. Tämän vuoksi tukirakenne tulee puhdistaa välillä. Käyttökustannukset menetelmällä ovat matalat, mutta membraanit voivat olla kalliita.^{1,26,28}

²⁹ (Chen, ym., 2020)



Kuva 2, Esimerkki dynaamisen membraanin toiminnasta, jossa epäpuhtaudet sitoutuvat biofilimimäiseksi kalvorakenteeksi (biofouling layer) membraanikalvon pinnalle (membrane surface).²⁴

Sähkökemiallisissa membraaniratkaisuissa (eMBR) lisätään reaktoriin esimerkiksi DMBR-ratkaisujen lisäksi elektrodit, joiden avulla reaktoriin syötetään sähkövirtaa. Sähkövirran avulla voidaan vähentää kaasukuplien sekä liiallisen biofilmikerroksen muodostumista tukirakenteen pinnalle pidentäen niiden huoltoväliä. Sähkövirran ansiosta hapettumisprosessi on myös tehokkaampaa, joka nopeuttaa reaktiivisten hapettimien muodostamista ja lääkeaineiden sekä mikromuovien hajoamista pelkkää DMBR-ratkaisua tehokkaammin. Lääkeainejäämien poistotehokkuus eMBR-ratkaisuilla on noussut kokeissa jopa 10–30 % verrattuna DMBR-ratkaisuihin eli lääkeainejäämiä on vähennetty jopa 80–99 % eMBR-ratkaisuilla, mutta nämä ovat vielä pääasiassa kokeellisia ja kustannuksiltaan hieman kalliimpia pilottiratkaisuja.^{24,28,29}

Aktiivihiiijauheen lisäys reaktoriin toimii erityisesti DMBR- ja eMBR-menetelmiä tehostavana vaihtoehtoja. Reaktoriin lisätty aktiivihiihi sitoo itseensä epäpuhtauksia muodostaen suurempia partikkeleita, jotka tarttuvat helpommin membraanikalvoihin²⁶. Tämä tehostaa biopohjaisen kalvon muodostumista, auttaa keräämään materiaalia tehokkaammin, mutta voi myös muodostaa tarpeita puhdistaa tukirakenteita useammin²⁶.

3.3 Jälkikäsittely

Jälkikäsittelymenetelmistä on olemassa useita erilaisia ratkaisuja ja niiden sovellutukset riippuvat lopputuotteista ja niissä esiintyvistä epäpuhtauksista. **Lopputuotteita** ovat tuotantoprosessin mukaan nestemäinen tai kiinteä mädätejäännös tai komposti, joita voidaan kierrätysprosessin loppuvaiheissa esimerkiksi seuloa erilaisilla seulakokoluokilla tai kuivata useilla erilaisilla menetelmillä.

Muovit eivät tavanomaisesti hajoa biokaasulaitoksissa. Biohajoavat muovit hajoavat jossain määrin riippuen materiaalista ja kierrätyslaitoksen prosesseista. Suomessa tehdyn tutkimuksen tulosten perusteella biohajoavat muovit hajoavat jonkin verran biokaasulaitoksen anaerobisissa olosuhteissa ja tuottavat hajotessaan metaania. Biohajoavat pussit eivät kuitenkaan hajoa kokonaan mädätyksessä, vaan vaativat jälkikäsittelyä, jos niiden määrä lopputuotteissa on liian korkea. Tämän seurauksena jälkikompostointi voi olla tärkeä menetelmä, mikäli biohajoavien muovien käyttö lisääntyy.

Nestemäinen mädätejäännös voidaan kuivata erilaisilla kuivausmenetelmillä tarvittaessa, jolloin lopputuote muistuttaa kiinteää mädätejäännöstä, joka puolestaan muistuttaa kompostoinnista lopputuotteena muodostuvaa maa-ainesta. Kosteudenpoistoa voidaan toteuttaa useilla **erilaisilla kuivausmenetelmillä, kuten puristimilla, linkoamisella ja siivilöinti- sekä suodatusmenetelmillä.** Menetelmiä voidaan tehostaa myös paineistuksen avulla, jolloin voidaan tehokkaammin hyödyntää esimerkiksi pienen raekoon suodattimia. Lisäksi on olemassa useita erillisiä menetelmiä, kuten esimerkiksi usein kuivamädätyksen yhteydessä hyödynnettävä jälkikompostointi.

Flokkulanttien avulla voidaan tehostaa mekaanista erottelua. Esimerkiksi keskipakovoimaan pohjautuvan sentrifugioinnilla, jonka avulla voidaan erotella kiintoaineista noin 32 % voidaan flokkulanttien käytön avulla erottaa jopa 82 % kiintoaineista säästäten huomattavasti energiaa prosessissa^{30,31}. Vastaavanlaisia erottelua tukevia tuloksia on saatu myös lisäaineilla kuten polyalumiinikloridilla ja polyakryyliamidilla^{32,33} sekä luonnossa esiintyvien flokkulanttien (kitosaani) käytöllä^{34,35}.

Biologista suodatusta voidaan hyödyntää myös biolietteestä muodostuvan nestemäisen mädätejäännöksen jatkokäsittelyssä aiemman esimerkin mukaisesti (Kuva 1). Suodatinmateriaalina voidaan käyttää esimerkiksi aktiivihieletä, jonka avulla voidaan jatkokäsittelyssä poistaa jäljellä olevia lääkeainejäämiä sekä raskasmetalleja. Kemiallisesta laajamittaisesta ratkaisusta ei ole toistaiseksi kaupallisia kierrätysratkaisuja.

Biologisilla tai kemiallisilla lisäaineilla voidaan jälkikäsittelyssä hajottaa ja/tai stabiloida lopputuotteissa esiintyviä mikromuoveja ja lääkeainejäämiä³⁶. Biologisia ja

³⁰ (Chuda & Ziemiński, 2021)

³¹ (van der Wal;Borneman;& Nijmeijer, 2023)

³² (Gao & Wang, 2025)

³³ (Beggio, ym., 2021)

³⁴ (Garcia;Szogi;Vanotti;Chastain;& Millner, 2008)

³⁵ (Popovic;Gioelli;Dinuccio;Rollè;& Balsari, 2017)

³⁶ (Science Direct, 2025)

kemiallisia käsittelymenetelmiä voidaan kutsua myös stabiloinniksi, entsyymipohjaiseksi käsittelyksi tai humifikaatioksi, riippuen niiden lopullisesta toteutuksesta³⁶. Kemiallisia jälkikäsittelymenetelmiä tutkitaan nykyisin paljon, mutta laajamittainen kemiallinen kierrätys edellyttää vielä teknologista kehitystä sekä prosessien energia- ja kustannustehokkuuden kehittymistä. Biohajoavien muovien hajottamista käsitellessä tutkimuksessa havaittiin, että soveltuvilla mikrobikannoilla voidaan biologisilla ja kemiallisilla käsittelyillä nopeuttaa biohajoavien muovien hajoamista. Pienikokoisessa 500 ml reaktorikoossa biohajoavien muovien hajoaminen nopeutui jopa 30–40 % samalla lisäten biokaasutuotantoa kunnallisesta biojätteestä 70 %³⁷.

Pyrolyysi on termokemiallinen konversioprosessi, jonka avulla voidaan jatko⁷⁸käsitellä lopputuotteet biohiileksi, pyrolyysiöljyksi sekä synteettiseksi kaasuksi, joka tavanomaisesti käytetään prosessin lämpöenergiatuotantoon. Pyrolyysi toteutetaan hapettomissa olosuhteissa ilman palamista. Optimi tilanteessa raaka-aineena toimii kuivattu yli 80 % kuiva-ainepitoisuuden omaava syöte³⁸. Käsittely toteutetaan korkeissa 400–1200 celsiusasteen lämpötiloissa orgaaniset yhdisteet, lääkeainejäämät sekä muovijäänteet kaasuuntuvat ja niistä muodostuvat savukaasut voidaan polttaa myös jälkipolttokammioissa^{39,40}. Epäpuhtauksista lopputuotteisiin jäävät jäljelle raskasmetallit sekä inertit materiaalit. Tuotettua biohiiltä voidaan hyödyntää useilla tavoilla esimerkiksi hyvälaatuisena maanrakennusaineena, sekoittamalla rakennusmateriaaleihin⁴⁰ tai aktiiviomalla biohiilestä aktiivihiihtä^{41,42}.

Hydroterminen karbonisointi (HTC) tunnetaan myös märkäpyrolyysinä ja tarkoittaa toista termokemiallista konversioprosessia, joka toteutetaan nestemäiselle, jopa vain 20 % kuiva-ainepitoisuuden omaavalle raaka-aineelle paineistetuissa ja hapettomissa olosuhteissa⁴³. HTC-prosessissa lämpötila nostetaan aluksi tavanomaisesti 180–250 celsiusasteeseen hydrohiilen tuottamiseksi. Hydrohiili on pyrolyysihiihtä huokoisempaa ja soveltuu paremmin aktiivihiihtuotantoon. Hydrohiilituotannon jälkeen lämpötilaa nostetaan noin 400–500 celsiusasteeseen pyrolyysiöljyn tuottamiseksi ja edelleen 500–750 celsiusasteeseen synteettisten kaasujen tuottamiseksi. Lopputuotteena muodostuu biohiilen lisäksi myös lannoitekäyttöön soveltuvaa nestemäistä lietettä, joka voidaan haluttaessa myös hyödyntää ravinnepitoisena prosessinesteenä⁴³. Matalampien lämpötilojen sekä pienemmän raaka-aineen kuivaustarpeen vuoksi märkäpyrolyysi on tavanomaista pyrolyysiä energiatehokkaampi ratkaisu.^{38,42}

Flash pyrolyysi on myös vaihtoehtoinen termokemiallinen konversio, jossa pyrolyysi toteutetaan erittäin korkeissa lämpötiloissa ja lyhyillä viipymäajoilla. Eroavuuksina tavanomaiseen pyrolyysiin flash pyrolyysissä viipymäaika reaktorissa voi olla vain 0,5 sekuntia ja lämpötilat jopa yli 1000 celsiusastetta. Raaka-aineena suositellaan käytettäväksi erittäin pienikokoisiksi partikkeleiksi muunnettua biomassaa ja lopputuotteena saadaan tavanomaista enemmän pyrolyysiöljyä.⁴²

³⁷ (Elboghdady, ym., 2025)

³⁸ (Salimbeni, 2015)

³⁹ (Pyreg, 2025)

⁴⁰ (Bioforce Tech, 2025)

⁴¹ (Pyrogreen, 2025)

⁴² (Palatsi, 2025)

⁴³ (Ingelia, 2025)

Suomessa pyrolyysilaitteistoja tai niiden pilotteja on käytössä ainakin GRK:lla Utajärvellä sekä Iitissä, Puh Oy:llä Hämeenlinnassa sekä Ranualla, Carbo culturella Keravalla, Carbofexilla Nokialla sekä Soilcarella Mikkelissä.

Kompostointiaikaa voidaan myös pidentää tai jatkaa kompostointiprosessia jälkikompostoinnin muodossa. Lisäkompostointi mahdollistaa sen, että merkittävä osa biohajoavista muoveista kompostoituu EN-13432-standardin vaatimusten mukaisesti.

Kompostoitaville muoveille on asetettu seuraavanlaisia vaatimuksia standardissa:

- hajoavat 12 viikon kuluessa,
- ovat täysin biohajoavia kuudessa kuukaudessa,
- ja vähintään 90 prosenttia muovimateriaalista muuttuu hiilidioksidiksi, vedeksi ja biomassaksi.

Suomessa toteutetussa tutkimuksessa käytettiin testausyhdistelmänä viiden viikon mittaista mädätystä sekä kolmen viikon kompostointia. Tutkimuksen perusteella todettiin, että ajanjakso on liian lyhyt, jotta bio- ja paperipussit hajoaisivat yli 90 prosenttisesti. Aikavälin todettiin riittäneen vain yhdelle biopussinäytteelle. Yleisesti käytössä oleva EN-13432 ei siis varmista materiaalin riittävää hajoamista biokaasulaitoskäsittelyssä eikä kaikissa kompostointimenetelmissä.

3.4 Epäpuhtauksien poiston yhteenveto ja BAT-arvio

BAT-menetelmillä tarkoitetaan teknisesti ja taloudellisesti toteuttamiskelpoisia ratkaisuja, jotka ovat erityisesti materiaali- ja energiatehokkaita sekä kokonaisympäristövaikutuksiltaan mahdollisimman vähäisiä. Menetelmien tulee siis olla teollisessa mittakaavassa todennettuja ja käyttötarkoitukseen soveltuvia ratkaisuja.

Raportissa BAT-tarkastelu on laajempi kuin EU:n teollisuuspäästädirektiivin BREF-dokumentissa (Best Available Techniques Reference Documents) listatut BAT-menetelmät, joista BREF-dokumentissa listataan vain käsittelytapoja, kuten esimerkiksi suodatus tai murskaus ilman selkeämpää tarkennusta esimerkiksi sen toteutusvaiheesta tai tarkemmasta tyypistä. Arvioinnissa nämä on jaoteltu useampiin luokkiin, kuten esimerkiksi suodatus jaotellaan biologiseen- ja aktiivihiilisuodatukseen, biosorbentteihin sekä eri prosessivaiheisiin (esi- jatkuva- ja jälkipoisto).

BREF-dokumentissa annetaan direktiivilaitoksille (vaarattoman jätteen biologinen käsittely yli 75 tonnia vuorokaudessa) sitovia BAT-AEL-arvoja (BAT-associated emission levels), eli päästötasot, joihin BAT-tekniikoilla yleensä päästään. Lupamääräyksissä asetettavat päästöraajat perustuvat yleensä BAT-AEL-väleihin. Pienemille laitoksille ei suoraan sovelleta BAT-AEL-arvoja, mutta niitä voidaan kuitenkin soveltaa tapauskohtaisesti.

Selvityksessä puhuttaessa BAT-menetelmästä tarkoitetaan käsittelymenetelmiä, jotka on tunnistettu BREF-dokumentin sisällössä BAT-menetelmiksi tai ne kuuluvat laajempiin luokitteluihin, jotka on tunnistettu BAT-menetelmiksi. Vertaus toteutetaan siis tarkastelemalla, kuuluuko esitetty käsittelymenetelmä BREF-dokumentin tunnistamiin BAT-menetelmiin. Vertailun yhteenveto esitetään alapuolella (Taulukko 4). Yhteenvedon

perusteella ei-BAT-menetelmiä ovat pääasiassa biologiset käsittelymenetelmät sekä dynaamiset membraaniratkaisut, joiden käyttö ei ole teollisessa mittakaavassa laajalti todennettua. Pyrolyysimenetelmät eivät ole BREF:n mukaan tunnistettuja BAT-menetelmiä, sillä näille ei ole vielä vakiintunut laajaa kaupallista käyttöä alalla. Märkäpyrolyysi on myös lähes BAT-menetelmä sen ollessa ainoita tehokkaita jätevesilietteiden loppukäsittelymenetelmiä.

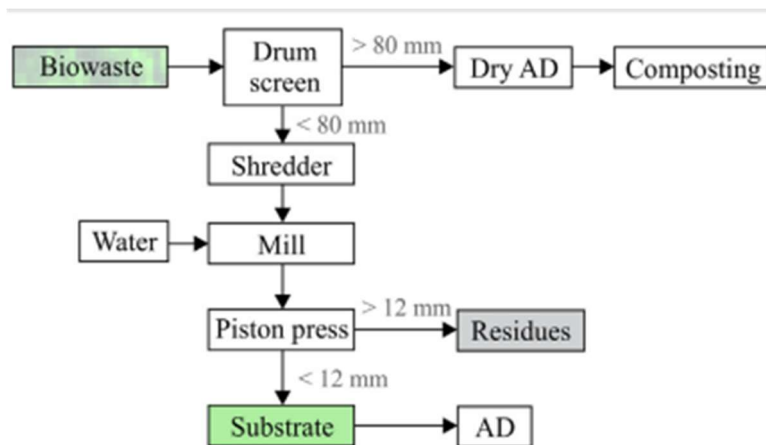
Taulukko 4. Yhteenveto käsittelyvaiheista, menetelmäryhmistä sekä niiden BAT-arvioista.

Käsittelyvaihe	Menetelmäryhmä	BAT-menetelmä BREF-dokumentin mukaisesti
Esikäsittely	Kuiva- ja märkämurskaus	Kyllä
Esikäsittely	Seulonta	Kyllä
Esikäsittely	Puristus	Kyllä
Esikäsittely	Magneettierotus	Kyllä
Esikäsittely	Induktiovirtaerotus	Kyllä
Esikäsittely	Hydrodynaaminen erotus	Kyllä
Esikäsittely	Aerodynaaminen erotus	Kyllä
Esikäsittely	Optinen lajittelu	Kyllä
Esikäsittely	Rejektin pesu	Kyllä*
Esikäsittely	Hygienisointi	Kyllä
Esikäsittely	Biologiset suodatukset / biosorbentit	Ei
Esikäsittely	Elektrokemialliset menetelmät	Ei
Jatkuvatoiminen poisto	Suodattimet	Kyllä
Jatkuvatoiminen poisto	Hydrosyklonit	Kyllä
Jatkuvatoiminen poisto	Mekaaninen suodatus, erotus ja kierrätys	Kyllä
Jatkuvatoiminen poisto	Mekaaninen pinta- ja pohjaerotus	Kyllä
Jatkuvatoiminen poisto	Flokkulantit / polymeerit	Kyllä*
Jatkuvatoiminen poisto	Aktiivihili (PAC)	Ei
Jatkuvatoiminen poisto	DMBR ja eMBR	Ei
Jälkikäsittely	Prosessiveden mekaaninen suodatus	Kyllä
Jälkikäsittely	Prosessiveden erotus ja kierrätys	Kyllä
Jälkikäsittely	Flokkulantit ja polymeerit (PAC, PAM, kitosaani)	Kyllä*
Jälkikäsittely	Kompostin seulonta	Kyllä
Jälkikäsittely	Jälkimetallinpoisto	Kyllä
Jälkikäsittely	Aktiivihiliisuodatus (nestemäinen jäännös)	Ei
Jälkikäsittely	Biologinen suodatus	Ei
Jälkikäsittely	Mikrobikantojen/entsyymien käyttö stabilointiin	Ei
Jälkikäsittely	Pyrolyysi	Ei**
Jälkikäsittely	Flash pyrolyysi	Ei
Jälkikäsittely	Märkäpyrolyysi (HTC)	Ei**
*BAT-menetelmä raaka-aineitten mukaan		
**Lähes BAT-menetelmä		

4 KÄSITTELYMENETELMIEN CASE-ESIMERKKEJÄ

4.1 CASE 1: Rumpuseula, silppuri, murskain sekä mäntäpuristin

Laitoksen käsittelykapasiteetti on 25 000 tonnia biomassaa vuodessa. Biomassat muodostuvat suurimmilta osilta **bio- ja puutarhajätteestä**. Raaka-aineiden voidaan siis olettaa sisältävän paljon hiekkaa, kiviä sekä muovijakeita. Esikäsittelynä toimii 80 millimetrin rumpuseula (drum screen), jolla erotetaan erityisen karkea materiaali kuivamädätykseen (dry AD) sekä kompostoitavaksi (composting). Muu materiaali hyödynnetään biokaasutuotantoon. Seulottu materiaali kulkee silppurille (shredder), murskaimelle (mill) sekä mäntäpuristimelle (piston press), jonka tukena käytössä on 12 millimetrin seula. Raaka-aineista muodostetaan näin alle 12 millimetrin kokoon seulottua mursketta (substrate), joka syötetään bioreaktorille (AD) (Kuva 3).¹⁹



Kuva 3. CASE 1: esikäsittelyjärjestelmän toimintakaavio (Alessi, ym., 2020).

Epäpuhtauksia lopputuotteeseen näin käsitellyllä materiaalilla jäi kokonaisuudessaan 12,5 %, josta 11 % oli hienojakoisia epäpuhtauksia. Organista materiaalia poistui rejektin mukana 19,2 %. Arviona korkeaan orgaanisen materiaalin poistoon rejektinä oli puutarhajätteen käsittely. Alkuperäisestä orgaanisesta materiaalista vain 77 % päätyi bioreaktorille saakka.¹⁹

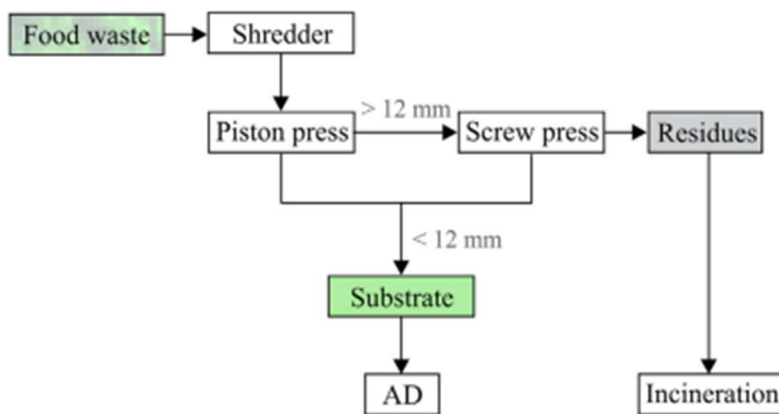
Laitevalintojen ja esimerkin tarkastelusta voidaan arvioida erotteluvaihtojen päätavoitteen olevan erotella puutarhajäte ja biojätteet toisistaan rumpuseulalla. Biojätteen sekoittuessa puutarhajätteeseen tästä muodostuva rejekti poistaa prosessista myös orgaanista materiaalia. Silppurille luultavasti sekoittuu myös huomattavasti puutarhajätettä, jonka kaasuuntuminen on märkäreaktorissa usein vähäistä. Silppuamisen sekä murskauksen jälkeen erottelussa käytettäessä mäntäpuristinta on todennäköistä, että suuri osa puutarhajätteestä päätyy myös rejektiin poistaen jälleen samalla orgaanista materiaalia kierrosta.

Toiminnan hyötysuhteen tehostamiseksi biojätteen käsittely voi olla tehokkaampaa erillisellä linjallansa. Tällöin rejektien mukana todennäköisesti poistuisi huomattavasti

vähemmän orgaanista materiaalia. Toinen vaihtoehto on rejektimateriaalien pesu sekä kuivaus uudelleen, jolloin rejektin mukana poistuvan orgaanisen materiaalin määrää voidaan vähentää.

4.2 CASE 2: Silppuri sekä mäntä- ja ruuvipuristin

Laitoksen käsittelykapasiteetti on 5 200 tonnia **kauppojen elintarvikejätteitä** vuodessa. Raaka-aineiden voidaan olettaa sisältävän paljon muovi-, metalli- ja lasijätteitä. Esikäsittelyä toteutetaan silppurilla (shredder) 30 millimetrin kappalekokoon. Silputusta materiaalista erotetaan alle 12 millimetrin kappalekoon hienonnettu materiaali syötetään bioreaktorille (AD) ja karkea materiaali ruuvimurskaimelle (screw press). Ruuvimurskaimelta alle 12 millimetrin kappalekoon materiaali syötetään bioreaktorille ja rejektimateriaali (residues) käsitellään polttamalla (incineration) (Kuva 4).¹⁹



Kuva 4. CASE 2: esikäsittelyjärjestelmän toimintakaavio (Alessi, ym., 2020).

Epäpuhtauksia lopputuotteeseen näin käsitellyllä materiaalilla jäi kokonaisuudessaan 3 %, joista huomattava osa oli muovijakeita. Alkuperäisestä muovin määrästä noin 27 % päätyi bioreaktorille saakka. Kolmessa vaiheessa toteutettavalla mekaanisella käsittelyllä erotetaan siis lasi- ja metallijakeet tehokkaasti ja suurin osa muovijakeista. Orgaanista materiaalia poistui rejektin mukana 7 %.¹⁹

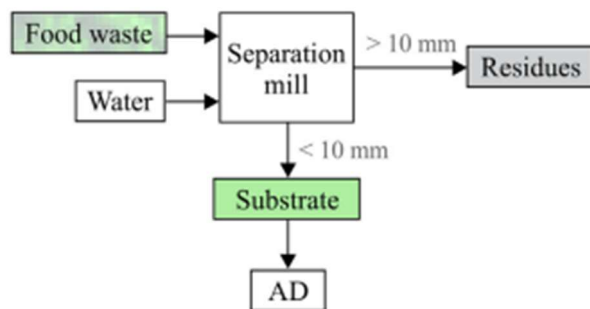
Laittevalintojen ja esimerkin tarkastelusta voidaan arvioida erotteluvalintojen päätavoitteen olevan silppurin osalta murskata pakkausmateriaalit, eli metalli, lasi ja kovat muovimateriaalit raaka-aineesta. Mäntäpuristimella tavoitteena on minimoida ruuvipuristimelle siirtyvän biomassan määrä. Ruuvipuristimella erotellaan tehokkaasti myös sitkeitä muovimateriaaleja. Kokonaisuuden voidaan todeta olevan tehokas, mutta jättävän silti suuren osan muoveista materiaaliin.

Toiminnan hyötysuhteen tehostamiseksi voi olla kannattavaa hyödyntää biokaasureaktorissa polymeerejä, membraanisudattimia sekä kierrättää reaktorin pinnalta todennäköisesti muovipitoisempaa prosessivettä mäntämurskaimelle tai ruuvipuristimelle, joiden kautta tämä voidaan poistaa rejektin mukana tai lisätä viipymäaikaa reaktorissa edistämällä muovimateriaalien hajoamista. Mikäli lopputuotteen

muovipitoisuus on liian korkea, on suositeltavaa harkita biohiilituotantoa ratkaisuna tai entistä pienikokoisempien seulojen lisäystä prosessiin.

4.3 CASE 3: Vasaramylly (märkämurskain) sekä seulonta

Laitoksen käsittelykapasiteetti on 2 500 tonnia kotitalouksien sekä **hotellien ruokajätteitä** vuodessa. Raaka-aineiden voidaan olettaa sisältävän paljon muoveja. Esikäsittely toteutetaan vasaramyllyllä (separation mill) alle 10 millimetrin kappalekokoon sekä rejektimateriaaliin (residues). Murskaus toteutetaan märkämurskauksena ja raaka-aine lietetään samalla. Hienonnettu materiaali syötetään bioreaktorille (AD) (Kuva 5).¹⁹



Kuva 5. CASE 3: esikäsittelyjärjestelmän toimintakaavio (Alessi, ym., 2020).

Epäpuhtauksia lopputuotteeseen näin käsitellyllä materiaalilla jäi kokonaisuudessaan 3,8 %, joista huomattava osa oli muovijakeita. Muovijakeista noin 73 % päättyi bioreaktorille. Orgaanista materiaalia poistui rejektin mukana vain 4 %.¹⁹

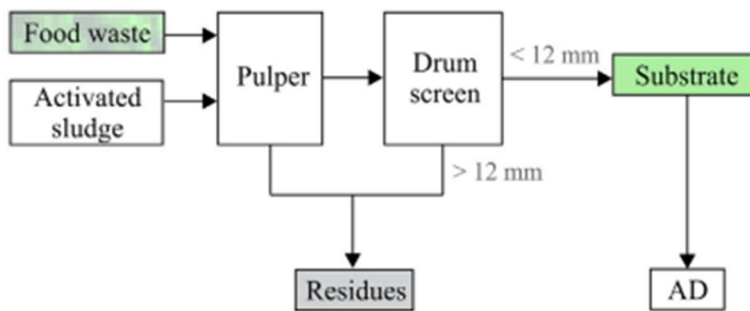
Laitevalintojen ja esimerkin tarkastelusta voidaan arvioida erotteluvalintojen päätavoitteen olevan murskata pakkausmateriaalit sekä liettää raaka-aine reaktorikelpoiseksi. Pakkausten murskaus ja orgaanisen materiaalin sekoitus toteutuu ratkaisussa tehokkaasti, koska orgaanisen materiaalin rejektimäärä on vähäinen. Suuri määrä muoveista kuitenkin päättyy lopputuotteeseen, joten voidaan arvioida laitevalinnan olevan teholtansa heikko pakkausmuovien poistoon.

Toiminnan hyötysuhteen tehostamiseksi voi olla kannattavaa hyödyntää toista mekaanista erotteluvaihetta, joka soveltuu paremmin joustavien ja pehmeiden muovien erotteluun, kuten esimerkiksi ruuvipuristinta. Biokaasureaktorissa voidaan myös hyödyntää polymeerejä, membraanisuodattimia sekä kierrättää reaktorin pinnalta todennäköisesti muovipitoisempaa prosessivettä takaisin murskaimelle poistaen suuremman osan rejektin mukana tai lisäksi ainakin viipymäaika reaktorissa edistäen muovimateriaalien

hajoamista. Mikäli lopputuotteen muovipitoisuus on liian korkea, on suositeltavaa harkita biohiilituotantoa ratkaisuna tai entistä pienikokoisempien seulojen lisäystä prosessiin.

4.4 CASE 4: Pulperi ja rumpuseula

Laitoksen käsittelykapasiteetti on 900 tonnia **ruokajätteitä sekä jätevesilaitoksien aktiivilietettä** vuodessa. Raaka-aineiden voidaan olettaa sisältävän useita epäpuhtauksia lukuun ottamatta hiekkaa sekä kiviä. Esikäsittely toteutetaan sekoittamalla liete sekä ruokajätteet keskenään pulperissa (pulper) samalla erotellen lasi ja metalli. Seuraavaksi materiaali seulotaan rumpuseulan avulla alle 12 millimetrin kappalekokoon sekä rejektimateriaaliin (residues). Hienonnettu materiaali syötetään bioreaktorille (AD) (Kuva 6).¹⁹



Kuva 6. CASE 4: esikäsittelyjärjestelmän toimintakaavio (Alessi, ym., 2020).

Epäpuhtauksia lopputuotteeseen näin käsitellyllä materiaalilla jäi kokonaisuudessaan 2,4 %. Muovijakeista noin 4 % päätyi bioreaktorille. Orgaanista materiaalia poistui rejektin mukana kuitenkin 20 %.¹⁹

Laitevalintojen ja esimerkin tarkastelusta voidaan arvioida erotteluvalintojen päätavoitteen olevan poistaa erityisesti raskaita epäpuhtauksia. Liettämisessä todennäköisesti saadaan poistettua raskaat materiaalit, kuten kivet, metallit ja lasi sekä suuri osa muovimateriaaleista, mutta koska näitä ei ole hienonnettu materiaalia ei ole hienonnettu rejekti on suurikokoista ja vie mukanaan myös paljon orgaanista materiaalia.

Rumpuseulalle ei oletettavasti päädy suuria määriä muovia, jotka hajoavat ja päätyvät pienempinä jakeina prosessiin.

Toiminnan hyötysuhteen tehostamiseksi voi olla kannattavaa hyödyntää mekaanista erotteluvaihetta erityisesti pulpperin rejektin hienontamisessa sekä esimerkiksi rejektin pesua orgaanisen materiaalin palauttamiseksi prosessiin.

4.5 CASE 5: Saksa, Dortmund, kompostointi ja mädätyslaitos

Saksassa sijaitseva laitos käsittelee **erilaisia raaka-aineita** yhteensä 65 000 tonnia anaerobisessa mädätyksessä, 60 000 tonnia biojätteen kompostoinnissa sekä 39 750 tonnin viherjätteen kompostoinnissa vuosittain⁶⁵. Raaka-aineiden voidaan olettaa sisältävän useita epäpuhtauksia, joten käsittely vaatii useita vaiheita.

Anaerobiseen mädätykseen käytettävät materiaalit esikäsitellään ruuvipuristimen avulla erottamalla alle 80 millimetrin kokoinen materiaali, josta lietetään helposti lietettävä osuus ja vaikeammin lietettävä materiaali sekä mädätejäännös kompostoidaan. Muiden materiaalien esikäsitelyssä erotellaan noin 50 % muovijakeista sekä puutarhajätteen puumateriaaleista silppurin, rumpuseulan sekä aerodynaamisen erottelun avulla. Esikäsitelystä erotellaan kuljettimilta magneettisia metalleja magneetin avulla.⁶⁵

Jälkikäsitelyssä komposti siivilöidään 10 millimetrin raekokoon. Suurikokoisemmasta materiaalista seulotaan mekaanisesti 10–30 millimetrin kokoiset puubiomassat kompostoinnin tukiaineeksi. Seulonnassa suurikokoisemmasta 30–80 millimetrin kokoisesta jakeesta erotellaan kevyet muovimateriaalit aerodynaamisella käsittelyllä. Raskaat jakeet (kivi, lasi, luut, hiekka) erotetaan kellutusmenetelmällä ja jäljellä olevat kevyet puumateriaalit kierrätetään tukiaineeksi kompostointiin.⁶⁵

Vuosittain **rejektimateriaaleja** muodostuu laitoskokonaisuudella noin 3 % esikäsitelymenetelmistä sekä 1,8 % jälkikäsitelystä. Raaka-aineiden laatua on pyritty parantamaan suosittelemalla paperisien biojätepakkauksien käyttöä sekä kansallisella tiedonjaolla. Automatisoidulla sovelluspohjaisella järjestelmällä on myös pyritty tehostamaan raaka-aineiden seuranta ja tarkastelemaan tapauskohtaisesti heikkolaatuisen raaka-aineen syntypaikkoja.⁶⁵

Laitevalintojen ja esimerkin tarkastelusta voidaan arvioida erotteluvaihtojen päätavoitteen olevan käyttää vain helposti hyödynnettävä raaka-aine biokaasutuotantoon, jolloin mekaaninen käsittely on vähäistä. Kompostoinnissa käsitellään suurin osa materiaaleista muodostaen paljon maa-ainesta lopputuotteena. Lopputuotteesta pyritään muodostamaan mahdollisimman puhdasta ja hyvälaatuista materiaalia, jonka raekoko on alle 10 millimetriä, jolloin jäljellä olevat materiaalit ovat suurikokoisia jakeita, joka pyritään erottamaan raskaisiin ja kevyisiin rejekteihin sekä kompostointiin uudelleen

kierrätettävään tukiaineeseen. Rejektimäärät ovat pieniä, mutta tarkempaa tietoa lopputuotteen epäpuhtauksista ei ole mainittu.

4.6 CASE 6: Espanja, Katalonia, pienkompostointilaitos

Espanjassa sijaitseva laitos käsittelee **erilaisia raaka-aineita** yhteensä 1 500 tonnia viherjätteitä sekä keittiöjätteitä kompostoimalla vuosittain⁶⁵. Raaka-aineiden mainitaan sisältävän epäpuhtauksia vain alle 1 %. Raaka-aineet käsitellään mekaanisesti Unifeed yksiköllä, joka avaa pakkaukset (biojätteiden muovipussit) ja erottelee noin puolet **epäpuhtauksista** muodostaen vain 0,5 % rejektiä käsiteltävään määrään verrattuna. Biomassa sekoitetaan seosaineeseen, kompostoidaan ja kompostoinnin jälkeen seosaine seulotaan 10 millimetrin raekokoon verkkoseulalla.⁶⁵

5 KAUPALLISIEN EPÄPUHTAUKSUEN KÄSITTELYMENETELMIEN VERTAILU

5.1 Ratkaisujen arviointimenetelmä

Erottelun kannalta olennaisia yleisiä rajoitteita ovat Suomen kylmät olosuhteet, joiden seurauksena laitteisto vaatii usein murskausta ja/tai esilämmitystä jäätyneiden raaka-aineiden käsittelyssä. Käsittely- ja erottelumenetelmien teknisten vaihtoehtojen tarkastelu toteutetaan neljässä pääosiossa tarkastellen raaka-aineiden esikäsittely ennen prosessia, prosessin aikaisena jatkuvatoimisena poistona, jälkikäsittelynä sekä räätälöityjen ratkaisujen toimittajien koosteena.

Teknisistä ratkaisuista esitetään näiden yleinen toimintamalli sekä yhteenveto, jossa esitetään käsittely- ja erottelumenetelmien vaikutukset epäpuhtauksien poiston, teknologian valmiusasteen (Technology Readiness Level, TRL), lopputuotteen puhtausasteen, kustannusarvion, käsittelykapasiteetin sekä käyttöönoton arvioidun aikataulun mukaan (esimerkki arviointipohjasta: Taulukko 5). Jatkuvatoimisien laitteiden osalta käsitellään pääasiassa erotuskykyä poistokyvyn sijasta. Kustannusarviot esitetään karkeina investointien arvioina, joissa merkintöjä käytetään seuraavanlaisesti:

- €: 1 000–10 000 €
- €€: 10 000–100 000 €
- €€€: 100 000–1 000 000 €
- M€: +1 000 000 €

Taulukko 5. Esimerkki käsittelymenetelmien arviointitaulukosta.

Epäpuhtauksien poisto (-/+ /++ /+++)	TRL (1-10)	Puhtausaste (%)	Kustannus (€/€€ /€€€ /M€)	Kapasiteetti (t/h)	Käyttöönoton aikataulu (kk)
Muovi					
Lasi					
Metalli					
Hiekka					
Kivi					
Lääkeaineet					
Raskasmetallit					

5.2 Esikäsittelymenetelmät

5.2.1 Tiger Depack: Ruuvipuristin ja mekaaninen murskaus

Tiger Depack laitteisto (Kuva 7) soveltuu hyvin **pakkausten poistoa sekä erottelua** vaativille materiaaleille, kuten erilliskerätty kotitalouksien sekä kauppojen biojäte. Laitteet soveltuvat kuiva- ja märkämurskaukselle ja niitä toimitetaan useilla käsittelykapasiteeteilla, joista suurin on 20 tonnia tunnissa.

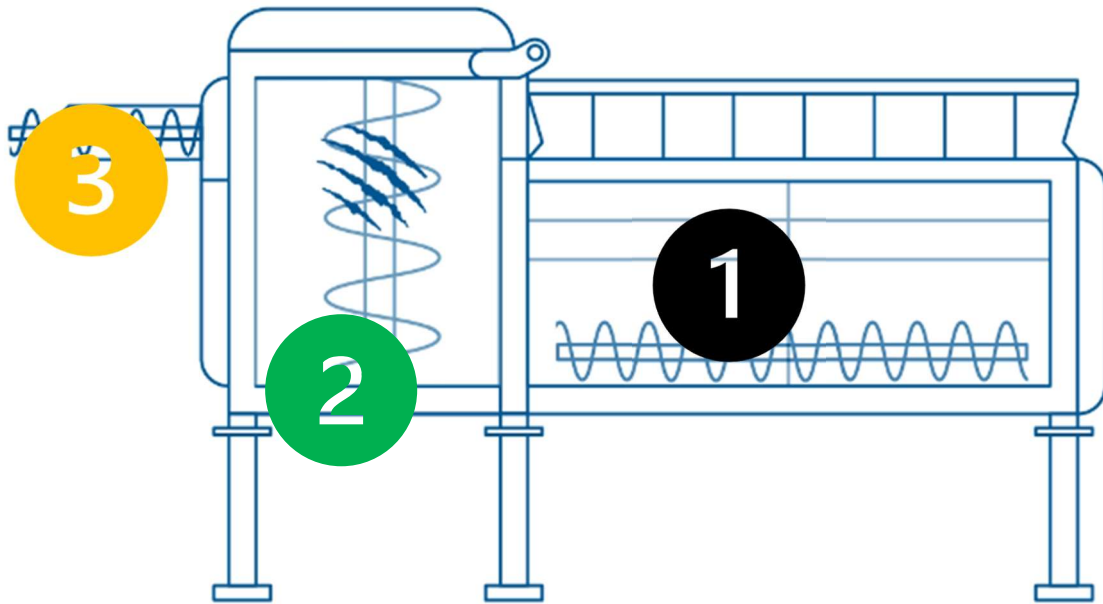


Kuva 7. Tiger Depack esikäsittelylaitteisto⁴⁴.

Laitteiston osat esitetään leikkauskuvassa (Kuva 8). Ensimmäinen osa koostuu syöttölokerosta (1), jonka sisällä on vaakatasoon asetettu ruuvipuristin. Ruuvipuristin työntää materiaalia kohti pystysuuntaan asennettua märkämurskainta (2). Murskain on rumpuseulan sisällä, josta murskattu ja tarpeeksi hienonnettu materiaali kulkeutuu läpi ja siirtyy kohti prosessia. Murskaimen seulaan jäänyt kevyt materiaali poistetaan murskaimen yläosassa olevalle rejektilinjalle (3). Raskaat jakeet jauhautuvat pieneen raekokoon tai jäävät seulaan. Twister nimiseltä yhdysvaltalaiselta laitetoimittajalta löytyy

⁴⁴ (Tiger Depack, 2025)

myös samankaltainen teknologiayhdistelmä, jota suositellaan myös erityisesti yhdyskuntajätteen sekä biojätteen käsittelyyn⁴⁵.



Kuva 8. Tiger Depack esikäsittelylaitteiston leikkauskuva, jossa vaakatasoon asetettu ruuvipuristin (1), pystysuoraan asetettu murskain ja seula (2) sekä rejektin poistolinja (3) (mukaillen (Tiger Depack, 2025)).

Teknologia on markkinoilla oleva vaihtoehto⁴⁴. Rejektin määrä on toimittajan mukaan alle 10 %⁴⁴, mutta riippuvainen raaka-aineiden ja epäpuhtauksien laadusta sekä määrästä. Käyttöönottamisen aikatauluksi arvioidaan noin 3–6 kk riippuen laitetoimittajan toimitusajasta. Yhteenveto laitteiston osalta esitetään alapuolella (Taulukko 6).

Taulukko 6. Tiger Depack käsittelylaitteiston arviointi.

Epäpuhtauksien poisto (-/+ /++ /+++)	TRL (1-10)	Puhtausaste (%)	Kustannus (€/€€/€€€/M€)	Kapasiteetti (t/h)	Käyttöönottamisen aikataulu (kk)
Muovi	++	9	90-97	CAPEX: €€€* OPEX: €€	20
Lasi	+				
Metalli	++				
Hiekka	-				
Kivi	-				
Lääkeaineet	-				
Raskasmetallit	-				
*Arvio, ei tarkkaa tietoa saatavilla tai riippuu syötteistä					

⁴⁵ (Twister, 2025)

5.2.2 Mavitec Paddle Depacker: Mekaaninen murskaus

Mavitec Paddle Depacker laitteisto (Kuva 9) on suunniteltu pakkausten poistoa sekä epäpuhtauksien seulontaa vaativille materiaaleille, kuten erilliskerätty kotitalouksien sekä kauppojen biojäte. Laitteita toimitetaan käsittelykapasiteeteilla 15–30 m³/h ja seuloja eri kokoluokilla 6–50 mm. Laitteet soveltuvat kuiva- ja märkämurskaukselle.



Kuva 9. Mavitec Paddle Depacker 2.0 esikäsittelylaitteisto⁴⁶.

Laitteistokokonaisuus (Kuva 10) koostuu syöttölokerosta (1), josta raaka-aine syötetään kuljettimella murskaimelle (2). Murskain on seulan sisällä, josta murskattu ja tarpeeksi hienonnettu materiaali kulkeutuu läpi ja siirtyy kohti prosessia. Murskaimen seulaan jäänyt materiaali poistetaan murskaimen rejektijalalle (3).

⁴⁶ (Mavitec, 2025)



Kuva 10. Mavitec Paddle Depacker 2.0 esikäsittelylaitteisto, jossa on raaka-aineensyöttö (1), murskain ja seula (2) sekä rejektin poistolinja (3) (mukaillen (Mavitec, 2025)).

Teknologia on markkinoilla oleva vaihtoehto⁴⁶. Biojätteen tiheys arvioidaan olevan 0,6 t/m³, joten käsittelykapasiteetiksi muodostuu noin 18 t/h⁴⁷. Rejektin määrä on laitetoimittajan mukaan parhaillaan vain 0,3 %, mutta riippuu raaka-aineen ja epäpuhtauksien määrästä sekä laadusta⁴⁶. Käyttöönoton aikataulu ja kustannus arvioidaan. Yhteenveto laitteiston osalta esitetään alapuolella (Taulukko 7).

Taulukko 7. Mavitec Paddle Depacker 2.0 esikäsittelylaitteiston arviointi.

Epäpuhtauksien poisto (-/+ /++ /+++)	TRL (1-10)	puhtausaste (%)	Kustannus (€/€€/€€€/M€)	Kapasiteetti (t/h)	Käyttöönoton aikataulu (kk)
Muovi	++	9	99,7	18	6-9*
Lasi	+				
Metalli	++				
Hiekka	-				
Kivi	+				
Lääkeaineet	-				
Raskasmetallit	-				
*Arvio, ei tarkkaa tietoa saatavilla tai riippuu syötteistä					

⁴⁷ (Zero Waste Europe, 2024)

5.2.3 Palmieri Advanced Splitting System (PASS): kaksoisroottorimurskaus

Palmieri Advanced Splitting System (PASS) -laitteisto (Kuva 11) on suunniteltu pakkausten poistoa sekä pakkausjäänteiden seulontaa vaativille materiaaleille, kuten erilliskerätty kotitalouksien sekä kauppojen biojäte. Laitteita toimitetaan käsittelykapasiteeteilla 7–20 t/h. Laitteiden sähkönkulutus on mainittu olevan 70–180 kW^{48,49}. Laitteet soveltuvat kuiva- ja märkämurskaukselle.



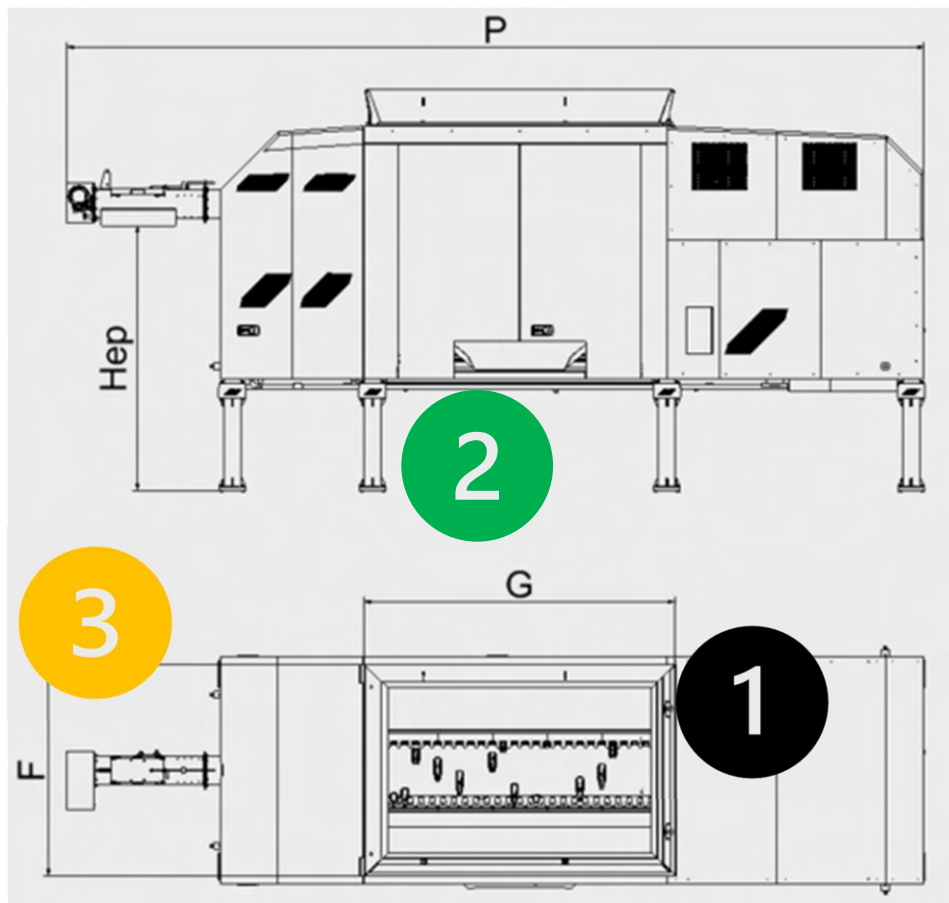
Kuva 11. Palmieri Advanced Splitting System XXL esikäsittelylaitteisto⁴⁸.

Laitteistokokonaisuus (Kuva 12) koostuu syöttölokerosta (1), josta raaka-aine syötetään **silppurimaiselle murskaimelle sekä ruuvipuristimelle**⁵⁰. Muovijätteet, metallit ja kivet poistetaan rejektilinjan kautta (2). Murskattu ja tarpeeksi pienikokoinen materiaali siirretään kohti prosessia (3).

⁴⁸ (Palmieri, 2025)

⁴⁹ (Palmieri, 2025)

⁵⁰ (Palmieri, 2025)



Kuva 12. esikäsittelylaitteisto, jossa on raaka-aineensyöttö, murskain ja ruuvipuristin (1), rejektin poistolinja (2) sekä murskatun biojätteen poistolinja (3) (mukaiillen (Palmieri, 2025)).

Teknologia on markkinoilla oleva vaihtoehto. Lopputuotteen puhtausaste, käyttöönoton aikataulu, kustannus ja puhtausaste arvioidaan sekä muodostetaan yhteenveto laitteiston osalta (Taulukko 8).

Taulukko 8. Palmieri Advanced Splitting System XXL esikäsittelylaitteiston arviointi.

Epäpuhtauksien poisto (-/+ /++ /+++)	TRL (1-10)	Puhtausaste (%)	Kustannus (€/€€ /€€€ /M€)	Kapasiteetti (t/h)	Käyttöönoton aikataulu (kk)
Muovi	++	9	90-97*	20	6-9*
Lasi	+				
Metalli	++				
Hiekka	-				
Kivi	++				
Lääkeaineet	-				
Raskasmetallit	-				
*Arvio, ei tarkkaa tietoa saatavilla tai riippuu syötteistä					

5.2.4 Atritor Separator (Thor/Turbo): Kaksoisruuvipuristin ja separaattori

Atritor valmistaa ja toimittaa erilaisia **separaattori** -laitteistoja, kuten Thor Separator (Kuva 13) ja Turbo Separator⁵¹. Laitteistot on suunniteltu erityisesti murskausta sekä seulontaa vaativille pakatuille materiaaleille, kuten erilliskerätty kotitalouksien ja kauppojen biojäte tai lietettäville raaka-aineille, kuten elintarviketeollisuuden jätteet sekä maatalouden eläinperäiset biomassat. Suurempia laitekokonaisuuksia toimitetaan käsittelykapasiteetilla 20–25 t/h.⁵²



Kuva 13. Scott Equipment Company Thor Separator -laitteisto⁵².

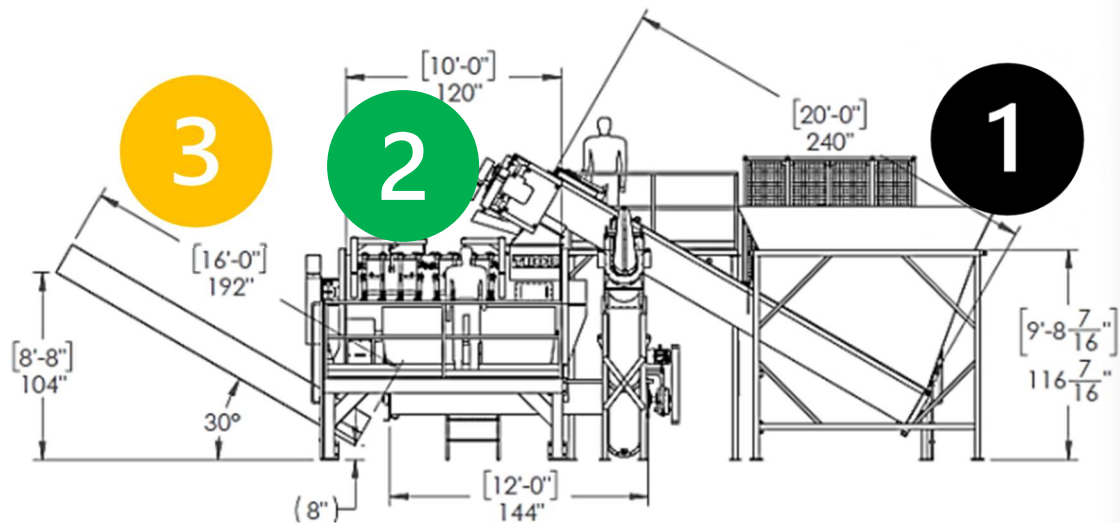
Laitteistokokonaisuus (Kuva 14) koostuu syöttölokerosta (1), josta raaka-aine syötetään kaksoisruuvipuristimella roottorille, joka erottelee kiintoaineita muodostuvasta lietteestä. Rejekti poistetaan murskaimen alaosasta (3). Murskattu ja tarpeeksi pienikokoinen materiaali siirretään kohti käsittelyprosessia. Laittevalmistaja Twister toimittaa myös samankaltaista tekniikkaa tuotenimellä Twister Seditank ja suosittelee laitteistoa erityisesti lantajakeiden käsittelyyn⁵³. Atritor on toimittanut vuoteen 2020 mennessä yli 250 erilaista esikäsittelyratkaisuja tai räätälöityä käsittelyratkaisua⁵⁴.

⁵¹ (Atritor, 2025)

⁵² (Scott Equipment, 2020)

⁵³ (Twister, 2025)

⁵⁴ (Recycling inside, 2020)



Kuva 14. esikäsittelylaitteisto, jossa on raaka-aineensyöttö, murskain ja ruuvipuristin (1), rejektin poistolinja (2) sekä murskatun biojätteen poistolinja (3) (mukaillen (Scott Equipment, 2020)).

Teknologia on markkinoilla oleva vaihtoehto. Lopputuotteella on valmistajan mukaan 99 % puhtausaste⁵², mutta se on myös riippuvainen raaka-aineiden ja epäpuhtauksien määrästä ja laadusta. Käyttöönoton aikataulu ja kustannus arvioidaan sekä esitetään yhteenveto laitteiston osalta alapuolella (Taulukko 9).

Taulukko 9. Atritorin esikäsittelylaitteiston arviointi.

Epäpuhtauksien poisto (-/+ /++ /+++)	TRL (1-10)	Puhtausaste (%)	Kustannus (€/€€ /€€€ /M€)	Kapasiteetti (t/h)	Käyttöönoton aikataulu (kk)
Muovi	++	9	CAPEX: €€€* OPEX: €€*	25	9-12 ⁵⁵
Lasi	+				
Metalli	++				
Hiekka	+				
Kivi	+				
Lääkeaineet	-				
Raskasmetallit	-				
*Arvio, ei tarkkaa tietoa saatavilla tai riippuu syötteistä					

⁵⁵ (Nielsen, 2026)

5.2.5 Ecogi: Biopulperi ja pakkauksenpoisto

Ecogi on **bioliettämistä** hyödyntävä märkämenetelmä, joka soveltuu erityisesti pakkauksenpoistoa vaativille materiaaleille, kuten erilliskerätty kotitalouksien ja kauppojen biojäte⁵⁶. Menetelmän etuna on tavanomaista kevyempi mekaaninen käsittely, jonka seurauksena lasin ja metallin palojen hajoaminen on usein vähäisempää. Raaka-aineita ei käsitellä ratkaisussa murskaimilla. Laitteita toimitetaan tällä hetkellä kapasiteeteilla 10–14 tonnia tunnissa⁵⁵.



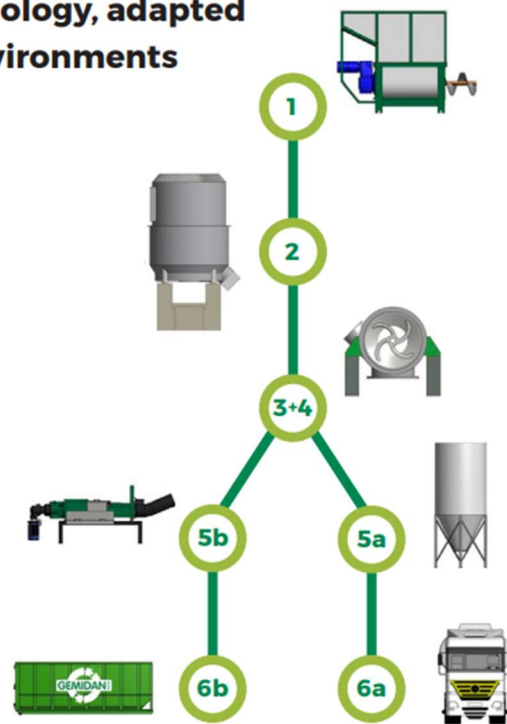
Kuva 15. Ecogi biopulp -laitteisto.⁵⁶

Laitteistokokonaisuus (Kuva 16) koostuu syöttölokerosta (1), josta raaka-aine syötetään pulpperille (2), jossa raaka-ainetta käsitellään mekaanisesti kevyesti. Bioliete erotellaan (3+4) rejektistä hydrodynaamisesti hyödyntäen sentrifugointimaista menetelmää, jonka avulla esimerkiksi metallipurkit saadaan avattua sekä hajoitettua ne vain muutama kappaleeseen. Rejektit kuivataan ruuvipuristimelle (5b) jätejakeeksi. Bioliete siirretään säiliöön ja tarvittaessa kuivataan (5a), jonka jälkeen se on valmis jatkokäsittelyyn tai kuljetukseen.

⁵⁶ (Ecogi, 2025)

Efficient, thoroughly tested technology, adapted to the most demanding waste environments

1. Feeding of organic waste
2. Pulping the waste
3. Separation of rejects post pulping
4. Cleaning of rejects for maximum utilization of organic potential
- 5a. Storing of pulp before delivery
- 6a. Transport of pulp
- 5b. Screw press dewatering of rejects
- 6b. Storing of rejects for reuse/incineration



Kuva 16. Biopulperin toimintakaavio, jossa on raaka-aineensyöttö (1), biopulperi (2), rejektin erotus ja poistolinjat (3, 5b ja 6b) sekä biolietteen säilytys ja siirto (5, 5a ja 6a) (mukaiillen (Ecogi, 2025)).

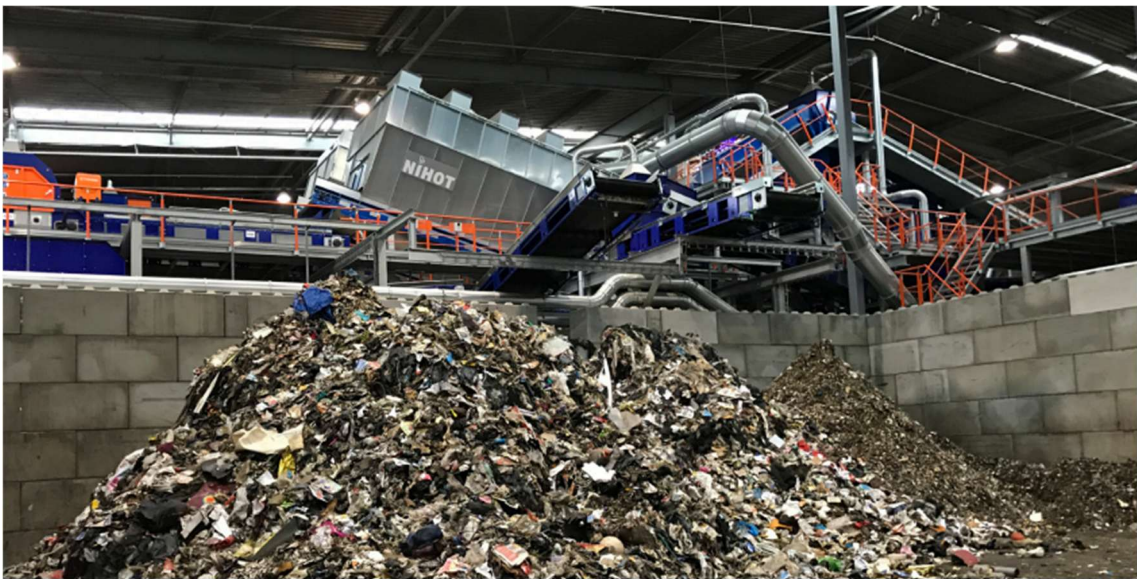
Teknologia on markkinoilla oleva vaihtoehto, jolla on valmistajan mukaan 99 % puhtausaste⁵⁶, riippuen raaka-aineiden sekä epäpuhtauksien määrästä ja laadusta. Käyttöönoton aikataulu ja kustannus arvioidaan sekä esitetään yhteenveto laitteiston osalta alapuolella (Taulukko 10) ja laitosvierailun pohjalta muodostettu raportti liitteessä 2.

Taulukko 10. Ecogi biopulperi-laitteiston arviointi.

Epäpuhtauksien poisto (-/+ /++ /+++)	TRL (1-10)	Puhtausaste (%)	Kustannus (€/€€ /€€€ /M€)	Kapasiteetti (t/h)	Käyttöönoton aikataulu (kk)
Muovi	+	9	99	25	9-12 ⁵⁵
Lasi	+				
Metalli	++				
Hiekka	++				
Kivi	++				
Lääkeaineet	-				
Raskasmetallit	-				
*Arvio, ei tarkkaa tietoa saatavilla tai riippuu syötteistä					

5.2.6 Nihot SDS Windshifter: Aerodynaaminen lajittelulaitteisto

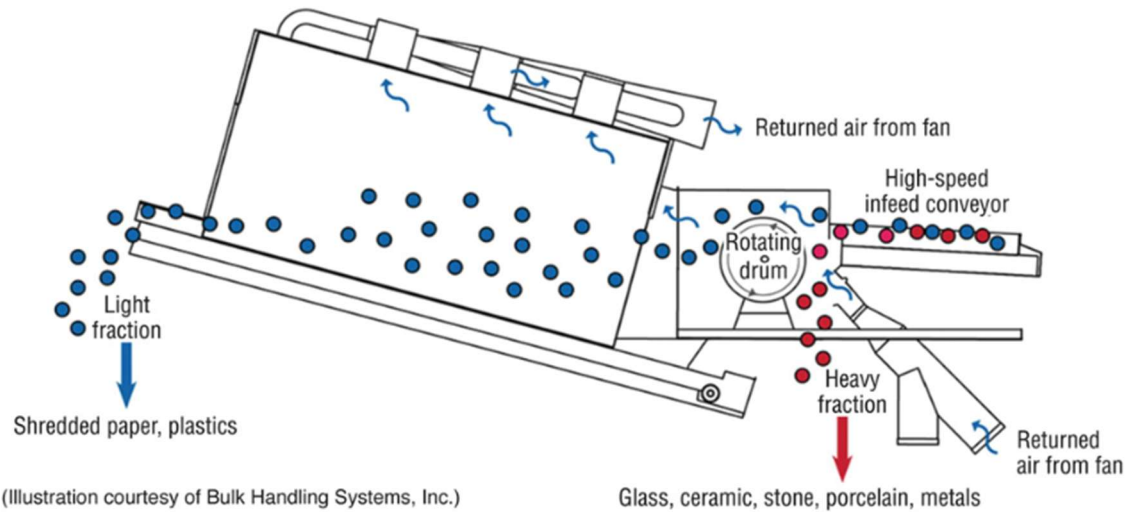
Nihotin valmistama **aerodynaamiseen lajitteluun** perustuva ratkaisu hyödyntää materiaalien painoon ja tiheyteen perustuvia lajittelumenetelmiä⁶⁵. Erottelu soveltuu erityisesti kuiville ja murskatuille jakeille, jotka sisältävät eroja tiheyden osalta⁶⁵. Menetelmä ei siis sovellu erityisen hyvin murskaamattomille tai kosteille pakatuille materiaaleille. Aerodynaamista erottelua voidaan käyttää erityisen tehokkaasti rejektin lajitteluun muoveihin, jolloin kevyestä rejektistä saadaan hyvälaatuista energiajätettä tai raskaisiin jakeisiin (kivi, lasi ja metalli) jolloin rejekti muodostuu pääasiassa inerteistä materiaaleista.⁵⁷



Kuva 17. Nihotin kunnallisen energiajätteen esikäsittelylaitteisto.⁵⁷

Laitteistoratkaisut (Kuva 18) erottelevat ilmavirran sekä paine-eron avulla syötettävän materiaalin sen tiheyden perusteella raskaisiin sekä kevyisiin jakeisiin. Ratkaisuja on useita erilaisia ja niitä säädellään erityisesti puhallusilman paineella ja niihin on joissain tapauksissa yhdistettynä myös optista ja automatisoitua lajittelua.

⁵⁷ (Nihot, 2024)



Kuva 18. Esimerkki toimintakaavio aerodynaamisen rumpuseparaattorin toiminnasta.²⁰

Teknologia on markkinoilla oleva vaihtoehto, jolla voidaan saavuttaa korkeita puhtausasteita. Tarkkoja tietoja aerodynaamisista laitteista ja niiden käytöstä on saatavilla verkkolähteistä heikosti, joten tunnuslukuja arvioidaan monilta osilta (Taulukko 11). Parametrejä on mahdollista säätää, mutta biojätteiden käsittelyn osalta tietoja on heikosti saatavilla verkkolähteistä valmistajalta. Kustannuksien arvioidaan olevan edeltävien esimerkkien kustannuksia matalampia vähäisemmän mekaanisen kulumisen ja kuormituksen seurauksena. Laitteiston asennus voi vaatia tavanomaista enemmän aikaa, ja vaatia ylimääräistä käyttöönottoon liittyvää säätöä nostoen hankintakustannuksia. Vastaavanlaisia aerodynaamisia erottelumenetelmiä ja räätälöityjä ratkaisuja toimittavat myös esimerkiksi Komptech⁵⁸ ja Westeria⁵⁹.

Taulukko 11. Nihot SDS Windshifter lajittelulaitteiston arviointi.

Epäpuhtauksien poisto (-/+ /++ /+++)	TRL (1-10)	Puhtausaste (%)	Kustannus (€/€€ /€€€ /M€)	Kapasiteetti (t/h)	Käyttöönnoton aikataulu (kk)
Muovi	-	7	CAPEX: €€€-M€* OPEX: €-€€*	25*	9-12*
Lasi	+++				
Metalli	++				
Hiekka	+				
Kivi	+++				
Lääkeaineet	-				
Raskasmetallit	-				
*Arvio, ei tarkkaa tietoa saatavilla tai riippuu syötteistä					

⁵⁸ (Komptech, 2025)

⁵⁹ (Westeria, 2025)

5.2.7 Tomra Autosort: Optiset ja sensoriaivusteiset lajittelulinjastot

Optisia ja sensoriaivusteisia erottelumenetelmiä (Kuva 19) hyödynnetään erityisesti muovin, lasin ja metallien lajitteluun optisten ominaisuuksien perusteella. Valmistajia ratkaisuille ovat muun muassa Steinert⁶⁰, Pellen CST⁶¹ ja Tomra⁶². Tomran laitteisto on pohjoismainen sekä Suomessa tunnettu ja toimiva laitevalmistaja, joka valmistaa erityisesti ratkaisuja erilaisiin jätteiden lajittelutarpeisiin. Autosort -laitteiston ilmoitetaan olevan soveltuva myös biojakeiden käsittelyyn⁶², mutta tehokkuus voi heikentyä, jos materiaali on erityisen kosteaa. Menetelmä ei siis sovellu erityisen hyvin murskaamattomille tai kosteille pakatuille materiaaleille.



Kuva 19. Tomra Autosort järjestelmien kokoonpanojen esimerkkejä.⁶³

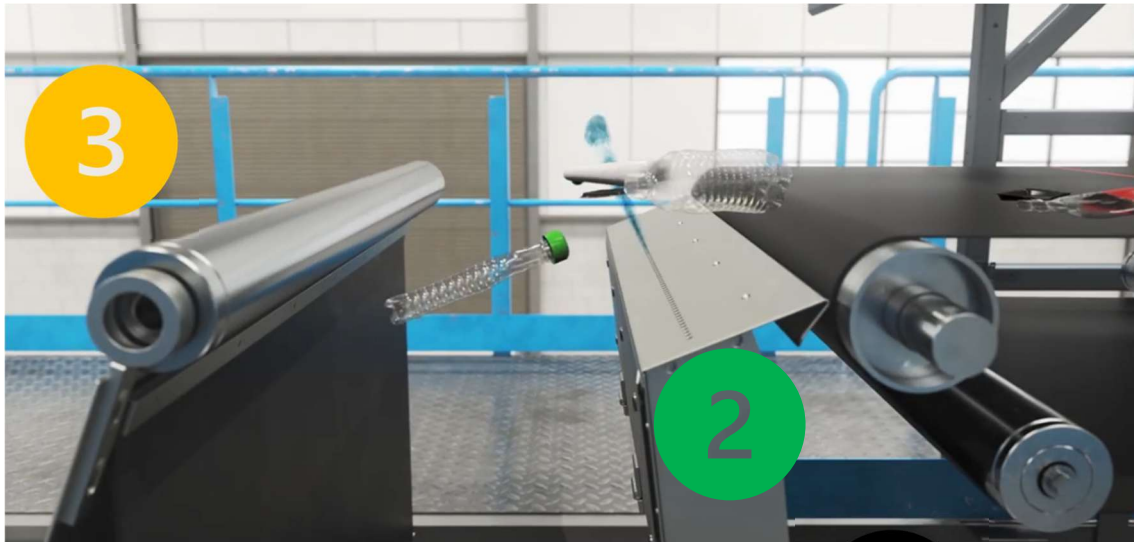
Laiteratkaisu (Kuva 20) hyödyntää AI-pohjaista kuvantunnistusta tunnistaakseen jakeet linjastolla lasererottelun avulla (1). Automatisoitu aerodynaaminen ejektori (2) puhaltaa tämän jälkeen ei toivotut jakeet rejektiksi (3) ja jatkokäyttöön siirtyvät materiaalit jatkavat tuotantolinjastolla.

⁶⁰ (Steinert Global, 2025)

⁶¹ (Pellen CST, 2025)

⁶² (Tomra, 2025)

⁶³ (Recycling Industry, 2020)



Kuva 20. Tomra autosort lajittelujärjestelmän toiminta.⁶⁴



Laiteratkaisu sopii kuivalinjastoille edellisen esimerkin (Nihot Windshifter) tavoin ja se voidaan integroida esikäsitteilyyn esimerkiksi kuivamurskauksen yhteyteen. Laitteistoratkaisut ovat räätälöityjä kokonaisuuksia, jonka seurauksena kustannukset voivat olla korkeita. Laitteistoon voidaan integroida useita menetelmiä, kuten NIR-spektrometri jakeiden paremman tunnistamisen tukemiseksi niiden valon taittavuuden mukaisesti sekä elektromagneettisia (EM) sensoreita, joiden avulla voidaan tunnistaa paremmin magneettiset metallit.⁶²

Laitteistot ovat räätälöityjä kokonaisratkaisuja, joten vertailu toteutetaan karkeasti. Oletuksena arviointiin pidetään, että laiteratkaisuun liitetään NIR- ja EM-sensorit, joiden avulla tehostetaan epäpuhtauksien poistoa materiaalista, mutta kustannukset ovat korkeampia.

Taulukko 12. Räätälöidyn TOMRA autosort lajittelulaitteiston arviointi.

Epäpuhtauksien poisto (-/+ /++ /+++)	TRL (1-10)	Puhtausaste (%)	Kustannus (€/€€/€€€ /M€)	Kapasiteetti (t/h)	Käyttöönoton aikataulu (kk)
Muovi	+++	7	CAPEX: €€€-M€* OPEX: €€*	20*	12-15*
Lasi	+++				
Metalli	+++				
Hiekka	+				
Kivi	+++				
Lääkeaineet	-				
Raskasmetallit	-				

*Arvio, ei tarkkaa tietoa saatavilla tai riippuu syötteistä

⁶⁴ (Tomra, 2020)

5.2.8 Doppstadt: rumpuseula ja silppuri

Doppstadt **rumpuseula** (Kuva 21) on kuivaerottelumenetelmä, joka sopii erityisesti kiinteiden materiaalien erotteluun raekoon mukaisesti. Seulalla voidaan mekaanisesti avata myös pakkauksia kuten biojätepusseja, sekä erotella suurikokoisia irtokappaleita. Seulonnassa eroteltavia materiaaleja ovat esimerkiksi puukappaleet, muovipussit, kivet ja lasi. Laitteistossa pakkauksien avaus toteutuu seulan siivekkeiden avulla ilman murskausta. Laitteiden käsittelykapasiteetti on raaka-aineen mukaan 50–300 m³/h. Laitteet soveltuvat erityisesti karkeiden epäpuhtauksien erotteluun⁶⁵. Laitteistoihin on mahdollista yhdistää myös murskaus- ja silppuriratkaisuja raaka-aineiden lisäkäsittelyyn, magneettierotin metallien erotteluun tai esimerkiksi tärinäseula erityisesti pitkäkuituisen ja kerrostuvien materiaalin erottelun helpottamiseksi.⁶⁶



Kuva 21. Doppstadt rumpuseula -laitteisto⁶⁶, jossa raaka-aineen syöttö (1), rumpuseula (2), rejektinä muodostunut kuitupitoinen jätemassa vasemmalla sekä seulottu kompostoitava materiaali oikealla (3).

Laitteistokokonaisuuteen voidaan liittää myös **silppuri** (Kuva 22), jonka avulla voidaan esimerkiksi avata tehokkaammin biojätepakkauksia tai silputa karkeaa ja kuitupitoista raaka-ainetta. Silppuri koostuu syöttölokerosta (1), josta raaka-aine syötetään silppurille, joka silppuaa materiaalin. Silputtu materiaali siirretään seuraavaan käsittelyvaiheeseen (3).

⁶⁵ (Zero Waste Europe, 2024)

⁶⁶ (Doppstadt, 2025)



Kuva 22. Silppurilaitteisto, jossa on raaka-aineensyöttö (1), silppuri (2) sekä silputun raaka-aineen poistolinja (3) (mukaiillen (Doppstadt, 2025)).

Teknologiat ovat markkinoilla olevia vaihtoehtoja. Ratkaisujen osalta arvioidaan silppurin ja rumpuseulan yhdistelmää, jonka avulla voidaan raaka-ainevirran mukaisesti syöttää ne joko silppurille tai suoraan rumpuseulalle. Rumpuseulan käytöllä voidaan erotella arviolta 96 % orgaanisesta materiaalista⁸. Rumpuseulan ja silppurin erottelumenetelmillä voidaan erotella raaka-aineesta erityisesti suurikokoisia jakeita ilman niiden murskausta. Ratkaisut soveltuvat erityisesti maa-aineksen käsittelyyn, kompostin ja seosaineiden erotteluun sekä kasvipohjaisien materiaalien, kivien sekä lasin erotteluun. Käyttönoton aikataulu, kustannus arvioidaan sekä esitetään yhteenveto laitteistolle (Taulukko 13). Vastaavanlaisia ratkaisuja toimittavat esimerkiksi Komptech⁶⁷ ja Eggersmann Recycling Technology, joka tarjoaa myös yhdistettyä tuuliseulalaitteistoa ratkaisuna⁶⁸.

Taulukko 13. Doppstadt rumpuseulan ja silppurin arviointi esikäsitteilylaitteistona.

Epäpuhtauksien poisto (-/+ /++ /+++)	TRL (1-10)	Puhtausaste (%)	Kustannus (€/€/€/€/M€)	Kapasiteetti (t/h)	Käyttönoton aikataulu (kk)
Muovi	++	9	CAPEX: €€€-M€* OPEX: €€*	75 ⁶⁷	6-9
Lasi	++				
Metalli	++				
Hiekka	+				
Kivi	++				
Lääkeaineet	-				
Raskasmetallit	-				
*Arvio, ei tarkkaa tietoa saatavilla tai riippuu syötteistä					

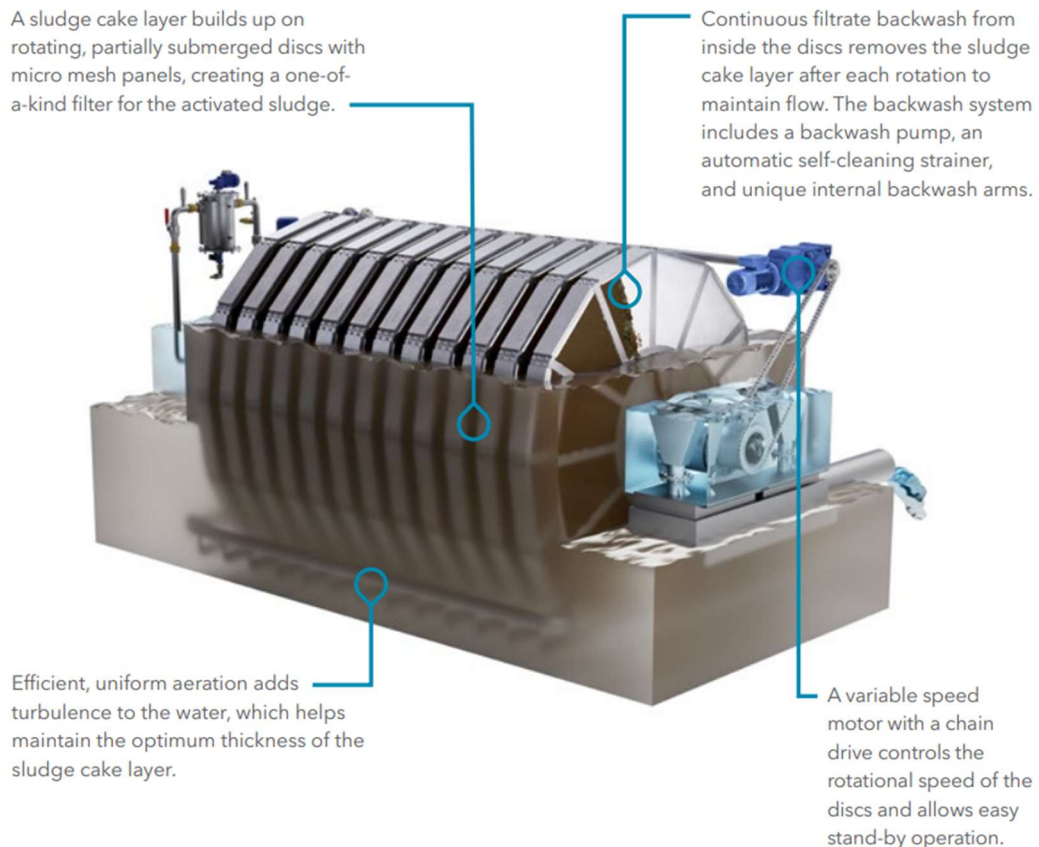
⁶⁷ (Komptech, 2025)

⁶⁸ (Eggersmann Recycling Technology, 2026)

5.3 Jatkuvatoimiseen sekä jälkikäsittelyyn soveltuvia ratkaisuja

5.3.1 Taron Activated Sludge Filter: Dynaaminen membraanisuo datin

Dynaamisista membraanisuo dattimista sarjatuotannollisia kaupallistettuja ratkaisuja on biolietteilte vähäisesti ja ne ovat pääosin räätälöityjä ratkaisuja. Italialaisen SNR-IRSA yritys on toimittanut pilottilaitoksen, joka käyttää DMBR-menetelmää pilottilaitoksena Intiaan⁶⁹. Ratkaisuissa hyödynnetään liikkuvaa tukirakennepakettia, jonka päälle membraanirakenne muodostuu ja joka pestään kierrosten välissä (Kuva 23). Käsittelymenetelmällä erotetaan lietteestä puhdistettua prosessivettä⁷⁰. Prosessivesi voidaan kierrättää prosessiin ja sakeutettu liete voidaan syöttää takaisin reaktoriin tai kohti lopullista kuivausta.



Kuva 23. Taron Activated Sludge Filter membraanisuo dattimen rakenne.⁷⁰

⁶⁹ (Pavitra Ganga, 2025)

⁷⁰ (Xylem, 2025)

Sovellus on käyttökohteelle suunniteltava, joten lukuun ottamatta kapasiteettia tämä voidaan arvioida karkeasti (Taulukko 14). Samankaltaisia ratkaisuja on tarjolla esimerkiksi Andritzin kautta räätälöityinä vaihtoehtoina.

Taulukko 14. Taron ASF membraanisudattimen arviointi.

Epäpuhtauksien erotus (-/+/++/+++)		TRL (1-10)	Puhtausaste (%)	Kustannus (€/€/€/€/M€)	Kapasiteetti (m ³ /h)	Käyttöönoton aikataulu (kk)
Muovi	++	6	>99*	CAPEX: €€€* OPEX: €€*	80	9-12*
Lasi	+					
Metalli	+					
Hiekka	+					
Kivi	+					
Lääkeaineet	++					
Raskasmetallit	+					
*Arvio, ei tarkkaa tietoa saatavilla tai riippuu syötteistä						
**Räätälöidyn kokonaisratkaisun arviointi uudelle konseptille						

5.3.2 Andritz HydraDisc: kiinteä kiekkosuodatin

Andritz valmistaa räätälöitynä ja mitoitettuja ratkaisuja useisiin käyttötarpeisiin, ja jätevesien käsittelyyn ratkaisuna on HydraDisc **kiekkosuodatin** (Kuva 24). Suodattimen avulla erotetaan puhdistettua prosessivettä lietteestä.^{71,72}



Kuva 24. Andritz HydraDisc kiekkosuodatinratkaisu jätevesienkäsittelyyn.⁷¹

Vaihtoehdot ovat räätälöityjä kokonaisuuksia, joten arviointi (Taulukko 15) on karkea sekä lopullisia tietoja saadaan vasta toimittajilta mitoituksen yhteydessä. Tarjolla on myös useita muita suodatinratkaisuja, joista voidaan käsiteltävän materiaalin mukaan valita lopullinen suodatinratkaisu erilaisiin bioprosessin tarpeisiin. Samankaltaisia mekaanisia ratkaisuja toimittavat myös Veolia⁷³ sekä Huber⁷⁴.

Taulukko 15. Räätälöidyn Andritz suodatusratkaisun arviointi.

Epäpuhtauksien erotus (-/+ /++ /+++)	TRL (1-10)	Puhtausaste (%)	Kustannus (€/€€ /€€€ /M€)	Kapasiteetti (t/h)	Käyttöönoton aikataulu (kk)
Muovi	++	7	CAPEX: €€€** OPEX: €€**	25**	8-16**
Lasi	+				
Metalli	+				
Hiekka	+				
Kivi	+				
Lääkeaineet	++				
Raskasmetallit	+				
*Arvio, ei tarkkaa tietoa saatavilla tai riippuu syötteistä					
**Räätälöidyn ratkaisun arvio					

⁷¹ (ANDRITZ, 2025)

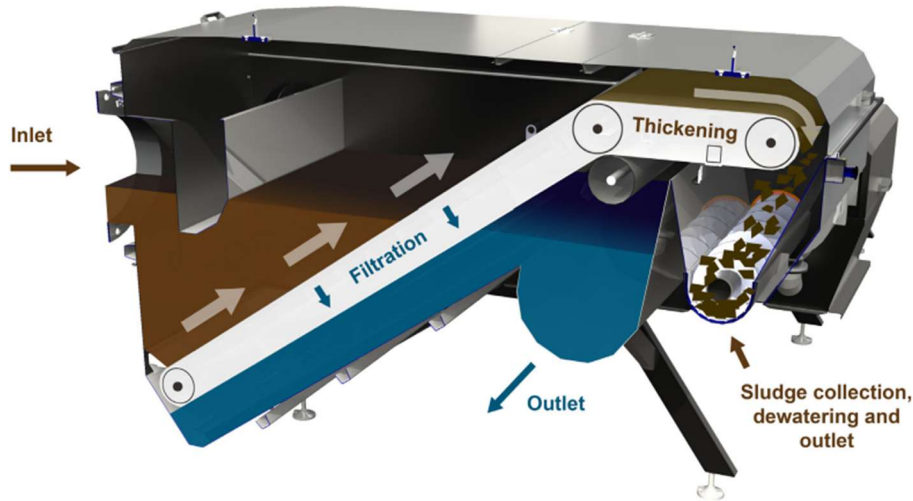
⁷² (ANDRITZ, 2025)

⁷³ (Veolia, 2025)

⁷⁴ (Huber, 2025)

5.3.3 Salsnes Filter: Mekaaninen mikroseula

Salsnesin ratkaisu biolietteiden käsittelyyn on **mekaaninen mikroseula**, jonka avulla lietettä sakeutetaan (Kuva 25). Lietettä syötetään seulalle, josta puhdistettu vesi suodatetaan (filtration). Seulan pinnalle muodostuu kiintoainekerros, josta palautetaan ilmaleikkurin avulla lietemäinen osa takaisin sakeutusaltaaseen. Ilmaleikkurin läpäisevä materiaali paksuuntuu (thickening) ja jäljelle jää kiintoainemassaa.



Note: Picture shown SF2000 - SF6000

Kuva 25. Salsnes Filter mikroseularatkaisu jätevesienkäsittelyyn.⁷⁵

Lietteestä muodostuu 20–30 % kiintoainepitoista materiaalia ja puhdistettua prosessivettä (Taulukko 16)⁷⁵. Kiintoaine voidaan hyödyntää bioprosessissa.

Taulukko 16. Salsnes Filter suodatusratkaisun arviointi.

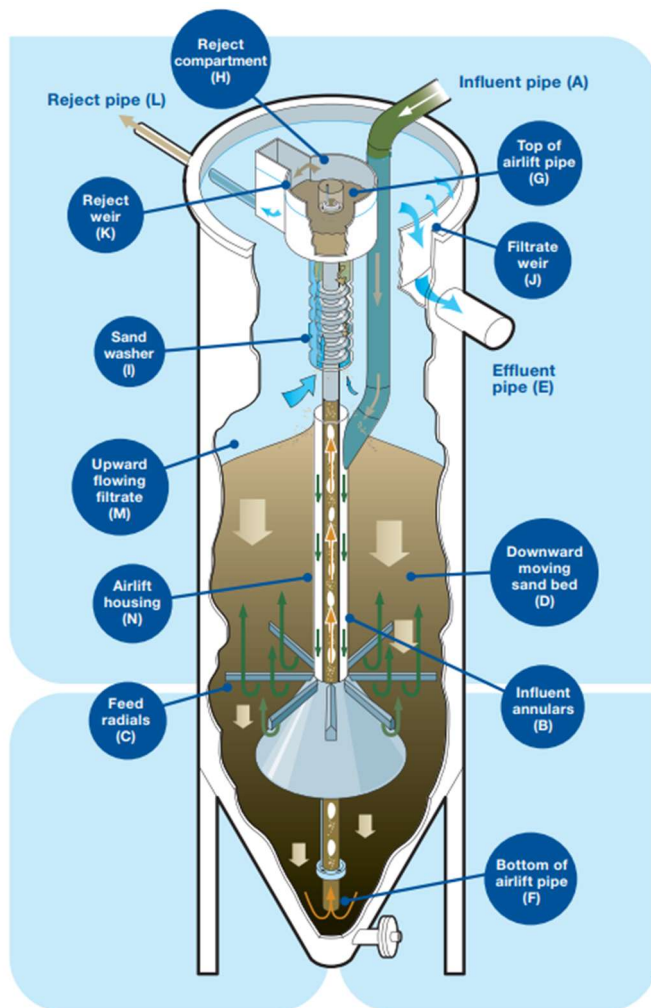
Epäpuhtauksien erotus (-/+ /++ /+++)	TRL (1-10)	Puhtausaste (%)	Kustannus (€/€€/€€€/M€)	Kapasiteetti (t/h)	Käyttöönottokäytännön aikataulu (kk)
Muovi	+	7	CAPEX: €€€* OPEX: €€*	25*	4-8*
Lasi	+				
Metalli	+				
Hiekka	+				
Kivi	+				
Lääkeaineet	+				
Raskasmetallit	+				

*Arvio, ei tarkkaa tietoa saatavilla tai riippuu syötteistä

⁷⁵ (Salsnes, 2024)

5.3.4 Parkson DynaSand: hiekkapetisuodatin

Parksonin ratkaisu biolietteiden käsittelyyn on mekaaninen **hiekkapetisuodatin**, jonka avulla lietettä ”pestään” (Kuva 26). Liete syötetään suodattimeen syöttöputkea (A) pitkin, josta se syötetään suodattimen keskellä olevaa putkea (B) pitkin hiekkasuodattimen alaosaan (C). Hiekkapeti (D) laskeutuu kohti reaktorin pohjaa ja kevyempää suodatettua vesimassaa poistetaan ylivirtauksena reaktorin yläosasta (E). Hiekkaa raskaampaa rejektiä poistetaan suodattimen pohjalta ilmahissin (F) avulla kohti ilmahissin yläosaa (G) sekä rejektisäiliötä (H). Rejeksi pestään hiekkapesurilla (I). Hiekkapesurin yläpuolelle nouseva kevyempi nestemassa poistetaan myös ylivuotokaukalon avulla (J). Hiekasta eroteltu rejekti siirretään rejektikaukaloon (K), josta paksuuntunut lietemassa poistetaan rejektiputkea (L) pitkin. Suodatettu prosessivesi virtaa kohti reaktorin pintaan (M) hiekkapedin läpi ja sen virtausta ylläpidetään syöttämällä reaktoriin ilmaa (N).⁷⁶



Kuva 26. Parkson DynaSand hiekkapetisuodattimen toiminta.

⁷⁶ (Parkson, 2026)

Ratkaisulla voidaan arvioida poistettavan erityisen tehokkaasti raskaita materiaaleja eli hiekkaa, kiveä, lasia sekä raskasmetalleja, jotka jäävät osaksi hiekkapetisuodattimen suodatinmateriaalia tai poistuvan osana rejektiä⁷⁶. Valmistajan mukaan hiekkapetiä ei tarvitse juurikaan puhdistaa erikseen tämän vuoksi⁷⁶. Lietteestä muodostuu puhdistettua prosessivettä. Ratkaisulle muodostetaan arviointi (Taulukko 17).

Taulukko 17. Parkson DynaSand hiekkapetisuodatinratkaisun arviointi.

Epäpuhtauksien erotus (-/+/++/+++)		TRL (1-10)	Puhtausaste (%)	Kustannus (€/€/€/€/M€)	Kapasiteetti (t/h)	Käyttöönnoton aikataulu (kk)
Muovi	+	7	>95*	CAPEX: €€€-M€* OPEX: €-€€*	25**	6-12*
Lasi	++					
Metalli	++					
Hiekka	+++					
Kivi	+++					
Lääkeaineet	+					
Raskasmetallit	-					
*Arvio, ei tarkkaa tietoa saatavilla tai riippuu syötteistä						
**Räätälöitävä ratkaisu						

5.3.5 Multotec syklonit: hydrosykloniratkaisut

Syklonikiertoon perustuvia ratkaisuja hyödynnetään lietteen sisältämien materiaalien erotteluun niiden tiheyden mukaan. Esimerkiksi Multotec toimittaa räätälöityjä **hydrosykloniratkaisuja** teollisiin sovellutuksiin⁷⁷. Hydrosykloniratkaisut ovat yleisiä käsittelymenetelmiä erityisesti kaivosteollisuuden parissa, jossa lietteestä erotetaan raskaampia tai kevyempiä jakeita.

Cyclone Distributors

Maximum separation efficiency, low running costs, innovative designs and technology

Alternative Distributor Designs

Duplex

- Compact design
- Low cost
- Ease of operation



Inline

- Small footprint
- Low capital cost



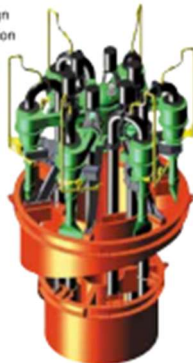
Walkway and Access Platforms

- Engineered to highest standards
- Customised to suit client requirements



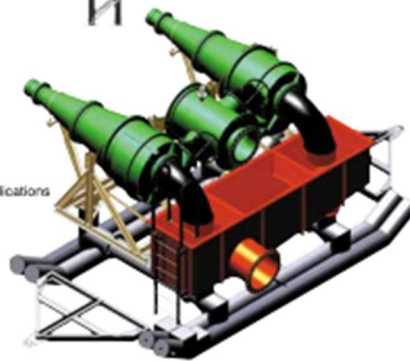
Radial Stacker Cyclone Distributor

- Compact design
- Ease of operation



Skid Mounted

- Specialised applications
- Moveable



Kuva 27. Esimerkkejä Multotecin syklonikonsepteista teolliseen käyttöön.⁷⁷

⁷⁷ (Multotec, 2025)

Vaihtoehdot ovat räätälöityjä vaihtoehtoja, joissa erotteluratkaisut valitaan esimerkiksi haluttujen jakeiden ja tiheyksien mukaisesti. Arviot ovat siis karkeita, koska ne vaativat myös tarkkoja mitoituksia lopputuloksien määrittelyyn (Taulukko 18). Ratkaisulla poistetaan vesimassasta epäpuhtauksista erityisesti raskaita jakeita kierrättäen ne takaisin reaktoriin tai kuivatettavaksi.

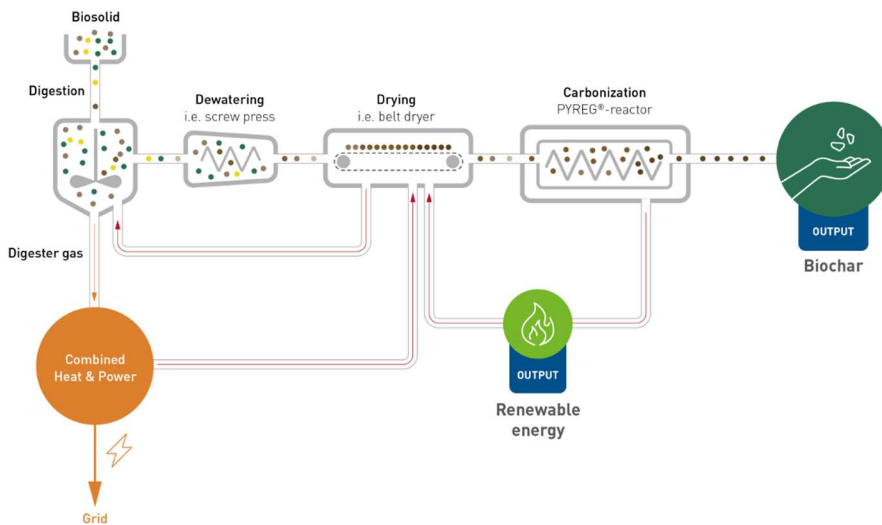
Taulukko 18. Multotecin räätälöidyn syklonisuodatuksen arviointi.

Epäpuhtauksien erotus (-/+/++/+++)		TRL (1-10)	Puhtausaste (%)	Kustannus (€/€/€/€/M€)	Kapasiteetti (t/h)	Käyttöönoton aikataulu (kk)
Muovi	+	7	>95*	CAPEX: €€€-M€* OPEX: €€*	25**	8-16**
Lasi	+					
Metalli	+					
Hiekka	+					
Kivi	+					
Lääkeaineet	+					
Raskasmetallit	+					
*Arvio, ei tarkkaa tietoa saatavilla tai riippuu syötteistä						
**Räätälöidyn ratkaisun arvio						

5.4 Jälkikäsittely

5.4.1 Pyreg biochar: Pyrolyysilaitteisto

Pyregin valmistama **pyrolyysilaitteisto** perustuu kuivatun lietemassan pyrolyysiin (Kuva 28). Pyrolyysin avulla poistetaan lopputuotteesta orgaaniset yhdisteet, lääkeainejäämät ja mikromuovit. Pyrolyysistä jäljelle jää biohiiltä sekä pyrolyysiöljyä, jotka sisältävät syötteen reagoimattomat epäpuhtaudet (hiekkä, kivi, lasi, metallit, raskasmetallit). Raskasmetallijäämät voivat olla olennaisin rajoittava tekijä lopputuotteen käytössä.^{39,40}



Kuva 28. Toimintakaavio biohiilituotannon toiminnasta.³⁹

Teknologia on markkinoilla oleva vaihtoehto. Lopputuotteena olevan biohiilen puhtaus on riippuvainen syötteen epäpuhtauksien (kivi, hiekka, lasi, metallit, raskasmetallit) määrästä

Taulukko 19. Pyreg pyrolyysilaitteiston arviointi.

Epäpuhtauksien poisto (-/+ /++ /+++)	TRL (1-10)	Puhtausaste (%)	Kustannus (€/€/€/€/M€)	Kapasiteetti (t/h)	Käyttöönoton aikataulu (kk)
Muovi	+++	7	CAPEX: M€* OPEX: €€-€€€*	25*	3-9*
Lasi	-				
Metalli	-				
Hiekka	-				
Kivi	-				
Lääkeaineet	+++				
Raskasmetallit	-				
*Arvio, ei tarkkaa tietoa saatavilla tai riippuu syötteistä					

5.4.2 Ingelia HTC: Hydroterminen karbonisointi (HTC)

Ingelian esimerkki hydrotermisestä karbonisoinnista (HTC) on märkäpyrolyysiratkaisu (Kuva 29). Prosessi toteutetaan nestemäiselle raaka-aineelle paineistetuissa hapettomissa olosuhteissa ja sillä poistetaan epäpuhtauksia vaihteittaisia lämpötilamuutoksia hyödyntäen. Märkäpyrolyysistä jää jäljelle biopohjaista hydrohiiltä sekä tavanomaista pyrolyysiä enemmän pyrolyysiöljyä, jotka sisältävät syötteen reagoimattomat epäpuhtaudet (hiekkä, kivi, lasi, metallit, raskasmetallit).^{39,40}



Kuva 29. Pyrolyysilaitteisto Birminghamissa (UK).⁷⁸

Teknologia on markkinoilla oleva vaihtoehto. HTC laitoksia valmistaa myös ruotsalainen C-Green, joka on valmistanut demonstraatio laitoksia 30 000 tonnin vuosikapasiteetilla⁷⁹. C-Greenin ensimmäinen demonstraatiolaitos lietteiden pyrolyysikäsitelyyn on rakennettu Suomeen⁸⁰ Stora Enson Heinolan tehtaalle⁸¹.

Taulukko 20. Ingelia HTC märkäpyrolyysilaitteiston arviointi.

Epäpuhtauksien poisto (-/+ /++ /+++)	TRL (1-10)	Puhtausaste (%)	Kustannus (€/€€ /€€€ /M€)	Kapasiteetti (t/h)	Käyttöönoton aikataulu (kk)
Muovi	+++	7	90–99*	25*	3–9*
Lasi	-				
Metalli	-				
Hiekka	-				
Kivi	-				
Lääkeaineet	+++				
Raskasmetallit	-				
*Arvio, ei tarkkaa tietoa saatavilla tai riippuu syötteistä					

⁷⁸ (Ingelia, 2025)

⁷⁹ (C-Green, 2025)

⁸⁰ (Inno Energy, 2019)

⁸¹ (C-Green Technology AB, 2019)

5.5 Räättelöityjen ratkaisujen toimittajat

Useat toimittajista eivät tarjoa kiinteähintaisia valmiita pakettiratkaisuja esimerkiksi raaka-aineiden laatuvaihtelun seurauksena. Paremmin käyttökohteeseen soveltuvia kokonaisratkaisuja tarjotaan usein tilannekohtaisesti mitoitettuna ja suunniteltuna ratkaisuna raaka-aineiden mukaisesti valituista ratkaisusta sisältäen, suunnittelun, rakentamisen ja käyttöönoton. Räättelöityjä kokonaisuuksia tarkastellaan esimerkkien muodossa toimittajista, jotka tarjoavat erilaisia laitevaihtoehtoja tai erikoistuvat johonkin tiettyyn prosessivaiheeseen. Osa toimittaa myös niin sanottuja ”avaimet käteen” paketteja, joissa tuote voi olla jopa kokonainen biojätteiden käsittelylaitos.

5.5.1 Käsittelyratkaisut eri prosessivaiheisiin

Tomra puolestaan tarjoaa optiseen lajitteluun perustuvia räättelöityjä käsittelyratkaisuja. Jätteen lajittelun ratkaisuja tapauskohtaisesti räättelöi myös **Bollegraaf**, jonka erikoistuminen on erityisesti sekalaatuisessa jättejakeessa ja niiden lajittelussa. Bollegraafin ratkaisut keskittyvät kuljettimiin, erotteluun, seulontaan, optiseen ja automatisoituun lajitteluun sekä paalainratkaisuihin⁸².

Esimerkkinä toiminut **Atritor** erikoistuu esikäsittelylaitteistoihin ja tarjoaa raaka-aineiden homogenisoinnin osalta mitoitusratkaisuja erilaisille prosessivaihtoehdoille myös muilla toimialoilla. Aerodynaamisia ratkaisuja mitoittaa **Nihot. Kusters Engineering** mitoittaa ainakin rumpuseulamaisia Rotoshifter ratkaisuja⁸³. **Doda USA** yritys toimittaa mitoitettavia ratkaisuja erityisesti lietetyn materiaalin käsittelyyn. Lietteiden käsittelyratkaisuihin kuuluvat erityisesti pumput, säiliöiden sekoittimet, ruuvipuristimet sekä rumpuseulat.⁸⁴

Italialainen **Camec** toimittaa räättelöityjä kierrätys- ja jätteenkäsittelyratkaisuja erikoistuen mekaanisiin murskaimiin, seuloihin sekä hygienisoinnin ratkaisuihin⁸⁵. Saksalainen **Flottweg** erikoistuu erityisesti lietteen käsittelyyn, kuten sentrifugointi, seulonta, separointi ja trikantterointi⁸⁶. Ratkaisut soveltuvat erityisesti ruokajätteen, rasvojen, öljyjen sekä lääke- ja kemianteollisuuden ratkaisuihin ja vesienkäsittelyyn⁸⁷. Valmistaja tarjoaa räättelöityjä ratkaisuja, joiden avulla käsitellä erityisesti kosteita raaka-aineita.

Andritz on itävaltalainen yritys, joka tarjoaa monipuolisesti palveluita erilaisille teollisuuden aloille, kuten vesivoima, paperi- ja selluteollisuus, metalliteollisuus sekä energia- ja ympäristötekniset ratkaisut. Andritzin tuotteista löytyy: murskaratkaisuja biojätteiden käsittelyyn sekä homogenisointiin ja epäpuhtauksien erotteluun, hydrodynaamisia erotteluratkaisuja sekä lietteiden käsittelyratkaisuja, joista voidaan mitoittaa käyttökohteeseen tarvittavia vaihtoehtoja.

⁸² (Bollegraaf, 2025)

⁸³ (Kusters Engineering, 2025)

⁸⁴ (Doda USA, 2025)

⁸⁵ (Camec, 2025)

⁸⁶ (Flottweg, 2025)

⁸⁷ (Flottweg, 2025)

5.5.2 Räätelöidyt suodatusratkaisut

Prosessien eri vaiheisiin voidaan hyödyntää monipuolisesti suodatin- ja siivilöintiratkaisuja, joita usein käytetään suurempia raekokoja (kuten 12–80 mm) hyödyntäen mekaanisten esikäsittelymenetelmien yhteydessä. Lietteen ja mädätejäännöksen kosteuden erottelun osalta esimerkkejä on esitetty esimerkiksi mikroseulan, hiekkapetisuodattimen, sykloniratkaisujen sekä kiekkosuodattimien osalta. Pienempien raekokojen ratkaisuja voidaan hyödyntää eroteltavien materiaalien kokoluokkien mukaisesti. Sopivan vaihtoehdon valinta tulee tehdä poistamista vaativien epäpuhtauksien kokoluokan mukaisesti, tämä on suositeltava mitoittaa kokeellisesti tai tutkimalla lopputuotteessa esiintyviä epäpuhtauksia. Pienikokoisempia suodatusratkaisuja toimittaa räätälöityinä ratkaisuinä esimerkiksi AFT Global, joka mainitsee valikoimassa olevien porattujen suodattimien läpäisyyn olevan 0,5–15 mm kokoluokkaa ja EB-porattuja ratkaisuja voidaan hyödyntää jopa 0,1–0,5 mm kokoluokan materiaalien erottelussa. Pienempiä raekokoja voidaan erotella suodatinratkaisuilla, kuten paine-eron käytöllä sekä rakolajittelun avulla. Ratkaisut ovat pääasiassa räätälöityjä suodatusmenetelmiä eivätkä usein valmiita kaupallisia paketteja.⁸⁸

5.5.3 Räätelöidyt puristinratkaisut

Lietteen, mädätejäännöksen ja joissakin tapauksissa myös rejektimateriaalien puristuksessa voidaan hyödyntää erilaisia puristimia, joiden avulla kiintoaineita erotellaan nestemäisestä jakeesta. Rejektimateriaalista kosteutta poistetaan pääasiassa tavoitteena vähentää polttoon menevän rejektin käsittelykustannuksia vähentämällä jakeen painoa.

Puristimet ovat mekaanisia laitteistoja, joiden avulla lietteestä ja mädätejäännöksestä kosteutta poistetaan pääasiassa tavoitteena säätää kiintoainepitoisuus haluttuun prosenttiyksikköön, koska suuri vesimäärä kasvattaa kuljetus-, käsittely- ja varastointikustannuksia. Sopivalla kosteuspitoisuudella voidaan myös helpottaa jatkokäsittelymenetelmiä ja niiden tehokkuutta. Tyypilliset puristinratkaisut orgaanisten materiaalien käsittelyssä ovat ruuvi-, nauha- ja levyipuristimet. Ruuvipuristimilla toteutetaan tasainen puristusprosessi, nauhapuristimilla toteutetaan puristusta suurilla virtausmäärillä ja levyipuristimilla toteutetaan pääasiassa syöttöerästä kosteudenpoistoa. Olennaisia räätälöityjen ratkaisujen toimittajia orgaanisten materiaalien käsittelyssä ovat Bellmer GmbH, Alfa Laval sekä Huber Technology.

Bellmer on saksalainen konevalmistaja, joka erikoistuu erityisesti kosteudenpoiston ratkaisuihin ja valmistaa sekä toimittaa ratkaisuja laajalla skaalalla erilaisiin tuotantolaitosten tarpeisiin. Akupress-sarja on esimerkki ruuvipuristimista mädätejäännöksen ja lietevirtojen kosteudenpoistosta sekä WinklePress-sarja nauhapuristimista toimittajan osalta. Bellmer toimittaa myös erilaisia kokonaisia linjaratkaisuja erilaisiin jätehuoltolaitoksiin.⁸⁹

Alfa Laval toimittaa useita erilaisia kosteudenpoiston ratkaisuja erityisesti nauha- ja levyipuristimien sekä sentrifugointiin perustuvien dekanterien osalta. Alfa Laval

⁸⁸ (AFT Global, 2026)

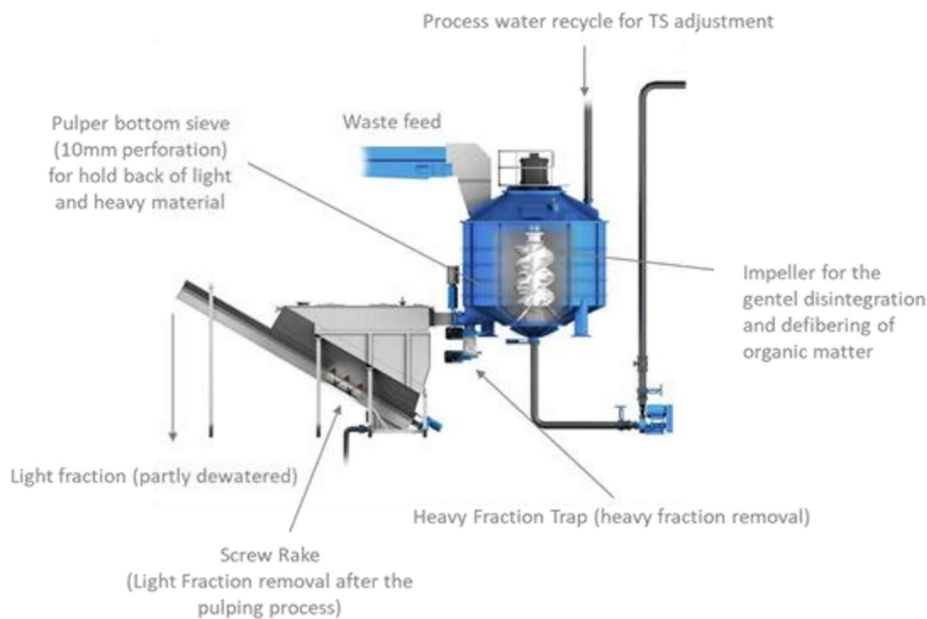
⁸⁹ (Bellmer, 2026)

toimittaa usein kokonaisratkaisuja, joissa laitteistoista muodostetaan yksittäisiä optimoituja prosessikokonaisuuksia⁹⁰.

Huber Technology toimittaa erityisesti ruuvipuristimiin perustuvia kosteudenpoistoratkaisuja, joita käytetään laajasti kunnallisessa sekä myös teollisissa bioprosessilaitoksissa. Huberin ratkaisusta esimerkkejä ovat S- ja Q-Press-sarjat, jotka ovat suunniteltuja jatkuvatoimiseen käyttöön. Huberin ratkaisut integroituvat usein osaksi muuta lietteenkäsittelylinjaa.⁹¹

5.5.4 Märkämädätyslaitokset: BTA International

BTA International erikoistuu erityisesti hydrodyaamisiin erottelumenetelmiin⁹². BTAn ratkaisuja ovat BTA Waste Pulper⁹³ -järjestelmä (Kuva 30), jolla syöte (Waste Feed) lietetään sekoittamalla se prosessiveden sekoittajan (Impeller) avulla. Lietteestä erotellaan raskaita ja suurikokoisia rejektejä painovoimaista erottelua (Heavy Fraction Trap) hyödyntäen⁹². Jäljellä oleva biomassa syötetään tämän jälkeen ruuvipuristimella (Screw Rake)⁹².



Kuva 30. BTA Waste Pulper kevyen materiaalin poistoruuvilla.

Lietetty ja esipuhdistettu suspensio (Suspension from Pulper) käsitellään BTAn Grit Removal System (hydro syklonijärjestelmä) -laitteistolla (Kuva 31)^{92,94}. Lietetty materiaali (1) syötetään säiliöön, jossa raskaat materiaalit laskeutuvat säiliön pohjalle ja pumpataan hydro syklonikiertoon (2). Hydro syklonilla erotellaan raskaita materiaaleja ja palautetaan liete takaisin säiliöön. Säiliöstä poistetaan puhdistettua lietettä kohti

⁹⁰ (Alfa Laval, 2026)

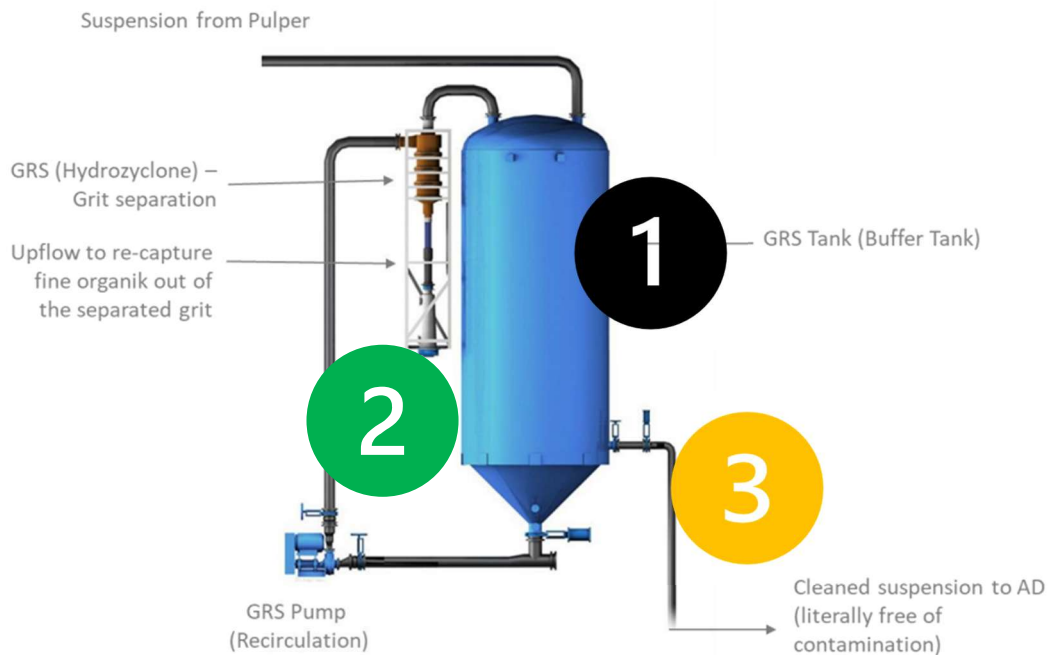
⁹¹ (Huber Technology, 2026)

⁹² (BTA International, 2021)

⁹³ (BTA International, 2025)

⁹⁴ (BTA International, 2025)

bioprosessia (3)⁹⁴. Laitteiston avulla pyritään erottamaan erityisesti jäljellä olevaa hiekkaa sekä murskattua metallia ja lasijätettä.



Kuva 31. BTA Internationalin Grit Removal System (GRS) (mukaiillen (BTA International, 2025)).

Bioreaktorissa liete kaasutetaan ja lopputuote kuivataan keskipakovoimaan perustuvilla sentrifugeilla tai ruuvipuristimilla⁹⁴. BTA Internationalin referenssejä on useita, joista Suomessa ovat Gasumin biokaasulaitoksen Topinojalla sekä Lohjalla⁹⁵. Lohjan biokaasulaitoksella vastaanotetaan, hygienisoidaan sekä kaasutetaan biojätettä, keittiöjätettä sekä jätevesiä yhteensä 60 000 tonnia vuodessa⁹⁵. Laitokselle vastaanotetaan raaka-aineita neljällä erillisellä tuotantolinjalla: teolliset jätevedet, rasvanerotuskaivojen jätteet, ruokajätteet sekä biojätteet⁹⁵. Vastaanottamalla materiaaleja eri prosessilinjoille tai prosessilinjojen minimoidaan materiaalien käsittelyn tarve ja maksimoidaan energiatehokkuus.

5.5.5 Märkämädätyslaitokset: Haarslev

Haarslev on tanskalainen teollisen prosessitekniikan toimittaja, joka suunnittelee, valmistaa ja toimittaa räätälöityjä järjestelmiä orgaanisten jätteiden, sivutuotteiden ja biomassojen käsittelyyn⁹⁶. Räätälöidyt ratkaisut kattavat myös pakatun bio- ja elintarvikejätteen käsittelyn. Haarslev erikoistuu erityisesti biojätteiden murskaimiin sekä lämpökäsittelylaitteistoihin⁹⁶. Muita ratkaisuja ovat esimerkiksi rasvanerotimet sekä ruuvipuristimet⁹⁷. Toimittajalla on useita referenssejä ruokateollisuuden sivuvirtojen,

⁹⁵ (BTA International, 2025)

⁹⁶ (Haarslev, 2025)

⁹⁷ (Haarslev, 2025)

kuten kalateollisuuden, elintarvikevalmistajien biojätteiden, lihanjalostuksen ja jäteveden puhdistamolietteiden käsittelystä⁹⁸.

5.5.6 Märkä- ja kuivämädätyslaitokset: Kanadevia Inova

Kanadevia Inova on Euroopan markkinoilla merkittävä bioreaktoreiden ja biomateriaalien käsittelyratkaisujen toimittaja, joka on toimittanut globaalisti jo yli 600 tuotantolaitosta ja toiminut aiemmin Euroopan markkinoilla nimellä Hitachi Zosen Inova. Valmistaja erikoistuu kuivämädätysratkaisuihin, joista aiemman yritysnimikkeen yhteydessä on käytetty nimikettä ”kompogas”, märkämädätysratkaisuihin sekä tuotetun biokaasun jatkojalostukseen ja nesteytykseen. Valmistaja toteuttaa projektien suunnittelua, kokoonpanoa, käyttöönottoa ja optimointia sisältäen koko projektin käytössä olevaan biokaasulaitokseen saakka.⁹⁹

Valmistajan osalta voidaan siis olettaa, että tarjolla on kokonaisvaltaisia ja kattavia ratkaisuja. Valmistajalla on osaamista myös kuiva- ja märkämädätysratkaisuista, jolloin erityisesti suurikokoisempien yhdistelmälaitoksien tapauksessa valmistaja herättää mielenkiintoa. Valmistajalla on esimerkiksi kuivämädätyslaitos Ruotsissa Jönköpingissä sekä kuiva- ja märkämädätyslaitteiston yhdistelmälinja Saksassa Fuldassa.¹⁰⁰

⁹⁸ (Haarslev, 2025)

⁹⁹ (Kanadevia Inova, 2025)

¹⁰⁰ (Kanadevia Inova, 2025)

6 TYÖPAJA JA LAITOSVIERAILUT

6.1 Työpaja

Työpajassa käsiteltiin kirjallisuuskatsauksessa koottuja tietoja, arvioita, laitevalmistajia sekä laitoskokonaisuuksia. Työpajassa selvitettiin myös osallistujien mielenkiintoa, tuntemusta sekä ajatuksia erilaisista käsittelymenetelmistä.

Alustavaa vierailukohteiden mielenkiinnon kartoitusta toteutettiin esimerkkikohteilla, joita oli kerätty erityisesti erilaisia raaka-aineita, menetelmiä ja ratkaisuja käyttävistä vaihtoehdoista eri puolilta tarkasteltavaa aluetta (Eurooppa). **Vierailukohde 1** on hankkeessa ennakkoon valittu Gasumin Honkajoen tuotantolaitos.

Neljästä muusta vierailukohteesta esitettiin työpajan yhteydessä kolme erilaista vaihtoehtoa erilaisilla käsittelymenetelmillä ja ratkaisuilla. Esitetyistä vaihtoehdoista muodostettiin työpajan yhteydessä keskustelua, jonka avulla lopullisia vierailukohteita valitaan. Työpajan kyselytulokset, esitetyt esimerkit vierailukohteista sekä yhteenveto keskusteluista esitetään liitteessä 1.

Vierailukohteen 2 alustava määrittely on märkämädätyslaitos. Ensimmäinen tarkasteltava vaihtoehto on Ruotsin Linköpingissä sijaitseva Tekniska Verkenin biokaasulaitos, jonka yhteydessä toimii myös Gärstadin biojätteiden esikäsittelylaitos. Gärstadille toimitetaan käsiteltäväksi sekajätettä sekä biojätteet, joista vihreissä muovipusseissa toimitetut biojätteet erotellaan automatisoidulla prosessilla ja niistä tuotetaan 100 kt/v käyttökelpoista biomassaa Tekniska Verkenin biokaasulaitoksen käyttöön.¹⁰¹

Toisena vaihtoehtona on VAFAB Miljö Kommunalförbundin operoima biokaasulaitos, joka sijaitsee Vesteråsissa, Ruotsissa. Laitos käsittelee erityisesti pakattua sekä usein myös jäätynyttä biojätettä 180 kt/v. Ei haluttuja materiaaleja erotellaan manuaalisesti, murskatun, sihdillä, pulpperilla ja hiekanerottimella. Biojätteet hienonnetaan 12 mm raekokoon.^{102,103}

Kolmantena vaihtoehtona on Ruotsin Helsingborgissa sijaitseva NSR biogas AB:n biokaasulaitos, jonka kapasiteetti on 160 kt/v. Laitoksella käsitellään kotitalouksien ja elintarviketeollisuuden biojätteitä vasaramyllyn, pulppereiden sekä ruuvipuristimen avulla.¹⁰⁴

Vierailukohteen 3 alustava määrittely on kuivamädätyslaitos. Ensimmäisenä vaihtoehtona on Drancon valmistama ja Igean milieu & Veiligheidin operoima biokaasulaitos Brechtsissä, Belgiassa. Biokaasulaitos käsittelee 70 kt/v biojätteitä sekä paperijätteitä, jotka käsitellään rumpuseulalla ja siivilöiden 40 mm raekokoon saakka ja mädättämällä korkeassa kuiva-ainepitoisuudessa. Määdetejäännöksestä poistetaan

¹⁰¹ (Linköping University, 2018)

¹⁰² (Vafab Miljö, 2025)

¹⁰³ (Spiroc, 2020)

¹⁰⁴ (Bio energy international, 2025)

kosteus ruuvipuristimella, jonka jälkeen se seulotaan täryseulalla sekä jälkikompostoidaan.¹⁰⁵

Toisena vaihtoehtona toimii Hitachi Zosen Inovan (nykyisin Kanadevia Inova) valmistama kompogas biokaasulaitos Ruotsin Jönköpingissä. Laitosta operoi Jönköping biogas AB ja se käsittelee ruokajätteitä, viherjätteitä, lantajakeita, rasvoja sekä elintarviketeollisuuden sivuvirtoja. Laitos käsittelee materiaaleja esikäsittelemällä murskaimella, jossa on muovinpoisto sekä silppurilla.¹⁰⁶

Kolmantena vaihtoehtona toimii Attero BV:n operoima jätteenkäsittelylaitos Wijsterissä, Alankomaissa. Laitoskokonaisuuteen kuuluvat märkämädätyslaitos, lämpökäsittelylaitos, jätteen lajittelulaitos ja kierrätyslaitos. Laitoskokonaisuuden kokonaiskapasiteetti on 825 kt/v, josta jätteenpolto käsittää 625 kt/v ja mädätyslaitos 57 kt/v. Mädätyslaitoksen mädätysprosessi toteutetaan noin 40 % kuiva-ainapitoisuudessa ja sen raaka-aineina toimii erilliskerätty biojäte. Biojätteet käsitellään rumpuseulalla, tähtiseulalla sekä aerodynaamisella erottelulla. Esikäsitelty materiaali sekoitetaan tämän jälkeen kierrätettyyn mädätejäännökseen ennen reaktorisyöttöä. Mädätejäännös käsitellään lopuksi jälkikompostoinnilla.¹⁰⁷

Vierailukohteen 4 osalta määrittäenä toimii kompostointilaitos. Ensimmäisenä vaihtoehtona toimii Belgian Beersessä sijaitseva IOK Afvalbeheerin operoima mädätys- ja kompostointilaitos. Laitoksen käsittelykapasiteetti on 59 kt/v. Laitoksella käsitellään biojätteitä seulomalla yli 60 mm kokoiset jakeet silputtavaksi ja kierrätettäväksi takaisin seulalle. Alle 60 mm raakoon jakeet siirretään ruuvisyöttimille, joissa ne sekoitetaan kierrätettyyn mädätejäännökseen sekä höyryyn. Esikäsitelty materiaali syötetään märkämädätysreaktorille. Kompostointilaitoksella käsitellään viherjätteitä, ruohojakeita sekä märkämädätyksen mädätejäännöstä. Raaka-aineet sekoitetaan keskenään sekä kompostoidaan kompostointihalleissa. Kompostoitu materiaali seulotaan, sekä yli 16 mm raakoon materiaali kierrätetään takaisin kompostointiin seosaineeksi.¹⁰⁸

Toisena vaihtoehtona toimii Espanjan Barcelonassa sijaitseva Ecoparc, joka on integroitu jätteenkäsittelykeskus. Laitoksen kokonaiskapasiteetti on 245 kt/v. Jätteet lajitellaan raaka-aineiksi mekaanisella lajittelulla ja eri jakeita paalataan raaka-aineiksi, polttokelpoiseksi jätteeksi sekä biojätteiksi, jotka käsitellään kompostoimalla. Jätteet jauhetaan sekä käsitellään rumpuseuloilla, täryseuloilla, magneettierottimilla sekä optisella lajittelulla.¹⁰⁹

Kolmantena vaihtoehtona toimii Alankomaissa, Hengelossa sijaitseva jätteenkäsittelylaitos. Laitoksella käsitellään jätteitä 604 kt/v, joista biojätteitä ja viherjätteitä on yhteensä 124 kt/v. Biojätteistä 50 kt/v kiertää mädätysprosessin kautta biokaasuntuotannossa. Loput biojakeista muodostuvat viherjätteistä, jotka sekoitetaan biokaasuntuotannon mädätejäännökseen kompostoitavaksi. Biojätteet käsitellään silppuamalla sekä tähtiseuloilla ja magneettierottimien avulla. Esikäsitelty materiaali sekoitetaan kierrätettyyn mädätejäännökseen sekä höyryyn ennen reaktorisyöttöä.

¹⁰⁵ (Dranco NV, 2022)

¹⁰⁶ (Kanadevia Inova, 2025)

¹⁰⁷ (Dranco NV, 2022)

¹⁰⁸ (Dranco NV, 2024)

¹⁰⁹ (Àrea Metropolitana de Barcelona (AMB), 2017)

Tähtiseuloilla erotettu suurikokoinen jae hyödynnetään suoraan kompostoinnissa kompostitunneleissa.¹¹⁰

Vierailukohteen 5 osalta ei ole erillistä määrittystä. Ensimmäisenä vaihtoehtona toimii NG Nordicin operoima Norjan Trondheimissä sijaitseva pakattujen biojätteiden käsittelylaitos. Laitoksen kokonaiskapasiteetin mainitaan olevan kymmeniä tuhansia tonneja vuodessa. NG Nordicin käsittelylaitos valmistaa pakatuista biojätteistä biolietettä, joka siirretään biokaasutuotantoa varten biokaasulaitoksille, joille valmista mädätystä varten valmistettu raaka-aine on helppo hyödyntää biokaasuntuotannossa.¹¹¹

Toisena vaihtoehtona toimii laitevalmistaja Ingelia, jonka toimipiste sijaitsee Espanjan Valenciassa. Valmistajan tuotteet ovat märkäpyrolyysilaitoksia, joilla käsitellään erityisesti bioperäisiä lietteitä. Valmistajan toimitilojen yhteydessä sijaitsee myös 1 t/h käsittelykapasiteetilla operoitava märkäpyrolyysilaitos.^{43,112}

Kolmantena vaihtoehtona toimii ROAF:n operoima ja Norjan, Skedsmokorsetissa, sijaitseva robotisoitu jätteiden lajittelulinjasto. Laitoksen käsittelykapasiteetti on 40 t/h ja sen avulla erotellaan vihreisiin pusseihin pakatut biojätteet ja muovit useisiin eri jakeisiin erityisesti optista lajittelua hyödyntäen.

Työpajan yhteydessä todettiin mielenkiinnon keskittyvän erityisesti muovipitoisiin raaka-aineisiin sekä niiden erotteluun ja käsittelyyn. Vierailukohteiksi päätettiin valita tämän vuoksi erityisesti pohjoismaiden alueella toimivia korkeita muovipitoisuuksia käsitteleviä laitoksia, jotka käsittelevät erityisesti pakattuja sekä muovipakkauksissa olevia biojätteitä käsitteleviä laitosratkaisuja.

6.2 Vierailukohteiden kysymysluettelo

Vierailukohteita ja niiden raportointia varten koostettiin kysymyslista, joka toimii tukena vierailun osalta. Kysymykset keskittyvät raaka-aineiden ja sen epäpuhtauksien määrään, käsittelymenetelmiin, erottelutehokkuuteen sekä rejektin koostumukseen. Lisäksi tiedustellaan laitoksen mahdollisista haasteista sekä kehitystarpeista (Taulukko 21).

Taulukko 21. Alustava kysymysluettelo vierailukohteiden osalta.

Kysymysluettelo
Paljonko pakattua biojätettä otetaan vastaan vuosittain?
Käsitelläänkö laitoksella muita raaka-aineita?
Millaisia pakkausmateriaaleja raaka-aineissa on?
Paljonko rejektimateriaalia muodostuu erotteluprosesseissa?
Kuinka monessa vaiheessa käsittely tapahtuu?
Mikä on lopputuotteen puhtausaste? (mg/kg, kuiva-aine)
Paljonko orgaanista materiaalia päätyy rejektin mukaan?
Mitkä ovat tärkeimmät kehitystarpeet ja -suunnitelmat?

¹¹⁰ (Dranco NV, 2024)

¹¹¹ (NG Nordic, 2024)

¹¹² (Ingelia, 2021)

6.3 Vierailukohteet

Vierailukohteita selvitetiin kysymällä vierailun mahdollisuuksia useilta soveltuville laitoksilta ja vastanneista kohteista soveltuvat valittiin yhteistyöpalaverissa 8.1.2026. Vierailukohteet ja näiden suunnitellut alustavat päivämäärät ovat:

- Gasum, Honkajoki, Suomi, 19.01.2026,
- Ecogi, Kööpenhamina, Tanska, 20.01.2026,
- Atritor/Lantmännen, Norrköping, Ruotsi, 21.01.2026 ja
- ESEM Lilla Nyby, Eskilstuna, Ruotsi, 23.01.2026.

Vierailukohteista esitetään loppuraportissa niihin liittyviä havaintoja, kuvia sekä kysymysluettelon vastaukset. Lisäksi hankkeen lopulla pyritään järjestämään webinaari, johon osallistuvat yritykset esittävät käsittelymenetelmiä, ratkaisuja sekä referenssejä käytetyistä teknologiaratkaisuista sekä niiden havaitusta toimivuudesta. Vierailukohteiden raportit ovat liitteessä 2.

Webinaari pidetään 29.01.2026 klo 12–16 ja sen pituus määrittyy lopullisten esiintyjien mukaan. Esiintyjät ja aikataulut:

- 12:00-12:15: Macon Oy, tilaisuuden aloitus,
- 12:15-13:00: Ecogi Gemidan A/S,
- 13:15-13:45: Atritor,
- 13:45-14:30: BTA International,
- 14:30-15:15: Tecaflow; onhyva.com,
- 15:15-15:35: AFT Global ja
- 15:35-16:00: Macon Oy, projektin yhteenvetoa ja tilaisuuden päätös.

7 EPÄPUHTAUKSIEN PARHAAT KÄYTTÖKELPOISET POISTOMENETELMÄT

Epäpuhtauksien poistomenetelmiä voidaan tarkastella useilta näkökulmilta. Tarkastelua toteutetaan epäpuhtauksien osalta muuttujille: muovi, lasi, metalli, hiekka, kivi, lääkeaineet ja raskasmetallit. Lisäksi tarkastelua toteutetaan raaka-ainejakeittain: Erilliskerätty biojäte, kauppojen ja elintarviketeollisuuden sivuvirrat, maatalouden eläinlannat, maa- ja metsätalouden kasvipohjaiset sivuvirrat ja puhdistamolietteet.

Erityisesti muovien erottelu on haastavaa, sillä suositeltavat käsittelymenetelmät vaihtelevat erityisesti muovin mekaanisten ominaisuuksien mukaisesti, jotka myös vaihtelevat huomattavasti sillä yksittäiset pakkauksetkin sisältävät eri tarkoitukseen valmistettuja muoveja. Muovipakkauksien sisältämän biomassan hyödyntämiseksi nämä on avattava ja avaaminen vaatii mekaanista työtä, jonka aikana muovipakkauksista muodostuu mekaanisessa käsittelyssä, kuten murskauksesta, makro-, mikro- ja nanomuoveja, joiden erottelu ja käsittely on sitä vaikeampaa mitä pienikokoisempia muovikappaleita on kyseessä.

Muovien poistaminen kokonaan on erittäin haastavaa näiden koostumuksen seurauksena ja tämän vuoksi ensimmäisenä keinona suositellaan muovien määrän minimointia⁶⁵. Mekaaniset käsittelymenetelmät ovat energiaintensiivisiä sekä materiaaleja kuluttavia erottelumenetelmiä, jonka seurauksena nämä ovat myös käyttökustannuksiltaan kalliita ratkaisuja. Samalla myös inertit jakeet, kuten lasi ja kivet, kuluttavat laitteistoa muodostaen samalla pienikokoisempia ja vaikeammin eroteltavia epäpuhtauksia. Yleisesti voidaan todeta, että paras tapa vähentää epäpuhtauksien määrää on poistaa nämä mahdollisimman aikaisessa vaiheessa ja mielellään ennen raaka-aineena käyttöä.

7.1 Parhaat käyttökelpoiset menetelmät epäpuhtauksittain

7.1.1 Muovimateriaalit

Käsittelyyn päätyvät muovit on suositeltavaa käsitellä mekaanisilla menetelmillä (murskaus, seulonta, puristus, tiheyserottelu)¹¹³, jotka avaavat pakkaukset orgaanisen materiaalin erottelun mahdollistamiseksi, mutta samalla hajottaen pakkauksia mahdollisimman vähän mikro- ja nanomuovien muodostumisen välttämiseksi. Erityisen lupaavalta ratkaisulta vaikuttaa Ecogin käyttämä ratkaisukokonaisuus (liite 2).

Kuivalle murskatulle tuotteelle alkuvaiheen erottelu on tehokasta toteuttaa koneälyä sekä aerodynaamista erottelua käyttämällä. Kuivamurskauksessa voi olla materiaalien koostumuksen mukaan haastavaa erotella epäpuhtauksia poistamatta samalla orgaanista materiaalia raaka-aineesta. **Kostealle** tai märkämurskauksella käsitellyille materiaaleille suositellaan esitetystä ratkaisusta, jotka hyödyntävät mekaanista käsittelyä yhdistettynä seulontaan: Tiger Depacker, Mavitec Paddle Depacker ja Palmieri Advanced Splitting

¹¹³ (European parliament and council, 2019)

System. Vastaavanlaiset ratkaisut (CASE-esimerkit 2, 3 ja 5, luku 5) osoittautuivat myös muovien erottelutehokkuudeltaan tehokkaiksi.

Prosessiin päätyneitä olevia muoveja on suositeltava käsiteltäväksi kierrättämällä reaktorin pinnalla olevaa kevyempää nestejätettä ja käsittelemällä sitä erilaisilla suodatinratkaisuilla, kuten esimerkeissä (luku 4) esitellyt kiekkosuodatin ja mikroseula, jotka pidentävät muovien viipymääikää reaktorin olosuhteissa mahdollistaen näiden hajoamisen paremmin. Nestemäisestä lopputuotteesta voidaan myös itse tuotantoprosessin jälkeen pyrkiä erottelemaan suodatin- tai seularatkaisuilla muovisia epäpuhtauksia (liite 2, luvut 1.1 ja 1.3).

Lopputuotteesta muovien erottelua voidaan toteuttaa erottelemalla muoveja muodostuvasta mädätejäännöksessä mekaanisesti nestemäisestä lietteestä siivilöimällä tai suodattamalla. Kuivatusta mädätejäännöksestä suurikokoisempien muovien erottelu onnistuu parhaiten mekaanisesti esimerkiksi rumpuseulalla tai aerodynaamisella erottelulla (CASE-esimerkki 5, luku 5). **Lopputuotteessa olevia mikro- ja nanomuoveja** voidaan vähentää jatkokompostoinnilla tai mädätyksellä, joiden tavoitteena on hajottaa jäljellä olevia muoveja mikrobien avulla biologisilla ratkaisuilla. Pyrolyysimenetelmät ovat BAT-menetelmiä erikoistapauksissa.

Ei BAT-menetelmiä BREF-dokumentin mukaan ovat myös dynaaminen membraanisuoatatin sekä suodatuksen tukena lisäaineiden käyttö reaktorissa sekä lopputuotteessa olevien muovien erottelussa. Lopputuotteita voidaan käsitellä myös korkeissa lämpötiloissa pyrolyysin tai märkäpyrolyysin avulla kaasuttamalla muovikomponentit synteettiseksi polttokaasuksi ja muodostamalla lopputuotteena aktiivihiihtä. Pyrolyysiratkaisut mahdollistavat erittäin korkean puhtausasteen, mutta korkeiden kustannuksien seurauksena menetelmän käyttö on suositeltavaa keskittää erityisesti vaikeasti käsiteltäville jakeille, kuten jätevesilietteet ja korkeita mikromuovipitoisuuksia sisältävät materiaalit.

BAT-menetelmien toimintaa tukevana menetelmänä voidaan hyödyntää lisäaineiden käyttöä erityisesti märkämädätyksessä. Lisäaineina voidaan hyödyntää aktiivihiihtä, polymeerejä tai flokkulanteja, jotka tukevat mikro- ja makromuovien sakkautumista helpommin eroteltavaksi mekaanisilla menetelmillä lietteestä tai eroteltavaksi dynaamisia membraaneja käyttäen.

7.1.2 Inertit materiaalit: kivi, hiekka, lasi ja metalli

Käsittelyyn päätyviä inerttejä materiaaleja voidaan erotella, murskata tai jauhaa pienemmiksi jakeiksi. Inertit materiaalit suositellaan eroteltaviksi mekaanisesti (aero- ja hydrodynaamiset sekä automatisoidut erottelumenetelmät)¹¹³. Magneettiset metallit suositellaan eroteltavaksi magneettisella erotuksella ja ei-magneettiset metallit induktiovirtaerotuksella¹¹³.

Inerttien materiaalien erottelu on suositeltavaa pyrkiä toteuttamaan ilman mahdollisimman vähäisellä mekaanisella työllä, jolloin materiaalit eivät kuluta laitteistoa sekä murskaannu hienommiksi jakeiksi. Erottelua voidaan toteuttaa tehokkaasti esimerkiksi karkealla murskauksella ja hydrodynaamisella separaattoriratkaisulla ennen biomassojen murskausta ja liettämistä (luvut 4.4, 5.2.4 ja 5.2.5). Lietetystä raaka-aineesta erottelua voidaan toteuttaa painovoimaisia laskeutumisaltaita, säiliöitä ja ”ansoja”

hyödyntäen, jolloin raskaammat jakeet sedimentoituvat tiettyyn kohtaan prosessiketjua ja ne voidaan poistaa prosessista sopivassa tilanteessa (luku 5.5.3). Mikäli raaka-aine sisältää lasi- tai metallipakkauksia se on suositeltavaa käsitellä karkealla mekaanisella murskauksella, kuten vasaramyllyllä.

Reaktorissa olevia inerttejä materiaaleja voidaan poistaa kierrättämällä pohjalle vajonnutta raskasta lietettä ja erottamalla sen sisältämiä raskaita jakeita mekaanisilla suodatusratkaisuilla sekä hydrosykloneiden tai painovoimaan perustuvilla erotusmenetelmillä, joiden avulla materiaalit sedimentoituvat säiliöiden pohjalle. Lietettyä materiaalia voidaan myös kierrättää pienemmässä mittakaavassa ennen varsinaiseen reaktoriin syöttöä, kuten BTA Internationalin laitosratkaisussa (luku 5.5.3).

Lopputuotteesta inerttejä epäpuhtauksia voidaan erotella puolestaan lähinnä lietemäisestä jakeesta hydrodynaamisilla menetelmillä (hydrosyklonit ja sedimentointi säiliöt) tai mekaanisilla seulonta- ja siivilöintimenetelmillä. Poistomenetelmien hyödyntämisen mahdollisuudet ovat usein riippuvaisia lopputuotteiden kuiva-ainepitoisuudesta. Lopputuotteista voidaan erotella myös hienojakoisia metallijakeita magneettisella erottelulla sekä induktiovirtaerotuksella.

7.1.3 Lääkeaineet ja orgaaniset haitta-aineet

Käsittelyyn päätyvät haitalliset orgaaniset sekä lääkeaineet muodostuvat pääasiassa eläinten ja ihmisten lääkinnässä käytetyistä aineista. Hygienisoinnilla poistetaan orgaanisia epävakaita mikrobeja (erityisesti *Salmonella* ja *E. Coli*) samalla poistaen haitallisia epävakaita lääkeaineita, jotka voivat myös vaikeuttaa reaktorin mikrobitoimintaa. Hygienisointia voidaan toteuttaa ennen tai jälkeen bioprosessia ja se on jätevesilietteiden ja eläinperäisten tuotteiden käsittelyssä usein myös lainsaadännöllisesti vaadittua (luku 2.4). Hygienisoinnissa liete kuumennetaan vähintään 70 celsiusasteeseen vähintään yhden tunnin ajaksi ja erittäin vaikeasti käsiteltäviä jakeita voidaan käsitellä myös pitkäaikaisemmalla hygienisoinnilla. Edistyneet hapetusmenetelmät ovat mukana BAT-suosituksissa lähinnä tulevaisuuden BAT-menetelmien muodossa (BREF horizontal technologies)¹¹³.

Ei-BAT-menetelmiä Lääkeaineiden ja orgaanisten yhdisteiden hajottamiselle ovat niiden viipymäajan lisääminen reaktorissa. Viipymäaikaa voidaan lisätä esimerkiksi lietteiden kierrätyksellä tai sakkautuksella, joiden avulla sidotaan lääkeainejäämiä tai orgaanisesti epävakaita epäpuhtauksia pidemmäksi ajaksi bioreaktoreiden olosuhteisiin. Lääkeaineet ovat usein hitaasti hajoavia yhdisteitä, jotka hajoavat muuta orgaanista materiaalia hitaammin. Lisäaineiden, kuten aktiivihien, polymeerien tai flokkulanttien, käytöllä pyritään sakkauttamaan lääkeaineita ja pidentämään niiden viipymäaikaa reaktorissa. Sakkautuneet materiaalit jäävät helpommin reaktorin suodattimiin ja esimerkiksi DMBR-ratkaisuihin, joiden avulla voidaan kokeiden perusteella poistaa jopa 70–99 % lääkeainejäämistä ja 80–99 % hyödyntäen eMBR-ratkaisuja²⁴²⁹. Reaktorissa hajoavat lääkeainejäämät aiheuttavat usein muutoksia reaktorien mikrobitoiminnassa, happamuudessa ja voivat aiheuttaa esimerkiksi reaktorin nestepinnan kuohuntaa.

Lopputuotteita voidaan käsitellä myös korkeissa lämpötiloissa pyrolyysin tai märkäpyrolyysin (pyrolyysimenetelmät ovat lähellä BAT-menetelmiä) avulla kaasuttamalla hajoavat yhdisteet synteettiseksi polttokaasuksi ja muodostamalla lopputuotteena aktiivihieiltä. Pyrolyysiratkaisut mahdollistavat erittäin korkean

puhtausasteen, mutta korkeiden kustannuksien seurauksena menetelmän käyttö on suositeltavaa keskittää erityisesti vaikeasti käsiteltäville jakeille, kuten jätevesilietteille, jotka voivat vaatia jatkokäsittelyä.

7.1.4 Raskasmetallit

Raskasmetallien käsittelylle ei ole BAT-menetelmiä niiden ollessa liuenneena biolietteeseen. Raskasmetallien määrää voidaan välttää lähinnä prosessiin päätyvien raaka-aineiden valinnalla sekä prosessiratkaisuilla, joissa esimerkiksi paristot itsessään eivät hajoa ennen niiden erottelua prosessista, jolloin niiden sisältämät metallit eivät liukene biolietteeseen (Ecogin esimerkki liitteessä 2). **Ei BAT-menetelmiä** ovat myös biologinen suodatus, jolla raskasmetalleja sidotaan suodatinmateriaaleihin sekä elektrokemiallinen suodatus, jonka avulla poistetaan erityisesti raskasmetalleja raaka-aineesta. Elektrokemiallinen suodatus voidaan toteuttaa esimerkiksi ionivaihtohartsien ja sulfidien käytön avulla, jolloin epäpuhtauksia voidaan saostaa metallisulfideiksi. Menetelmät ovat kuitenkin hyvin kokeellisia eivätkä siksi BAT-luokiteltuja.

7.1.5 Yhteenveto

Epäpuhtauksien erottelumenetelmistä voidaan koostaa yhdistelmätaulukko (Taulukko 22), jossa esitetään erottelumenetelmien tehokkuus eri jakeiden osalta. Mekaaniset menetelmät havaitaan erityisen soveltuviksi inerttien materiaalien osalta.

Taulukko 22. Erottelumenetelmien tehokkuus eri epäpuhtauksien poistossa.

Käsittely- tai erottelumenetelmä	Muovi	Lasi	Metalli	Hiekka	Kivi	Lääke-aineet	Raskasmetallit
Mekaaninen käsittely	+++	++	++	-	++	-	-
Automatisoitu	++	+	++	-	+	-	-
Aerodynaaminen	++	++	++	+	++	-	-
Hydrodynaaminen	+	++	++	+++	++	-	-
Magneetit	-	-	+++	-	-	-	-
Hygienisointi	-	-	-	-	-	+	-
Pyrolyysi (ei BAT)	+++	-	-	-	-	+++	-
Märkäpyrolyysi (ei BAT)	+++	-	-	-	-	+++	-

7.2 Parhaat käyttökelpoiset menetelmät raaka-aineittain

7.2.1 Erilliskerätty kotitalouksien biojäte

Erilliskerättyssä kotitalouksien biojätteessä orgaaninen materiaali on kosteaa ja soveltuu hyvin kuiva- ja märkämädätykseen. Suurimmat haasteet epäpuhtauksien osalta muodostuvat muovijätteistä, jotka puolestaan koostuvat erityisesti muovipusseista ja joustavista biohajoavista muovipusseista. Mukana jättejakeessa on myös satunnaista lasi-

ja metallijätettä. Biohajoavat muovimateriaalit ovat tavanomaisia muovipakkauksia joustavampia ja niiden erottelussa esiintyy usein haasteita niiden kietoutuessa laitteistoon.

Epäpuhtauksien erotteluun on suositeltava käyttää erityisesti mekaanisia erottelumenetelmiä, joiden käyttö avaa pakkauksia hajottaen näitä mahdollisimman vähäisesti. Esimerkiksi ruuvipuristimet, silppurit ja vasaramyllyt matalilla kierrosnopeuksilla ovat suositeltavia laitevalintoja. Epäpuhtauksien poisto suurikokoisempina jakeina voi olla huomattavasti helpompaa myös, jos käytetyt terät tai siivekkeet eivät ole kiinteästi roottoriin kiinnitettyjä vaan vapaasti liikkuvia vaihtoehtoja (liite 2, ESEM:n esimerkki).

Kuivalle raaka-aineille optisen ja aerodynaamisen erottelun yhdistelmä tai rumpuseulamainen ratkaisu sekä magneettien käyttö on suositeltava käsittelyvaihtoehto. Kostealle raaka-aineelle suositellaan hydrodynaamisia erotteluratkaisuja, kuten pulpperit ja syklonit sekä painovoimaan perustuvan ”loukun” hyödyntämistä, jolloin myös raskaat epäpuhtaudet saadaan kerättyä pois lietteestä.

Rejektimateriaalin pesu on suositeltavaa esitetyillä ratkaisuilla, koska jauhamattomien ja suurikokoisten kappaleiden mukana poistuu todennäköisesti enemmän orgaanista materiaalia. Mikromuovien ja pienikokoisten muovikappaleiden poiston tarve riippuu raaka-aineista. Märkämädätyksessä polymeerien ja flokkulanttien käytöllä voidaan edesauttaa epäpuhtauksien sakkautumista sekä erityisesti kierrättämällä reaktorin pinnalla olevaa lietettä voidaan lisätä muovien viipymäaikaa reaktorissa.

Erilliskerätyn biojätteen sisältämien epäpuhtauksien osalta sekä erottelumenetelmien soveltuvuudesta niissä esiintyvien epäpuhtauksien poistoon voidaan muodostaa yhteenvetotaulukko (Taulukko 23). Suurimpien vaikutuksien arvioidaan muodostuvan erityisesti mekaanisesta, hydrodynaamisesta käsittelystä sekä magneettisesta erottelusta.

Taulukko 23. Erilliskerätyn biojätteen sisältämien epäpuhtauksien sekä käsittelymenetelmien tehokkuudesta muodostettu yhdistelmätaulukko menetelmien vaikutuksista epäpuhtauksien poistoon.

Käsittely- tai erottelumenetelmä	Muovi (++)	Lasi (++)	Metalli (++)	Hiekka (-)	Kivi (-)	Lääke-aineet (-)	Raskasmetallit (-)
Mekaaninen käsittely	+++	+	+	-	-	-	-
Automatisoitu	+	+	+	-	-	-	-
Aerodynaaminen	+	+	+	-	-	-	-
Hydrodynaaminen	++	+	+	-	-	-	-
Magneetit	-	-	++	-	-	-	-
Hygienisointi	-	-	-	-	-	-	-
Pyrolyysi (ei BAT)	++	-	-	-	-	-	-
Märkäpyrolyysi (ei BAT)	++	-	-	-	-	-	-

7.2.2 Kauppojen ja elintarviketeollisuuden sivuvirrat

Kauppojen ja elintarviketeollisuuden sivuvirrat sisältävät erilliskerättyyn biojätetteeseen verrattuna enemmän muovipakkauksia, erityisesti kovempia muovilaatuja sekä lasi- ja

metallijätteitä. Orgaaninen materiaali on kosteaa ja soveltuu hyvin kuiva- ja märkämädätykseen. Suositeltavat käsittelymenetelmät vastaavat pitkälti erilliskerättyä biojätettä, mutta raaka-aineen sisältäessä enemmän kovempia muovilaatuja, on käsittelyssä suositeltava myös pidempää käsittelyketjua.

Epäpuhtauksien poistossa on suositeltavaa pyrkiä poistamaan aluksi pehmeät muovit, kuten muovipussit, pakkauksia avaavilla mekaanisilla menetelmillä, jotka eivät jauha materiaalia. Ruuvipuristimet, silppurit ja vasaramyllyt matalilla kierrosnopeuksilla soveltuvat tähän hyvin myös kauppojen ja elintarviketeollisuuden sivuvirtojen osalta.

Metallien erotteluun on suositeltava hyödyntää magneettisia ratkaisuja kuivalle raaka-aineelle sekä hydrodynaamisia loukkuja kostealle raaka-aineelle. Muovipakkauksien sekä kovien muovien erottelussa on suositeltavaa käyttää karkeita murskausmenetelmiä, joilla avautumattomat pakkaukset saadaan hajotettua pienempään raekokoon. Murskauksessa suositellaan hyödyntämään korkeammilla kierrosnopeuksilla toimivia kuiva- ja märkämurskaimia sekä silppureita.

Kuivalle raaka-aineille optisen ja aerodynaamisen erottelun yhdistelmä tai rumpuseulamainen ratkaisu on suositeltava vaihtoehto. Kostealle raaka-aineelle suositellaan hydrodynaamisia erotteluratkaisuja, kuten pulpperit, syklonit sekä painovoimaan perustuvat erottelumenetelmät ovat suositeltavia jäljellä olevien ja murskattujen raskaiden epäpuhtauksien erotteluun lietteestä.

Rejektimateriaalin pesu on usein suositeltavaa esitetyillä ratkaisuilla, koska jauhamattomien ja suurikokoisien kappaleiden mukana poistuu todennäköisesti enemmän orgaanista materiaalia ja myös murskauksesta jäljellä jäävä materiaali voi sisältää orgaanista materiaalia. Mikromuovien ja pienikokoisien muovikappaleiden poiston tarve riippuu raaka-aineista, mutta näitä voidaan olettaa olevan enemmän prosessissa useampien mekaanisten käsittelyvaiheiden seurauksena. Märkämädätyksessä polymeerien ja flokkulanttien käytöllä voidaan edesauttaa epäpuhtauksien sakkautumista sekä erityisesti kierrättämällä reaktorin pinnalla olevaa lietettä voidaan lisätä muovien viipymäaika reaktorissa.

Kauppojen ja elintarviketeollisuuden sisältämien epäpuhtauksien osalta sekä soveltuvuudesta niissä esiintyvien epäpuhtauksien poistoon voidaan muodostaa yhteenvetotaulukko (Taulukko 24). Suurimpien vaikutuksien arvioidaan muodostuvan erityisesti mekaanisesta, hydrodynaamisesta käsittelystä sekä magneettisesta erottelusta.

Taulukko 24. Kauppojen ja elintarviketeollisuuden sisältämien epäpuhtauksien sekä käsittelymenetelmien tehokkuudesta muodostettu yhdistelmätaulukko menetelmien vaikutuksista epäpuhtauksien poistoon.

Käsittely- tai erottelumenetelmä	Muovi (+++)	Lasi (+++)	Metalli (+++)	Hiekka (-)	Kivi (-)	Lääkeaineet (-)	Raskasmetallit (-)
Mekaaninen käsittely	+++	+++	+++	-	-	-	-
Automatisoitu	++	+	++	-	-	-	-
Aerodynaaminen	++	++	+++	-	-	-	-
Hydrodynaaminen	++	+++	+++	-	-	-	-
Magneetit	-	-	+++	-	-	-	-
Hygienisointi	-	-	-	-	-	-	-
Pyrolyysi (ei BAT)	+++	-	-	-	-	-	-
Märkäpyrolyysi (ei BAT)	+++	-	-	-	-	-	-

7.2.3 Maatalouden eläinlannat

Maatalouden eläinlantojen epäpuhtaudet ovat pääasiassa hiekkaa, kiviä sekä pieniä määriä muoveja. Eläinlannoissa esiintyy myös lääkeainejäämiä sekä raskasmetalleja. Orgaaninen materiaali on lietelannassa kosteaa ja soveltuu hyvin erityisesti märkämädätykseen. Kuivalannan orgaaninen materiaali soveltuu erityisen hyvin kuivamädätykseen.

Lietelantojen käsittelyssä suositeltavia käsittelymenetelmiä ovat mekaaniset seulontamenetelmät ja painovoimaan perustuvat hydrodynaamiset ratkaisut. Lietelannoista voidaan seulonalla erotella erityisesti suurikokoisempia epäpuhtauksia, kuten kiviä, oksia ja muovikappaleita, jotka ovat päätyneet lietelannan sekaan. Hydrodynaamisilla ratkaisuilla, kuten pulppereilla, voidaan puolestaan poistaa raskaita pohjalle kertyviä materiaaleja, kuten hiekkaa, kiviä ja mahdollisia lasi- tai metallikappaleita.

Lietelannan sisältäessä myös lääkeaine- ja raskasmetallijäämiä voidaan näitä käsitellä reaktorissa potentiaalisesti ei-BAT-menetelmiksi luokitelluilla dynaamisilla membraaneilla (DMBR ja eMBR) sekä lisäaineilla pidentäen näiden viipymäaika reaktoreissa. Mikäli lopputuotteessa pitoisuudet ovat liian korkeita on erityisesti märkäpyrolyysi potentiaalinen ei-BAT-menetelmä epäpuhtauksien poistoon. Lietelantaa voidaan myös kierrättää erityisesti reaktorin pohjalta sekä käsitellä tarvittaessa myös hydrosykloneiden avulla esimerkiksi reaktoriin päätyneen hiekan poistossa.

Kuivalantojen käsittelyssä voidaan hyödyntää erityisesti mekaanista murskausta ja seulontaa. Kuivalannat voidaan myös liettää käsiteltäväksi lietelantojen tavoin. Kuivalannan jälkikäsitteilyä voidaan tarvittaessa hyödyntää puolestaan pyrolyysiratkaisuja epäpuhtauksien poistossa.

Maatalouden eläinlantojen sisältämien epäpuhtauksien osalta sekä erottelumenetelmien soveltuvuudesta niissä esiintyvien epäpuhtauksien poistoon voidaan muodostaa yhteenvetotaulukko (Taulukko 25). Suurimpien vaikutuksien arvioidaan muodostuvan erityisesti mekaanisesta, hydrodynaamisesta käsittelystä sekä magneettisesta erottelusta.

Taulukko 25. Maatalouden eläinlantojen sisältämien epäpuhtauksien sekä käsittelymenetelmien tehokkuudesta muodostettu yhdistelmätaulukko menetelmien vaikutuksista epäpuhtauksien poistoon.

Käsittely- tai erottelumenetelmä	Muovi (+)	Lasi (-)	Metalli (-)	Hiekka (++)	Kivi (++)	Lääke- aineet (++)	Raskas- metallit (+)
Mekaaninen käsittely	+++	-	-	-	++	-	-
Automatisoitu	++	-	-	-	+	-	-
Aerodynaaminen	++	-	-	+	++	-	-
Hydrodynaaminen	+	-	-	+++	++	-	-
Magneetit	-	-	-	-	-	-	+
Hygienisointi	-	-	-	-	-	+	-
Pyrolyysi (ei BAT)	++	-	.	-	-	++	-
Märkäpyrolyysi (ei BAT)	++	-	-	-	-	++	-

7.2.4 Maa- ja metsätalouden kasviperäiset biomassat

Maa- ja metsätalouden kasviperäisten biomassojen materiaalit ovat kuitupitoisia, jonka vuoksi niiden orgaaninen materiaali soveltuu hyvin kuivamädätykseen tai kompostointiin. Kuitupitoiset materiaalit eivät kaasuunnu tehokkaasti märkämädätyksessä ja suositellaan käsittelemään omana jakeenansa.

Maa- ja metsätalouden kasviperäisten biomassojen epäpuhtaudet koostuvat erityisesti hiekasta, kivistä sekä satunnaisista muovi- ja metallijätteistä. Epäpuhtauksien erottelu on suositeltavaa toteuttaa mekaanisella käsittelyllä, joka ei vaadi murskausta, kuten rumpuseulalla, jolloin oksat, kivet ja muut suurikokoiset epäpuhtaudet voidaan seuloa raaka-aineesta kuluttamatta laitteistoa mekaanisissa käsittelymenetelmissä. Mekaanisesti raskaat käsittelymenetelmät, kuten murskaus, vahingoittuvat helpommin vastaavilla raaka-aineilla ja kuluvien osien seurauksena näistä muodostuu erityisesti huoltokustannuksia. Erottelussa on suositeltavaa käyttää magneettierottelua metalliesineiden poistoon.

Maa- ja metsätalouden kasviperäisten biomassojen sisältämien epäpuhtauksien osalta sekä erottelumenetelmien soveltavuudesta niissä esiintyvien epäpuhtauksien poistoon voidaan muodostaa yhteenvetotaulukko (Taulukko 26). Suurimpien vaikutusten arvioidaan muodostuvan erityisesti mekaanisesta käsittelystä sekä magneettisesta erottelusta.

Taulukko 26. Maa- ja metsätalouden kasviperäisten biomassojen sisältämien epäpuhtauksien sekä käsittelymenetelmien tehokkuudesta muodostettu yhdistelmätaulukko menetelmien vaikutuksista epäpuhtauksien poistoon.

Käsittely- tai erottelumenetelmä	Muovi (-)	Lasi (-)	Metalli (+)	Hiekka (+++)	Kivi (+++)	Lääkeaineet (-)	Raskasmetallit (-)
Mekaaninen käsittely	-	-	+	-	++	-	-
Automatisoitu	-	-	+	+	+	-	-
Aerodynaaminen	-	-	+	++	++	-	-
Hydrodynaaminen	-	-	-	-	-	-	-
Magneetit	-	-	++	-	-	-	-
Hygienisointi	-	-	-	-	-	-	-
Pyrolyysi (ei BAT)	-	-	-	-	-	-	-
Märkäpyrolyysi (ei BAT)	-	-	-	-	-	-	-

7.2.5 Puhdistamoliete

Puhdistamoliete käsitellään homogeeniseksi raaka-aineeksi vedenpuhdistamolla, jonka jälkeen materiaali sisältää tavanomaisesti vain mikromuoveja, lääkeainejäämiä sekä raskasmetalleja. Esikäsittelyä ei vaadita tämän seurauksena ja raaka-aine voidaan kaasuttaa. BAT-menetelmiä ei varsinaisesti ole näiden epäpuhtauksien käsittelylle (Taulukko 27). Mikromuoveja sekä lääkeainejäämiä voidaan vähentää lopputuotteesta pyrolyysin avulla. Kosteille lietteille sekä lopputuotteille potentiaalinen ratkaisu on märkäpyrolyysi (HTC). Raskasmetallien käsittelyssä kannattavin toimintatapa on sekoittaa materiaalia seosaineisiin, kuten turve tai muu mädätejäännös, kunnes lopputuote saavuttaa sopivat pitoisuudet. Puhdistamolietteen jälkikäsittelyratkaisuna on myös mahdollista selvittää erilaisia loppusijoitus tai säilytys ratkaisuja. Esimerkiksi ESEM:n ratkaisu puhdistamolietteiden käsittelyyn on sijoittaa tämä altaaseen, sekoittaa se mädätejäännökseen sekä tuottaa siitä niin sanottua kaatopaikkakaasua.

Taulukko 27. Puhdistamolietteen sisältämien epäpuhtauksien sekä käsittelymenetelmien tehokkuudesta muodostettu yhdistelmätaulukko menetelmien vaikutuksista epäpuhtauksien poistoon.

Käsittely- tai erottelumenetelmä	Muovi (+)	Lasi (-)	Metalli (-)	Hiekka (-)	Kivi (-)	Lääkeaineet (+++)	Raskasmetallit (+++)
Mekaaninen käsittely	-	-	-	-	-	-	-
Automatisoitu	-	-	-	-	-	-	-
Aerodynaaminen	-	-	-	-	-	-	-
Hydrodynaaminen	-	-	-	-	-	-	-
Magneetit	-	-	-	-	-	-	-
Hygienisointi	-	-	-	-	-	+	-
Pyrolyysi (ei BAT)	+	-	-	-	-	+++	-
Märkäpyrolyysi (ei BAT)	++	-	-	-	-	+++	-

7.2.6 Yhteenveto

Epäpuhtauksien erottelumenetelmistä voidaan koostaa yhdistelmätaulukko (Taulukko 28). Taulukossa esitetään erottelumenetelmien tehokkuus eri raaka-aineille ja niissä tavanomaisesti esiintyville epäpuhtauksille.

Taulukko 28. Erottelumenetelmien tehokkuus eri raaka-aineissa esiintyvien epäpuhtauksien poistossa.

Käsittely- tai erottelumenetelmä	Erillis-kerätty biojäte	Kauppojen ja elintarvike-teollisuuden sivuvirrat	Maa-talouden eläin-lannat	Maa- ja metsä-talouden kasviperäiset biomassat	Puhdistamo- liete
Mekaaninen käsittely	+++	+++	+++	++	-
Automatisoitu	++	+++	+	+	-
Aerodynaaminen	+	++	++	++	-
Hydrodynaaminen	++	++	+++	-	-
Magneetit	+	++	-	+	-
Pyrolyysi (ei BAT)	+	+	++	-	+++
Märkäpyrolyysi (ei BAT)	+	+	++	-	+++

8 YHTEENVETO

8.1 Erottelumenetelmät

Epäpuhtauksien erottelu on suositeltava toteuttaa mahdollisimman aikaisessa vaiheessa prosessiketjua. Raaka-aineiden käsittelyssä erityisen tärkeää on valita menetelmät raaka-aineiden koostumuksen ja niissä esiintyvien epäpuhtauksien mukaan ja tavoitteena muodostaa mahdollisimman helposti käsiteltävä ja homogeeninen raaka-aineseos. Eri menetelmiä on useita esi- ja jälkikäsittelyssä sekä jatkuvatoimisena poistona (Taulukko 29). Menetelmät liittyvät lähinnä mekaanisiin käsittelymenetelmiin ja niiden lisäaineisiin.

Taulukko 29. Yhteenveto käsittelyvaiheista, menetelmäryhmistä sekä BAT-arvioista.

Käsittelyvaihe	Menetelmäryhmä	BAT-arvio
Esikäsittely	Kuiva- ja märkämurskaus	Kyllä
Esikäsittely	Seulonta	Kyllä
Esikäsittely	Puristus	Kyllä
Esikäsittely	Magneettierotus	Kyllä
Esikäsittely	Induktiovirtaerotus	Kyllä
Esikäsittely	Hydrodynaaminen erotus	Kyllä
Esikäsittely	Aerodynaaminen erotus	Kyllä
Esikäsittely	Optinen lajittelu	Kyllä
Esikäsittely	Rejektin pesu	Kyllä*
Esikäsittely	Hygienisointi	Kyllä
Esikäsittely	Biologiset suodattimet / biosorbentit	Ei
Esikäsittely	Elektrokemialliset menetelmät	Ei
Jatkuvatoiminen poisto	Suodattimet	Kyllä
Jatkuvatoiminen poisto	Hydrosyklonit	Kyllä
Jatkuvatoiminen poisto	Seulat	Kyllä
Jatkuvatoiminen poisto	Mekaaninen pinta- ja pohjaerotus	Kyllä
Jatkuvatoiminen poisto	Flokkulantit / polymeerit	Kyllä*
Jatkuvatoiminen poisto	Aktiivihili (PAC)	Ei
Jatkuvatoiminen poisto	DMBR ja eMBR	Ei
Jälkikäsittely	Prosessiveden mekaaninen suodatus	Kyllä
Jälkikäsittely	Prosessiveden erotus ja kierrätys	Kyllä
Jälkikäsittely	Flokkulantit ja polymeerit (PAC, PAM, kitosaani)	Kyllä*
Jälkikäsittely	Kompostin seulonta	Kyllä
Jälkikäsittely	Jälkimetallinpoisto	Kyllä
Jälkikäsittely	Aktiivihilisuodatus (nestemäinen jäännös)	Ei
Jälkikäsittely	Biologinen suodatus	Ei
Jälkikäsittely	Mikrobikantojen/entsyymien käyttö stabilointiin	Ei
Jälkikäsittely	Pyrolyysi	Ei**
Jälkikäsittely	Flash pyrolyysi	Ei
Jälkikäsittely	Märkäpyrolyysi (HTC)	Ei**
*BAT-menetelmä raaka-aineitten mukaan		
**Lähes BAT-menetelmä		

8.2 Tehokkuus epäpuhtauksittain

Raaka-aineissa esiintyviä epäpuhtauksia vähennetään menetelmillä eri tavoilla ja niiden tehokkuus vaihtelee myös esimerkiksi epäpuhtauksien raekoon mukaisesti. Liiallinen mekaaninen käsittely myös vaikeuttaa jäljellä olevien epäpuhtauksien poistoa. Epäpuhtauksien poistoa on suositeltavaa toteuttaa useissa vaiheissa ja erityisesti suurikokoisilla ja monipuolisia raaka-aineita käsittelevillä laitoksilla on suositeltavaa tarkastella myös mahdollisuutta erillisten raaka-aineiden käsittelylinjojen käyttöön. Tällöin voidaan minimoida peräkkäisten mekaanisten käsittelyjen määrää ja näin ollen mikromuovien pitoisuuksia. BAT-menetelmät ovat erityisesti mekaanisia käsittelyratkaisuja ja jälkikäsittelyssä ei-BAT-menetelmiä ovat pyrolyysiratkaisut. Epäpuhtauksia poistetaan raaka-aineista erityisesti mekaanisilla menetelmillä.

Mekaanisilla ratkaisuilla vähennetään pääasiassa muovia, lasia, metallia, hiekkaa ja kiveä raaka-aineista (Taulukko 30). Epäpuhtauksien poisto on suositeltavaa tehdä esikäsittelynä mahdollisimman tehokkaasti.

Taulukko 30. Erottelumenetelmien tehokkuus eri epäpuhtauksien poistossa.

Käsittely- tai erottelumenetelmä	Muovi	Lasi	Metalli	Hiekka	Kivi	Lääke- aineet	Raskas- metallit
Mekaaninen käsittely	+++	++	++	-	++	-	-
Automatisoitu	++	+	++	-	+	-	-
Aerodynaaminen	++	++	++	+	++	-	-
Hydrodynaaminen	+	++	++	+++	++	-	-
Magneetit	-	-	+++	-	-	-	-
Hygienisointi	-	-	-	-	-	+	-
Pyrolyysi (ei BAT)	+++	-	+	-	-	+++	-
Märkäpyrolyysi (ei BAT)	+++	-	-	-	-	+++	-

Muovien poisto on suositeltavaa toteuttaa mekaanisilla menetelmillä, jotka eivät jauha muoveja mikromuoveiksi, kuten ruuvimaisilla ja seulamaisilla pakkauksia avaavilla ratkaisuilla. Murskausmenetelmien osalta on suositeltavaa hyödyntää mahdollisimman vähäistä mekaanista työtä, jolloin pakkaukset avataan, mutta niiden murskaamista pienemmiksi jakeiksi vältetään. Esimerkiksi Lilla Nybyn käyttämässä murskassa hyödynnetään ratkaisuna lapoja, jotka eivät ole kiinteästi kiinni roottorissa vaan voivat palautua takaisinpäin (liite 2). Atritor puolestaan hyödyntää erityisesti lapiomaisia lapoja, jotka taittuvat taaksepäin pulttien murtuessa. Mekaanisen työn minimoinnilla vähennetään myös energia- ja materiaalikustannuksia murskauksessa.

Lasi, hiekka ja kivi on suositeltavaa poistaa kuivista jakeista murskaamalla sekä erottelemalla esimerkiksi aerodynaamisilla ja/tai automatisoiduilla ratkaisuilla tai seulamaisilla raekoon mukaan lajittelua toteuttavilla vaihtoehdoilla. Kosteista jakeista näitä voidaan poistaa tehokkaasti hydrodynaamisilla menetelmillä. Magneettiset ratkaisut yhdistettynä mekaaniseen käsittelyyn ovat tehokas käsittelymenetelmä metalleille. Lääkeainejäämien sekä mikromuovien poistossa ratkaisut ovat lähinnä ei-BAT-menetelmiksi luokitellut pyrolyysiratkaisut sekä erilaiset membraaniratkaisut.

Biolietteen viipymäaikaa voidaan myös pidentää reaktorissa, jolloin näistä suurempi osa voi hajota reaktorissa. Raskasmetallien osalta ratkaisuja ovat lähinnä ei-BAT-menetelmiksi luokitellut kemialliset suodatinratkaisut sekä esimerkiksi aktiivihiili, joihin raskasmetalleja voidaan sitoa ja pidentää viipymäaikaa reaktorissa tai kerätä aktiivihiili mekaanisilla suodatusratkaisuilla prosessista.

8.3 Tehokkuus raaka-aineittain

Erottelumenetelmien tehokkuutta eri raaka-aineiden kokonaisuuksille arvioidaan niissä esiintyvien epäpuhtauksien kokonaisuuden osalta. Yhteenvedo esitetään taulukkomaisesti eri raaka-aineittain (Taulukko 31).

Taulukko 31. Erottelumenetelmien tehokkuus eri raaka-aineissa esiintyvien epäpuhtauksien poistossa.

Käsittely- tai erottelumenetelmä	Erillis-kerätty biojäte	Kauppojen ja elintarviketeollisuuden sivuvirrat	Maa-talouden eläinlannat	Maa- ja metsätalouden kasviperäiset biomassat	Puhdistamo -liete
Mekaaninen käsittely	+++	+++	+++	++	-
Automatisoitu	++	+++	+	+	-
Aerodynaaminen	+	++	++	++	-
Hydrodynaaminen	++	++	+++	-	-
Magneetit	+	++	-	+	-
Pyrolyysi (ei BAT)	+	+	++	-	+++
Märkäpyrolyysi (ei BAT)	+	+	++	-	+++

Erilliskerätyn biojätteen epäpuhtaudet ovat pääasiassa muovia sekä satunnaisia metalleja ja niiden käsittely on erityisen suositeltavaa mekaanisilla menetelmillä. Kauppojen ja elintarviketeollisuuden sivuvirrat sisältävät erilliskerättyä biojätettä enemmän lasia, metalleja sekä muoveja ja näiden erottelussa on tehokkaampaa käyttää useampien menetelmien yhdistelmiä.

Maa- ja metsätalouden eläinlantojen käsittely on suositeltava toteuttaa erityisesti homogeenisoimalla raaka-aineet mekaanisilla murskaavilla ratkaisuilla sekä hydrodynaamisilla ratkaisuilla raskaiden epäpuhtauksien poistamiseksi. Kasviperäisten biomassojen osalta erityisesti seulamaiset ratkaisut ovat suositeltavia käsittelymenetelmiä. Mikäli kyseessä on kuivamädätys tai kompostointiprosessi, on lisäksi suositeltavaa silputa kasviperäiset biomassat, kuten oksat, jotta näiden sekoitus ja käyttö seosaineena onnistuu tehokkaasti. Puhdistamoliete puolestaan on valmiiksi homogeenisoitua raaka-ainetta ja sen tapauksessa epäpuhtauksia ovat lähinnä mikromuovit ja lääkeainejäämät, joita ei voida erotella juurikaan mekaanisesti. Näiden epäpuhtauksien määrää voidaan hallita pääasiassa termokemiallisella jälkikäsittelyllä, kuten pyrolyysiratkaisuilla, sekoittamalla lopputuotteita parempilaatuisiin raaka-aineisiin tai pyrkimällä lisäämään epäpuhtauksien viipymäaikaa reaktoreissa esimerkiksi dynaamisia membraaneja sekä erilaisia lisäaineita hyödyntäen.

8.4 Johtopäätökset

Johtopäätöksinä yhteenvedon sekä laitosvierailuiden osalta voidaan todeta, että olennaisimmat menetelmät epäpuhtauksien käsittelyyn ovat mekaaniset käsittelymenetelmät prosessin alkuvaiheessa. Yleisesti tehokkaiksi havaitut menetelmät ovat pulpperit sekä murskat yhdistettynä noin 10–80 mm kokoisia materiaaleja seuloviin seularatkaisuihin.

Mekaanisessa käsittelyssä on suositeltavaa hyödyntää erityisesti mekaanisesti kevyempiä menetelmiä, joiden jälkeen epäpuhtaudet pysyvät mahdollisimman suurina yksittäisinä kappaleina. Erityisen mielenkiintoisena vaihtoehtona toimii sentrifugointi, jossa mekaanista kuormitusta ei muodostu samalla tavoin kuten murskauksessa.

Suurikokoisemmista kappaleista muodostuva rejekti usein sisältää suurempia määriä orgaanisia materiaaleja ja on erityisen suositeltavaa myös pestä orgaanisen materiaalin palauttamiseksi prosessiin. Kosteaa rejektiä on myös suositeltavaa kuivata esimerkiksi puristamalla.

Prosessin aikainen käsittely sekä jälkikäsittelyn tarve riippuvat syötettävän raaka-aineen ja epäpuhtauksien ominaisuuksista sekä laadusta. Suurikokoisia tai raskaita materiaaleja voidaan kierrättää prosessin edellisiin vaiheisiin tai esimerkiksi lisäsuodatukseen. Lisäaineilla voidaan tukea sakkaantumista ja muita erottelumenetelmiä.

Lopputuotteita voidaan kuivata useilla menetelmillä haluttuun kuiva-ainepitoisuuteen ja riippuen sen sisältämisestä epäpuhtauksista sitä voidaan esimerkiksi suodattaa tai siivilöidä erittäin pieneenkin raekokoon. Jopa mikromuoveja voidaan poistaa lopputuotteista erittäin tiheitä suodatinratkaisuja hyödyntäen. Tarvittaessa apuna voidaan myös hyödyntää paineistusta.

Suosittelavaa yleisesti on kuitenkin toteuttaa epäpuhtauksien poisto ennen biokaasutuotantoa esikäsittelyvaiheessa, jolloin itse biokaasureaktoriin syötetään jo puhtauden osalta vaatimuksia täyttävää raaka-ainetta eikä lopputuotte välttämättä tarvitse muuta käsittelyä kuin kuiva-ainepitoisuuden säätöä.

Jälkikompostoinnin avulla voidaan tehokkaasti poistaa erityisesti biohajoavia muoveja materiaaleista. Jälkikompostoinnin avulla voidaan myös tehokkaasti varmistaa, että liian suurikokoiset epäpuhtaudet pidetään prosessissa, jos valmista kompostia siivilöidään ja rejektimateriaalit palautetaan seosaineeksi kompostointiin tai jälkikompostointiin. Materiaaleja voidaan kierrättää näin osana prosessia, kunnes nämä ovat hajonneet riittävän pieniksi kappaleiksi.

Kokonaisuudessaan on huomioitava myös aina, että määrittävänä tekijänä ovat varsinkin raaka-aineiden sisältämien epäpuhtauksien määrä sekä niiden laatu, jotka vaikuttavat erilaisia käsittelymenetelmien tehokkuuteen ja tarpeellisuuteen. Olennaisimpina vertailukohtina voidaan siis pitää raaka-aineiden sekä lopputuotteiden epäpuhtauksien määrää. Mikäli raaka-aineessa on erityisen paljon sekä monipuolisesti erilaisia epäpuhtauksia on tästä haastavaa muodostaa puhdasta ja helposti hyödynnettävää biolietettä.

LÄHDELUETTELO

AFT Global. (29. 1 2026). *Aikawa Fiber technologies lajittelutekniikka*. Hentet fra AFT Global: AFT Presentation: Timo Koivisto, Olli-Pekka Riippa

Alessi, A., Lopes, A., Müller, W., Gerke, F., Robra, S., & Bockreis, A. (3. 3 2020). *Mechanical separation of impurities in biowaste: Comparison of four different pretreatment systems*. Hentet fra Waste Management, Volume 106: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2020.03.006>

Alfa Laval. (10. 2 2026). *Sludge dewatering and thickening*. Hentet fra Alfa Laval: <https://www.alfalaval.us/industries/water-and-waste-treatment/sludge-dewatering-and-thickening/>

ANDRITZ. (7. 12 2025). *DCF crossflow filter*. Hentet fra ANDRITZ: <https://www.andritz.com/resource/blob/16886/21cad394ddc491f6c538cba0000c9ed7/se-dcf-crossflow-filter-en-data.pdf>

ANDRITZ. (7. 12 2025). *Hydradisc*. Hentet fra ANDRITZ: <https://www.andritz.com/products-en/separation/disc-drum-filters/hydradisc>

Aponte, L. F., Kabir, M., & Tompkins, D. (6 2023). *PLASTICS IN COMPOSTS AND DIGESTATES - Final Report*. Hentet fra Aqua Enviro: <https://www.wrap.ngo/sites/default/files/2023-07/WRAP-Plastics-in-Composts-Digestates-final-report.pdf>

Àrea Metropolitana de Barcelona (AMB). (27. 3 2017). *Esprémer els residus. Com es tracten els residus a l'Ecoparc de Barcelona*. Hentet fra AMB: https://www.youtube.com/watch?v=Dwp_M8VzKkY

Asif, M. B., Maqbool, T., & Zhang, Z. (1. 11 2020). *Electrochemical membrane bioreactors: State-of-the-art and future prospects*. Hentet fra Science of The Total Environment, Volume 741: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.140233>

Atritor. (10. 12 2025). *Turbo Separator*. Hentet fra Atritor: <https://www.turboseparator.co.uk/en>

Avfall Sverige. (1. 5 2025). *Swedish Waste Management - Rapport 2024*. Hentet fra Avfall Sverige: <https://www.avfallsverige.se/media/ca2fijue/swedish-waste-management-2024.pdf>

Beggio, G., Peng, W., Lü, F., Cerasaro, A., Bonato, T., & Pivato, A. (5. 9 2021). *Chemically Enhanced Solid–Liquid Separation of Digestate: Suspended Solids Removal and Effects on Environmental Quality of Separated Fractions*. Hentet fra Springer Nature: <https://link.springer.com/article/10.1007/s12649-021-01591-y>

Bellmer. (10. 2 2026). *Separation Technology, Fruit juice & Food*. Hentet fra Bellmer: <https://www.bellmer.com/separation-technology/fruit-juice-food/>

Bio energy international. (3. 6 2025). *Gasum Acquires Full Ownership of Swedish Biogas and Upgrading Plant*. Hentet fra Bio energy international: <https://bioenergyinternational.com/gasum-acquires-full-ownership-of-swedish-biogas-and-upgrading-plant/>

Bioforce Tech. (5. 12 2025). *Sigma Pyrolysis*. Hentet fra Bioforce Tech: <https://bioforcetech.com/equipment/sigma-pyrolysis>

Bollegraaf. (15. 12 2025). *Technologies*. Hentet fra Bollegraaf: <https://www.bollegraaf.com/technologies/>

BTA International. (2021). *BTA Process General Description*. Hentet fra BTA International: https://bta-international.de/fileadmin/user_upload/Downloads/BTA_Process_General_description/BTA_Process_General_Description_rev2021.pdf

BTA International. (9. 12 2025). *BTA Hydromechanical pre-treatment - Grit Removal System*. Hentet fra BTA International: <https://bta-international.de/en/technologies/bta-hydromechanical-pre-treatment/btar-grit-removal-system>

BTA International. (9. 12 2025). *BTA Hydromechanical pre-treatment - Waste Pulper*. Hentet fra BTA International: <https://bta-international.de/en/technologies/bta-hydromechanical-pre-treatment/btar-waste-pulper>

BTA International. (10. 12 2025). *Lohja, Finland*. Hentet fra BTA International: <https://bta-international.de/en/references/referenz-detail/lohja>

Camec. (15. 12 2025). *Camec*. Hentet fra Camec: <https://www.camec.net/en/>

C-Green. (8. 12 2025). *Oxypower HTC*. Hentet fra C-Green: <https://www.c-green.se/oxypower-htc>

C-Green Technology AB. (27. 9 2019). *C-Green builds world's first Oxypower HTC biofuel plant in Finland*. Hentet fra C-Green: https://www.dropbox.com/scl/fo/qw6vusc0g5jv491fpd48r/AM5ipv2UT5VrhLSii0hpI5U/Press%20releases?dl=0&preview=20190927_C-Green_Heinola1_EN.pdf&rlkey=v0hsv50b5kto3ojh232z20vam&subfolder_nav_tracking=1

Chen, M., Ren, L., Qi, K., Li, Q., Lai, M., Li, Y., . . . Wang, Z. (9 2020). *Enhanced removal of pharmaceuticals and personal care products from real municipal wastewater*

using an electrochemical membrane bioreactor. Hentet fra Bioresource Technology, Volume 311: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2020.123579>

Chuda, A., & Ziemiński, K. (1. 6 2021). *Digestate mechanical separation in industrial conditions: Efficiency profiles and fertilising potential.* Hentet fra Waste Management, Volume 128, Pages 167-178: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2021.04.049>

Coker, G. (14. 6 2014). *Contaminant Removal Strategies.* Hentet fra Biocycle: <https://www.biocycle.net/contaminant-removal-strategies/>

Cucina, M., De Nisi, P., Trombino, L., Tambone, F., & Adani, F. (9 2021). *Degradation of bioplastics in organic waste by mesophilic anaerobic digestion, composting and soil incubation.* Hentet fra Elsevier, Waste Management, Volume 134: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2021.08.016>

Czatkowska, M., Rolbiecki, D., Korzeniewska, E., & Harnisz, M. (24. 11 2024). *Heavy Metal and Antimicrobial Residue Levels in Various Types of Digestate from Biogas Plants—A Review.* Hentet fra Sustainability 2025, 17(2), 416: <https://doi.org/10.3390/su17020416>

Doda USA. (12. 21 2025). *Equipment categories.* Hentet fra Doda USA: <https://www.dodausa.com/equipment-categories/separators>

Doppstadt. (2. 12 2025). *AK 640 SA.* Hentet fra Doppstadt: <https://www.doppstadt.de/en/products/all-products/product-detail-page/ak-640-sa>

Doppstadt. (2. 12 2025). *SM Series - Trommel Line.* Hentet fra Doppstadt: https://www.doppstadt.de/fileadmin/user_upload/doppstadt/02_Produkte/Smart_Screening/SM_620.3/dokumente/Brochure_SM-Series_EN.pdf

Dranco NV. (14. 11 2022). *DRANCO plant Brecht on biowaste / source separated organics*. Hentet fra Dranco NV: <https://vimeo.com/770784393>

Dranco NV. (14. 11 2022). *DRANCO-plant Wijster on mixed waste / MSW*. Hentet fra Dranco NV: <https://vimeo.com/770782255>

Dranco NV. (28. 5 2024). *DRANCO plant on biowaste / SSO Beerse (Belgium)*. Hentet fra Dranco NV: <https://vimeo.com/951117272>

Ecogi. (27. 11 2025). *Ecogi*. Hentet fra <https://ecogi.dk/>

Ecogi. (2. 12 2025). *Ecogi - Teknologi*. Hentet fra Ecogi: <https://ecogi.dk/teknologi/>

Eggersmann Recycling Technology. (10. 2 2026). *Eggersmann*. Hentet fra Eggersmann Recycling Technology: <https://www.eggersmann-recyclingtechnology.com/en/>

Elboghhdady, H., Clagnan, E., De Francecschi, V., Cucina, M., Dell'Orto, M., De Nisi, P., . . . Adani, F. (14. 5 2025). *Microbial acclimation of thermophilic anaerobic digestate enhances biogas production and biodegradation of polylactic acid in combination with the organic fraction of municipal solid waste (OFMSW)*. Hentet fra Waste Management 203: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2025.114895>

Euroopan parlamentti ja neuvosto. (21. 10 2009). *Euroopan parlamentin ja neuvoston asetus (EY) N:o 1069/2009*. Hentet fra European Union: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/ALL/?uri=celex:32009R1069>

Euroopan parlamentti ja neuvosto. (25. 2 2011). *Komission asetus (EU) N:o 142/2011*. Hentet fra Euroopan parlamentti ja neuvosto: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/ALL/?uri=celex%3A32011R0142>

European Commission. (2018). *Best Available Techniques (BAT) Reference Document for Waste Treatment*. Hentet fra Industrial Emissions Directive 2010/75/EU: https://bureau-industrial-transformation.jrc.ec.europa.eu/sites/default/files/2019-11/JRC113018_WT_Bref.pdf

European parliament and council. (5. 5 2019). *Regulation (EU) 2019/1009 of the European Parliament and of the Council of 5 June 2019 laying down rules on the making available on the market of EU fertilising products and amending Regulations (EC) No 1069/2009 and (EC) No 1107/2009 and repealing Regula.* Hentet fra EUR-lex: <https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2019/1009/oj/eng>

Finlex. (13. 7 2022). *Lannoitelaki 711/2022*. Hentet fra Finlex: <https://www.finlex.fi/fi/lainsaadanto/2022/711>

Finlex. (18. 6 2025). *Maa- ja metsätalousministeriön asetus lannoitevalmisteista annetun maa- ja metsätalousministeriön asetuksen muuttamisesta (357/2025)*. Hentet fra Finlex: <https://www.finlex.fi/fi/lainsaadanto/saaduskokoelma/2025/357#OT0>

Fjäder, P., Korkalainen, M., Kauppi, S., Lehtiniemi, M., Salminen, J., Selonen, S., . . . Ala-ketola, U. (2022). *Muovien haitalliset ympäristöja terveysvaikutukset*. Hentet fra Suomen Ympäristökeskus: https://www.julkari.fi/bitstream/handle/10024/144561/SYKEra_17-2022_Muovien-haitalliset-vaikutukset.pdf

Flottweg . (15. 12 2025). *Applications*. Hentet fra Flottweg: <https://www.flottweg.com/applications/>

Flottweg. (15. 12 2025). *Flottweg*. Hentet fra Flottweg: <https://www.flottweg.com/>

Gao, Z., & Wang, S. (15. 5 2025). *Mitigating Gas Emissions from the Dairy Slurry Management Chain: An Enhanced Solid–Liquid Separation Technology with*

Tannic Acid. Hentet fra *Agronomy* 2025, 15(5), 1202:
<https://doi.org/10.3390/agronomy15051202>

Garcia, M., Szogi, A., Vanotti, M., Chastain, J., & Millner, P. (13. 12 2008). *Enhanced solid–liquid separation of dairy manure with natural flocculants*. Hentet fra *Bioresource Technology* 100 (2009) 5417–5423:
https://www.clemson.edu/extension/camm/manuals/publications/dairy_liquid_solid_separation_flocculant.pdf

Gasum. (4. 12 2025). *Miten biokaasua tuotetaan*. Hentet fra Gasum:
<https://www.gasum.com/fi/gasum/tuotteet-ja-palvelut/biokaasu-ja-nesteytetty-biokaasu-lbg/miten-biokaasua-tuotetaan/>

Haarslev. (16. 12 2025). *Cases*. Hentet fra Haarslev: <https://haarslev.com/cases/>

Haarslev. (16. 12 2025). *Solutions*. Hentet fra Haarslev: <https://haarslev.com/solutions/>

Haarslev. (15. 12 2025). *Waste Food Depacker*. Hentet fra Haarslev:
<https://haarslev.com/products/waste-food-depacker/>

Huber. (8. 12 2025). *Huber rumpuvälppä RoMesh*. Hentet fra Huber:
<https://www.huber.fi/fi/tuotteet/mikrovaelppaays-suodatus/mikrovaelppaet/huber-rumpuvaelppae-romeshr.html>

Huber Technology. (10. 2 2026). *HUBER Screw Press Q-PRESS*. Hentet fra Huber:
<https://www.huber-se.com/products/detail/huber-screw-press-q-press/>

Ingelia. (9. 5 2021). *Ingelia HTC carbon recovery from biowaste*. Hentet fra Ingelia:
<https://www.youtube.com/watch?v=VN0h0lkB6dQ>

Ingelia. (8. 12 2025). *Plantas HTC*. Hentet fra Ingelia:
<https://www.ingelia.com/en/plantas-htc>

Ingelia. (8. 12 2025). *Tecnologia*. Hentet fra Ingelia:
<https://www.ingelia.com/en/tecnologia>

Inno Energy. (27. 9 2019). *C-Green builds worlds first oxypower HTC biofuel plant for sludge recycling in Finland*. Hentet fra Inno Energy:
<https://innoenergy.com/news-resources/c-green-builds-worlds-first-oxypower-htc-biofuel-plant-for-sludge-recycling-in-finland/>

Kanadevia Inova. (21. 12 2025). *Jönköping gas project*. Hentet fra Kanadevia Inova:
<https://www.kanadevia-inova.com/projects/joenkoeping-gas/>

Kanadevia Inova. (16. 12 2025). *References*. Hentet fra Kanadevia Inova:
<https://www.kanadevia-inova.com/references/>

Kanadevia Inova. (16. 12 2025). *Solutions and Services*. Hentet fra Kanadevia Inova:
<https://www.kanadevia-inova.com/solutions-services/>

Komptech. (10. 02 2025). *Hurrikan S*. Hentet fra Komptech:
<https://www.komptech.com/en/products/hurrikan-s/#/>

Komptech. (2. 12 2025). *Terminator mobile shredder*. Hentet fra Komptech:
<https://www.komptech.com/en/products/terminator-mobile/#/>

Kusters Engineering. (15. 12 2025). *Rotoshifter*. Hentet fra Kusters Engineering:
<https://www.royaldutchkusters.com/rotoshifter-other-waste-separator-rotoshifter>

Lahtela, V., & Kärki, T. (29. 12 2017). *Mechanical Sorting Processing of Waste Material Before Composite Manufacturing* –. Hentet fra LUT University, Review article: <https://jestr.org/downloads/Volume11Issue6/fulltext61162018.pdf>

Lehtinen, L., Nurkkanen, M., Raiko, A., & Holopainen, S. (18. 12 2024). *Biomuovien toimivuus*. Hentet fra Suomen Biokierto ja Biokaasu ry: https://biokierto.fi/wp-content/uploads/2025/05/T6.5.Biomuovien-toiminnallisuus-raportti_Final_Julkinen.pdf

Linköping University. (8. 11 2018). *storsta biogasanlaggningen finns i linköping*. Hentet fra Linköping University: <https://liu.se/en/news-item/storsta-biogasanlaggningen-finns-i-linkoping>

Liu, H., Yuan, X., Yao, Y., Yao, L., Zhang, J., & Maurer, C. (2025). *Microplastics, Antibiotics, and Heavy Metals in Anaerobic Digestion Systems: A Critical Review of Sources, Impacts, and Mitigation Strategies*. Hentet fra Recycling, 10(3), 116: <https://doi.org/10.3390/recycling10030116>

Luo, Y., Guan, D., Dai, J., Deng, Y., Xie, Y., & Chen, G. (12 2024). *A pilot trial-based life cycle assessment of self-forming dynamic membrane bioreactor (SFDMBR) and comparative analysis with conventional treatment processes*. Hentet fra Journal of Water Process Engineering, Volume 68: <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2024.106493>

Markosyan, M. (2025. 8 2025). *Baltic Sea Hydrogen Collector project receives EUR 15.3m EU grant*. Hentet fra RenewablesNow: <https://renewablesnow.com/news/baltic-sea-hydrogen-collector-project-receives-eur-15-3m-eu-grant-1284017/>

Mavitec. (1. 12 2025). *Paddle Depacker*. Hentet fra Mavitec: <https://mavitecgreenenergy.com/solutions/depackaging/paddle-depacker/>

Mavitec. (1. 12 2025). *Second edition paddle depacker roadshow*. Hentet fra mAVITEC:
<https://mavitecgreenenergy.com/second-edition-paddle-depucker-roadshow/>

Multotec. (7. 12 2025). *Cyclone Distributors for Dense Medium Applications*. Hentet fra
 Multotec:
https://www.multotec.com/public/uploads/files/media_files/file_9cb3c0ce27ee63a7aa1870cd2dadd4b0.pdf

Naturvardsverket. (21. 11 2025). *Producentansvar för förpackningar*. Hentet fra
 Naturvardsverket: <https://www.naturvardsverket.se/vagledning-och-stod/producentansvar/producentansvar-for-forpackningar/forpackningsavfall-fran-verksamheter/>

NG Nordic. (21. 12 2024). *Norsk Gjenvinning Open Substrate Facility in Trondheim*.
 Hentet fra NG Nordic: <https://www.ngnordic.com/news/articles/norsk-gjenvinning-open-substrate-facility-in-trondheim>

Nielsen, L. (5. 1 2026). Ecogi, laitetoimittajan lisätiedot. (J. Saviniemi, Interviewer)

Niemelä, O. (23. 5 2017). *Happipolttotekniikan valmiusaste, kustannukset ja rooli hiilidioksidin talteenotossa*. Hentet fra Kandidaatintyö, Lappeenrannan teknillinen yliopisto, Energiatekniikan koulutusohjelma:
https://lutpub.lut.fi/bitstream/handle/10024/135322/kandidaatintyo_oon_niemela.pdf

Nihot. (2024). *Product Overview Brochure*. Hentet fra Nihot: <https://nihot.nl/wp/wp-content/uploads/2024/04/Nihot-Product-Overview-brochure-GB-2024.pdf>

Oberoi, A. S., Surendra, K., Wu, D., Lu, H., Wong, J. W., & Khanal, S. K. (22. 5 2022).
Anaerobic membrane bioreactors for pharmaceutical-laden wastewater

treatment: A critical review . Hentet fra Bioresource Technology :
<https://doi.org/10.1016/j.biortech.2022.127667>

Palatsi, V. (1 2025). *BIOHILEN TUOTANTO- JA HYÖDYNTÄMISMAHDOLLISUUDET RUSKON JÄTEKESKUKSESSA*. Hentet fra Diplomityö, Oulun yliopisto, Ympäristötekniikka:
<https://oulurepo.oulu.fi/bitstream/10024/53792/1/nbnfioulu-202501211280.pdf>

Palmieri. (1. 12 2025). *PASS - Data sheet*. Hentet fra Palmieri: https://pass-solution.com/wp-content/uploads/2025/06/DATA-SHEET_Rev.-03.06-1.pdf

Palmieri. (1. 12 2025). *PASS(TM)*. Hentet fra Palmieri: <https://pass-solution.com/en/macchine/pass/>

Palmieri. (1. 12 2025). *PASS(TM) small*. Hentet fra Palmieri: <https://pass-solution.com/en/macchine/pass-light-2/>

Parkson. (8. 1 2026). *DynaSand*. Hentet fra Parkson:
<https://www.parkson.com/products/dynasand>

Pavitra Ganga. (5. 12 2025). *Self Forming Dynamic Membrane Bioreactor*. Hentet fra Pavitra Ganga: <https://pavitra-ganga.eu/en/self-forming-dynamic-membrane-bioreactor>

Pellen CST. (4. 12 2025). *Optical Sorters*. Hentet fra Pellen CST:
<https://www.pellencst.com/products/#opticalsorters>

Pinasseau, A., Zerger, B., Roth, J., Canova, M., & Roudier, S. (2018). *JRC: Best Available Techniques (BAT) Reference Document for Waste Treatment*. Hentet fra Industrial Emissions Directive 2010/75/EU (Integrated Pollution Prevention and Control):

https://bureau-industrial-transformation.jrc.ec.europa.eu/sites/default/files/2019-11/JRC113018_WT_Bref.pdf

Popovic, O., Gioelli, F., Dinuccio, E., Rollè, L., & Balsari, P. (12. 12 2017). *Centrifugation of Digestate: The Effect of Chitosan on Separation Efficiency*. Hentet fra Sustainability 2017, 9(12), 2302: <https://doi.org/10.3390/su9122302>

Pyreg. (5. 12 2025). *Biochar from biosolids*. Hentet fra Pyreg: <https://pyreg.com/applications/biochar-from-biosolids/>

Pyrogreen. (5. 12 2025). *Solution*. Hentet fra Pyrogreen: <https://www.pyrogreen-energy.com/solution>

Qi, X., Wang, H., Li, Y., Liu, J., Sun, J., Zhang, W., . . . Li, R. (6. 8 2025). *Effects of Micro(nano)plastics on Anaerobic Digestion and Their Influencing Mechanisms*. Hentet fra Microorganisms 2025, 13(9), 2118: <https://doi.org/10.3390/microorganisms13092118>

Rao, W., Sun, Y., Guo, Q., Zhang, J., Zhang, Z., & Liang, S. (31. 5 2024). *Anaerobic dynamic membrane bioreactor treating sulfamethoxazole wastewater: advantages of dynamic membrane and its fouling mechanism*. Hentet fra Journal of Hazardous Materials: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2024.135832>

Recycling Industry. (10. 6 2020). *TOMRA Recycling celebrates digital launch of its latest and most advanced sorting solutions*. Hentet fra Recycling Industry: <https://www.recyclind.com/eng/3150/tomrarecyclingcelebratesdigitallaunchofitslatestandmostadvancedsortingsolutions/>

Recycling inside. (4. 12 2020). *The Atritor Turbo Separator Appeals To The Professional AD Sites For Food Waste De-Packaging*. Hentet fra Recycling inside: <https://recyclinginside.com/recycling-technology/separation-and-sorting->

technology/the-atritor-turbo-separator-appeals-to-the-professional-ad-sites-for-food-waste-de-packaging/

Salimbeni, A. (2015). *Techno-economic Assesment of lignocellulosic biomassa energy conversion by slow oxidative pyrolysis*. Hentet fra Universita degli studi Firenze: <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.4941.4005>

Salsnes. (2024). *Salsnes Brochure Product Overview* . Hentet fra Salsnes: <https://www.salsnes-filter.com/wp-content/uploads/2024/06/Salsnes-Brochure-Product-Overview-2024.pdf>

Samaei, S. H.-A., Chen, J., Li, G., Whitman, A., & Xue, J. (19. 6 2023). *Anaerobic dynamic membrane bioreactors (AnDMBRs): A promising technology for high-strength wastewater treatment*. Hentet fra Journal of Environmental Chemical Engineering, Volume 11, Issue 5: <https://doi.org/10.1016/j.jece.2023.111139>

Science Direct. (5. 12 2025). *Humification*. Hentet fra Science Direct: <https://www.sciencedirect.com/topics/agricultural-and-biological-sciences/humification>

Scott Equipment. (2020). *THOR Separator*. Hentet fra Scott Equipment: <https://scottequipment.com/wp-content/uploads/2020/09/THOR-Separator.pdf>

Segredo-Morales, E., González, E., & Díaz, O. (25. 8 2025). *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*. Hentet fra Volume 148, Pages 230-246: <https://doi.org/10.1016/j.jiec.2025.01.032>

Senanayake, A., & Arashpour, M. (3. 5 2025). *Automated Electro-construction waste Sorting: Computer vision for part-level segmentation*. Hentet fra Waste Management, 203: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2025.114883>

Shyamal, D. S., Ali, M., Singh, M., & Kazmi, A. A. (6 2024). *Performance evaluation of trommel screens: A case study of a municipal solid waste treatment plant*. Hentet fra Waste Management Bulletin, Volume 2, Issue 2: <https://doi.org/10.1016/j.wmb.2024.03.007>

Spiroc. (11 2020). *Food waste receival and handling, Västerås, Sweden*. Hentet fra Spiroc: https://www.spirac.com/sites/default/files/solution_file/12142_VAFAB_Food_Waste_Hoppers_V%C3%A4ster%C3%A5s_PS_112020_v2_small.pdf

Steinert Global. (4. 12 2025). *NIR Sorting systems*. Hentet fra Steinert Global: <https://steinertglobal.com/sorting-systems/sensor-sorting/nir-sorting-systems/unisort-black/>

Suarez, J. C., Sambusiti, C., Grassl, B., & Monlau, F. (26. 8 2024). *Contaminants, biochemical methane potential, and biodegradability of different bio-waste categories: guidance for anaerobic digestion*. Hentet fra Science Direct: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2024.131294>

Tiger Depack. (28. 11 2025). *Tiger Depack HS20*. Hentet fra Tiger Depack: <https://www.tigerdepack.com/hs20/>

Tomra. (18. 6 2020). *TOMRA AUTOSORT Sorting Animation - Recycling Sorting Technology*. Hentet fra Youtube: <https://www.youtube.com/watch?v=jfWZGYUNw88>

Tomra. (4. 12 2025). *Autosort - Precision that pays off*. Hentet fra Tomra: <https://books.tomra.com/books/evng/#p=8>

Twister. (4. 12 2025). *Twister depackaging*. Hentet fra Twister: <https://www.twisterseparator.com/>

Twister. (4. 12 2025). *Twister Seditank*. Hentet fra Twister:
<https://www.twisterseparator.com/seditank>

Vafab Miljö. (21. 12 2025). *Our Biogas Plant*. Hentet fra Vafab Miljö:
<https://vafabmiljo.se/english/our-biogas-plant/>

van der Wal, M., Borneman, Z., & Nijmeijer, K. (9 2023). *Optimizing flocculation of digestate to increase circularity in manure treatment*. Hentet fra Bioresource Technology Reports, Vol. 23: <https://doi.org/10.1016/j.biteb.2023.101561>

Veolia. (8. 12 2025). *Hydrotech Discfilter*. Hentet fra Veolia:
<https://www.veoliawatertechnologies.com/en/solutions/technologies/hydrotech-discfilter>

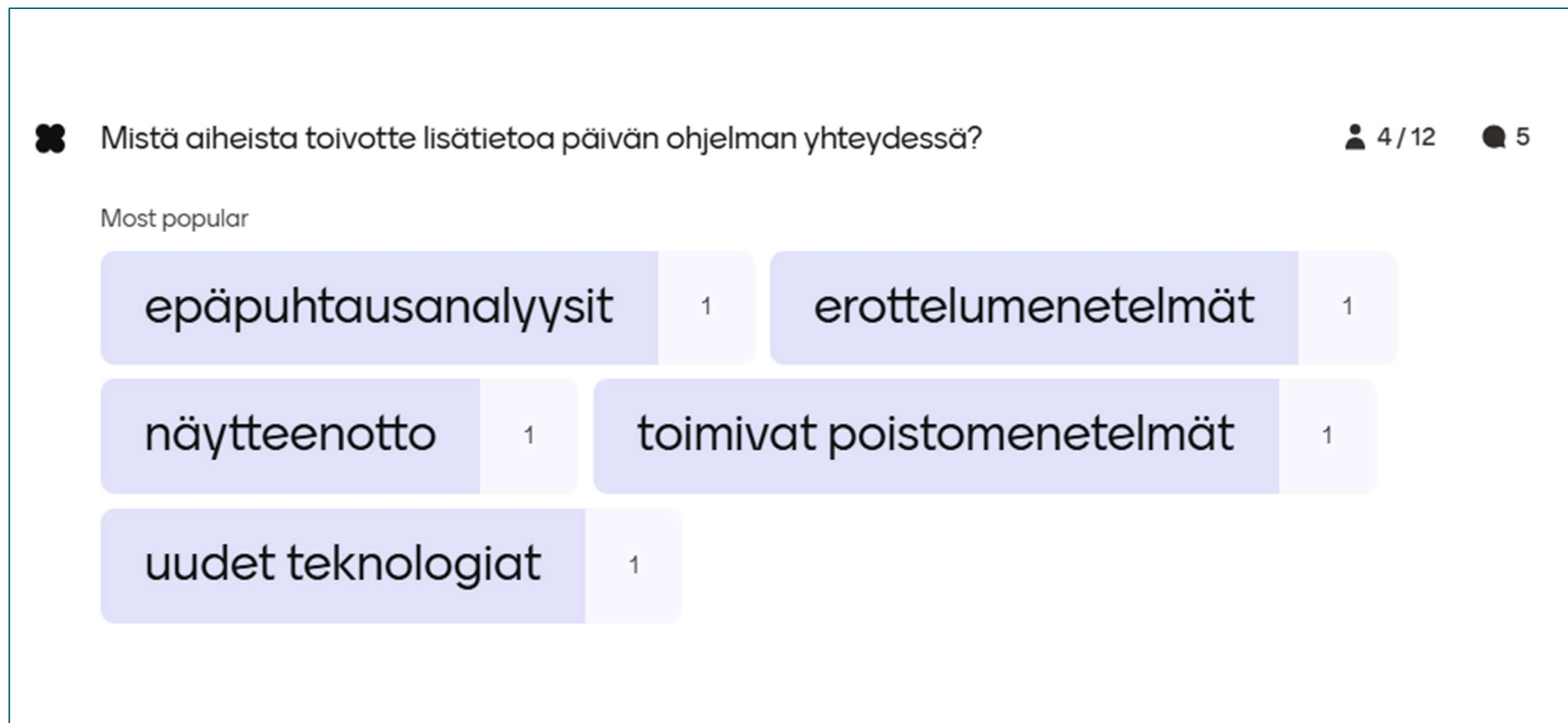
Westeria. (10. 2 2025). *Windshifting*. Hentet fra Westeria:
<https://westeria.de/en/products/windsifting/>

Xylem. (8. 12 2025). *Taron Activated Sludge Filter*. Hentet fra Xylem:
https://www.xylem.com/siteassets/brand/sanitaire/resources/brochure/sanitaire_taron-filter-brochure_a4_low_en.pdf

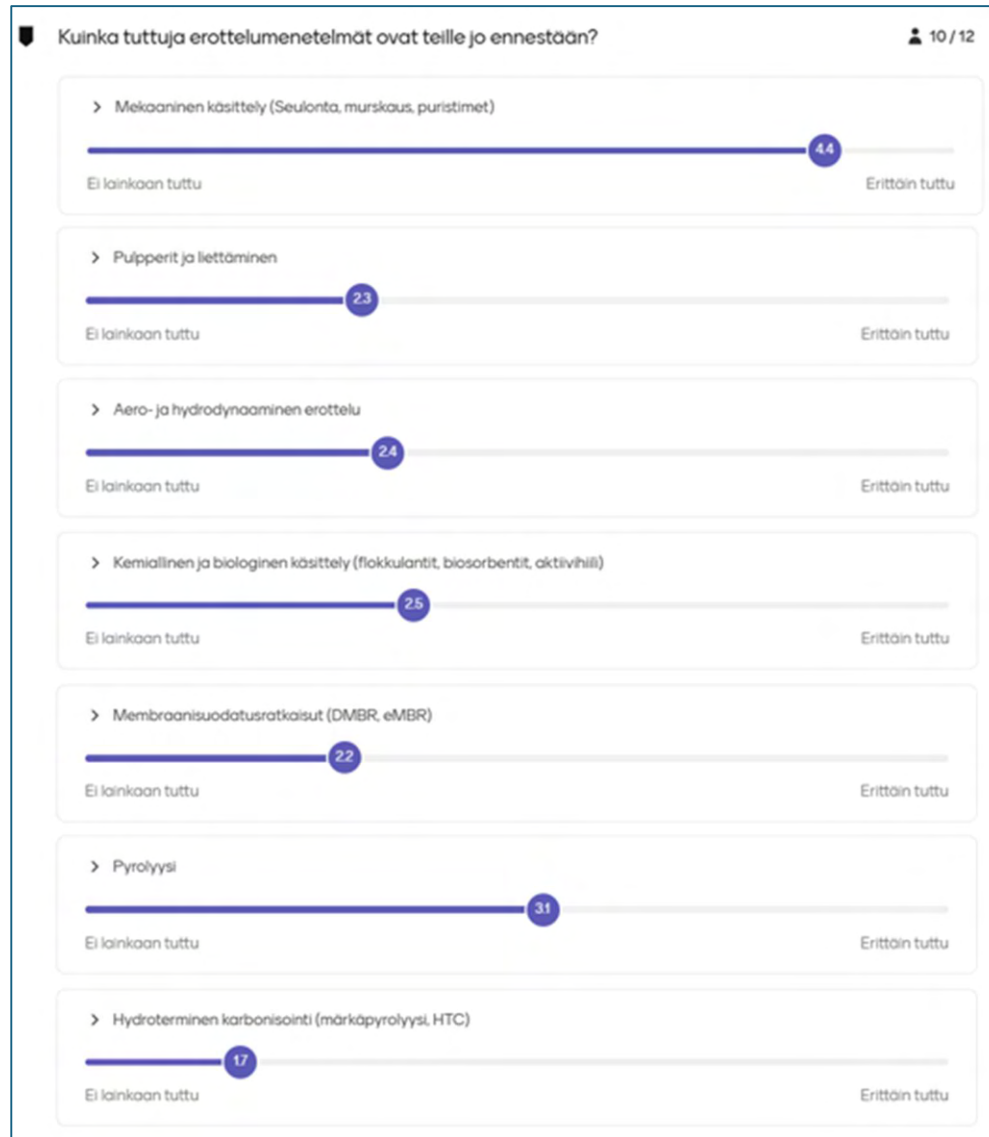
Zero Waste Europe. (6 2024). *GUIDING THE MAINSTREAMING OF BEST BIO-WASTE RECYCLING PRACTICES IN EUROPE*. Hentet fra LIFE BIOBEST:
https://zerowasteurope.eu/wp-content/uploads/2024/06/Jun24_240618_LIFE-BIOBEST_WP3_D3.3_Guideline_QualityCompost_Submitted.pdf


Zero Waste Europe. (2024). *How to best collect*. Hentet fra Zero Waste Europe:
<https://zerowasteurope.eu/wp-content/uploads/2024/11/How-to-best-collect-bio-waste-EN.pdf>

LIITE 1: TYÖPAJAN MENTIMETER-KYSELYN TULOKSET, ESITETYT ESIMERKIT VIERAILUKOHOEISTA SEKÄ YHTEENVETO



LIITE 2



 Mitkä erottelumenetelmistä kiinnostavat erityisesti? 12 / 12

- > 1 Aero- ja hydrodynaaminen erottelu
- > 2 Mekaaninen käsittely (Seulonta, murskaus, puristimet)
- > 3 Kemiallinen ja biologinen käsittely (flokkulantit, biosorbentit, aktiivihiili)
- > 4 Hydroterminen karbonisointi (märkäpyrolyysi, HTC)
- > 5 Pyrolyysi
- > 6 Pulpperit ja liettäminen
- > 7 Membraanisudatusratkaisut (DMBR, eMBR)

VIERAILUKOhteet

VK 2: Märkämädätyslaitos

macon



Solrød Biogas A/S,
Åmarken , Tanska.

- Laitoksen valmistaja:
 - EU-projekti.
 - Malmberg.
 - Bigadan A/S.
- Kapasiteetti: 200 000 t/v.
- Käsiteltävät jakeet:
 - Merilevää,
 - Eläinlantoja,
 - Elintarviketeollisuuden sivuvirrat ja
 - Maatalousjätteitä.
- Tuotanto: 6 –7 M Nm³_{CH4}/v.

Lähteet:

<https://solrodbiogas.dk/en/about> - solroed - biogas/

<https://www.cng-mobility.ch/en/beitrag/danes-turn-waste-into-raw-material/>

https://www.kanadevia-inova.com/files/2016/05/Fulda_Online_E.pdf



Nature Energy,
Korskrø , Tanska.

- Laitoksen valmistaja:
 - Nature Energy konserni.
- Kapasiteetti: 700 000 t/v.
- Käsiteltävät jakeet:
 - Eläinlannat,
 - Biojäte,
 - Elintarviketeollisuuden sivuvirrat,
 - Glyceroli ja
 - Muut vaihtelevat biomassavirrat.
- Tuotanto: 36 M Nm³_{CH4}/v.



Biothan GmbH ,
Fulda , Saksa.

- Laitoksen valmistaja:
 - Kanadevia, Zürich, Sveitsi.
 - Useita ratkaisuja, menetelmiä ja referenssejä ympäri Eurooppaa.
- Kapasiteetti:
 - Märkämädätys: 32 000 t/v ja
 - Kuivämädätys: 32 000 t/v.
- Käsiteltävät jakeet:
 - Ruokajätteet.
 - Rasvat, marjat, mäski ja
 - Jätevesiliete.
- Tuotanto: 4,3 M Nm³_{CH4}/v.

VIERAILUKOhteet

VK 3: Kuivamädätyslaitos

macon



**Biothan GmbH ,
Fulda , Saksa.**

- Laitoksen valmistaja:
 - Kanadevia, Zürich, Sveitsi.
 - Useita ratkaisuja, menetelmiä ja referenssejä ympäri Eurooppaa.
- Kapasiteetti:
 - Märkämädätys: 32 000 t/v ja
 - Kuivämädätys: 32 000 t/v.
- Käsiteltävät jakeet:
 - Ruokajätteet,
 - Rasvat, marjat, mäski ja
 - Jätevesiliete.
- Tuotanto: 4,3 M Nm³ CH₄/v.

Lähteet:

https://www.kanadevia.com/inova.com/files/2016/05/Fulda_Online_E.pdf

<https://www.kanadevia.com/inova.com/projects/jonkoeping-ae/>

<https://biogaszuerich.ch/>



**Kanadevia Inova
Jönköping Biogas AB
Jönköping, Ruotsi.**

- Laitoksen valmistaja:
 - Kanadevia, Zürich, Sveitsi.
 - Useita ratkaisuja, menetelmiä ja referenssejä ympäri Eurooppaa.
- Kapasiteetti: 40 000 t/v.
- Käsiteltävät jakeet:
 - Ruokajäte,
 - Viherjäte,
 - Lantajakeet,
 - Rasvat ja
 - Elintarviketeollisuuden sivuvirrat.
- Tuotanto: 2,8 M Nm³ CH₄/v.



**Biogas Zürich AG
Zürich, Sveitsi.**

- Laitoksen valmistaja:
 - Biogas Zürich AG, Zürich, Sveitsi.
- Kapasiteetti: 25 000 t/v.
- Käsiteltävät jakeet:
 - Biojäte ja
 - Puutarhajäte.
- Tuotanto: 5 – 6 M Nm³ CH₄/v.

VIERAILUKOhteet

VK 4: Kompostointilaitos



**TUS Thüringer
UmweltService
GmbH**
**Erfurt, Thüringen,
Saksa**

- Laitoksen toiminta:
 - Kanadavia, Zürich, Sveitsi.
 - Tunnelikompostointilaitos.
- Kapasiteetti: 90 000 t/v.
- Käsiteltävät jakeet:
 - Biojäte,
 - Ruokajätteet ja
 - Viherjäte.
- Tuotanto: 4,3 M Nm³_{CH4}/v



**Área Metropolitana
de Barcelona (AMB),
Barcelona, Espanja.**

- Laitoksen toiminta:
 - Integroitu ympäristökeskus.
 - Tunnelikompostointi.
- Kapasiteetti: kokonaiskapasiteetti ympäristökeskukselle 245 000 t/v.
- Käsiteltävät jakeet:
 - Biojäte,
 - Ruokateollisuuden jätteet ja
 - Viherjäte.
- Tuotanto: 7 M Nm³_{CH4}/v



**Linz AG,
Linz, Itävalta .**

- Laitoksen toiminta:
 - Suljettu kompostointitekniikka
 - Biogas Zürich AG, Zürich, Sveitsi.
- Kapasiteetti: 84 000 t/v
- Käsiteltävät jakeet:
 - Biojäte ja
 - Puutarhajäte.
- Tuotanto: Kompostituotantoa.

Lähteet:

<https://www.kanadavia.com/inova.com/wiki/erfurt-germany/>

<https://www.kanadavia.com/inova.com/projects/oenkoeping-ae/>

https://epem.gr/waste-e-control/database/html/case_study-15.htm

VIERAILUKOhteet

VK 5: Määrittämätön

macon



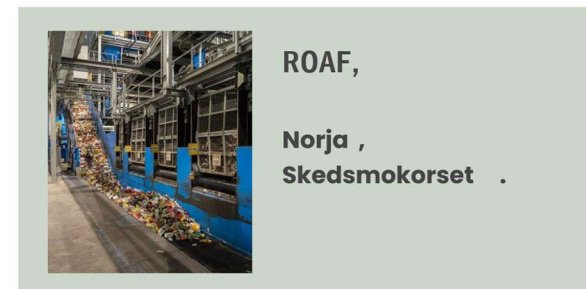
Linz -Unkel Eliquo
water & Energy,
Unkel , Saksa.

- Laitoksen valmistaja ja toiminta:
 - Pyreg, Saksa, Dörth.
 - Yli 50 laitosreferenssiä.
 - Unkel noin tunnin etäisyydellä valmistajasta.
 - Pyrolyysilaitos.
- Kapasiteetti: 1 200 tDS /v.
- Käsiteltävät jakeet:
 - Jätevesilietteet.
- Tuotanto: 4,8 GWh /v



Ingelia , HTC,
Valencia, Espanja.

- Laitoksen valmistaja ja toiminta:
 - Ingelia, Valencia, Espanja.
 - Märkäpyrolyysilaitos (HTC).
 - Valmistajan toimipisteellä kaksi demonstraatiolaitosta.
 - Laitosreferenssejä myös UK ja Belgia.
- Kapasiteetti: 1 t/h.
- Käsiteltävät jakeet:
 - Lietteet.
- Tuotanto: 4,8 GWh /v



ROAF,
Norja ,
Skedsmokorset .

- Laitoksen toiminta:
 - TOMRA: Alankomaat, Apeldoorn, konttori myös Vantaalla.
 - Robotisoitu biojätteiden erottelulinjasto.
- Kapasiteetti: 40 t/h
- Käsiteltävät jakeet:
 - Sekajäte, josta poistetaan muovit ja erotellaan biojäte omaksi jakeekseen.

Lähteet:

<https://www.eliqo.com/en/news/details/new-standard-for-decentralised-sludge-treatment.html>

<https://www.ingelia.com/en/plantas-htc>

<https://interplasinsights.com/plastics-environment-news/plastics-recycling-partnerships/norway-based-fully-automated-waste-sorting-plant-maximises-tr/>

VIERAILUKOHTTEET Keskustelun ja kyselyn yhteenveto



Sijainti

- VK2:
 - Modernit ratkaisut pääasiassa pohjoismassa.
- VK3:
 - Eniten käytössä erityisesti keski-Euroopassa.
- VK4:
 - Eniten käytössä erityisesti etelä-Euroopassa.
- VK5:
 - Kiinnostusta paljon raaka-aineiden esikäsittelylle. Saksassa pyrolyysilaitos ei välttämättä ole erityisen kiinnostava.



Tekniikka

- Kyselytutkimuksen mukainen kiinnostus:
 1. Aero- ja hydrodynaaminen,
 2. Mekaaninen käsittely,
 3. Kemiallinen ja biologinen,
 4. Märkäpyrolyysi
 5. Pyrolyysi,
 6. Pulpperit ja liettäminen
 7. Membraanisuođatus
- Modernit laitosratkaisut ja pakkauksenpoisto.



Raaka-aineet

- Pakattu materiaalia.
- Muovipitoinen materiaali.
- Mikromuovipitoinen materiaali.

LIITE 2: VIERAILUKOHTTEIDEN RAPORTIT

Gasum, Honkajoki, Suomi, 19.01.2026

Taulukko 1. Honkajoen biokaasulaitoksen vastaukset esitettyyn kysymysluetteloon.

Kysymysluettelo	
Paljonko pakattua biojätettä otetaan vastaan vuosittain?	Laitoksella vastaanotetaan vuosittain noin 10 000 tonnia pakattua biojätettä.
Käsitelläänkö laitoksella muita raaka-aineita?	Laitoksella käsitellään vuosittain myös noin 50 000 tonnia muita elintarviketeollisuuden ja maatalouden biojätteitä. Esimerkkejä näistä ovat eläinveri, perunatuotteet ja Honkajoki Oy:ltä toimitetut biojätteet. Puhdistamolietettä laitoksella ei ole käsitelty vuoden 2018 jälkeen.
Millaisia pakkausmateriaaleja raaka-aineissa on?	Pakkausmateriaalit ovat lähinnä muovimateriaaleja, erityisesti muovipusseja.
Paljonko rejektimateriaalia muodostuu erotteluprosesseissa?	Erotteluprosessissa muodostuu raaka-aineesta noin 10 % verran rejktiä. Rejektimateriaaleja on pääasiassa vähän raaka-aineissa, mutta lopputuotteissa toimijan mielestä sitä jää jäljelle liian paljon.
Kuinka monessa vaiheessa käsittely tapahtuu?	Käsittelymenetelmät alkavat Tiger Depacking laitteistolla, jonka avulla raaka-aineiden pakkaukset avataan ja syötetään murskaimelle. Murskaimella raaka-aineet hienonnetaan pienempään raekokoon, minkä yhteydessä myös erotellaan muovijätteitä ja epäpuhtauksia, jotka eivät kulkeudu siivilän lävitse. Muodostuva bioliete käsitellään huberin laitteistolla hydrodynaamista erottelua hyödyntäen ja poistaen erityisesti karkeita ja raskaita epäpuhtauksia. Lietteet sekoitetaan muihin lietemäisiin jakeisiin 800 m ³ lietealtaassa, joka toimii puskurisäiliönä. Puskurisäiliöstä bioliete syötetään hydrolyysireaktoriin, hygienisoidaan sekä syötetään lopulta biokaasureaktoriin. Määdätejäännös syötetään separaattorille, jossa ylimääräiset kiintoaineet poistetaan jakeesta, jolloin jäljelle jää nestemäistä määdätejäännöstä.
Mikä on lopputuotteen puhtausaste? (mg/kg, kuiva-aine)	Lopputuotteessa epäpuhtauksia on noin 2,5 mg per kilogramma kuiva-ainetta, joka koostuu pääasiassa muovimateriaaleista.
Paljonko orgaanista materiaalia päätyy rejektin mukaan?	Rejkti on kostea ja vaikeasti kuivattavaa, jonka seurauksena myös sen kuivaus on havaittu vaikeaksi. Kosteuden perusteella voidaan arvioida orgaanista ainetta poistuvan rejektin mukana.
Mitkä ovat tärkeimmät kehitystarpeet ja -suunnitelmat?	Ei varsinaisia kehitystarpeita tai suunnitelmia.

LIITE 2

Honkajoen biokaasulaitos (kuva 1) sijaitsee logistisesti hyvällä sijainnilla useiden muiden orgaanisia materiaaleja käsittelevien yritysten läheisyydessä. Lisäksi viereisillä tonteilla toimii myös energiateollisuutta, jonka vuoksi tuotannosta saatava biokaasu voidaan helposti hyödyntää energiatuotannossa eikä tämä vaadi jatkokäsittelyä, kuten nesteyttämistä.



Kuva 1. Gasumin Honkajoen laitos¹¹⁴.

Tavanomaisia ratkaisuja märkämädätyksessä muodostuneen mädätejäännöksen käsittelylle on erityisesti linkoaminen sekä puristaminen kosteuspuitoisuuden vähentämiseksi. Honkajoella linkoaminen on kuitenkin korvattu kiintoaineita erottavilla separaattoreilla, jotka toimivat rumpuseulamaisella ratkaisulla (kuva 2).



Kuva 2. Separattorilaitteisto.

Ratkaisu ei ole mekaanisesti yhtä kuormittava, jonka seurauksena erityisesti energiankulutus on vähäisempää. Kiintoainetta erotellaan kuvan 3 mukaisilla roottoriin kiinnitetyillä seuloilla.



Kuva 3. Separattorin rumpuseula.

Seulaan jäänyt kiintoaine kertyy tasaisesti seularakenteen sisään ja kulkeutuu sieltä kohti rejektin poistoaukkoa. Rejektistä muodostuu eräänlainen tulppa seulan tiivisteen sisäpinnalle (kuva 4) ja seulan täytyessä tämä putoaa rejektikasaan.



Kuva 4. Rumpuseulan rejektinpoisto.

¹¹⁴ Gasum, 2025. Honkajoen biokaasulaitos. Saatavilla:

<https://www.gasum.com/fi/gasum/toimitusketju/biokaasulaitokset/honkajoen-biokaasulaitos/>

Ecogi, Kööpenhamina, Tanska, 20.01.2026

Taulukko 2. Ecogi Gemidanin Kööpenhaminan läheisyydessä sijaitsevan biokaasulaitoksen vastaukset esitettyyn kysymysluetteloon.

Kysymysluettelo	
Paljonko pakattua biojätettä otetaan vastaan vuosittain?	Laitoksella toimii kaksi erillistä käsittelylinjaa, joiden käsittelykapasiteetti on noin 60 000 tonnia vuodessa. Biojätteitä otetaan vastaan noin 120 000 tonnia vuodessa, mutta joskus enemmänkin.
Käsitelläänkö laitoksella muita raaka-aineita?	Laitoksella käsitellään pääasiassa elintarviketeollisuuden pakattua sekä erilliskerettyjä biojätteitä. Biomassat ovat usein jopa kuormalavoille pakattua materiaalia, kuten muovi- tai lasipulloja, jotka ovat pahvipakkauksessa, sekä muoviin pakattuina paketteina kuormalavoilla.
Millaisia pakkausmateriaaleja raaka-aineissa on?	Pakkausmateriaalit ovat lähinnä pehmeitä muovimateriaaleja, erityisesti muovipusseja. Pakkausmateriaaleja on myös joskus metallien ja pahvien muodossa sekä joskus lasia.
Paljonko rejektimateriaalia muodostuu erotteluprosesseissa?	Erotteluprosessissa rejektin määrä riippuu erittäin paljon raaka-aineesta. Paristot yms. jakeet eivät murskaannu prosessissa, joten näistä ei myöskään irtoa raskasmetalleja biolietteeeseen.
Kuinka monessa vaiheessa käsittely tapahtuu?	Käsittelymenetelmät alkavat suuresta syöttöruuvista, jonka avulla avataan pääasiassa suuret pakkaukset. Esimerkiksi tölkit, lasipullot ja muut pienet pakkaukset säilyvät ehjänä syöttöruuvista. Tämän jälkeen on pienikokoisempi syöttöruuvi, joka vahingoittaa pakkauksia vain hieman. Seuraavana vaiheena on pulperi, jossa suurikokoinen sekoitin homogenisoi raaka-ainetta esivalmistellen sen viimeiseen vaiheeseen, jossa jäljellä olevat pakkaukset hajotetaan sentrifugointiin perustuvalla mekaanisella käsittelyllä. Tässä vaiheessa osittain vahingoitetut pakkaukset repeytyvät pienemmiksi jakeiksi keskipakovoiman seurauksena. Laitevalmistajan mukaan esimerkiksi säilyketölkit hajoavat tavanomaisesti käsittelymenetelmien avulla tavanomaisesti vain noin kolmeen kappaleeseen, jolloin erottelu on helppoa.
Mikä on lopputuotteen puhtausaste? (mg/kg, kuiva-aine)	Lopputuotteen puhtausaste on vähintään 99,95 % ja laitevalmistajalla on myös saatavilla virallinen ETV-raportti, jossa on todettu laitteiston pääsevän esitettyyn puhtausasteeseen.
Paljonko orgaanista materiaalia päätyy rejektin mukaan?	7 % orgaanisia aineita. Rejkti pestään myös kahdesti, jolloin siinä jäljellä oleva rejektin määrä saadaan minimoitua.
Mitkä ovat tärkeimmät kehitystarpeet ja -suunnitelmat?	Suurimpia kehitystarpeita ja mahdollisuuksia nähdään rejektin puhtausasteen kehittämisessä. Panossyötön avulla etuna nähdään mahdollisuus ajaa läpi esimerkiksi vain lasi- tai metallipakkauksia, kunnes näistä muodostuneet rejektit voidaan myydä käytännössä puhtaana lasi- tai metallijätteenä.

LIITE 2

Ecogin biokaasulaitos käsittelee erityisesti erittäin paljon epäpuhtauksia sisältäviä jakeita, kuten valmiiksi lajiteltuja lasi- ja metallipakkauksia, jotka ovat pakattuna pahvilaatikoihin jakelua varten, sekä pakattua myös kuormalavoille (kuva 5). Laitosratkaisu toimii panostettuna ajomallina eli laitteistolla tuotetaan aina yksi erä biolietettä kerrallaan.



Kuva 5. Esimerkki Ecogilla käsiteltävästä elintarviketeollisuuden jätteestä.

Tavanomaisia raaka-aineita ovat erilliskerätyt biojätteet, joiden havaitaan vierailun yhteydessä olevan erittäin muovipitoisia (kuva 6).



Kuva 6. Ecogin laitoksen erilliskerätyn jätteen vastaanottohalli.

Ratkaisu ei ole mekaanisesti erityisen kuormittava, jonka seurauksena erityisesti energiankulutus koko prosessin osalta on vähäisempää kuin Suomessa tavanomaisissa murskaimia käyttävissä ratkaisuisissa. Rejektinlinjalta poistettavasta materiaalista nähdään myös rejektimäärän olevan suuri ja koostumukseltaan sekalainen (kuva 7).



Kuva 7. Rejektinpoistolinja.

Esitetyillä ratkaisuilla ja puhtausasteille todetaan epäpuhtauksien poiston olevan poikkeuksellisen tehokkaalta vaikuttava. Lisähuomoina valmistaja toteaa mahdollisuudet rejektien jatkokäsittelyyn. Rejekti pestään nykyisellä mallilla kahdesti ja raaka-aineita suositellaan ajamaan esimerkiksi metalliset materiaalit erillään, jolloin rejekti on arvokkaampaa sen koostuessa pääasiassa metalleista.

Toisena lisähuomiona laitoksen havaittiin olevan tuotantotilojen osalta erityisen puhtaita (kuva 8) raaka-aineen vastaanottohallin jälkeen, joka kertoo usein huoltoseisakkien määrän olevan vähäistä tai ainakin puhtaanopidon olevan poikkeuksellisen helppoa.



Kuva 8. Esimerkki tuotantotilojen puhtaudesta

Atritor/Lantmännen, Norrköping, Ruotsi, 21.01.2026

Taulukko 3. Lantmännenin Norrköpingin läheisyydessä sijaitsevan biokaasulaitoksen vastaukset esitettyyn kysymysluetteloon.

Kysymysluettelo	
Paljonko pakattua biojätettä otetaan vastaan vuosittain?	Laitoksella toimii kuivakäsittelylinja, jonka avulla käsitellään kuivia biojätteitä noin 38 000 tonnia vuodessa.
Käsitelläänkö laitoksella muita raaka-aineita?	Biojätteet koostuvat pääasiassa muovipusseihin ja joskus paperipusseihin pakatuista leivistä, leivoksista sekä taikinasta.
Millaisia pakkausmateriaaleja raaka-aineissa on?	Pakkausmateriaalit ovat lähinnä pehmeitä muovimateriaaleja, erityisesti vähittäismyynnin leipäpusseja, pussien sulkemisessa käytettäviä klipsejä sekä joissakin tapauksissa esimerkiksi pahvipakkauksia.
Paljonko rejektimateriaalia muodostuu erotteluprosesseissa?	Rejektimateriaalin tarkkaa määrää ei ole seurattu laitoksella. Rejekti on pääasiassa kuivaa muovimateriaalia.
Kuinka monessa vaiheessa käsittely tapahtuu?	Raaka-aineet syötetään separaattorille suurella ruuvikuljettimella, jonka tehtävänä on pääasiassa siirtää biomassaa. Separaattorilla muovipussit hajoitetaan kuivamurskauksella. Muovijakeita poistetaan ilmapuhalluksella nesteen sijasta. Ilmavirtaa on säädetty useiden vuosien ajan tavoitteena puhaltaa sen avulla kevyet muovijakeet pois, mutta poistaen rejektin sekaan mahdollisimman vähän orgaanista jätettä. Separaattorin jälkeen leivän seasta poistetaan magneetin avulla erityisesti leipäpusseissa käytettäviä muoviklipsejä. Murskattu biomassa punnitaan, sekoitetaan tärkkelykseen, murskattuihin jyviin, lietetään sekä hyödynnetään bioreaktorissa etanolin tuotannossa. Jälkikäsittelynä prosessista muodostuvaa mäskiä siivilöidään.
Mikä on lopputuotteen puhtausaste? (mg/kg, kuiva-aine)	Lopputuotteen puhtausaste on noin 98 %. Epäpuhtauksia on jäljellä noin 2 %, mutta jo tämä määrä aiheuttaa välillä ongelmia raaka-ainesiloissa.
Paljonko orgaanista materiaalia päätyy rejektin mukaan?	Orgaanisten materiaalien pitoisuus rejektissä on todella vähäistä. Poistuva jäte on lähes pelkkää muovia.
Mitkä ovat tärkeimmät kehitystarpeet ja -suunnitelmat?	Suurimpia kehitystarpeita on edelleen vähentää muovijakeiden määrää erityisesti siloissa. Esimerkiksi suodattimet tai siivilät voisivat olla mahdollisuuksina.

Laitoksen toimintamalli on tavanomaisten erilliskerättyjen

LIITE 2

biojätteiden käsittelystä poikkeavaa. Laitoksella käsitellään paljon muita jakeita, joihin käsitelty esimerkiksi leivistä ja leivonnaisista valmistettava biomassa sekoitetaan. Biomassoista tuotetaan bioetanolia. Laitoskokonaisuus on suuri ja sen biojätteiden käsittelylinja on vain pieni osa laitoskokonaisuutta (kuva 9).



Kuva 9. Lantmännenin laitoskokonaisuus¹¹⁵.

Laitoksella erotellaan raaka-aineista erityisesti muoveja. Raaka-aineet ovat pääasiassa kuivamateriaalia, joka mahdollistaa vaihtoehtona raaka-aineiden käsittelyn kuivamateriaalina (kuva 10).



Kuva 10. Lantmännenin raaka-aineiden vastaanottohalli.

Muovien lisäksi materiaaleissa epäpuhtauksia ovat lähinnä pussien sulkemisessa käytettävät muoveista ja metalleista koostuvat klipsit. Näiden erottelu toteutetaan magneetilla murskan jälkeen (kuva 11).



Kuva 11. Magneetilla erotettuja pussinsulkijoita.

Murskattu ja puhdistettu kuivamateriaali sekoitetaan tärkkelyksen kanssa, hyödynnetään biolietteen tuotantoon, sekoitetaan muuhun biomassaan sekä hyödynnetään etanolituotannon raaka-aineena. Muovipitoisuus on sekoitettaessa muihin materiaaleihin vähäinen, mutta aiheuttaa välillä haasteita siiloissa, joihin muovista muodostuu kertymiä.

¹¹⁵ Lantmännen Biorefineries, 2025. Production facilities. Saatavilla:

<https://www.lantmannenbiorefineries.com/about-us/production-facilities/>

ESEM Lilla Nyby, Eskilstuna, Ruotsi, 23.01.2026

Taulukko 4. Eskilstuna Strängnäs Energi och Miljön (ESEM) Eskilstunassa sijaitsevan Lilla Nybyn käsittelylaitoksen vastaukset esitettyyn kysymysluetteloon.

Kysymysluettelo	
Paljonko pakattua biojätettä otetaan vastaan vuosittain?	Laitoksella käsitellään erityisesti kotitalouksien biojätteitä. Laitteistoa käytetään vain yhdessä vuorossa klo 7–14. Käsiteltävä biojätteen määrä on noin 8 000 tonnia vuodessa.
Käsitelläänkö laitoksella muita raaka-aineita?	Aiemmin laitoksella on käsitelty myös paljon kaupallisia biojätteitä esimerkiksi yrityksiltä, kaupoilta sekä elintarviketeollisuudesta. Tällä hetkellä käsitellään vain kotitalouksien biojätteitä, mutta siirrytään luultavasti ensi vuonna käsittelemään jälleen kaupallisia biojätteitä.
Millaisia pakkausmateriaaleja raaka-aineissa on?	Pakkausmateriaalit ovat lähinnä pehmeitä muovimateriaaleja, sekä satunnaisia pahveja ja muita kotitalouksien jätteitä.
Paljonko rejektimateriaalia muodostuu erotteluprosesseissa?	Rejektimateriaalin määrä on noin 11–13 %.
Kuinka monessa vaiheessa käsittely tapahtuu?	Raaka-aineet syötetään suurella ruuvikuljettimella vastaanotosta syöttösiiloon. Tähän on tarkoituksena kuluvan vuoden aikana yhdistää myös uusi optiseen lajitteluun perustuva linjasto. Materiaalit syötetään tämän jälkeen Retecin toimittamalle Smicon vasaramyllylle. Vasaramyllyssä biomassaan sekoitetaan vettä ja hyödynnetään lapoja, jotka eivät ole kiinteästi kiinnitettynä roottoriin, jolloin kiinteät jätteet eivät kuluta laitteistoa yhtä paljon kuin kiinteillä laparakenteilla varustetut laitteistot. Murskattu biomassa siivilöidään 12 mm raokokoon murskan sisällä ja rejekti poistetaan murskalta. Murskattuun biomassaan sekoitetaan lisää vettä automatisoidun kosteusmittauksen avulla. Biolietteitä siivilöidään ja niistä erotellaan metalleja biokaasulaitoksella ja tuotteen on todettu täyttävän vaatimukset.
Mikä on lopputuotteen puhtausaste? (mg/kg, kuiva-aine)	Lopputuotteen kuiva-ainepitoisuus on noin 10 %, josta näkyviä epäpuhtauksia on noin 0,45 %. Epäpuhtauksia lopputuotteessa on noin 36 cm ² /kg tai 0,46 g/kg. Näistä 0,08 g on metalleja, 0,07 g muovikalvoja, 0,04 g lasia ja 0,3 g kompostiitteja, muovia tai kumia.
Paljonko orgaanista materiaalia päätyy rejektin mukaan?	Lopputuotteen puhtausaste on todettu olevan erittäin vähäinen kotitalousjätteitä käytettäessä. Viimeisin mittaus on ollut paras tähän mennessä toteutetuista mittauksista.
Mitkä ovat tärkeimmät kehitystarpeet ja -suunnitelmat?	Suurimpia kehitystarpeita on optisen lajittelulinjaston lisäys sekä toisen vastaanottolinjan rakentaminen kaupallisen biojätteen käsittelyä varten. Optisella käsittelylinjalla erotellaan vihreät muovipussit kotitalousjätteistä. Toisella vastaanottolinjalla on tarkoitus vastaanottaa kaupallisia biojätteitä. Kaikki jakeet on jatkossa tarkoitus sekoittaa keskenään ennen vasaramyllyä.

LIITE 2

Laitos toimii kunnan alueella pääasiallisena kotitalouksien biojätteiden käsittelylaitoksena (kuva 11). Vastaanotettu materiaali ei tällä hetkellä sisällä juuri muita jätejakeita, koska näitä on tarkoitus jatkossa käsitellä laitoksen toisella käsittelylinjastolla ennen sekoittamista kotitalousjätteisiin.



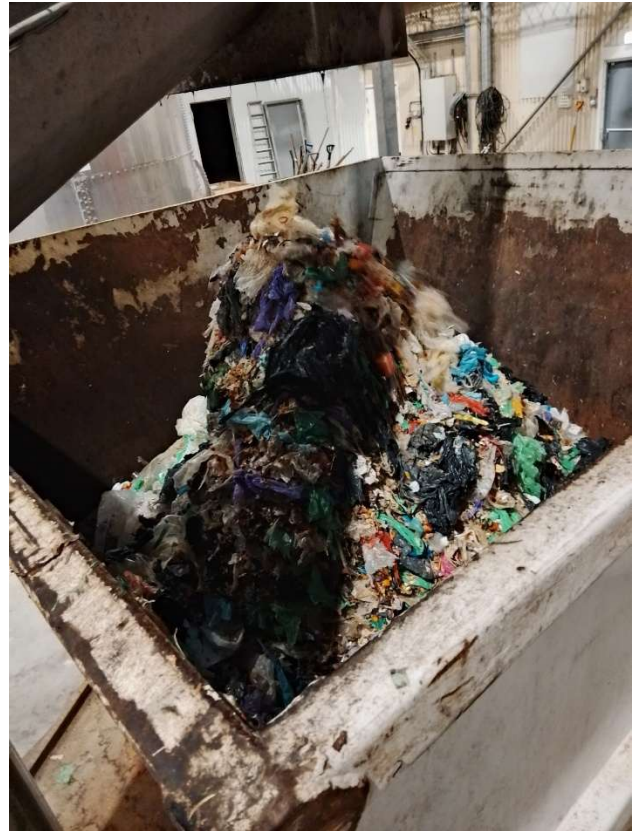
Kuva 11. ESEM:n biojätteiden vastaanotto.

Biojätteet siirretään ruuvikuljettimilla vasaramyllyä edeltävään välivarastoon, jonka jälkeen nämä käsitellään vasaramyllyllä (kuva 12) sekä niihin sekoitetaan vettä.



Kuva 12. Retecin toimittama Smicon vasaramylly.

Muodostuva rejektimateriaali on pääasiassa muovisilppua (kuva 13), mutta seassa on myös metalleja, lasia ja muita kotitalousjätteiden epäpuhtauksia.



Kuva 13. Poistetun rejektimateriaalin koostumus.