

LAPPEENRANNAN TEKNILLINEN YLIOPISTO
LUT School of Energy Systems
Ympäristötekniikan koulutusohjelma
Kandidaatintyö

**YHDYSKUNTAJÄTEVESILIETTEIDEN KÄSITTELYN
TILANNE EU-MAISSA**

**Municipal Sewage Sludge Treatment
Situation in EU Countries**

Työn tarkastaja: Professori, TkT Mika Horttanainen
Työn ohjaaja: TkT Jouni Havukainen

Lappeenrannassa 26.5.2015
Sini Hakala

SISÄLLYSLUETTELO

LYHENNELUETTELO	3
1 JOHDANTO.....	4
2 YHDYSKUNTAJÄTEVESILIETE	5
2.1 Lietteen synty.....	5
2.2 Lietteen ominaisuudet.....	6
2.3 Ravinteet, metallit ja haitta-aineet	7
2.4 Lietemäärät EU-maissa	9
3 EUROOPAN LAINSÄÄDÄNTÖ JA OHJEISTUKSET.....	11
3.1 Euroopan lainsäädäntö	11
3.1.1 Raja-arvot.....	13
3.2 Standardit	15
3.2.1 Lietteen käsittely ja ominaisuuksien määrittäminen -standardi	16
3.2.2 Lietteiden uudelleenkäyttö, kierrätys, käsittely ja luokittelu -standardi	16
3.3 Paras käytettävissä oleva tekniikka BAT	17
4 YHDYSKUNTAJÄTEVESILIETTEIDEN KÄSITTELYMENETELMÄT	18
4.1 Stabilointi.....	20
4.1.1 Anaerobinen mädätys.....	20
4.1.2 Kompostointi.....	22
4.1.3 Kalkkistabilointi.....	24
4.1.4 Märkähapetus	24
4.1.5 Terminen hydrolyysi.....	25
4.2 Vedenerotus	25
4.2.1 Lietelavat.....	25
4.2.2 Ruuvipuristin.....	26
4.2.3 Suotonauhapuristin	27
4.2.4 Linko	28
4.3 Kuivatus	28
4.3.1 Terminen kuivaus.....	29
4.3.2 Aurinkokuivaus.....	30
4.4 Muuntaminen	31
4.4.1 Poltto	31
4.4.2 Yhteispoltto.....	33

4.4.3	Pyrolyysi	34
4.4.4	Kaasutus	34
4.5	Loppukäyttö ja –sijoitus	35
4.5.1	Viherrakentaminen	35
4.5.2	Kaatopaikkasijoitus	36
4.5.3	Maatalouskäyttö	36
4.6	Jätevesilietteen käsittelyn toteutus	37
5	MENETELMIEN KÄYTTÖ EU-ALUEELLA	37
6	JOHTOPÄÄTÖKSET	41
7	YHTEENVETO	42
	LÄHTEET	44

LIITTEET

Liite 1. Väestöosuus jätevedenpuhdistamoiden piirissä, tuotettu yhdyskuntajätevesiliete EU-jäsenmaissa vuonna 2010 tai 2011* sekä tuotettu jätevesiliete asukasta kohden

Liite 2. Euroopan unionin alueella käytettyjä jätevesilietteen käsittelymenetelmiä

Liite 3. Yhdyskuntajätevesilietteen käsittely- ja loppusijoitusmenetelmien laajuus

LYHENNELUETTELO

As	Arseeni
Cd	Kadmium
Co	Koboltti
Cr	Kromi
Cu	Kupari
Hg	Elohopea
Mo	Molybdeeni
Ni	Nikkeli
Pd	Lyijy
Se	Seleeni
Ti	Tina
Zn	Sinkki
DS	Kuiva-aine
CaO	Poltettu kalkki
Ca(OH) ₂	Sammutettu kalkki
CH ₄	Metaani
CO ₂	Hiilidioksidi
EU	Euroopan unioni
EU13	Uudet EU-maat: Bulgaria, Kroatia, Kypros, Latvia, Liettua, Malta, Puola, Romania, Slovakia, Slovenia, Tšekki, Unkari ja Viro
EU15	Vanhat EU-maat: Alankomaat, Belgia, Britannia, Espanja, Irlanti, Italia, Itävalta, Kreikka, Luxembourg, Portugali, Ranska, Ruotsi, Saksa, Suomi ja Tanska
EU28	Kaikki EU-maat
NO _x	Typpioksidi ja typpimoksidi
pH	(pH = potential Hydrogen) pH-luku mittaa aktiivisten vetyionien määrää liuoksessa

1 JOHDANTO

Euroopan unionin alueella yhdyskuntajätevesilietteen määrä on kasvussa. Tällä hetkellä yhdyskuntajätevesilietettä tuotetaan noin 17 kg kuiva-ainetta vuosittain EU:n asukasta kohden. Arvion mukaan vuonna 2020 Euroopan unionin asukas tuottaa keskimäärin 25 kg kuivaa yhdyskuntajätevesilietettä (Milieu et al. 2010b, 8). Tuotettu yhdyskuntajätevesiliete määrä vaihtelee huomattavasti EU-alueella riippuen raportoinnin luotettavuudesta kussakin jäsenmaassa.

Euroopan unionissa on säädetty direktiivejä sekä annettu ohjeistuksia, joilla ohjataan jäsenmaita parempaan jätevesilietteen käsittelyyn. Liatedirektiivi 86/278/EEC on pääosassa yhdyskuntajätevesilietettä koskevista direktiiveistä, vaikka se onkin suunnattu enemmän maatalouden lietteille. Direktiivissä asetetaan rajoituksia raskasmetalleille, jolla pyritään estämään niiden kulkeutuminen maaperään. Merkittävä direktiivi jätevesilietteiden käsittelyn kannalta on myös kaatopaikkadirektiivi 99/31/EC, jossa rajoitetaan biohajoavien jätteiden sijoittamista kaatopaikoille. EU:n lainsäädäntö ja ohjeistukset säätelevät lietteen päästöjä veteen, maahan ja ilmaan. EU:ssa on suunnitteilla liatedirektiivin uusiminen, mutta aikataulusta ei vielä ole varmaa tietoa (Rantanen et al. 2008, 10). Tämä on seurausta 13 uuden jäsenmaan liittymisestä Euroopan unioniin sekä siitä, että EU-alueen jätevesilietteen käsittelymenetelmiä halutaan yhtenäistää ja parantaa. EU:n direktiivien ja ohjeistuksien lisäksi jäsenmailla on omat lait ja raja-arvot jätevesilietteilte. Useissa jäsenmaissa raja-arvot ovat tiukempia kuin EU:n vaatimat raja-arvot. (Milieu et al. 2010b, 1.)

Yhdyskuntajätevesilietteen käsittelymenetelmät ovat riippuvaisia alkuperäisen jäteveden päästökertymistä. Jätevesilietteiden kierrätys on kannattavaa, koska siihen on liennut paljon hyödyllisiä yhdisteitä. Jotkin näistä yhdisteistä ovat hyödyllisiä jätevesilietteen kierrätyksessä, kuten typpi, fosfori, kalium ja kalsium, mutta osa yhdisteistä on puolestaan myrkyllisiä haitta-aineita, kuten raskasmetalleja ja taudinaiheuttajia. (European Communities 2001, 19.)

Yhdyskuntajätevesien käsittely ja hävittäminen on kallista sekä ympäristölle haitallista. Uusissa käsittelymenetelmissä keskitytään jätevesilietteen kierrätykseen sekä hyötykäyttöön. Mädätys ja kompostointi ovat yleisimmät menetelmät jätevesilietteiden käsittelyssä

EU-maissa (Kelessidis ja Stasinakis 2011, 1188). Jätevesilietteen poltto on EU15-maissa suosittu loppukäsittelymenetelmä. Jätevesilietteen käyttö maataloudessa on suosittua koko EU-alueella. (Kelessidis ja Stasinakis 2011, 1194.) Jätevesilietteen käyttö energiantuotannossa kasvattaa suosiotaan EU-alueella, erityisesti jätevesilietteen yhteispoltolla esimerkiksi muun yhdyskuntajätteen kanssa.

EU-alueella on paljon erilaisia ratkaisuja yhdyskuntajätevesilietteiden käsittelylle, uusia käsittelymenetelmiä on tulossa sekä vanhoja menetelmiä muokataan paremmiksi, jolloin saadaan hyödynnettyä EU-jäsenmaissa syntyvä yhdyskuntajätevesiliete mahdollisimman tehokkaasti.

Kandidaatintyön tavoitteena on tehdä selvitys jätevesilietteen käsittelyyn käytetyistä menetelmistä EU-alueella. Tämän lisäksi selvitetään, millaisia uusia ratkaisuja yhdyskuntajätevesilietteilte on mahdollisesti tulossa. Työssä keskitytään jätevesilietteen yleisimpiin käsittelymenetelmiin stabiloinnissa, vedenerotuksessa, muuntamisessa sekä loppusijoittamisessa. Käsittelymenetelmistä selvitetään, kuinka laajasti ne ovat käytössä sekä millaisia rajoitavia tekijöitä jätevesilietteellä on käsittelymenetelmien käyttöä ajatellen.

2 YHDYSKUNTAJÄTEVESILIETE

Yhdyskuntajätevesiliete koostuu vedestä ja kiinteästä orgaanisesta aineksesta, joka sisältää ravinteita, metalleja ja haitta-aineita. Käsittelemätöntä jätevesilietettä ei voi hyödyntää tai loppusijoittaa.

2.1 Lietteen synty

Yhdyskuntajätevesilietettä syntyy jäteveden puhdistuksen sivutuotteena jätevedenpuhdistamolla. Yhdyskuntajätevesilietteestä voidaan käyttää myös nimityksiä jätevesiliete tai puhdistamoliete. Jätevesilietteet voidaan jakaa kolmeen kategoriaan: yhdyskuntajätevesilietteesen, teollisuuden jätevesilietteesiin ja maatalouslieteesen. Yhdyskuntajätevesiliete sisältää yhdyskuntajäteveden lietteen tai sekoituksen yhdyskunta- ja teollisuuden-

jätevesien lietteitä. Teollisuuden jätevesilietteet ovat erilaisten prosessien jätevesien lietteitä. (European Communities 2001, 19.)

Jätevesilietteen tyypillinen käsittelyprosessi koostuu useista prosesseista. Prosesseilla pyritään eliminoimaan bakteereita, viruksia, orgaanisia haitta-aineita ja hajuja. Kerätyn jäteveden käsittely tapahtuu keskitetysti jätevedenpuhdistamolla. Jätevedenpuhdistusprosessi voidaan jaotella pienempiin osaprosesseihin, jotka ovat esikäsittely, selkeytys, ilmastus, jälkiselkeytys ja jälkikäsittely. Esikäsittelyssä jätevedestä erotellaan suurimmat partikkelit. Tämän jälkeen jätevesi johdetaan esiselkeytysaltaisiin, jossa esimerkiksi gravitaatioon perustuvan laskeutuksen lopputuotteena syntyy raakalietettä. Ilmastusaltaassa tapahtuu biologinen prosessi, jossa aktiiviliete hajottaa jäteveden orgaanisen aineksen hiilidioksidiksi, vedeksi ja solumassaksi. Jälkiselkeytyksessä aktiiviliete erotetaan laskeuttamalla ja palautetaan ilmastusaltaaseen. Tämän jälkeen jätevesiliete voidaan loppukäsittää, esimerkiksi kompostoimalla, kuivaamalla tai polttamalla. Loppukäsittelytuotteet loppusijoitetaan esimerkiksi kaatopaikalle, maantalouskäyttöön tai viherrakentamiseen. (Fyttilä ja Zabaniotou 2006, 122.)

2.2 Lietteen ominaisuudet

Jätevesilietteen ominaisuudet ovat riippuvaisia alkukäsittelyprosessista. Kiintoaineen määrä riippuu aina laitoksesta ja käsittelytavasta. Myös kirjallisuudessa lietteen kemiallinen koostumus vaihtelee eri lähteiden kesken paljon. Jotta jätevesilietettä voidaan käsitellä ja hävittää tehokkaasti, on tiedettävä käsiteltävän jätevesilietteen ominaisuudet.

Monet kemialliset komponentit, kuten ravinteet, ovat tärkeitä, kun mietitään lopullista lietteen hävittämisprosessia. Esimerkiksi pH tasot, alkaalit ja orgaaniset hapot ovat tärkeitä ominaisuuksia lietteen kompostointiprosessissa. Raskasmetallien, tuholaismyrkkujen ja hiilivetyjen pitoisuus pitää huomioida, kun jätevesilietettä poltetaan tai sitä sijoitetaan kaatopaikalle. Taulukossa 1 on esitetty käsittelemättömän ja käsitellyn primäärilietteen tyypillinen kemiallinen koostumus. (Fyttilä ja Zabaniotou 2006, 119.)

Taulukko 1. Käsittelemättömän ja käsitellyn primäärilietteen tyypilliset aineominaisuudet (Fytili ja Zabaniotou 2006, 119, 126).

	Käsittelemättömän primääri- liete	Käsitelty primääri- liete
Kuiva-aineen määrä (DS), [%]	5	10
Haihtuvat aines, [% DS]	65	40
Proteiinit, [% DS]	25	18
Typpi, [% DS]	2,5	3
Fosfori, [% DS]	1,6	2,5
Kaliumkarbonaatti, [% DS]	0,4	1
Selluloosa, [% DS]	10	10
Rautayhdisteet (ei sulfidi), [% DS]	2,5	4
Orgaaniset hapot, [mg/l]	500	-
Alkaalisuus, [mg/l]	600	30000
Lämpöarvo, [MJ/kg DS]	25,5	11
pH	6	7

2.3 Ravinteet, metallit ja haitta-aineet

Jäteveden alkuperällä on suuri vaikutus jätevesilietteen laatuun. Suuri osa kiintoaineeseen sitoutuneista ravinteista, orgaanisista ja epäorgaanisista haitta-aineista sekä haitallisista metalleista kulkeutuu prosessissa jätevesilietteeseen, jota syntyy jätevedenpuhdistamolaitoksilta. Määrä ja koostumus riippuvat kuitenkin huomattavasti lietteen alkuperästä ja käytetyistä käsittelymenetelmistä. (ProAgria Keskusten liitto 2013, 9.)

Metallit alkuaineina eivät häviä luonnon kiertokulusta, ne voivat muuttaa muotoaan. Jotkin metallit ovat tärkeitä kasveille ja eläimille, kuten Cu ja Zn, mutta useimmat metallit ovat myrkyllisiä jopa hyvin pieninä pitoisuuksina. Myrkyllisiä metalleja ovat esimerkiksi Hg, Cd ja Pd. (ProAgria Keskusten liitto 2013, 10.) Raskasmetallit kuten Zn, Cu, Ni, Cd, Pd, Hg ja Cr ovat keskeisiä rajoittavia elementtejä, kun harkitaan lietteen jatkokäyttöä maataloudessa. Näiden mahdollinen kerääntyminen ihmiskehoon ja kulkeutuminen ravintoketjun läpi aiheuttavat riskejä sekä ihmisen terveydelle, että ympäristölle. Taulukossa 2 on esitetty tyypillisiä metallipitoisuuksia jätevesilietteessä. Cd, Co, Mo, Ni ja Ti ovat turvallisia alhaisten pitoisuuksien vuoksi, verrattuna Cr, Cu ja Pd pitoisuuksiin, jotka ovat huomattavasti korkeampia. Cr, Cu ja Pd luonnollinen myrkyllisyys vaatii lisätutkimuksia, joilla voi-

daan ennustaa mahdolliset haittavaikutukset biologisissa jätevesilietteen käsittelyprosesseissa, uudelleen käytössä tai lopullisessa hävittämisessä. (Fyttili ja Zabaniotou 2006, 120.)

Taulukko 2. Tyypillisiä metallipitoisuuksia jätevesilietteessä (Fyttili ja Zabaniotou 2006, 120).

	[mg/kg DS]
Arseeni	10
Elohopea	6
Kadmium	10
Koboltti	30
Kromi	500
Kupari	800
Lyijy	500
Magnesium	260
Molybdeeni	4
Nikkeli	80
Rauta	17000
Seleeni	5
Sinkki	1700
Tina	14

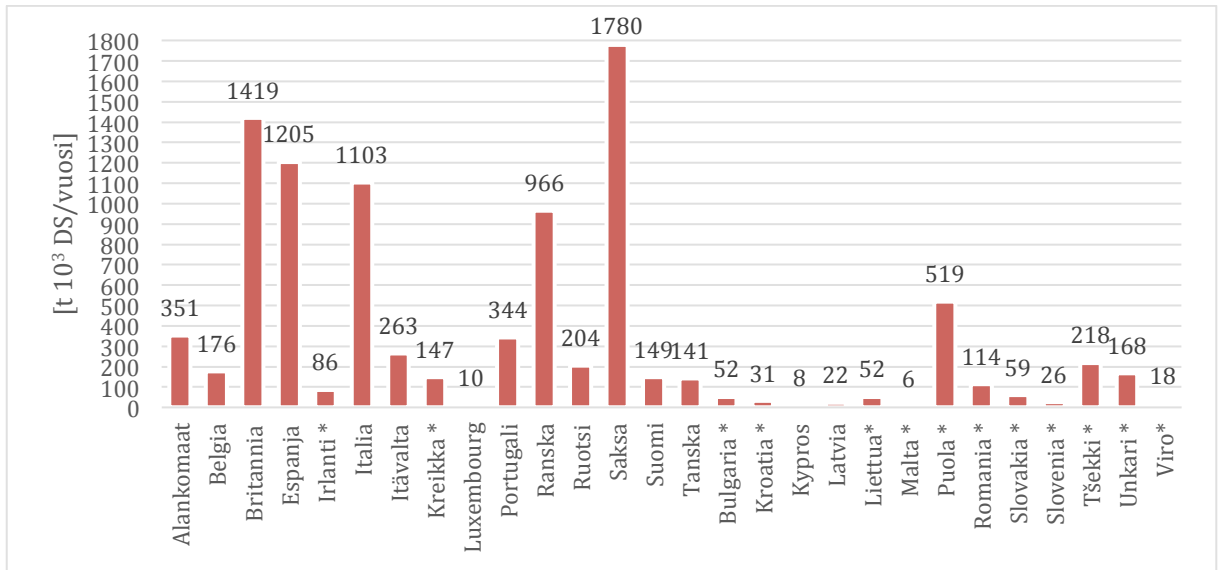
Orgaaniset haitta-aineet sisältävät useita erilaisia yhdisteitä, joiden ominaisuudet ja käyttäytyminen poikkeavat toisistaan. Osa yhdisteistä hajoaa helposti, mutta toiset ovat erittäin pysyviä ja voivat kertyä ympäristöön sekä elintarvikkeisiin. Eri yhdisteillä on erilaisia haittavaikutuksia sekä yhteisvaikutuksia. Orgaanisiin haitta-aineisiin kuuluu aineita, joita käytetään esimerkiksi teollisuus- ja kuluttajakemikaaleina. Näihin kuuluu muoveissa ja tekstiileissä käytetyt bromatut palonestoaineet, vettä hylkivät fluoratut yhdisteet, elektroniikkateollisuudessa käytetyt PCB-yhdisteet sekä erilaiset lääkeaineet. On myös mahdollista, että puhdistus- ja pesuaineet sisältävät yhdisteitä, jotka voivat kulkeutua jätevesilietteiin. Useiden edellä mainittujen aineiden käyttö on jo kielletty, mutta niitä on vanhojen päästöjen vuoksi edelleen ympäristössä. Orgaanisten haitta-aineiden vaikutuksia ympäristöön ja kulkeutumista ravintoketjuun kasvien kautta ei tunneta täysin. Aineet voivat hajota luonnossa useiksi yhdisteiksi, joiden vaikutuksista ei ole tietoa. Useissa maissa on arvioitu, että haitalliset aineet saattavat aiheuttaa riskejä maatalouskäytössä. Arviot perustuvat olemassa olevaan tietoon, mutta tietojen pohjalta ei ole havaittu merkittäviä ongelmia lietteen maatalouskäytössä. (ProAgria Keskusten liitto 2013, 11–12.)

2.4 Lietemäärät EU-maissa

Tuotetut lietemäärät eri EU-maissa ovat suoraan yhteydessä maan väestön kokoon sekä siihen, kuinka suuri osuus väestöstä on liitettyä maan jätevedenpuhdistusjärjestelmään. Lietemäärän vaikuttaa jätevesien käsittely sekä kuinka monta ja kuinka isoja teollisuuslaitoksia on liitettyä jätevedenpuhdistusjärjestelmään. (Milieu et al. 2010b, 2.)

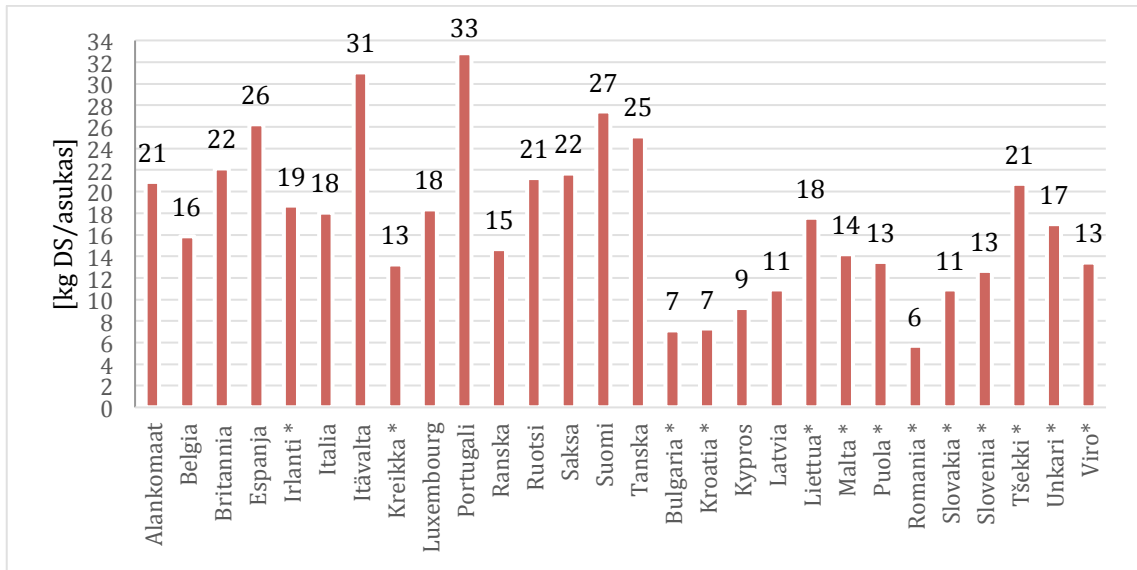
Liitteen 1 taulukossa on esitetty EU-jäsenmaiden tuottama jätevesilietteen kuiva-aineen massa vuonna 2010 tai 2011. Taulukossa on esitetty väestöosuus, jokaisesta jäsenmaasta, joka on liitettyä maan jätevedenpuhdistamoiden piiriin. EU15-maissa osuus on huomattavasti korkeampi kuin EU13-maissa. Koko Euroopan unionin alueella keskimääräinen jätevedenpuhdistamoiden kattama väestöosuus on 71 %. Millään jäsenmaista ei ole täysin kattavaa jätevedenpuhdistamojärjestelmää, mutta muutamissa EU15-maissa kuten Alankomaissa, Espanjassa, Itävallassa ja Saksassa saavutetaan yli 90 % jätevedenpuhdistamoiden kattama alue. EU13-maissa keskimääräinen väestöosuus, joka on liitettyä jätevedenpuhdistamoiden piiriin on 56 %. Huonoin osuus on Kyproksella, jossa prosenttiosuus on vain 30 %. Britannialta, Italialta, Tanskalta ja Kroatialta ei ole saatu tietoja väestöosuudesta, joka on liitettyä jätevedenpuhdistamoiden piiriin.

Liitteen 1 taulukon perusteella vuonna 2010 ja 2011 lukujen perusteella EU:ssa tuotettiin yhteensä 9,6 miljoonaa tonnia kuivaa yhdyskuntajätevesilietettä. Kuvaan 1 on koottu jokaisen jäsenmaan tuottama kuiva yhdyskuntajätevesilietemäärä. Kuvasta huomataan, että suurimpia jätevesilietteen tuottajia oli Saksa, Italia, Espanja ja Britannia. Yhteensä nämä maat tuottivat 5,5 miljoonaa tonnia kuivaa yhdyskuntajätevesilietettä. Yksi selitys tälle on maiden suuri väkiluku sekä kattava jätevedenpuhdistusjärjestelmä.



Kuva 1. Tuotettu yhdyskuntajätevesiliete Euroopan unionin jäsenmaissa vuosina 2010 tai 2011* (Eurostat 2014a, Eurostat 2014b).

Tuotettu kuiva yhdyskuntajätevesiliete asukasta kohden vaihtelee huomattavasti eri jäsenmaiden kesken, kuten liitteen 1 taulukosta huomataan. Kuvaan 2 on koottu jokaisen jäsenmaan tuotettu kuiva yhdyskuntajätevesiliete asukasta kohden. Koko EU-alueen keskiarvo tuotetulle kuivalle yhdyskuntajätevesilietteelle asukasta kohden on keskimäärin 17 kg kuiva-ainetta asukasta kohden, vaikka sama luku EU15-maissa on keskimäärin 22 kg kuiva-ainetta asukasta kohden. Portugalissa ja Itävallassa tuotettu yhdyskuntajätevesiliete asukasta kohden on korkein EU-alueella. Koko EU-alueen keskiarvoa laskee EU13-maiden suhteellisen pienet arvot. Romanian tuotettu yhdyskuntajätevesiliete on vain 6 kg kuiva-ainetta asukasta kohden, luku on varsin pieni. Tämä johtuu siitä, ettei maalla ole kovin tehokasta jätevesijärjestelmää, ja vain 45 % maan asukkaista on jätevedenpuhdistuslaitosten piirissä, jolloin kaikkia maan jätevesiä ei johdeta jätevedenpuhdistamoille käsiteltäväksi. Erityisesti EU13-maissa tuotettu yhdyskuntajätevesiliete asukasta kohden vaikuttaa joidenkin maiden osalta varsin epärealistiselta.



Kuva 2. EU-jäsenmaissa tuotettu yhdyskuntajätevesiliete asukasta kohde 2010 tai 2011* (Eurostat 2014a, Eurostat 2014b).

Raportoituihin liitemääriin liittyy epävarmuutta sekä tietoaukkoja. Kaikissa EU-jäsenmaissa tuotettu jätevesiliete ei ole suhteessa maan väestön kokoon tai pinta-alaan. Erityisesti EU13-maiden arvoihin tulee suhtautua varauksella (Kelessidis ja Stasinakis 2011, 1192). Myöskään kaikista jäsenmaista ei ole saatu uusimpia jätevesilietemääriä ja pidemmällä aikavälillä tuotettuja jätevesilietteitä tutkittaessa arvot saattavat heitellä, mutta kaikilla jäsenmailla tuotettu jätevesiliete on keskimäärin kasvussa Eurostatin jätevesilieteen tuotanto -taulukon mukaan.

3 EUROOPAN LAINSÄÄDÄNTÖ JA OHJEISTUKSET

3.1 Euroopan lainsäädäntö

Euroopan unionin liettä koskevat direktiivit on sisällytetty jokaisen jäsenmaan lainsäädäntöön. Useimmista maista säädökset ovat tiukempia kuin direktiivit. Seuraavat direktiivit koskevat jätevesilietteen loppukäsittelyä:

- 86/278/EEC Lietedirektiivi (maatalouskäyttö)
- 91/271/EEC Jätevesidirektiivi
- 91/676/EEC Nitraattidirektiivi

- 99/31/EC Kaatopaikkadirektiivi
- 2000/76/EC Jätteenpolttodirektiivi.

EU:n maaperänsuojelustartegia koskee myös maaperään sijoitettavia jätevesilietteitä ja -lietetuotteita. (Rantanen et al. 2008, 10.)

Yhdyskuntajätevesilietteen kierrätyksestä maatalouteen on säädetty Euroopan unionin tasolla lietedirektiivissä 86/278/EEC vuonna 1986. Direktiivi tähtää vähentämään taudinaiheuttajien ja mahdollisten haitta-aineiden kerääntymistä maaperään. Direktiivissä on asetettu maksimi raja-arvot mahdollisille myrkyllisille elementeille jätevesilietteessä tai jätevesilietteellä operoidulle maa-ainekselle. Jätevesiliete pitää käsitellä ennen käyttöä, direktiivi ei kuitenkaan tarkenna vaadittavia käsittelyprosesseja. Direktiivissä käsitellyllä jätevesilietteellä tarkoitetaan lietettä, joka on käsitelty biologisesti, kemiallisesti, termisesti, varastoitu pitkäaikaisesti tai käsitelty muulla sopivalla prosessilla siten, että jätevesilietteen happamoituminen ja terveysriskit pienenevät huomattavasti prosessin ansiosta. (Milieu et al. 2010a, 8.) Suunnitelmissa on kuitenkin direktiivin uusiminen, mutta uusimisen aikataulusta ei ole tietoa. Uusimisen yhteydessä lietedirektiiviin tulee raskasmetallirajojen lisäksi todennäköisesti myös haitta-aineille ja taudinaiheuttajille raja-arvoja. (Rantanen et al. 2008, 10.) Monissa EU-maissa metalleille on asetettu kansalliset raja-arvot ovat lietedirektiiviä tiukempia. Esimerkiksi Suomessa maataloudessa käytettäville lietevalmisteille sovelletaan lannoitelainsäädännön metalleille asetettuja raja-arvoja, nämä ovat tiukempia kuin lietedirektiivin raja-arvot. (Rantanen et al. 2008, 25.)

Direktiivi 91/271/EEC liittyy yhdyskuntajätevesien käsittelyyn. Direktiivi koskee yhdyskuntajätevesien keräilyä, käsittelyä ja kuormitusta sekä tiettyjen teollisuudenalojen jätevesien käsittelyä ja kuormitusta. Jätevesidirektiivi asettaa tavoitteita jätevesien jälkikäsittelylle. Jätevesidirektiivi rohkaisee kierrättämään jätevesilietettä, jota syntyy jätevesien käsittelystä. Direktiivissä kehoitetaan kierrättämään jätevesilietettä aina kun se on mahdollista. (Milieu et al. 2010a, 8.)

Nitraattidirektiivin 91/676/EEC tavoitteena on vähentää veden saastumista, joka johtuu maatalouden nitraateista, eli typestä ja fosforista, sekä estää fosforista ja typestä aiheutuvaa veden saastumista. Tämän saavuttamiseksi direktiivi vaatii jäsenmaita merkitsemään haavoittuvaisia alueita, jotka edistävät veden saastumista nitraateista. Näitä alueita varten jä-

senmaiden on laadittava hyvän maatalouden käytännön ohjeet, joita maaviljelijät noudattavat vapaaehtoisesti. Direktiivissä vaaditaan tarvittavan koulutuksen ja tiedotuksen toteuttamista hyvän maatalouden käytäntöjen toteuttamiseksi. Nitraattidirektiiviä tulee soveltaa myös jätevesilietteen levitykseen, koska levitettävä jätevesiliete on verrannollinen lannoitteisiin. (Milieu et al. 2010a, 8–9.)

Kaatopaikkadirektiivi 99/31/EC tähtää kasvattamaan jätetuotteiden uudelleenkäyttöä ja vähentämään biohajoavien jätteiden sijoittamista kaatopaikoille. Direktiivi vaatii EU-jäsenmaita vähentämään biohajoavien jätteiden määrään 35 % vuoden 1995 tasosta vuoteen 2016 mennessä. Tästä johtuen kaatopaikkasijoittaminen ei ole kannattava loppusijoitusmenetelmä jätevesilietteen osalta pitkällä aikavälillä. (Milieu et al. 2010a, 9.)

Jätteenpolttodirektiivi 2000/76/EC mukaan kuivaa jätevesiliettä voidaan polttaa energian tuottamiseen. Direktiivi asettaa standardeja ja tekniikkavaatimuksia, joita tulee noudattaa, kun kuivaa jätevesilietettä poltetaan. (Milieu et al. 2010a, 9.)

3.1.1 Raja-arvot

Kaikkien EU-jäsenmaiden on pitänyt sisällyttää lietedirektiivin 86/278/EEC asettamat raja-arvot omaan lainsäädäntöön. Taulukossa 3 on esitetty suurin sallittu Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pd ja Zn pitoisuus jätevesilietteellä käsitellyllä maaperällä. (Mininni et al. 2014, 2.) Taulukosta puuttuu Tšekin asettamat raja-arvot jätevesilietteellä käsitellylle maaperälle.

Taulukko 3. Suurin sallittu raskasmetallien pitoisuus jätevesilietteellä käsitellyllä maaperälle EU-maissa (Milieu et al. 2010a, 14–15).

	[mg/kg DS]						
	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn
Direktiivi 86/278/EEC	1-3	100-150	50-140	1-1,5	30-75	50-300	150-300
Alankomaat	0,8	10	36	0,3	30	35	140
Belgia (Flanderi)	0,9	46	49	1,3	18	56	170
Belgia (Vallonia)	2	100	50	1	50	100	200
Britannia	3	400	135	1	75	300	2
Bulgaria	2	200	100	1	60	80	250
Espanja	1	100	50	1	30	50	150
Irlanti	1	-	50	1	30	50	150
Italia	1,5	-	100	1	75	100	300
Itävalta, alempi	1,5	100	60	1	50	100	200
Itävalta, ylempi	1	100	100	1	60	100	300
Kreikka	3	-	140	1,5	75	300	300
Kypros	1-3	100-150	50-140	1-1,5	30-75	50-300	150-300
Latvia	0,5-0,9	40-90	15-70	0,1-0,5	15-70	20-40	50-100
Liettua	1,5	80	80	1	60	80	260
Luxembourg	1-3	100-200	50-140	1-1,5	30-75	50-300	150-300
Malta	1	60	50	0,5	50	70	150
Portugali	3	200	100	1,5	75	300	300
Puola	2	75	50	1,2	35	60	120
Ranska	2	150	100	1	50	100	300
Romania	3	100	100	1	50	50	300
Ruotsi	0,4	60	40	0,3	30	40	100
Saksa	1,5	100	60	1	50	100	200
Slovakia	1	60	50	0,5	50	70	150
Slovenia	1	100	60	0,8	50	85	200
Suomi	0,5	200	100	0,2	60	60	150
Tanska	0,5	30	40	0,5	15	40	100
Unkari	1	75	75	0,5	40	100	200
Viro	3	100	50	1,5	50	100	300

Taulukosta 3 huomataan, että huomattavalla osalla jäsenmaita on tiukemmat raskasmetallien pitoisuus raja-arvot kuin EU:n asettamat pitoisuus raja-arvot. Kyproksella ja Luxembourgilla pitoisuus raja-arvot ovat samat kuin direktiivissä asetetut pitoisuus raja-arvot. Lietetdirektiivissä ei kuitenkaan ole määritelty As, Mo, Co ja Se raja-arvoja. Tämän vuok-sia kaikissa EU-jäsenmaissakaan ei näiden metallien pitoisuuksiin ole kiinnitetty huomiota, kuitenkin Unkarissa, Belgian Flanderissa ja Itävallassa on asetettu raja-arvot As, Mo ja Co. (Milieu et al. 2010a, 14–15.)

Joissakin maissa jätevesilietteen käyttö maataloudessa on rajoitettu kohtuuttoman tiukoilla raja-arvoilla raskasmetallien osalta, kuten Alankomaissa ja Belgiassa Flanderin alueella. Jätevesilietteellä käsitellyn maaperän tiukat raja-arvot vaikuttavat merkittävästi maan jätevesilietteen käsittelymenetelmien valintaan. Tiukat raja-arvot ovat seurausta huolesta mahdollisista terveysvaikutuksista ihmisen terveyteen ja ympäristöön. (Milieu et al. 2010a, 14.)

Taulukossa 4 on esitetty raja-arvoja joillekin orgaanisille haitta-aineille. Euroopan komission on uusimassa lietedirektiiviä ja direktiivin luonnokseen on ehdotettu raja-arvoja muutamille orgaanisille haitta-aineille. Kaikki jäsenmaat eivät vielä ole asettaneet omia raja-arvoja orgaanisille haitta-aineille. (European Commission 2001, 12–13.) Muutamilla Euroopan unionin jäsenmailla on jo asetettu raja-arvoja orgaanille haitta-aineille, kuten Itävalta, Tanska, Ranska, Saksa, Ruotsi ja Tšekki (Mininni et al. 2014, 5).

Taulukko 4. Ehdotettuja raja-arvoja joillekin orgaanisille haitta-aineille (European Commission 2001, 13).

Orgaaninen haitta-aine	
AOX, [mg/kg DS]	500
LAS, [mg/kg DS]	2600
DEHP, [mg/kg DS]	100
NPE, [mg/kg DS]	50
PAH, [mg/kg DS]	6
PCB, [mg/kg DS]	0,8
PCDD/F, [ng TEq/kg DS]	100

Taulukossa 4 AOX on halogenoitujen yhdisteiden summa, NPE sisältää nonyylifenolin ja yhden ja kahden etoksylaattiryhmän nonyylifenolietoksylaatit, PAH on yhdeksän polyaromaattisen hiilivedyn pitoisuuden summa, PCB on kuuden polyaromaattisen hiilivedyn pitoisuuden summa ja PCDD/F on seitsemän polyklooratun bifenyylin pitoisuuden summa. (European Commission 2001, 13.)

3.2 Standardit

Lietteen käsittelyvaatimukseen ei liity ainoastaan EU:n lainsäädäntöä. EU:ssa on kaksi organisaation, jotka kehittelevät standardeja jätevesilietteen karakterisointiin, hyödyntämiseen sekä loppusijoitukseen. Standardien tavoitteena on saada yhtenäiset toimintatavat

lietteen käsittelylle. Standardit ovat jonkin organisaation suositus siitä, miten jokin asia tulisi tehdä. Standardit eivät ole lakeja. Jätevesilietteeseen liittyvät standardit koostavat yhteisen menettelytavan jätevesilietteen käsittelyyn. Näiden standardoitujen menetelmien avulla on mahdollisuus saada yhtenäistä tietoa kaikilta EU-jäsenmailta.

3.2.1 Lietteiden käsittely ja ominaisuuksien määrittely -standardi

CEN (Euroopan Committee of Standardization) on perustanut teknisen komitean ”CEN/TC 308 Characterization and management of sludge”, jonka tarkoituksena on standardoida menetelmät erilaisten jätevesilietteiden sekä jätevesilietetuotteiden karakterisointiin ja luokitteluun. Standardin pääpaino jätevedenpuhdistamoilta syntyvissä jätevesilietteissä sekä jätevesilietetuotteissa. (CEN European Committee for Standardization.)

CEN/TC 308 Characterization and management of sludge -tekninen komitea on julkaissut jo useita standardeja. Tekninen komitea julkaisee standardeja kolmelta pääalueelta: lietteen karakterisointi menetelmät, ohjeita hyvään lietteen tuottamiseen, käyttöön ja hävittämiseen sekä mittausmenetelmiä, joilla parannetaan ja laajennetaan lietteen käyttö- ja hävittämismahdollisuuksia. Tähän mennessä komitean julkaistuihin standardeihin kuuluu mm. standardeja hyvistä menetelmistä lietteen käyttöön maataloudessa, maan parannuksessa, kaatopaikkasijoituksessa sekä lietteen kuivatuksessa. Karakterisointimenetelmistä on julkaistu standardi lietteen fysikaalisten ja kemiallisten ominaisuuksien arvioinnista. (CEN European Committee for Standardization.)

3.2.2 Lietteiden uudelleenkäyttö, kierrätys, käsittely ja luokittelu -standardi

Kansainvälinen standardointiorganisaatio ISO on perustanut teknisen komitean ”ISO/TC 275 Sludge recovery, recycling, treatment and disposal”, jonka tarkoituksena on standardoida menetelmät jätevesilietteen karakterisointiin, kategorisointiin, valmisteluun, kierrätykseen ja lietteen käsittelyyn yhdyskuntajätevesien keräysjärjestelmissä. Komitean tarkoituksena on myös standardoida mittausmenetelmät, jotka käsittävät muun muassa fysikaalisten ja kemiallisten parametrien analysoinnin sekä mittausmenetelmät, lietteen käsittely-

menetelmän valintaan ja käyttöön vaikuttavat mittaukset. Komitea on aloittanut työnsä vuonna 2013, mutta ei ole vielä julkaissut standardeja. (ISO)

3.3 Paras käytettävissä oleva tekniikka BAT

Paras käyttökelpoinen tekniikka BAT on Euroopan komission organisoima menetelmäketti, jolla pyritään vähentämään teollisuuden ja maatalouden ympäristöhaittoja käyttämällä uutta ja entistä kehittyneempää tekniikkaa. Euroopan komissio organisoii teollisuuden ja viranomaisten välillä tietojen vaihtoa parhaasta käyttökelpoisesta tekniikasta. Saatujen tietojen pohjalta julkaistaan BAT-vertailuasiakirjoja sekä jäsenmaita sitovia BAT-päätelmiä. (Ympäristö.fi 2015.)

Yhdyskuntajätevesilietteiden käsittelystä on tehty BAT-asiakirja ”Technical Guide on the Treatment and Recycling Techniques for Sludge from municipal Wastewater Treatment with references to Best Available Techniques”. BAT-asiakirjassa käsitellään lietteen koko käsittelyprosessi ja määritellään parhaat mahdolliset tekniikat sen toteuttamiseen. Asiakirjassa annetaan ohjeita jätevesilietteen käsittelyyn ja kierrätykseen. BAT ottaa tekniikat huomioon monesta eri näkökulmasta ympäristön, energiatehokkuuden, kustannuksien sekä positiivisten ja negatiivisten vaikutuksien kautta. (Umweltbundesamt 2014, 4–5.)

BAT-asiakirjassa on käsitelty koko jätevesilietteen elinkaari jätevesilietteen stabiloinnista, vedenerotukseen, kuivatukseen, hyötykäyttöön muuntamiseen sekä lopputuotteisiin. Jätevesilietteen elinkaaren vaiheiden arvioinnissa BAT on kiinnittänyt huomiota eri toimenpiteisiin, jotka saattavat osaltaan edistää prosessin tehostamista parantamalla prosessin hyötysuhdetta ja/tai tehokkuutta jälkikäteen asennetuilla sovelluksilla. (Umweltbundesamt 2014, 5.)

4 YHDYSKUNTAJÄTEVESILIETTEIDEN KÄSITTELYMENETELMÄT

Jätevedenpuhdistamoprosessien jälkeen jätevesilietettä käsitellään kuvan 3 mukaisessa järjestyksessä. Jätevesilietteen käsittelyn tavoitteena on vähentää lietteen määrää ja tilavuutta poistamalla siitä vettä sekä samalla stabiloida jätevesiliete, jotta orgaanisen aineksen hajoamista ei enää tapahdu. Jätevesilietteen kuivatus on kannattavaa ennen, kun se voidaan hyödyntää energiantuotannossa. Kaikissa viidessä käsittelyprosessissa on useita eri vaihtoehtoja, millä tavalla se voidaan toteuttaa. Käytettävä käsittelymenetelmän valintaan vaikuttaa haluttu lopputulos sekä jätevesilietteen laatu. Jokaisessa käsittelymenetelmässä on vaihtoehtoja ja heikkouksia, joten mikään tietty käsittelymenetelmä ei ole ideaalinen menetelmä kaikkialla. (Umweltbundesamt 2014, 4–5.)



Kuva 3. Jätevesilietteen käsittelyjärjestys (Umweltbundesamt 2014, 4).

Euroopan unionin alueella on tällä hetkellä käytössä paljon erilaisia menetelmiä jätevesilietteiden käsittelyyn. Eroavaisuuksia jäsenmaiden välillä on huomattavissa, eikä kaikissa maissa käytetä samoja jätevesilietteiden käsittelymenetelmiä. Myös maiden sisällä on alueellisia eroja eri käsittelymenetelmien käytössä, kuten Belgiassa. (Kelessidis ja Stasinakis 2011, 1188.) Loppusijoitus kaatopaikalle on ollut merkittävässä roolissa monissa maissa jätevesilietteiden käsittelyssä, mutta se tulee vähentymään tulevina vuosina huomattavasti EU lainsäädännön vuoksi.

Väestön tiheys ja käytettävissä oleva maa-ala vaikuttavat jätevesilietteen käsittelymenetelmien valintaan. Suurin osa EU-jäsenmaista käyttää vain alle 5 % maapinta-alastaan jätevesilietteen käsittelyyn. Maa-alan käyttöön kuitenkin tarvitaan maanviljelijöiden sekä läheisten asukkaiden hyväksyntä. (Milieu et al. 2010b, 18.)

Tulevaisuudessa jätevesilietteen käsittelyssä tullaan kiinnittämään huomiota taudinaiheuttajien poistamiseen sekä siihen, että jätevesiliete olisi vähemmän käynyttä, jolloin erilaiset hajut kiinnittäisivät vähemmän asukkaiden huomiota. Prosesseja, joilla voidaan luotettavasti ja kustannustehokkaasti vähentää haitallisia taudinaiheuttajia, tullaan tulevaisuudessa käyttämään laajemmin. Jätevesilietteen määrää pyritään kokoajan vähentämään tehostamalla prosesseja. Tulevina vuosina myös yhteisprosessit saavuttavat suosiotaan. Tällaisia prosesseja on yhteiskompostointi yhdessä muun orgaanisen aineksen kanssa sekä yhteispoltto energiantuotannossa. (Milieu et al. 2010a, 40.)

Taulukossa 5 on esitetty nykyisiä, paranneltuja sekä tulevia menetelmiä jätevesilietteiden käsittelyssä EU-alueella. Nykyään laajasti on käytössä mädätys, erilaiset termiset käsitteilyt, kalkkistabilointi, kompostointi, kaatopaikkasijoitus sekä jätevesilietteen käyttö maataloudessa. EU-alueella käytössä olevia menetelmiä on paranneltu, jotta ne olisivat tehokkaampia ja jätevesiliete saataisiin hyödynnettyä tehokkaammin, kuten terminen hydrolyysi, yhteismädätys ja -kompostointi sekä märkähapetus. Tuleviin jätevesilietteen käsittelymenetelmiin kuuluu erilaiset pyrolyysit ja lietteen kaasuttaminen.

Taulukko 5. Nykyisiä, parannettuja sekä tulevia jätevesilietteen käsittely- ja loppusijoitusmenetelmiä (Milieu et al. 2010b, 31).

Nykyinen	Parannettuja uusia tai muunneltuja prosesseja, joita käytetään korvaamaan tai täydentämään olemassa olevia prosesseja	Tulevia
<ul style="list-style-type: none"> - Vedenerotusmenetelmät mm. linkous - Poltto - Kalkkistabilointi - Mädätys - Kompostointi - Kaatopaikkasijoitus - Maatalouskäyttö: peltolevitys ja lannoitekäyttö - Terminen kuivaus - Aurinkokuivaus 	<ul style="list-style-type: none"> - Terminen Hydrolyysi - Yhteismädätys ja yhteiskompostointi orgaanisen materiaalin kanssa - Yhteispoltto - Märkähapetus 	<ul style="list-style-type: none"> - Pyrolyysi - Kaasutus <p>(Molemmat ovat jo käytössä, mutta vain muutamia toteutuksia)</p>

Seuraavissa kappaleissa tullaan esittämään taulukossa 5 mainitut käsittelymenetelmät kiinnittäen huomiota rajoittaviin tekijöihin, joita jätevesilietteellä mahdollisesti on menetelmän käytössä, millaisia esikäsittelyitä jätevesiliete vaatii, millaisia lopputuotteita menetelmästä saadaan sekä käsittelymenetelmän kustannukset.

4.1 Stabilointi

Jätevedenpuhdistamolta tullutta lietettä ei voi käyttää sellaisenaan. Tämän vuoksi jätevesiliete tulee stabiloida, jotta siitä saadaan vähennettyä taudinaiheuttajia ja hajuja. Lisäksi stabiloinnilla vähennetään tai poistetaan tahattoman mätänemisen mahdollisuus. (Tchobanoglous et al. 2003, 1499). Stabiloinnilla tehostetaan jätevesilietteen jatkokäsittelymenetelmiä, kuten vedenerotusta (Umweltbundesamt 2014, 6).

Stabilointia ei aina tarvita, jos jätevesiliete aiotaan jatkokäsitellä (muuntaa) termisesti tai biologisesti. Tässä pitää kuitenkin huomioida mahdolliset jätevesilietteen kuljetuksen aikaiset vaatimukset sekä hajuhaittojen mahdollisuudet. Jos jätevesilietettä aiotaan käyttää maataloudessa, lietteen tulee olla täysin stabiloitua. Viherrakentamiseen käytettäessä lietteen tulee olla vähintään puolistabiloitua. Jos jätevesiliete loppusijoitetaan kaatopaikalle, jätevesiliete vaatii osittaisen tai täysi stabiloinnin. Kompostoitu jätevesiliete kelpaa sellaisenaan jo käyttöön maataloudessa tai viherrakentamisessa, eikä se tarvitse erillistä jatkokäsittelyä. (Umweltbundesamt 2014, 6.) Euroopan unionin jäsenmaissa käytössä olevia stabilointi menetelmiä ovat anaerobinen stabilointi (mädätys), kalkkistabilointi, kompostointi märkähapetus sekä terminen hydrolyysi (Kelessidis ja Stasinakis 2011, 1190).

4.1.1 Anaerobinen mädätys

Anaerobinen käsittely eli mädätys on biologinen prosessi jätevesilietteen stabilointiin. Anaerobisessa stabiloinnissa käsiteltävä aines suljetaan hapettomaan reaktoriin, jonka lämpötila on noin 37 °C tai 54 °C. Lämpö ylläpitää mikrobikantoja, jotka käyttävät ravinnokseen lietteessä olevaa orgaanista ainesta. Anaerobisen mädätys -käsittelyn tuloksena jätevesilietteestä saadaan hajuttomampaa. Jätevesiliete-erän käsittelyyn kuluu aikaa noin 14–21 vuo-

rokautta, aika vaihtelee riippuen mm. käsiteltävän lietteen koostumuksesta. (Latvala 2005, 4.)

Anaerobinen mädätys voidaan jakaa mesofiiliseen ja termofiiliseen mädätykseen. Mesofiilissä mädätyksessä lämpötila on 33–37 °C ja termofiilissä mädätyksessä lämpötila on 54 °C. Lietteän läpimenoaika termofiilissä prosessissa on noin 14 vuorokautta ja mesofiilissä se on noin 21 vuorokautta. Termofiilinen mädätysprosessi vähentää paremmin lietteen taudinaiheuttajia, kuin mesofiilinen mädätysprosessi korkeamman lämpötilan ansiosta. (Latvala 2005, 6.)

Anaerobisen mädätyksen aikana syntyy sivutuotteena biokaasua, joka sisältää metaania (CH₄) ja hiilidioksidia (CO₂) (Latvala 2005, 4). Sivutuotteena syntyvää biokaasua, voidaan hyödyntää laitoksen energiantuotannossa tai mädätysprosessin lämmittämiseksi. Normaali kaasuntuotto yhdyskuntajätevesilietteestä on noin 30 m³ biokaasua tonnista kosteaa jätevesilietettä. Biokaasun energiasisältö on noin 5–7 kWh/m³. Käsittelemätön biokaasu sisältää 45–70 % metaania ja 30–55 % hiilidioksidia. Kun anaerobinen mädätys suoritetaan oikein, prosessin jälkeen jätevesilietteestä ei enää irtoa juuri lainkaan metaania, vaan lähes kaikki ilmakehälle haitallinen kaasu saadaan talteen ja hyötykäyttöön jätevesilietteestä. (Latvala 2005, 10.)

Anaerobisen mädätyksen hyvänä puolena ympäristön kannalta on, että prosessissa muodostuvat käymiskaasut saadaan talteen eivätkä ne pääse leviämään ilmakehään. Muita hyviä puolia on, että vedenerotus onnistuu paremmin mädätetystä jätevesilietteestä, kuin ei-mädätetystä jätevesilietteestä sekä orgaanisen aineksen hajoamisen myötä lietemäärä vähentyy noin 20 % prosessin aikana. Anaerobinen mädätys on kuitenkin epäedullinen myöhempää termistä käsittelyä ajatellen, koska se pienentää lietteen lämpöarvoa. (Umweltbundesamt 2014, 7.) Mädätys edistää ravinteiden kierrättämistä, jos mädätettyä jätevesilietettä käytetään lannoitevalmisteena. Mädätysprosessi tuhoaa taudinaiheuttajia, vähentää jatkokäsittelyn hajuhaittoja sekä hygieniariskejä. (FCG Finnish Consulting Group Oy 2010, 10.) Investointikustannukset tavanomaiseen munanmuotoiseen mädätyssäiliöön on noin 600–1000 €/m³ mädätys kapasiteettia (Umweltbundesamt 2014, 7).

Euroopan unionin jäsenmaissa yhteismädätys on alkanut saavuttaa suosiota. Yhteismädätyslaitoksissa mädätetään yhdessä tai useammassa eri prosessilinjassa eri lähteistä saapuvia orgaanisia jätteitä jätevesilietteen kanssa. Tyypillisesti jättejakeita voivat olla erilaiset elintarviketuotannon jätteet. Elintarvikejätteet joudutaan esikäsittämään kuumentamalla se ensin 70 °C vähintään tunnin ajaksi, hygienisointi voidaan toteuttaa ennen tai jälkeen mädätyksen. Yhteismädätyksessä syntyvän biokaasun määrä on suurempi kuin jätevesilietteen yksin mädätyksessä. (Latvala 2005, 9.) Yhteismädätys kuitenkin hankaloittaa lopputuotteen energiasisällön arviointia (Umweltbundesamt 2014, 40).

4.1.2 Kompostointi

Kompostointi perustuu biologiseen prosessiin, jossa orgaaninen aines hajoaa muodostaen samalla hiilidioksidia, vettä ja lämpöä. Kompostoinnin tavoitteena on taudinaiheuttajien tuhoaminen ja jätevesilietteen tilavuuden pienentäminen. Kompostoinnin aikana orgaaninen aines vähenee noin 25 %. Kompostointiprosessi vaatii ravinnekoostumukseltaan tasapainoista ainesta sekä riittävästi happea. Toimiakseen oikein kompostiprosessin tulee olla lämpöeristetty, prosessissa pitää olla kosteuden ja prosessikaasun poisto sekä kompostia tulee käänellä hajotustoiminnan edistämiseksi ja massan kuohkeuttamiseksi. (Tchobanoglous et al. 2003, 1546.)

Kompostointiprosessi kestää 10–30 viikkoa, riippuen sisään laitetusta lietteestä sekä käytetystä kompostointitekniikasta. Kompostoinnilla on mahdollista saavuttaa jopa 50–65 % kokonaisuudessa väheneminen. Jotta taudinaiheuttajat voidaan poistaa turvallisesti kompostimateriaalista, minimi prosessilämpötila 55 °C tulee saavuttaa viimeiseksi kahdeksi viikoksi sekä 65 °C minimi lämpötila tulee saavuttaa kompostiprosessin viimeiseksi viikoksi. Prosessin lämpö syntyy orgaanisten ainesten hajoamisesta, se pienentää kosteuspitoisuutta ja stabiloi jätevesilietettä sekä tekee komposti materiaalin vaarattomaksi muuntamalla sen käyttökelpoiseksi bioaineksi. (Umweltbundesamt 2014, 41.)

Euroopan unionin jäsenmaissa kompostointiprosessi toteutetaan tavallisesti aumakompostointina tai reaktorikompostointina (Kelessidis ja Stasinakis 2011, 1188). Aumakompostointia käytetään tyypillisesti suurille lietemäärille ja aumat vaativat paljon tilaa. Lisäksi

aumat saattavat aiheuttaa hajuhaittoja sekä aumojen suotovedet saattavat aiheuttaa ympäristölle haittaa ellei niistä huolehdita asianmukaisesti. (Tchobanoglous et al. 2003, 1549.) Reaktorikompostoinnissa komposti on suljettu ympäristö, jossa minimoidaan lämmönpääsy ilmakehään ja prosessia hallitaan erilaisilla mekaanisilla ja tuuletusmenetelmillä. Reaktorikompostoinnin etuna pienempi tilantarve, helpommin hallittavat hajukaasut ja suotovedet sekä prosessin läpikulkuaika on nopeampi. (Tchobanoglous et al. 2003, 1550.)

Tällä hetkellä Euroopan unionin jäsenmaissa jätevesilietteen yhteiskompostointi on saavuttanut suosiotaan. Yhteiskompostoinnissa jätevesilietteeseen voidaan sekoittaa muuta orgaanista ainesta tai yhdyskuntajätettä. Tämän etuna on, että yhteiskompostoinnin jälkeen kompostiaineksen metallipitoisuus on pienempi verrattuna pelkän jätevesilietteen kompostointiin. (Tchobanoglous et al. 2003, 1551–1552.) Yhteiskompostointi on helppo toteuttaa jo olemassa olevilla kompostointilaitoksissa, koska prosessi ei muutu yhteiskompostoinnin myötä (Umweltbundesamt 2014, 42).

Kompostointiprosessin hyvänä puolena pidetään ravinteiden säilymistä kompostoinnin aikana ja kompostoinnin jälkeen kompostihumus on turvallista käyttää sellaisenaan esimerkiksi maataloudessa tai maanparannuksessa, koska taudinaiheuttajat ja bakteerit on tuhottu prosessin aikana. Kompostointi säästää kuljetus kustannuksissa, koska kiintoaineen määrä pienen huomattavasti kompostoinnin aikana. Kompostoinnin huonona puolena on merkittävät kasvihuonepäästöt, erityisesti aumakompostoinnissa, sekä kompostoinnista aiheutuvat hajuhaitat. Pelkässä jätevesilietteen kompostoinnissa rakasmetalli- ja lääkejäämät säilyvät pääosin sellaisenaan. (Umweltbundesamt 2014, 41.)

Kompostoidun lietteen käyttö sellaisenaan on mahdollista maataloudessa ja viherrakentamisessa. Monissa Euroopan unionin jäsenmaissa kompostointi voidaan luokitella jätevesilietteen loppukäsittelymenetelmäksi ja joissain maissa kompostointi luokitellaan stabilointimenetelmäksi. Tämä aiheuttaa hämmennystä tilastoissa sekä niiden vääristymistä. (Kelesidis ja Stasinakis 2011, 1188)

4.1.3 Kalkkistabilointi

Jätevesilietteen kalkkistabilointia perustuu lietteen pH:n nostamiseen ja tätä kautta jätevesilietteen stabiloimiseen ja hygienisoitumiseen. Ennen kalkkistabilointia jätevesiliete tulee olla kuivattua, mutta kalkkistabilointi on mahdollista toteuttaa myös lietteen kuivatuksen aikana. Kalkkistabilointi voidaan toteuttaa poltetulla kalkilla (CaO) tai sammutetulla kalkilla (Ca(OH)₂). Kun kuivattua lietettä käsitellään poltetulla kalkilla, jätevesilietteen lämpötila nousee noin 50–70 °C:een, pH nousee yli 12 ja lietteen ammoniumpitoisuus kasvaa. Jotta lietteen korkea lämpötila saavutetaan, vaaditaan huomattavan korkeita annostelutasoja (yli 0,5 kg CaO/kg kuiva-ainetta). Kalkki reagoi jätevesilietteen veden kanssa, jolloin pH ja lämpötila kasvavat. Kalkkistabiloinnissa liete-erän tulee kauttaaltaan saavuttaa vähintään pH 12 ja taso tulee säilyttää vähintään kahden tunnin ajan. (ProAgria Keskusten liitto 2013, 32–33.)

Kalkkistabilointiprosessin aikana jätevesilietteen kuiva-ainepitoisuus kasvaa ja osa vedestä haihtuu, mutta kalkin lisäys nostaa lietemäärää, jolloin kuiva-ainepitoisuuden kasvu ei vähennä kokonaislietemäärää. (ProAgria Keskusten liitto 2013, 32–33.) Kalkkistabiloinnilla saadaan hygieenistä jätevesilietettä, jonka pH-arvo ja kalsiumpitoisuus ovat korkeat (FCG Finnish Consulting Group Oy 2010, 10). Kalkkistabiloitu liete soveltuu maatalouskäyttöön maanparannusaineeksi sellaisenaan (ProAgria Keskusten liitto 2013, 32–33).

4.1.4 Märkähapetus

Jätevesilietteen märkähapetus perustuu lietteen kemialliseen hapettamiseen korkeassa paineessa ja lämpötilassa happea sisältävällä kaasulla. Märkähapetus luokitellaan myös jätevesilietteen termisiin käsittelyprosesseihin. Tuote, jota syntyy märkähapetuksesta, on helposti biohajoavaa. Märkähapetusprosessi tapahtuu 150–330 °C lämpötilassa ja 1–22 MPa paineessa. Korkean paineen ja lämpötilan ansiosta jätevesilietteen sisältämä orgaaninen aine hajoaa. Märkähapetuksessa jätevesilietteen tilavuus pienenee, lietteen mikrobimäärä pienenee sekä lietteestä saadaan poistettua vaarallisia kaasumaisia yhdisteitä. (Bertanza et al. 2014, 1–2.)

4.1.5 Terminen hydrolyysi

Terminen hydrolyysi prosessi on kaksivaiheinen. Ensimmäisessä vaiheessa liete käsitellään reaktorissa suihkuttamalla siihen lämpötilassa 150–170 °C ja paineessa 500–700 kPa olevaa höyryä noin 30 minuutin ajan. Toisessa vaiheessa jäljelle jäänyt liete syötetään anaerobiseen mädätysprosessiin, jossa on noin 60 % haihtuvista ainesosista muuttua biokaasuksi. Termisen hydrolyysi tuhoaa taudinaiheuttajia, helpottaa lietteen mädätystä ja hajottaa lietteen orgaanista ainesta. Kun terminen hydrolyysi prosessi yhdistetään anaerobiseen mädätysprosessiin, voidaan tuottaa huomattavasti enemmän biokaasua kuin pelkässä mädätysprosessissa. (Milieu et al. 2010b, 42.)

4.2 Vedenerotus

Jatkokäyttöä ajatellen on tärkeää vähentää veden määrää jätevesilietteestä. Monet jätevesilietteen jatkokäsittelyt vaativat vedenerotusta ja kuiva-ainepitoisuuden kasvattamista, jotta ne olisi mahdollista toteuttaa tehokkaasti. Ensimmäinen tekninen käsittelymenetelmä jätevesilietteen sakeuttamiseksi on vedenerotus. Vedenerotus lisää jätevesilietteen kuiva-ainepitoisuutta. (Umweltbundesamt 2014, 12.)

Mekaanisella vedenerotuksella päästään 20–50 %:n kuiva-ainepitoisuuteen. Saavutettu kuiva-ainepitoisuus riippuu kuitenkin aina valitusta menetelmästä. Jätevesilietteen vedenerotus menetelmät vaihtelevat huomattavasti halutun lopputuloksen mukaan. (Umweltbundesamt 2014, 12.) Euroopan unionin alueella vedenerotus tapahtuu yleisimmin mekaanisesti suotonauhapuristimilla, lingoilla, ruuvipuristimilla tai lietelavoilla (Kelessidis ja Stasinakis 2011, 1190).

4.2.1 Lietelavat

Lietelavoja käytetään jätevesilietteen vedenerotukseen. Jätevesilietteestä poistuu vettä suotumalla massan läpi sekä haihtumalla jätevesilietteen pinnasta ilmaan hitaasti. Lietelavalla tavoitteena on muuttaa jätevesiliete maan kaltaiseksi aineeksi, levittämällä se alustalle sekä ikäännyttämisen avulla. (Umweltbundesamt 2014, 10.) Lietelavoissa on 10–22 cm hiek-

kaa, joka on asetettu 20–45 cm kerroksisen soran tai kiven päälle. Lietelavojen pohja on salaojitettu noin 2,5–6 metrin välein. Jätevesiliete levitetään alustalle noin 20–30 cm paksuisena kerroksena. Jätevesiliete poistetaan liotelavalta, kun siitä on valunut ja haihtunut tarpeeksi vettä, kaapimalla. Lietelavojen peittäminen on myös mahdollista riippuen sääoloista. Peittämisen tarkoitus on suojata altaita sateelta ja kylmyydeltä, hallita mahdollisia hajuhaittoja sekä estää hyönteisten pääsyn altaisiin. Peittämisellä pystytään myös säätelemään kosteutta ja optimoimaan veden haihtumista lietteestä. Lyhyessä ajassa lavakuivatuksella ei saavuteta suuria kuiva-ainepitoisuuksia, mutta suurempia kuiva-ainepitoisuuksia on mahdollisuus saavuttaa pitkäaikaisella lavakuivatuksella. (Wang et al. 2007, 404–406)

Hyvänä puolena liotelavoilla pidetään sen hyvin vähäistä energian kulutusta. Vedenpoisto ja jätevesilietteen kuivuminen tapahtuu täysin ilman erillisiä operaatioita. Lietelavojen käyttökustannukset jäävät myös hyvin pieniksi. Huonona puolena voidaan kuitenkin todeta, että liotelavat vaativat huomattavan paljon tilaa sekä aikaa, jotta jätevesilietteestä saadaan poistettua mahdollisimman paljon vettä. BAT -asiakirjassa on arvioitu, että investointi liotelavaan Saksassa on 60 €/m² mukaan lukien kaikki asennukset. (Umweltbundesamt 2014, 10.)

4.2.2 RuuVIPuristin

RuuVIPuristimessa pyörivä ruuvi puristaa jätevesilietettä sylinterin rei'itettyjä seinämiä vasten, jolloin vesi erottuu seinämän reikien läpi. Kuiva-aine liikkuu hitaasti kierteen avulla pois sylinteristä. Sylinteri puhdistetaan tasaisin väliajoin huuhtomalla se vedellä. (Lohiniva et al. 2001, 55–56.) RuuVIPuristimella päästään 20–35 %:n kuiva-ainepitoisuuteen (Umweltbundesamt 2014, 16).

RuuVIPuristinta voidaan tehostaa ohjaamalla sinne kylläistä höyryä. Höyryn avulla veden viskositeetti laskee ja tällöin vesi irtoaa jätevesilietteestä paremmin. Höyrystä saatava lämpö pienentää kitkaa ruuvin ja jätevesilietteen välillä, jolloin tehontarve ja kuluminen vähenevät. (Lohiniva et al. 2001, 56.)

Ruuvipuristimen hyvinä puolina pidetään verrattain matalaa melutasoa ja alhaista pesuveden kulutusta, myös energiantarve on matala. Ruuvipuristimien kuluminen on pientä ja niillä on korkea käyttövarmuus. Ruuvipuristus prosessin kokonaisinvestointi on arvioitu olevan noin 0,11 miljoonaa euroa jätevedenpuhdistuslaitokselle, jonka koko vastaa 30 000 ihmisen tarvetta. Hintaan kuuluu prosessin rakennus- ja putkituskulut. Tällä hinnalla ruuvipuristusprosessi on halvin vaihtoehto mekaanisista vedenerotusmenetelmistä. Tehontarve ruuvipuristusprosessissa on noin 10 W/kg DS. (Umweltbundesamt 2014, 14–15.)

4.2.3 Suotonauhapuristin

Suotonauhapuristimessa jätevesilietteen vesi poistetaan ensin gravitaation vaikutuksesta ja sen jälkeen puristamalla jätevesiliete suotonauhojen välissä. Suotonauhapuristimissa jätevesilietteen tulee olla kemiallisesti kunnostettua, joissain suotonauhapuristimissa jätevesiliete voidaan kunnostaa kemiallisesti juuri ennenkuin se syötetään suotonauhojen väliin. Suotonauhapuristimen tehokkuus riippuu monista eri tekijöistä kuten lietteen ominaisuuksista, kemiallisen kunnostuksen menetelmistä sekä nauhan huokoisuudesta, nopeudesta ja leveydestä. (Tchobanoglous et al. 2003, 1564.) Nykyaikaisilla suotonauhapuristimilla voidaan poistaa tehokkaasti vettä ja tyypillisesti saavutetaan 20-30 %:n kuiva-ainepitoisuus (Umweltbundesamt 2014, 16).

Suotonauhapuristimien hyvänä puolena pidetään sen vähäistä energiantarvetta, koneistossa ei ole monimutkaista tekniikkaa, joten se on helppo huoltaa, korkeassa paineessa toimivat prosessit voivat tuottaa hyvin kuivaakin lietettä. Menetelmässä on myös lyhyt latausaika sekä jätevesiliete kulkee nopeasti prosessin läpi (Umweltbundesamt 2014,14). Huono puoli suotonauhapuristimissa on mahdollinen haju sekä se on herkkä lietteen laadulle (Tchobanoglous et al. 2003, 1560). Saksassa suotonauhapuristimen vuotuiset kustannukset, mukaan lukien rakentamis- ja huoltokulut, vaihtelevat 200–240 €/tonni kuiva-ainetta (Umweltbundesamt 2014, 13).

4.2.4 Linko

Linkouksen erotusteho perustuu keskipakoisvoimaan. Jätevesilietteen kiintoaineet laskeutuvat pohjalle nesteen jäädessä yläpuolelle. Linkojen rakenne koostuu pyörivästä toisesta päästään kartionmallisesta rummusta, jonka sisällä pyörii ruuvi. Lingon erotusteho perustuu rummun ja ruuvin välisen pyörimisnopeuden pieneen eroon, jolla kuivattu jätevesiliete saadaan poistettua rummusta. (Tchobanoglous et al. 2003, 1562–1563.) Linkoamalla jätevesiliete saavuttaa 20–32 %:n kuiva-ainepitoisuuden (Umweltbundesamt 2014, 16).

Linkouksen hyvänä puolena pidetään sen nopeaa käynnistämistä ja sammutusaikaa, lietteen nopeaa kulkua prosessin läpi verrattuna muihin menetelmiin sekä keskipakoisvoiman vaikutus erottaa lietteen ja veden tehokkaasti. Huonona puolena pidetään linkojen osien herkkää kulumista johtuen hiekasta sekä muista mineraaleista sekä suurta tehontarvetta, kun linko käynnistetään. Linkoamisen tehontarve on noin 50 W/kg kuiva-ainetta. Käyttökustannukset käyttötuntia kohden on alkaen 20 €/h. Saksassa linkoamisen vuotuiset kustannukset, mukaan lukien rakentamis- ja huoltokustannukset, on 180 €/tonni kuiva-ainetta. (Umweltbundesamt 2014, 13).

4.3 Kuivatus

Jätevesilietteen kuivatuksessa on puolensa, kun ajatellaan jätevesilietteen jatkokäsittelymenetelmiä. Kaikki käsittelymenetelmät eivät kuitenkaan vaadi lietteen kuivatusta vedenerotuksen jälkeen. Kuivatus pienentää lietteen tilavuutta edelleen vedenerotuksen jälkeen, kasvattaa lietteen lämpöarvoa, stabiloii ja hygienisoi lietettä, parantaa lietteen varastoitavuutta ja kuljetettavuutta sekä vähentää myöhempiä mahdollisia ongelmia lietteen jatkokäsittelyprosesseissa. (Umweltbundesamt 2014, 17.)

Kun jätevesilietteen kuivatusta harkitaan, tulee ottaa huomioon taloudelliset vaikutukset. Taloudellinen kuivatus prosessi voidaan toteuttaa, jos on tarjolla on tarpeeksi hukkalämpöä muista prosesseista tai mahdollisuus käyttää aurinkoenergiaa. Termisiin jatkokäsittelymenetelmiin vaaditaan yleensä 35 % kuiva-ainepitoisuus, joka voidaan saavuttaa jo mekaanisilla vedenerotus menetelmillä, mutta kuivatuksella kuiva-ainepitoisuutta saadaan nostettua

entisestään. Kuivatulla jätevesilietteellä on matala tai keskisuuri lämpöarvo, jota voidaan käyttää polttoaineena erityisesti voimalaitoksissa ja sementtitehtävissä. On suositeltavaa, että lietteen kuivatuksessa käytetään aurinkoenergiaa tai hukkalämpöä. Lietteen kuivattaminen 25 %:sta 90 %:iin kuiva-ainetta vaatii noin 70–80 kWh lämpöenergiaa haituvaa vesi kiloa kohden. (Umweltbundesamt 2014, 17.) Yleisimmät jätevesilietteen kuivatusmenetelmät Euroopan unionin jäsenmaissa on terminen kuivaus ja aurinkokuivaus (Kelessidis ja Stasinakis 2011, 1190).

4.3.1 Terminen kuivaus

Terminen kuivatusprosessi perustuu veden haihduttamiseen lietteestä. Ennen jätevesilietteen termistä kuivatusta lietteelle tulisi suorittaa vedenerotusprosessi, jolla saavutetaan mahdollisimman suuri kuiva-ainepitoisuus, koska veden poistaminen vedenerotuksella on taloudellisempaa kuin haihduttamalla. Terminen kuivatus voidaan toteuttaa kontaktikuivauksella. Kontaktikuivauksessa lämmitetään väliainetta, josta lämpö siirtyy kuivattavaan jätevesilietteeseen haihduttaen tästä vettä. Lietteen termisellä kuivatuksella voidaan saavuttaa jopa 90 % kuiva-ainepitoisuus. Haluttu kuiva-ainepitoisuus riippuu lietteen jatkokäsittelystä. (FCG Finnish Consulting Group Oy 2010, 2.)

Termisen kuivatuksen aikana muodostuu hajukaasuja, jotka vaativat käsittelyä. Termisen kuivatuksen jälkeen jätevesiliete on pölymäistä, joka on haitallista hengitettynä ja sen käsittelyssä vaaditaan suojaimia. Terminen kuivaus parantaa lietteen lämpöarvoa. Termisen kuivauksen lämpöenergiankulutus vaihtelee välillä 0,8–1,1 kWh/haihdutettava vesikilo. Sähköenergian kulutus vaihtelee laitteistosta riippuen 4–5 kWh/m³ märkää jätevesilietettä. (FCG Finnish Consulting Group Oy 2010, 2–3.)

Terminen kuivaus vaatii paljon lämpöenergiaa, joten järkevintä olisi integroida se poltto-prosessin yhteyteen. Termisen kuivatuksen käyttökustannukset ovat korkeat, mutta prosessin kannalta edullisinta olisi käyttää hyödyksi mädätysprosessista saatavaa biokaasua tai polttolaitoksen ylijäämälämpöä. (FCG Finnish Consulting Group Oy 2010, 3.)

4.3.2 Aurinkokuivaus

Aurinkokuivaus käyttää auringon säteilyä jätevesilietteen kuivattamiseen. Kuivatus suoritetaan jatkuva- tai eräprosessina halleissa, joissa on läpinäkyvä katto. Katto on yleensä valmistettu lasista. Auringon säteily lämmittää lietteen pinnan ja ilman hallissa, jolloin lämpötilan nousu pakottaa vesimolekyylit haihtumaan ympäröivään ilmaan. Halleissa on tehokas kosteuden poisto, joka poistaa haihtuneen veden ilmasta. Vaikka jätevesilietteen pinta kuivuu, lietekerroksen alaosa pysyy märkänä, jolloin lietekerros pitää kääntää. Lietekerroksen kääntäminen ja kuivan ja märän lietteen sekoitus on paras tapa saavuttaa hyvä kuivausteho. Optimi kuiva-ainepitoisuus saavutetaan 70 %:n kuiva-ainepitoisuudella, 85 %:n kuiva-ainepitoisuus on myös mahdollista saavuttaa. (Umweltbundesamt 2014, 21.)

Aurinkokuivatuksen jälkeen liete sopii käytettäväksi energiantuotannossa. Liete muuttuu rakeiseksi kiinteäksi biopolttoaineeksi, jota on helppo käsitellä. Liete on hajutonta sekä sallittua maatalouskäyttöön. (Umweltbundesamt 2014, 21.)

Auringon säteilyn vastaava vuotuinen energia on Keski-Euroopassa 1000–1100 kWh/m², jokaista kuivatushalli neliötä kohden voidaan saavuttaa 850 litraa veden haihtumista vuodessa. Prosessin kokonaisenergian tarve laitteistoineen on noin 25 kWh/tonni haihtunutta vettä. Aurinkokuivauslaitoksen kokonaisinvestointi vaihtelee 280–400 €/m² kuivatus aluetta. 1 m² kuivatus aluetta pystyy kuivattamaan noin 2–6 m³ vedenerotusprosessista tullutta lietettä vuosittain. (Umweltbundesamt 2014, 21.)

Aurinkokuivatuksen etuna on matala energian tarve, menetelmä soveltuu täydentävänä ratkaisuna alueille, joilla on suuri kausittainen vaihtelu jätevesilietteen tuotannossa johtuen esimerkiksi kesämatkailusta. Huono puoli aurinkokuivatuksessa on suuri tilan- ja ajantarve sekä talvikuukausina vähäinen aurinkoenergian saatavuus. Menetelmä ei sovellu käytettäväksi pohjoisissa maissa, joissa kesä kuukaudet jäävät vähäisiksi. (Umweltbundesamt 2014, 21.)

4.4 Muuntaminen

Muuntamisen tarkoituksena on saattaa jätevesiliete muotoon, jossa se on turvallista loppusijoittaa. Muuntamisprosessit vaativat esikäsittelyitä kuten stabiloinnin sekä vedenerotuksen ja/tai kuivauksen. Kuitenkin tietyin edellytyksin on jo mahdollistaa hyödyntää suoraan stabiloinnista tullutta lietettä. Muuntamisen myötä jätevesiliete menettää sen alkuperäiset ominaisuudet. Muuntaminen ei välttämättä ole jätevesilietteen viimeinen käsittelyvaihe, vaan muuntamisesta saatavaa lopputuotetta on käytettävissä edelleen esimerkiksi viherrakentamisessa ja maataloudessa. (Umweltbundesamt 2014, 23.)

Terminen käsittely on tavallisin jätevesilietteen muuntamistapa. Terminen käsittely takaa parhaimman mahdollisen haitta-aineiden hävittämisen eikä termisellä käsittelyllä ole rajoituksia lietteen ominaisuuksien suhteen. Jätevesilietteen polttaminen, verrattuna muihin vaihtoehtoihin, on yksi kalleimmista keinoista hyödyntää jätevesilietettä. Jätevesilietteen lämpöarvo vaihtelee välillä 4,8–6,5 MJ/kg sekä sen koostumus vaihtelee huomattavasti. Jätevesilietteen polttamisessa erityisen tärkeää on huomioida kuiva-aineen määrä, onko liete mädätetty, lietteen kalkkipitoisuus, onko jätevesiliete raakalietettä sekä hajun syntyminen. (Umweltbundesamt 2014, 24.)

4.4.1 Poltto

Jätevesilietteen polttoon tarkoitettut polttolaitokset on kehitetty tuhoamaan haitallisia orgaanisia aineita tehokkaasti sekä tuottamaan energiaa. Polttolaitokset on yleensä sijoitettu jätevedenpuhdistamoiden läheisyyteen, jolloin hukkalämpöä voidaan käyttää hyödyksi jätevesiprosessissa eikä lietteen hävittämiseen tarvita erillistä kuljetusta. Jätevesilietteen polttolaitoksien toiminta lämpötila on tavallisesti välillä 850–950 °C. Lämpötilat alle 850 °C saattavat aiheuttaa hajukaasuja, kun taas yli 950 °C lämpötilat voivat johtaa tuhkan sinttaantumiseen. Poltossa saavutettu lämpötilataso riippuu pääasiassa energiasisällöstä, poltettavasta lietemäärästä sekä palamisprosessin hapen määrästä. (Umweltbundesamt 2014, 24.)

Jätevesilietteen polton etuja on lietemäärän merkittävä väheneminen. Polttokattilaan laitetusta jätevesilietteestä jää jäljelle vain tuhkaa, jonka määrä on noin 10 % sisään laitetusta jätevesilietteestä. Polton aikana jätevesilietteen sisältämät orgaaniset yhdisteet hajoavat. Kuivatun jätevesilietteen lämpöarvo on vastaava kuin ruskohiilellä, joka mahdollistaa energiantuotannon polttoprosessissa. Jätevesilietteen poltosta ei aiheudu hajuhaittoja, jos poltto tapahtuu tarpeeksi suuressa lämpötilassa. (Fyttili ja Zabaniotou 2006, 124.)

Jätevesilietteen polttoprosessin lopputuotteena on palamatonta ainesta eli tuhkaa. Jätevesilietteiden tuhkapitoisuus vaihtelee huomattavasti riippuen käytetystä kattilasta ja lietteen koostumuksesta. (Lohiniva et al. 2001, 70–71.) Polttoprosessin tuhkasta voidaan ottaa fosfori talteen. Tuhkan fosfori pitoisuus vaihtelee 5–10 % välillä. Fosfori voidaan ottaa talteen kahdella tavalla joko märkäkemiallisesti tai termisesti. Märkäkemiallisessa tavassa fosfori liukenee tuhkasta hapon avulla. Märkäkemiallisen menetelmän hinta on varsin korkea. On laskettu, jos laitoksella käsitellään 15000 tonnia tuhkaa, investointi olisi noin 11 miljoonaa euroa ja vuosittaiset kustannukset olisivat 5,8 €/kg poistettua fosforia. Termisessä tavassa erotus tapahtuu tuhkan lämpökäsittelyssä, jossa fosfori muutetaan mineraalimuotoon ja raskasmetallit poistetaan. (Umweltbundesamt 2014, 46–47.)

Jätevesilietteen poltossa käytetään useita erilaisia kattiloita kuten leijukerroskattiloita ja monikerrosuuneja (Umweltbundesamt 2014, 28–31). Leijukerroskattilat ovat tavallisimmin käytettyjä kattiloita lietteen polttamisessa. Liejukerroskattilassa polttoaine poltetaan ilmapvirran avulla leijutettavassa hehkuvan hiekan ja tuhkan muodostamassa pedissä. Pedin materiaaleina käytetään hiekkaa tai mineraalimurskettä sekä polttoaineen tuhkaa. Leijukerroskattiloissa polttokammio on asennettu pystysuoraan sekä se on sylinterin muotoinen. (Tchobanoglous et al. 2003, 1590.) Leijukerroskattiloiden hyviä puolia on hyvin tehokas palaminen suhteellisen pienellä päästöjen syntymisellä, syntyneessä tuhkassa on alhainen määrä raskasmetalleja, jolloin tuhkaa voidaan käyttää esimerkiksi täytemateriaalina kaivoksissa ilman, että se vaatii jatkojalostamista. Leijukerroskattila ei vaadi paljoa mekaanista ylläpitoa, laitteistoa, henkilöstöä tai korjauskustannuksia. Yleisesti ottaen leijukerroskattiloiden investointi on edullisempi kuin muilla kattiloilla sekä leijukerroskattila on edullisempi ylläpitää. (Umweltbundesamt 2014, 28–29.)

Monikerrosuuneissa liete syötetään kattilan yläosaan, jossa se kuivuu. Tämän jälkeen liete siirtyy hitaasti ylempien kerrosten läpi kohti uunin keskiosaa. Uunin korkein lämpötila on uunin keskiosassa, jossa liete palaa yhdessä apupolttoaineen kanssa. Apupolttoainetta käytetään ylläpitämään vaadittavaa palamislämpötilaa. (Tchobanoglous et al. 2003, 1589.) Monikerrosuunien hyvänä puolena on korkeiden lämpötila muutosten välttäminen, jolloin muodostuu vähemmän NO_x päästöjä sekä monikerrosuunin voidaan syöttää erilaatuisia ja erikoostumuksen omaavia jätevesilietteitä. Monikerrosuunit vaativat enemmän mekaanista huoltoa, laitteistoa sekä korjauksia kuin leijukerroskattila, jolloin kustannukset nousevat myös korkeammiksi. (Umweltbundesamt 2014, 30.)

4.4.2 Yhteispoltto

Lietettä voidaan myös polttaa yhteispoltolla muun polttoaineen tai yhdyskuntajätteen kanssa. Yhteispolton hyviä puolia on, että vaaralliset aineet saadaan tuhottua tehokkaasti korkeassa lämpötilassa. Yhteispoltto antaa mahdollisuuden vähentää hävittämiskustannuksia verrattuna pelkän lietteen polttoon. (Umweltbundesamt 2014, 32.)

Jätevesilietettä on mahdollista polttaa yhdyskuntajätteen kanssa. Polttaminen voi tapahtua yhdyskuntajätteen polttolaitoksilla, jolloin uutta laitosta ei tarvitse rakentaa. On kolme erilaista tapaa polttaa lietettä yhdyskuntajätteen kanssa. Ensimmäisenä kuiva jätevesiliete, jonka kuiva-ainepitoisuus on noin 90 %, voidaan puhaltaa pölynä polttokammioon. Toisena vedenerotuksessa käynyt liete, kuiva-ainepitoisuus noin 20–30 %, voidaan syöttää erikseen polttokammioon, jolloin liete integroituu petimateriaaliin. Kolmanneksi liete, jonka kuiva-ainepitoisuus on noin 50–60 %, voidaan sekoittaa yhdyskuntajätteen sekaan tai syöttää yhdessä polttokammioon. Tässä poltto tavassa hyötynä on turvallinen tuhoutuminen haitallisille yhdisteille sekä laitoksissa on tehokas päästöjen ohjausjärjestelmä. Yhteispoltto yhdyskuntajätteen kanssa aiheuttaa ravinteiden häviämistä sekä energiantuotanto laitoksesta on alhaista. (Umweltbundesamt 2014, 36.)

4.4.3 Pyrolyysi

Pyrolyysi on hapettomassa tilassa kuumennusprosessi, jossa orgaanisen aineen haihtuvat yhdisteet hajoavat ja muodostavat kaasuja. Pyrolyysissä lietteen orgaaninen aines pilkkoutuu, pienimmiksi ja kevyemmiksi aineksiksi. Pyrolyysiprosessi tapahtuu hapen puutteesta toisin kuin palaminen. Ennen pyrolyysiä lietteelle pitää yleisimmin suorittaa vedenerotus sekä kuivaus, jolloin lietteen raekoko pienenee. Tämän jälkeen liete johdetaan korkealämpötilaiseen pyrolyysireaktoriin. Pyrolyysiprosessin aikana syntyy erilaisia kaasuja, tervaa, hiiltä ja pyrolyysi öljyjä. Kaasut voidaan nesteyttää bioöljyksi ja käyttää polttoaineena, materiaaliteollisuudessa tai biopolttoaineena terva hyödynnetään bioöljyntuotannossa tai bioöljynä. (Mikkonen ja Kauriinoja, 17.)

Pyrolyysi voidaan jakaa hitaaseen ja nopeaan pyrolyysiin. Hitaassa pyrolyysissä jätevesiliete lämmitetään hitaasti 400–800 °C lämpötilaan, jolloin viipymäaika on pitkä. Tämän seurauksena syntyy enemmän hiiltä ja tervaa sekä vähemmän kaasuja. Nopeassa pyrolyysissä jätevesiliete lämmitetään nopeasti 650 °C lämpötilaan. Prosessissa viipymäaika on lyhyt ja lietettä pidetään halutussa lämpötilassa vain sekunteja. Nopeassa pyrolyysissä syntyy enemmän kaasuja ja tervaa kuin hitaassa pyrolyysissä. (Mikkonen ja Kauriinoja, 17.)

Jätevesilietettä voidaan käsitellä yhdessä yhdyskuntajätteen kanssa pyrolyysillä. Pyrolyysin hyvänä puolena on, että lähes kaikki prosessiin laitetusta lietteestä pystytään muuttamaan täysin käyttökelpoiseen muotoon, jolloin syntyy hyvin vähän jätettä. Pyrolyysin investointi ja vaadittavat tekniikat ovat kalliita sekä pyrolyysi tarvitsee monimutkaisia puhdistusmenetelmiä, jotta lopputuotteita ja sivutuotteita voidaan käyttää. Pyrolyysiprosessi ei ole vielä löytänyt omia markkinoita Euroopan alueella, jonka seurauksena tekniikasta ei vielä ole pitkäaikaisia kokemuksia saatavilla. Toimivan pyrolyysi laitoksen kustannuksista ei ole varmaa tietoa. (Umweltbundesamt 2014, 33.)

4.4.4 Kaasutus

Kaasutusta voidaan käyttää lietteen muuntamiseen käyttökelpoiseksi energiaksi ja näin vähentää ympäristöongelmia. Kaasutuksessa jätevesiliete kuumennetaan noin 800 °C läm-

pötilaan alistökiömetrisissä olosuhteissa. Tämä mahdollistaa veden ja kaasun tai synteesi-kaasun reaktion tapahtumisen, jolloin syntyy hiilimonoksidia ja vetyä sisältävä kaasuseos. Ennen kaasuttamista lietteelle pitää suorittaa vedenerotus sekä mahdollisesti kuivaus, jolloin saavutetaan noin 65 % kuiva-ainepitoisuus. Kaasutuksesta syntyvän kaasun energiapi-toisuus riippuu monista asioista, kuten lietteestä ja reaktorista. (Fytili ja Zabaniotou 2006, 120–130.)

Kaasutusta pidetään erittäin tehokkaana energian talteenoton kannalta. Euroopan alueella kaasutus on ollut pitkään epätavallinen prosessi lietettä käsiteltäessä, mutta nyt se on yleis-tymässä. Suuri haittatekijä kaasutuksessa on saatavan synteesi-kaasun sisältämä pieni pitoi-suus vetysyanidia, joka on hyvin myrkyllistä. Koska kaasutus ei vielä ole yleinen lietteen käsittelymenetelmä Euroopan unionin alueella, siitä ei ole pitkäaikaisia kokemuksia saata-villa. Kaasutuslaitoksen kokonaiskustannuksesta ei ole varmaa tietoa. (Umweltbundesamt 2014, 35.)

4.5 Loppukäyttö ja –sijoitus

Jätevesilietteen esikäsitelyssä ja muuntamisessa päätarkoituksena on vähentää jätevesiliet-teen määrää, minimoida hävitettävän jätevesilietteen riskit sekä käyttää jätevesiliete hyö-dyksi aina, kun se on mahdollista ja taloudellisesti kannattavaa. Jätevesilietettä voidaan käyttää polttoaineena lämpö- ja sähköenergian tuottamiseen. Pääasiassa jätevesilietteellä tuotettu sähköenergia voidaan käyttää jätevedenpuhdistamoilla tai syöttää verkkoon. Ter-misissä prosesseissa syntyvää hukkalämpöä voidaan käyttää lämmöntalteenoton jälkeen uudestaan prosessilämpönä esimerkiksi hyödyntämällä sitä termisessä kuivatuksessa. (Umweltbundesamt 2014, 44.) Euroopan unionin jäsenmaissa jätevesilietteen loppukäytös-sä ja -sijoituksessa käytetään kaatopaikkasijoitusta, maataloutta sekä viherrakentamista (Kelessidis ja Stasinakis 2011, 1191).

4.5.1 Viherrakentaminen

Viherrakentamisessa voidaan käyttää kompostoitua jätevesilietettä. Kompostoituun jäteve-silietteeseen kannattaa lisätä hiekkaa tai savea ominaispainon lisäämiseksi sekä kalkkia ja

muita ravinteita ravinnepitoisuuden parantamiseksi. Kompostoitua lietettä käytetään esimerkiksi kaupunkien puistoissa, muussa viherrakentamisessa sekä kaatopaikkojen peite-
maana. Kompostoidusta jätevesilietteestä on mahdollista tehdä kompostimultaa. Kompos-
tointimullan käytön etuina on ravinteiden kierto sekä keinolannoitteiden tarpeen vähene-
minen. Kompostointimullan haasteita on kysynnänvaihtelu, laadunvaihtelu sekä kompos-
toinnin kustannukset. (Lohiniva et al. 2001, 46.)

4.5.2 Kaatopaikkasijoitus

Jätevesilietteen loppusijoittaminen kaatopaikoille pitäisi olla viimeinen mahdollinen käy-
tettävä vaihtoehto. Kaatopaikoille tulisi sijoittaa vain ne jätevesilietteet, joita ei voi käyttää
hyödyksi tai muita vaihtoehtoja hävittämiseksi ei ole. Jätevesilietettä voidaan sijoittaa kaa-
topaikalle sellaisenaan tai yhdessä yhdyskuntajätteen kanssa. Jätevesilietteen pitää kuiten-
kin olla osittain tai täysin stabiloitua, jolloin vältetään parhaan mukaan ympäristöön pääse-
viä päästöjä. (Umweltbundesamt 2014, 50.)

Kaatopaikkasijoituksen etuihin kuuluu alhainen hinta vaatimukset täyttävillä kaatopaikoil-
la. Kaatopaikkasijoitus kuormittaa ympäristöä huomattavasti ja samalla menetetään hyö-
dyllisiä ravinteita. Kaatopaikkasijoittaminen tulee vaikeutumaan entisestään, kun Euroopan
unionin kaatopaikkadirektiivi astuu kokonaisuudessaan voimaan 2016. (Umweltbundesamt
2014, 50.)

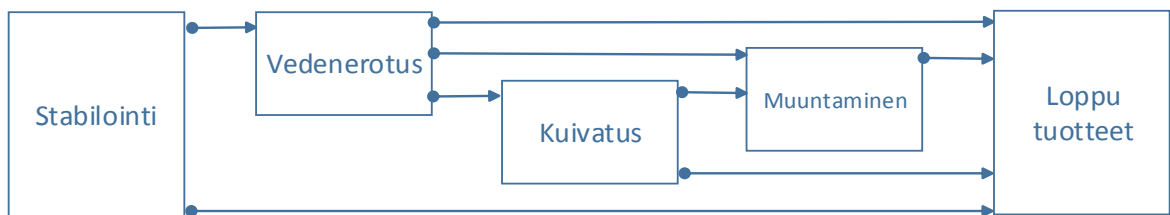
4.5.3 Maatalouskäyttö

Maataloudessa jätevesilietteitä voidaan käyttää lannoitteen tai maanparannusaineena, kuten
viherrakentamisessa. Yhdyskuntajätevesilietteellä on korkeat ravinnepitoisuudet. Jätevesi-
lietteet sisältävät jonkin verran raskasmetalleja ja Euroopan unioni on asettanut jätevesi-
lietteellä käsitellylle maalle pitoisuusraja-arvoja, jotka koskevat raskasmetalleja. Jätevesi-
lietteen ravinnekoostumus ei kuitenkaan aivan vastaa kasvien tarvetta, esimerkiksi fosfori-
pitoisuus voi olla korkea, jolloin lietteeseen tulee lisätä typpeä ja kaliumia. (Lohiniva et al.
2001, 82–83.)

Lannoitekäytön etuna on ravinteiden kierrätys, orgaanisten aineiden käyttö parantaa maaperän humuskerrosta sekä lannoitekäytön kustannukset ovat edulliset. Lannoitekäytön haittana ovat varastoinnin haasteet, koska lietettä voidaan levittää pelloille vain muutaman kerran vuodessa. Lietteen sisältämistä taudinaiheuttajista ja niiden merkityksestä ravintoketjuun ei vielä ole kunnollista tutkimustietoa. (Lohiniva et al. 2001, 82–83.)

4.6 Jätevesilietteen käsittelyn toteutus

Jätevesilietteen käsittely ei aina etene suoraviivaisesti kuvan 3 mukaisessa järjestyksessä. Kuvassa 4 on havainnollistettu eri vaihtoehtoja, millaisilla vaiheilla jätevesilietettä voidaan käsitellä. Valittavat prosessit riippuvat pitkälti siitä, millainen lopputulos halutaan saavuttaa.



Kuva 4. Jätevesilietteen käsittelyn toteutus (Umweltbundesamt 2014, 4).

Stabiloinnista voidaan suoraan päätyä loppu tuotteisiin, kun jätevesiliete kompostoidaan. Kuten edellä on jo mainittu, kompostoinnista syntyvää humusta voidaan käyttää maataloudessa ja viherrakentamisessa jo sellaisenaan.

Jos jätevesiliete poltetaan, jätevesilietelle tulee suorittaa vedenerotus sekä stabilointi. Näiden käsittelyiden jälkeen jätevesilietteen kuiva-ainepitoisuus on tarpeeksi korkea, jotta terminen käsittely voidaan tehdä taloudellisesti. Kuivatuksen jälkeen jätevesiliete voidaan sijoittaa loppu tuotteisiin, jos se käytetään esimerkiksi polttoaineena.

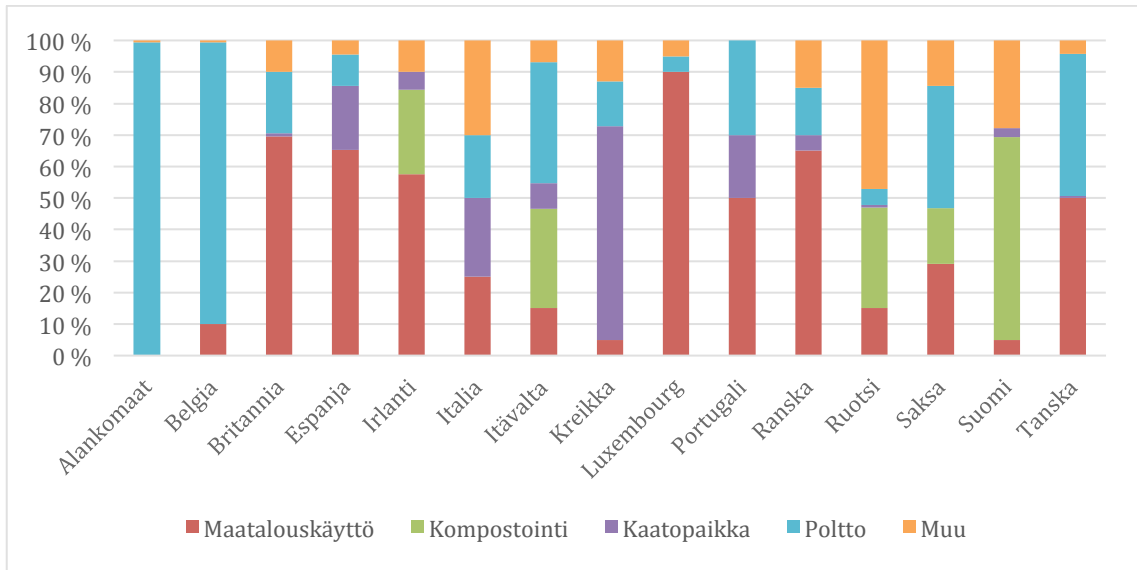
5 MENETELMIEN KÄYTTÖ EU-ALUEELLA

Käytetyt menetelmät vaihtelevat huomattavasti Euroopan unionin jäsenmaiden kesken sekä myös alueellisesti maiden sisällä, kuten Belgiassa. Liitteen 2 taulukossa on esitetty jätevesilietteen stabilointiin, vedenerotukseen ja kuivatukseen käytettyjä menetelmiä. EU15-maissa jätevesilietteen stabilointiin käytetään yleisimmin anaerobista mädätystä sekä kompostointia, vedenerotuksessa suositaan linkoamista ja lietteen kuivatus toteutetaan termisesti. Muitakin menetelmiä käytetään EU15-maissa, mutta edellä mainittuja suositetaan. EU13-maissa jätevesilietteen stabilointiin käytetään kompostointia, vedenerotuksessa käytetään ruuvipuristinta tai linkoa. EU13-maissa lietettä harvemmin kuivataan, koska kompostoitua lietettä voidaan käyttää jo sellaisenaan eikä se tarvitse erillisiä jatkokäsittelyitä. (Kelessidis ja Stasinakis 2011, 1188.)

Jätevesilietteen loppusijoitusvaihtojen valintaan vaikuttavat mm. taloudelliset tekijät, EU-säädökset, kansalliset säädökset sekä maatalouden tarpeet. Britanniassa suurimpia vaikuttavia tekijöitä ovat kustannukset ja menetelmien luotettavuus. Saksassa puolestaan jätevesilietteet, jotka eivät täytä raja-arvoja menevät suoraan polttoon ja osa lopusta jätevesilietteestä hyödynnetään maataloudessa, vaikka maatalouskäyttö onkin saanut aikaan laajaa keskustelua. Ruotsissa ja Ranskassa investointikustannukset ovat vaikuttava tekijä loppusijoitusvaihtoehtoa valittaessa. Itävallassa, Kreikassa ja Virossa kansalliset säädökset vaikuttavat jätevesilietteen loppusijoitusvaihtoehtojen valintaan. (Rantanen et al. 2008, 20.)

Anaerobinen stabilointi ja kompostointi ovat suosituimmat käsittelymenetelmät jätevesilietteen stabiloinnissa. Kalkkistabilointi on myös käytetty menetelmä EU-jäsenmaissa erityisesti EU15-maissa. (Kelessidis ja Stasinakis 2011, 1188.)

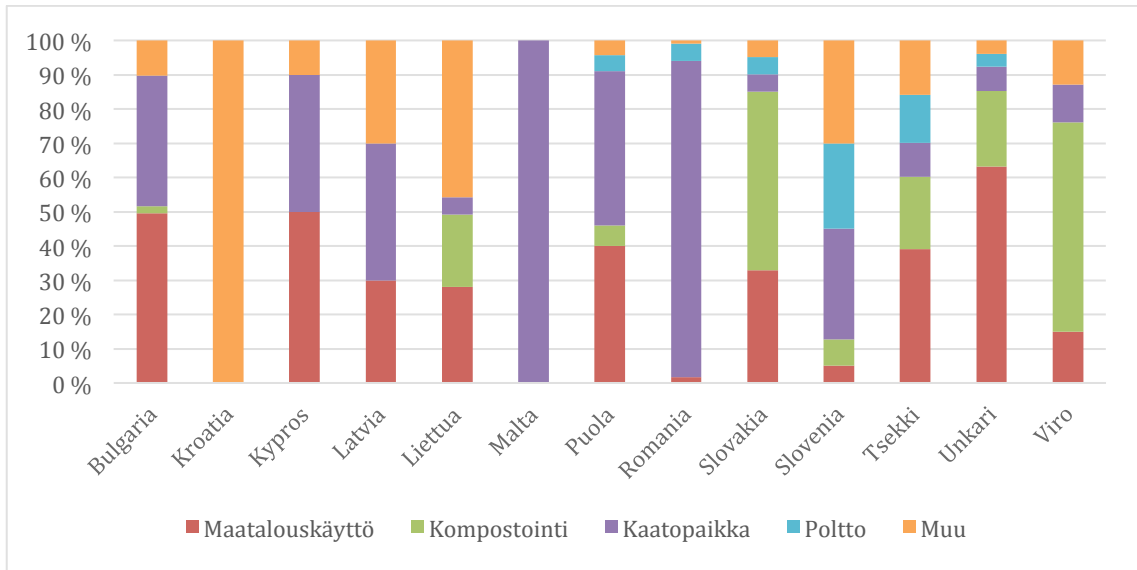
Liitteen 3 taulukossa on esitetty kussakin Euroopan unionin jäsenmaassa käytettyjen menetelmien käyttölaajuus. Taulukossa on eroteltu maatalouskäyttö, kompostointi, kaatopaikka ja muut käsittelymenetelmät. Kuitenkin on syytä huomioida, että kohta muut sisältää käsittelymenetelmiä kuten pyrolyysin, tilapäinen varastoinnin, viherrakentamisen sekä mahdollisesti jäsenmaasta riippuen myös maataloudessa kompostoinnilla käsiteltävää jätevesilietettä (Kelessidis ja Stasinakis 2011, 1191). Liitteen 3 pohjalta on laskettu kuvan 5 ja 6 EU15 ja 13-maissa käytettyjen jätevesilietteiden käsittelymenetelmien prosenttiosuudet.



Kuva 5. Yhdyskuntajätevesilietteen käsittelymenetelmien käyttölaajuus EU15-maissa (Eurostat 2014a, Umweltbundesamt 2013, 48–49).

Kuvasta 5 huomataan, että EU15-maissa suositaan maatalouskäyttöä. Luxembourgin ja Britannian maatalouskäytöllä on suurin osuus maiden jätevesilietteiden loppusijoituksessa. Alankomaat polttaa lähes kaiken yhdyskuntajätevesilietteen, kuten myös Belgia. Taulukosta 3 huomataan, että Alankomaissa ja Belgiassa on asetettu tiukat raja-arvot raskasmetallien pitouksuuksille jätevesilietteellä käsitellylle maaperälle verrattuna muihin EU-maihin. Raja-arvot määrittelevät Alankomaiden ja Belgian jätevesilietteen loppusijoitusmenetelmän. Kreikassa iso osa jätevesilietteestä loppusijoitetaan kaatopaikalle. Muissa EU15-maissa kaatopaikalle sijoitettavan jätevesilietteen määrä on selvästi pienempi. Alankomaissa, Belgiassa, Luxembourgin, Saksassa ja Tanskassa jätevesilietettä ei loppusijoiteta ollenkaan kaatopaikoille. Ruotsissa osio muut on huomattavasti suurempi kuin muilla EU15-mailla, joka saattaa johtua erilasesta raportoinista.

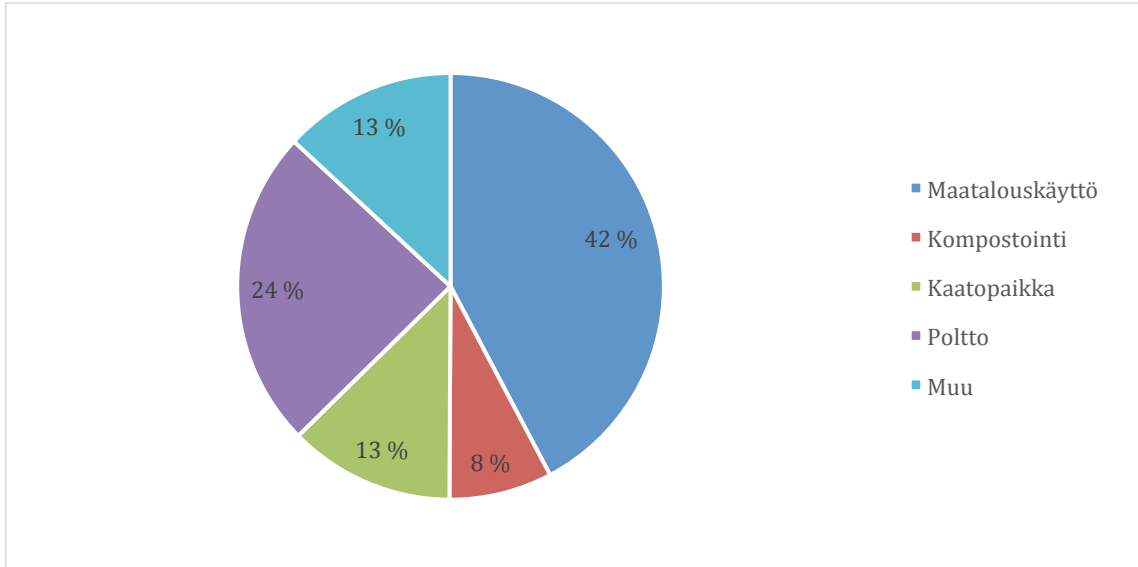
Saksassa on saatu monipuolisia tuloksia lietteen poltosta energiantuotannossa. Saksassa on kehitteillä uusia polttotekniikoita sekä vanhoja tekniikoita parannellaan vastaamaan paremmin nykypäivän tarpeita. Esimerkiksi pyrolyysiä ja termistä hydrolyysiä on kehitetty paljon Saksassa. (Milieu et al. 2010b, 20.)



Kuva 6. Yhdyskuntajätevesilietteen käsittelymenetelmien käyttölaajuus EU13-maissa (Eurostat 2014a, Umweltbundesamt 2013, 48–49).

Kuvassa 6 on esitetty yhdyskuntajätevesilietteen käsittelymenetelmien käyttölaajuus EU13-maissa. Kuvasta huomataan, että EU13-maissa suositaan erilaisia käsittelymenetelmiä verrattuna EU15-maihin. EU13-maissa loppusijoitus kaatopaikoille on huomattavasti suurempaa, kuten Romaniassa ja Maltalla lähes kaikki tuotettu jätevesiliete loppusijoitetaan kaatopaikoille. EU13-maissa jätevesilietteen poltto ei ole yhtä suosittua kuin EU15-maissa, mutta EU13-maissa puolestaan kompostoidaan enemmän. EU13-maissa on huomattavasti enemmän sijoitettu lietettä muut osioon kuin EU15-maissa. Tämä saattaa johtua maiden raportointi käytännöistä sekä raportoinnin luotettavuudesta. Kroatian koko tuotettu yhdyskuntajätevesiliete määrä on sijoitettu osiin muut, koska maa on vielä suhteellisen tuore jäsen EU:ssa eikä maasta ole saatavilla ajantasaista tietoa.

Kuvassa 7 on esitetty koko EU-alueen yhdyskuntajätevesilietteiden käsittelymenetelmien käyttölaajuus. Selvästi suurin osa jätevesilietteestä käytetään mataloudessa lannoitteena tai maanparannusaineena. 24 % jätevesilietteestä poltetaan ja tavallisimmin polttaminen tapahtuu EU15-maissa kuin EU13-maissa. Kaatopaikkasijoitusta ja muita käsittelymenetelmiä käytetään kuvan 7 mukaan saman verran. Kompostoinnin osuus koko EU-alueen jätevesilietteen käsittelyssä on selvästi pienin.



Kuva 7. Yhdyskuntajätevesilietteen käsittelymenetelmien käyttölaajuus EU28-alueella (Eurostat 2014a, Umweltbundesamt 2013, 48–49).

6 JOHTOPÄÄTÖKSET

EU-alueella on tällä hetkellä käytössä monia eri yhdyskuntajätevesilietteiden käsittelymenetelmiä. Käytetyt käsittelymenetelmät vaihtelevat maittain sekä alueittain ja tämän vuoksi on vaikeaa arvioida parasta mahdollista käsittelymenetelmää, joka sopisi kaikille EU-jäsenmaille. Käytettyjen käsittelymenetelmien käyttölaajuudesta EU-jäsenmaissa ei ollut kovinkaan kattavaa ja ajantasaista tietoa tarjolla. Saatavissa olevissa lähteissä keskityttiin lähinnä lietteen loppusijoitusmenetelmiin, jonka vuoksi tässä työssä niistä on raportoitu kattavammin.

Kuvasta 6 ilmenee maatalouskäytön olevan suosituin lietteen hyödyntämistapa sekä polttamisen olevan toiseksi suosituin. On kuitenkin syytä huomata, että kaikissa jäsenmaissa järjestys ei välttämättä ole tämän kaltainen. EU15- ja 13-maiden kesken voi tehdä selvän eron suosittujen loppusijoitusmenetelmien välillä. Valtaosassa EU15-maissa poltto ja maatalouskäyttö ovat selvästi suosituimpia, kun taas EU13-maissa kaatopaikkasijoitus on selvästi suosituin loppusijoitusmenetelmä. Kompostoinnin osuus koko EU-alueella on varsin pieni, mutta todellisuudessa luku saattaa olla isompi johtuen raportoinnin tarkkuudesta.

Raportoitujen tietojen luotettavuus vaihtelee huomattavasti eri EU-maiden kesken, esimerkiksi EU13-maista raportoitujen arvojen luotettavuus on heikompaa kuin EU15-maista. Tämän huomaa erityisesti maassa tuotettuja lietemääriä tutkittaessa, esimerkiksi Bulgariassa tuotettu yhdyskuntajätevesiliete on varsin pieni suhteutettuna maan väestön määrään sekä maan kokoon. Liitteessä 1 on kerrottu väestöosuus jätevedenpuhdistamoiden piirissä, Bulgarian kohdalla huomataan luvun olevan varsin pieni ja tämä vaikuttaa huomattavasti suhteellisen pieneen tuotettuun yhdyskuntajätevesiliete määrään.

7 YHTEENVETO

Yhdyskuntajätevesilietteiden määrä on kasvussa koko Euroopan unionin alueella. Lietemäärään vaikuttaa ratkaisevasti väestönkoko, käytetyt käsittelymenetelmät jätevedenpuhdistamoilla sekä jäteveden puhdistuksen kattavuus. Yhdyskuntajätevesilietteiden käsittelyyn EU-alueella on viime vuosina alettu kiinnittää huomiota niin jäsenmaissa kuin EU:n hallintoelimissä. EU:n lietedirektiiviä ollaan uusimassa todennäköisesti lähivuosina, jolloin siihen tullaan lisäämään raja-arvoja orgaanisille haitta-aineille.

Maatalouskäytössä jätevesilietettä käytetään lannoitteena tai maanparannusaineena. Kuitenkin monissa maissa varoitetaan tai kielletään sen käyttöä lannoitteena ruokakasveille, koska lietteen haitta-aineiden kulkeutumisesta kasveihin ei ole saatu luotettavaa tutkimustietoa. Kompostoitua lietettä käytetään suurimmaksi osaksi kasvuturpeena ja viherrakentamisessa. Kompostoitua yhdyskuntajätevesilietettä ei tarvitse jatko käsitellä enempää vaan sitä voidaan käyttää sellaisenaan. Yleisesti voidaan sanoa yhdyskuntajätevesilietteen hyötykäytön olevan kasvussa koko EU-alueella, joko maataloudessa tai energiaksi. Euroopan unionin lainsäädäntö rohkaisee jätevesilietteiden kierrätykseen ja kaatopaikkadirektiivin voimaan tulon myötä vuonna 2016 jätevesilietteiden loppusijoittaminen kaatopaikoille tulee loppumaan.

Saaduista tuloksista voidaan todetta, että jätevesilietteitä käsitellään asianmukaisesti EU-maissa. Suurta parannusta on tapahtunut 2000-luvun aikana, eikä jätevesilietteitä enää johdeta mereen. Kuitenkin uusilla EU13-mailla on vielä parantamisen varaa jätevesilietteiden käsittelyssä, jotta ne yltäisivät vanhojen EU15-maiden tasolle. EU13-maistakin löytyy

poikkeuksia kuten Unkari, jolla jätevesilietteiden käsittely tilastollisesti vaikuttaa paremmalle, kun kaatopaikalle sijoitettavan jätevesilietteen määrä on pieni.

Aihe kaipaa uutta tutkimusta lähivuosina erityisesti yhdyskuntajätevesilietteiden määrästä sekä koostumuksesta eri EU-maissa. EU on uudistamassa lietedirektiiviä ja tämä varmasti tulee vaikuttamaan huomattavasti jäsenmaiden jätevesilietteiden käsittelytilanteeseen. Myös kaatopaikkadirektiivin vaikutuksista EU-maiden yhdyskuntajätevesilietteiden käsittelyn muutoksia on kannattavaa tutkia tarkemmin varsinkin EU13-maissa, jossa kaatopaikkasijoittaminen on tällä hetkellä suosiossa.

LÄHTEET

Bertanza Giorgio, Glessi Raniero, Menoni Laura, Pedrazzani Roberta, Salvetti Roberta, Zanaboni Sabrina. 2014. Anaerobic treatability of liquid residue from wet oxidation of sewage sludge. *Environmental Science and Pollution Research*. 2014. 1-10 s.

CEN European Committee for Standardization. CEN/TC 308 – Characterization and management of sludge. [verkkosivu]. [viitattu 28.2.2015]. Saatavissa: http://standards.cen.eu/dyn/www/f?p=204:7:0:::FSP_ORG_ID:6289&cs=138BC87F5B1983A3295C14EAE3B3BCB59

European Commission. 2001. Organic contaminants in sewage sludge for agricultural use. [verkkojulkaisu]. [viitattu 24.3.2015]. Saatavissa: http://ec.europa.eu/environment/archives/waste/sludge/pdf/organics_in_sludge.pdf

European Communities. 2001. Disposal and recycling routes for sewage sludge Part 3. [verkkojulkaisu]. [viitattu 28.2.2015]. ISBN 92-894-1800-1. Saatavissa: http://ec.europa.eu/environment/archives/waste/sludge/pdf/sludge_disposal3.pdf

Eurostat. 2014a. Sewage sludge production and disposal from urban wastewater (in dry substance (d.s)). [verkkosivu]. [viitattu 2.3.2015]. Saatavissa: <http://ec.europa.eu/eurostat/tgm/table.do?tab=table&init=1&language=en&pcode=ten00030&plugin=1>

Eurostat. 2014b. Population and employment – annual data. [verkkosivu]. [viitattu 9.3.2015]. Saatavissa: <http://appsso.eurostat.ec.europa.eu/nui/submitViewTableAction.do>

FCG Finnish Consulting Group Oy. 2010. Yhteispuhdistamo lietteiden jatkokäsittely. Vaihtoehtoselvitys. Liite 5. [verkkojulkaisu]. [viitattu 15.3.2015]. Saatavissa: http://www.ymparisto.fi/fi-FI/Asiointi_luvat_ja_ymparistovaikutusten_arviointi/Ymparistovaikutusten_arviointi/YVA_hankkeet/YlaSavon_jatevesien_kasittely_Lapinlahti

Fytli, D., Zabaniotou A. 2006. Utilization of sewage sludge in EU application of old and new methods—a review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 12.1. 2008. 116-140 s.

ISO. ISO/TC 275 Sludge recovery, recycling, treatment and disposal. [verkkosivu]. [viitattu 28.2.2015]. Saatavissa: http://www.iso.org/iso/home/standards_development/list_of_iso_technical_committees/iso_technical_committee.htm?commid=4493530

Kelessidis Alexandros, Stasinakis Athanasios S. 2011. Comparative study of the methods used for treatment and final disposal of sewage sludge in European countries. *Waste management* 32.6. 2012. 1186-1195 s.

Latvala Markus. 2005. Jätevesilietteen anaerobinen käsittely ja biokaasun hyötykäyttö. [verkkojulkaisu]. [viitattu 14.2.2015]. Saatavissa: http://www.motiva.fi/files/7934/Jatevesilietteen_anaerobinen_kasittely_ja_biokaasun_hyot_ykaytto.pdf

Lohiniva Elina, Mäkinen Tuula, Sipilä Kai. 2001. Lietteen käsittely. Uudet ja käytössä olevat tekniikat. VTT tiedotteita 2081. [verkkojulkaisu]. [viitattu 11.3.2015]. Saatavissa: <http://www2.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2001/T2081.pdf>

Mikkonen Lauri, Kauriinoja Anu. Energiaa biomassasta ja jätteestä. [verkkojulkaisu]. [viitattu 20.3.2015]. Saatavissa: http://nortech.oulu.fi/MicrE_files/MicrE_W2E_FIN.pdf

Milieu Ltd, WRc, RPA. 2010a. Environmental, economic and social impacts of the use of sewage sludge on land, Final Report, Part III: Project Interim Reports. [verkkojulkaisu]. [viitattu 28.2.2015]. Saatavissa: http://ec.europa.eu/environment/archives/waste/sludge/pdf/part_iii_report.pdf

Milieu Ltd, WRc, RPA. 2010b. Environmental, economic and social impacts of the use of sewage sludge on land, Summary Report 2, Baseline Scenario, Analysis of Risk and Op-

portunities. [verkkojulkaisu]. [viitattu 28.2.2015]. Saatavissa:
http://ec.europa.eu/environment/archives/waste/sludge/pdf/part_iii_report.pdf

Mininni, G., A. R. Blanch, F. Lueena, S. Berselli. 2014. EU policy on sewage sludge utilization and perspectives on new approaches of sludge management. Environmental Science and Pollution Research. 2014. 1-14 s.

ProAgria Keskusten liitto. 2013. Puhdistamolietteen käyttö maataloudessa. [verkkojulkaisu]. [viitattu 28.2.2015]. Saatavissa:
http://www.mmm.fi/attachments/elo/newfolder/lannoiteaineet/6J0IEpdSu/Puhdistamolietteen_kaytto_maataloudessa.pdf

Rantanen Pirjo, Valve Matti, Kangas Ari. 2008. Lietteen loppusijoitus -esiselvitys. [verkkojulkaisu]. [viitattu 28.2.2015]. ISBN 978-952-11-2969-8. Saatavissa:
https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/39777/SYKEra_1_2008.pdf?sequence=1

Tchobanoglous George, Burton Franklin, Stensel David. 2003. Wastewater engineering: Treatment and reuse. Neljäs painos. New York: McGraw- Hill companies: Metcalf & Eddy Inc. 1819 s. ISBN 0-07-041878-0.

Umweltbundesamt. 2013. Sewage sludge management in Germany. [verkkojulkaisu]. [viitattu 22.3.2015]. Saatavissa:
http://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/378/publikationen/sewage_sludge_management_in_germany.pdf

Umweltbundesamt. 2014. Technical Guide on the Treatment and Recycling Techniques for Sludge from municipal Wastewater Treatment with references to Best Available Techniques. [verkkojulkaisu]. [viitattu 28.2.2015]. Saatavissa:
http://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/378/publikationen/technical_guide_on_the_treatment_and_recycling_techniques_for_sludge_from_municipal_waste_1.pdf

Wang Lawrence, Shamma Nazih, Hung Yung-Tse. 2007. Biosolids Treatment Processes. Volume 6. New Jersey: Human Press Inc. 820 s. eISBN 978-1-59259-996-7.

Ympäristö.fi. 2015. Paras käyttökelpoinen tekniikka BAT. [verkkosivu]. [viitattu 28.2.2015].
Saatavissa: http://www.ymparisto.fi/fi-FI/Kulutus_ja_tuotanto/Paras_tekniikka_BAT/Paras_kayttokelpoinen_tekniikka_BAT%289321%29

Väestöosuus jätevedenpuhdistamoiden piirissä, tuotettu yhdyskuntajätevesiliete EU-jäsenmaissa vuonna 2010 tai 2011* sekä tuotettu jätevesiliete asukasta kohden (Eurostat 2014a, Eurostat 2014b, Umweltbundesamt 2013, 48-49)

Jäsenmaa	Väestöosuus jätevedenpuhdistamoiden piirissä [%]	Tuotettu yhdyskuntajätevesiliete [t 10 ³ DS/vuosi]	Asukasluku	Tuotettu yhdyskuntajätevesiliete [kg DS/asukas]
Alankomaat	99	351	16788600	20,9
Belgia	69	176	11105000	15,8
Britannia	-	1419	64087000	22,1
Espanja	92	1205	45917800	26,2
Irlanti	84	86*	4601800	18,7
Italia	-	1103	61048700	18,1
Itävalta	93	263	8468600	31,1
Kreikka	87	147*	11092800	13,3
Luxembourg	95	10	545200	18,3
Portugali	70	344	10481500	32,8
Ranska	80	966	65741000	14,7
Ruotsi	86	204	9600500	21,2
Saksa	95	1780	82104000	21,7
Suomi	81	149	5438600	27,4
Tanska	-	141	5612000	25,1
YHTEENSÄ EU15	86	8344		21,8
Bulgaria	45	52*	7270600	7,2
Kroatia	-	31*	4252700	7,3
Kypros	30	8	867100	9,2
Latvia	65	22	2014300	10,9
Liettua	71	52*	2958200	17,6
Malta	48	6*	423400	14,2
Puola	64	519*	38502400	13,5
Romania	26	114*	19983500	5,7
Slovakia	52	59*	5413000	10,9
Slovenia	57	26*	2059500	12,6
Tšekki	76	218*	10512600	20,7
Unkari	57	168*	9893700	17,0
Viro	80	18*	1339700	13,4
YHTEENSÄ EU13	56	1293		12,3
YHTEENSÄ EU28	71	9637		17,1

Euroopan unionin alueella käytettyjä jätevesilietteen käsittelymenetelmiä (Kelessidis ja Stasinakis 2011, 1190)

Jäsenmaa	Stabilointi		Vedenerotus				Kuivatus	
	Anaerobinen mädätys	Kompostointi	Lietelavat	Ruuvipuristin	Linako	Suotonauhapuristin	Terminen	Aurinko
Alankomaat	x	x					x	
Belgia	x	x		x	x	x	x	
Britannia	x	x			x	x	x	
Espanja	x	x					x	
Irlanti	x	x			x	x	x	
Italia	x	x	x	x	x	x	x	
Itävalta	x	x		x	x	x	x	
Kreikka	x	x	x		x	x	x	x
Luxembourg		x						
Portugali	x		x	x	x	x	x	
Ranska	x	x		x	x		x	x
Ruotsi	x	x	x		x	x	x	
Saksa		x					x	
Suomi	x	x				x		
Tanska	x	x					x	
EU15	13	14	4	5	9	9	13	2
Bulgaria	x	x		x				
Kroatia	x	x		x	x			
Kypros								
Latvia		x						
Liettua	x	x						
Malta								
Puola	x	x						
Romania		x	x	x	x	x		
Slovakia	x	x	x					
Slovenia	x	x		x	x	x	x	
Tšekki	x	x		x	x			
Unkari		x			x	x		
Viro		x						
EU13	7	11	2	5	5	3	1	0
EU28	20	25	6	10	14	12	14	2

**Yhdyskuntajätevesilietteen käsittely- ja loppusijoitusmenetelmien laajuus (Eurostat
2014a, Umweltbundesamt 2013, 48-49)**

	[t 10 ³ DS/vuosi]					
Jäsenmaa	Tuotettu liete	Maatalouskäyttö	Kompostointi	Kaato- paikka	Poltto	Muu
Alankomaat	351	-	-	-	349	2
Belgia	176	18	-	-	157	1
Britannia	1419	986	-	14	277	142
Espanja	1205	786	-	245	121	53
Irlanti	86	50	23	5	-	9
Italia	1103	276	-	276	221	331
Itävalta	263	39	83	21	101	18
Kreikka	147	7	-	100	21	19
Luxembourg	10	9	-	-	1	1
Portugali	344	172	-	69	103	-
Ranska	966	628	-	48	145	145
Ruotsi	204	31	65	2	10	96
Saksa	1780	518	316	-	690	256
Suomi	149	7	96	4	-	42
Tanska	141	71	-	1	63	6
EU15	8344	3598	583	785	2180	1198
Bulgaria	52	26	1	20	-	5
Kroatia	31	-	-	-	-	31
Kypros	8	4	-	3	-	1
Latvia	22	7	-	9	-	7
Liettua	52	15	11	3	-	24
Malta	6	-	-	6	-	-
Puola	519	208	31	234	25	22
Romania	114	2	-	105	6	1
Slovakia	59	20	31	3	3	3
Slovenia	26	1	2	8	7	8
Tšekki	218	85	46	22	31	35
Unkari	168	106	37	12	6	6
Viro	18	3	11	2	-	2
EU13	1293	475	170	426	77	144
EU28	9637	4073	753	1211	2257	1342