

LAPPEENRANNAN-LAHDEN TEKNILLINEN YLIOPISTO LUT
LUT School of Energy Systems
Ympäristötekniikan koulutusohjelma
Kandidaatintyö

YHDYSKUNTALIETTEIDEN HYÖTYKÄYTTÖ SUOMESSA
Utilization of municipal sludge in Finland

Työn tarkastaja: Professori, TkT Mika Horttanainen
Työn ohjaaja: Apulaisprofessori, TkT Ville Uusitalo

Lappeenrannassa 14.02.2020

Atte Hölsä

TIIVISTELMÄ

Lappeenrannan-Lahden teknillinen yliopisto LUT
LUT School of Energy Systems
Ympäristötekniikan koulutusohjelma

Atte Hölsä

Yhdyskuntalietteiden hyötykäyttö Suomessa

Kandidaatintyö

2020

39 sivua, 5 taulukkoa, 5 kuvaa ja 2 liitettä

Työn tarkastaja: Professori, TkT Mika Horttanainen

Työn ohjaaja: Apulaisprofessori, TkT Ville Uusitalo

Hakusanat: kandidaatintyö, yhdyskuntaliete, hyötykäyttö
Keywords: bachelor's thesis, municipal sludge, utilization

Tämän kandidaatintyön tavoitteena on selvittää, miten yhdyskuntalietteitä käytetään hyödyksi Suomessa ja kuinka paljon lietteitä vuosittain tuotetaan. Lietteiden koostumusta tutkitaan ravinteiden ja haitta-aineiden näkökulmasta ja perehdytään nykyisiin käsittely menetelmiin. Tutkimusmenetelminä käytettiin olemassa olevaa kirjallisuutta ja KIVOn jäsenille toteutettua kyselytutkimusta.

Yhdyskuntienjätevedenpuhdistamoilla syntyy vedenpuhdistusprosessin seurauksena lietettä, joka sisältää paljon ravinteita, kuten kaliumia, typpeä ja erityisesti fosforia, joita voitaisiin hyödyntää esimerkiksi lannoitteena. Hyödyllisten ravinteiden lisäksi yhdyskuntalietteissä on myös paljon erilaisia haitta-aineita. Lietteet sisältävät voivat sisältää patogeeneja, lääkeaineita, mikromuoveja, raskasmetalleja ja orgaanisia haitta-aineita. Näistä vain raskasmetalleille ja osalle patogeeneista on asetettu Suomen laissa rajoitteet. Muiden haitta-aineiden, kuten mikromuovien, pitoisuus ja haitallisuus voi olla tuntematon Suomessa. Lietteet käsitellään Suomessa hygieeniselle tasolle useimmiten mädättämällä ja/tai kompostoimalla. Muitakin käsittelytapoja on, mutta niiden osuudet ovat melko pienet. Hyötykäyttötavoista suosituimmat olivat viherrakentaminen ja maatalous. Viherrakentamisen osuus oli noin puolet kaikista tuotetuista yhdyskuntalietteistä ja maataloudella vastaavasti noin 40%. Muut lietteet menivät joko varastointiin tai ne käytettiin maisemointi tarkoituksessa. Laskennallisesti epäorgaanisista lannoitteista fosforia voitaisiin korvata noin 36-82% ja typpeä vastaavasti 3-7%.

SISÄLLYSLUETTELO

SYMBOLILUETTELO.....	4
1 JOHDANTO.....	5
2 YHDYSKUNTALIIETTEIDEN OMINAISUUDET.....	6
2.1 Koostumus.....	6
2.2 Ravinnepitoisuus.....	8
3 HYÖTYKÄYTÖN RISKIT JA RAJOITTEET.....	10
3.1 Patogeenit.....	10
3.2 Lääkeaineet.....	11
3.3 Mikromuovit.....	12
3.4 Raskasmetallit.....	12
3.5 Orgaaniset haitta-aineet.....	14
4 LIETTEIDEN KÄSITTELY.....	16
4.1 Kompostointi.....	16
4.2 Mädätys.....	16
4.3 Kalkkistabilointi.....	17
4.4 Happo-vetyperoksidikäsitely.....	17
4.5 Terminen kuivaus.....	18
4.6 Poltto.....	18
5 HYÖTYKÄYTÖN VAIHTOEHDOT.....	20
5.1 Viherrakentaminen ja maisemointi.....	20
5.2 Maatalous.....	21
5.3 Muut hyötykäyttötavat.....	22
6 HYÖTYKÄYTÖN NYKYTILANNE.....	23
6.1 Kyselytutkimus.....	23
6.2 Kyselyn tulokset.....	23
6.3 Muut tiedonlähteet.....	25
6.4 Vertailu ja kattavuus.....	29
6.5 Ravinnehöyrykäyttö.....	30
7 YHTEENVETO.....	33
LÄHTEET.....	34

LIITTEET

- Liite I Kyselytutkimuksen kysymykset
 Liite II Kyselytutkimuksen vastaukset

SYMBOLILUETTELO

Yksiköt ja merkit

X massaosuus [kg/t]

Alaindeksit

L Liete

N Typpi

P Fosfori

R Ravinne

Lyhenteet

KIVO Suomen Kiertovoima Ry

PAH Polysykliset aromaattiset hiilivedyt

PFOS Perfluorioktaanisulfonaatti

pmy pesäkkeen muodostava yksikkö

VVY Vesilaitosyhdistys

1 JOHDANTO

Maapallon väkiluvun kasvaessa myös käytössä olevat resurssimme vähenevät kiihtyvällä vauhdilla. Tämän takia kiertotalouden merkitys ihmisten yritysten ja valtioiden päätöksissä ja valinnoissa korostuu entisestään. Erityisesti ravinteiden, kuten fosforin kierrätys on tärkeää, sillä fosforin louhinta nykyisellä tahdilla kuluttaa fosfaattikiven määrää nopeasti, aiheuttaen rehevöitymistä vesistöissä ja kuluttaen ekosysteemin palveluita (Nesme, Withers 2016). Yhdyskuntalietteet sisältävät runsaasti fosforia ja muita ravinteita, joita voitaisiin hyödyntää ruuantuotannossa (Mikola 2017). Yhdyskuntalietteet voivat siis olla yksi mahdollinen ratkaisu ravinneongelmaan.

Yhdyskuntalietteitä syntyy Suomessa jätevedenpuhdistamon jätteenä ja se käsitellään esimerkiksi biokaasu- ja kompostointilaitoksissa. Vuosittain yhdyskuntalietteitä syntyy yli 700 000 tonnia. (Konola, Toivikko 2019, 6). Ravinteista fosforia käytetään Suomessa vuosittain noin 33 tuhatta tonnia ja typpeä vastaavasti noin 234 tuhatta tonnia (Marttinen et al. 2017, 4-5). Ravinnerikkaasta yhdyskuntalietteessä voi olla paljon hyötyä maanviljely tarkoituksessa.

Tässä kandidaatintyössä tarkastellaan yhdyskuntalietteiden hyötykäyttöä Suomessa. Työn tavoitteena on selvittää, miten ravinnepitoista lietettä hyödynnetään Suomessa ja millaisia vaihtoehtoja erilaisille lietteille on olemassa. Hyötykäytön osuuksia tutkitaan kyselytutkimuksen ja kirjallisen materiaalin avulla. Työssä selvitetään ravinnehyötykäytön osuus ja tutustutaan nykyisiin lietteenkäsittely tekniikoihin, joita Suomessa käytetään. Lisäksi tutustutaan yhdyskuntalietteitä koskevaan lainsäädäntöön ja haitta-aineisiin ja arvioidaan niiden vaikutuksia hyötykäyttömahdollisuuksia ja rajoitteita.

2 YHDYSKUNTALIIETTEIDEN OMINAISUUDET

Tässä kappaleessa käydään läpi yhdyskuntalietteiden ominaisuuksia hyötykäytön näkökulmasta. Ominaisuuksista tarkastellaan lähinnä koostumusta ja ravinnepitoisuutta.

Yhdyskuntaliete on yhdyskunnilta peräisin olevaa jätevedenpuhdistamoille kuljetettua tai kulkeutunutta nestemäisen ja kiinteän aineen seosta. Yhdyskuntaliete ei siis varsinaisesti ole kiinteää, eikä nestemäistä ainetta, mutta luokitellaan tästä huolimatta kiinteäksi aineeksi. Yhdyskuntalietteeksi päätyvää ainetta tulee esimerkiksi kotitalouksien jätevesistä ja hulevesistä. Jätevedenpuhdistamoilla kiintoaine erotellaan vedestä ja se sakeutetaan lietteeksi.

2.1 Koostumus

Jätevedenpuhdistamon päätavoite on puhdistaa sinne saapuva aines puhtaaksi vedeksi. Tämä tarkoittaa, että kaikki epäpuhtaudet erotetaan vedestä lietteeseen. Tästä syystä yhdyskuntalietteen koostumus vaihtelee melko paljon riippuen laitostyypistä, lietteenkäsittelytavasta sekä siitä, mitä jätevedenpuhdistamoille on kantautunut.

Käsittelemätön yhdyskuntaliete koostuu vedestä ja kuivasta-aineesta, joiden suhde vaihtelee laitoskohtaisesti. Suomessa stabiloimattomassa yhdyskuntalietteessä kuiva-ainetta on noin 10-20%, mutta vaihtelua on kumpaankin suuntaan (SYKE 2019). Käsitellyissä lietteissä kuiva-aine pitoisuus vaihtelee merkittävästi käsittelytavan perusteella. Taulukossa 1 on esitetty eräiden yhdyskuntalietteiden keskimääräiset alkuaine pitoisuudet.

Taulukko 1. Yhdyskuntalietteen kuiva-aineen keskimääräinen koostumus. (Lohiniva et al. 2001, 20; Strömberg 2006, 80; Phyllis2 1997, #2879.)

Alkuaine	Yksikkö	Keskimääräinen pitoisuus (Lohiniva et al.)	Keskimääräinen pitoisuus (Strömberg)	Keskimääräinen pitoisuus (Phyllis2)
Hiili	m-%	27,00	52,25	39,21
Vety	m-%	4,30	7,35	5,82
Happi	m-%	-	31,30	25,56
Rikki	m-%	0,70	2,05	1,15
Typpi	m-%	3,60	6,80	5,94
Kloori	m-%	0,07	0,12	0,11
Fosfori	g/kg	28,30	64,40	34,92
Alumiini	g/kg	49,30	51,40	11,77
Kalsium	g/kg	41,70	53,60	23,47
Rauta	g/kg	92,70	146,60	32,47
Magnesium	g/kg	3,90	10,70	5,80
Pii	g/kg	-	87,70	17,14
Kalium	g/kg	2,00	4,00	6,35
Natrium	g/kg	-	4,60	1,44
Titaani	g/kg	-	2,90	0,74
Kupari	g/kg	0,31	0,93	0,37
Sinkki	g/kg	0,92	1,56	0,99
Mangaani	g/kg	0,40	1,00	0,42
Molybdeeni	mg/kg	1,9	12,1	7,6
Boori	mg/kg	46,8	-	32,9

Taulukon 1 vasemmanpuoleisesta sarakkeesta ilmenee lietteen pitoisuus Suomessa, keskimäisessä lietteen keskimääräinen pitoisuus Euroopassa ja oikeanpuoleisessa erään Itävaltalaisen jätevedenpuhdistamon lietteen keskimääräinen pitoisuus. Liete koostuu pääasiassa hiilestä, vedystä, typestä, rikistä, hapesta ja kloorista. Yhdessä nämä muodostavat noin 77-99% lietteen kuiva-ainepitoisuudesta. Nämä alkuaineet ovat pääosin rasvojen, proteiinien, selluloosan ja silikaattien muodossa (Fytili, Zabaniotou 2006, 4). Jäljelle jäävän osuuden muodostavat hivenaineet, joiden osuudet on ilmaistu taulukossa. Hivenaineet, joiden pitoisuudet ovat alle 0,1 g/kg on jätetty taulukon ulkopuolelle lukuun ottamatta kasveille tarpeellisia ravinteita. Suomalaisen yhdyskuntalietteen pitoisuuden lisäksi on otettu kaksi muuta lietettä, sillä Suomalaisen lietteen tiedoista puuttuu mm. happi, joka vastaa noin neljänneksestä koko lietteen painosta, sekä monia muita hivenaineita.

2.2 Ravinnepitoisuus

Yhdyskuntaliete sisältää kasveille hyödyllisiä ravinneaineita, joista tärkeimmät ovat typpi, fosfori ja kalium. Muita pääravinteita ovat kalsium, magnesium ja rikki. Tämän lisäksi tarvitaan myös useita hivenaineita, joita ovat rauta, sinkki, mangaani, kupari, molybdeeni, boori ja kloori. Typpeä kasvit tarvitsevat pääasiassa valkuaisaineiden muodostamiseen, eli käytännössä typpeä tarvitaan kaikkialla kasvissa. Vaikka typpi onkin tärkeä ravinne kasville, liiallinen typpi voi aiheuttaa kasvisolun heikkenemistä ja vastustuskyky ongelmia. Typen puutostila aiheuttaa heikkoa kasvua ja kellastumista. Typpeä kasvit ottavat maasta NO_3^- ja NH_4^+ -ionien muodossa. (Soini 2003, 146)

Fosforia kasvit tarvitsevat kasvuun ja kehittymiseen, rakenteen vahvuuteen ja talvensietokykyyn (Soini 2003, 146). Ravinteiden tuotannon näkökulmasta fosfori on erittäin ongelmallinen. Fosforia on olemassa vain rajallinen määrä ja saatavuus nykyään on huono. Tämän lisäksi fosforin louhinta aiheuttaa kaivosten läheisyydessä rehevöitymistä, ekosysteemien muutosta ja terveysriskejä ihmisille. (Nesme, Withers 2016) Fosforin puutostila aiheuttaa juurten heikkoa kasvua ja kuolemista ja lehtien sinertävyyttä ja punoitusta. Fosforia kasvit kykenevät hyödyntämään H_2PO_4^- ja HPO_4^- -ionien muodossa. (Soini 2003, 146)

Kaliumia kasvit tarvitsevat pääasiassa yhteyttämiseen. Vaikutuksia on myös solunesteen väkyyteen ja se lisää solun kestävyyttä. Kaliumin puutos altistaa kasvin taudeille ja tuholaisille, heikentää talvensietokykyä ja aiheuttaa lehtien vaalenemista ja lopulta ruskettumista. Liiallinen kaliumin määrä puolestaan voi vaikuttaa kasvien vedenottoa maaperästä. Kaliumia kasvit ottavat maasta K^+ -ionin muodossa. (Soini 2003, 146)

Kalsiumia kasvit tarvitsevat solun rakenteeseen. Kalsiumin läsnäolo maaperässä vaikuttaa happamuuteen ja muiden ravinteiden hyväksikäyttömahdollisuuksiin. Liian suuri tai pieni kalsiumpitoisuus voi tehdä muiden ravinteiden käyttöönoton mahdottomaksi. Kalsiumin puutos vaikuttaa kasvin kasvuun ja juuristoon heikentävästi. Kalsiumia kasvit ottavat maaperästä veteen liunneen Ca^{2+} -ionin muodossa. (Soini 2003, 146)

Magnesiumia kasvit tarvitsevat lehtivihreän muodostukseen ja solujen jakautumistoiminnoissa. Magnesiumin puutostila aiheuttaa lehtien kellastumista ja ruskettumista. Kasvit saavat magnesiumia maaperästä Mg^{2+} -ionin muodossa. (Soini 2003, 146)

Rikkiä kasvit tarvitsevat valkuaisaineiden valmistukseen ja rikin puutostila aiheuttaa heikkoa kasvua ja vihreän värin kellastumista. Kasvit saavat rikkiä maasta SO_4^{2-} -ionin muodossa. (Soini 2003, 146)

Kuten taulukosta 1 voidaan nähdä, yhdyskuntaliete sisältää kaikkia näitä tarvittavia ravinteita. Esimerkiksi kiertotalouden näkökulmasta yhdyskuntalietepohjainen lannoitevalmiste voisi toimia vaihtoehtona epäorgaanisille lannoitteille, jotka käyttävät esimerkiksi louhittua fosforia tuotannossaan.

3 HYÖTYKÄYTÖN RISKIT JA RAJOITTEET

Riskit sisältävät haitta-aineiden aiheuttamia ongelmia ja rajoitteissa käsitellään riskien ja nykyisen lainsäädännön asettamia rajoja. Haitta-aineiden tarkastelu rajataan patogeeneihin, lääkeaineisiin, mikromuoveihin, raskasmetalleihin ja yleisimpiin orgaanisiin haitta-aineisiin.

3.1 Patogeenit

Yhdyskuntalietteen on tutkittu sisältävän monia ihmiselle haitallisia bakteerilajeja. Infektioita aiheuttavia bakteerilajeja, kuten esimerkiksi salmonella-, E. coli- ja kampylobakteereja on yleensä löydetty yhdyskuntalietteistä. Taudinaiheuttajabakteerit, kuten esimerkiksi legionella-, listeria monocytogenesbakteerit ovat myös melko yleisiä. Suomessa on tehty useita tutkimuksia näiden ja useiden muiden bakteerien esiintyvyydestä vedenpuhdistuksen eri vaiheista. Raaka-lietteestä, huonosti kalkkistabiloidusta, mesofiilisesti mädätetystä tai turpeeseen sekoitetusta lietteestä löytyi runsaasti tutkittuja taudinaiheuttajabakteereja, kuten *C. perfringens* ja *L. monocytogenes* -bakteereja. Hyvin käsitellystä lietteestä näitä bakteereja ei löydetty, joten vain hyvin käsiteltyä lietettä suositellaan käytettävän maatalouskäytössä. Yleisesti ottaen yhdyskuntalietteen maatalouskäytön riskit ovat melko pienet bakteerien osalta. (Vieno et al. 2018, 24-25, 84-86)

Viruksista yleisimmät yhdyskuntalietteissä ja jätevedenpuhdistamoilla ovat mm. adeno-, astro-, hepatiitti-, noro-, ja rotavirukset. Virukset eivät kuitenkaan selviä yhdyskuntalietteissä ilman isäntäeliötä, mikä rajoittaa virusten selviytymismahdollisuuksia merkittävästi. Yhdyskuntalietteistä ja niiden maataloustuotteista Suomessa on tutkittu noro- ja astroviruksia. Samoin kuin bakteereja, näitä viruksia löydettiin lähinnä huonosti käsitellyistä lietteistä ja raakalietteistä. Riskit ovat siis käytännössä samanlaiset bakteerien kanssa. (Vieno et al. 2018, 25, 109, 111)

Loisiksi luokitellaan alkueläimiä, niveljalkaisia ja matoja, jotka ovat riippuvaisia isäntäeliöstään. Yhdyskuntalietteissä ja jätevedenpuhdistamoilla *Cryptosporidium* ja *Giardia* -alkueläimet ovat yleisiä ja myös melko kestäviä. Näiden molempien alkueläinten ookystia, eli kestomuotoja, on löydetty lietteissä, joita on kompostoitu 30 viikkoa. (Vieno et al. 2018, 25-26, 84)

Suomen lainsäädäntö asettaa rajoitteet kahdelle eri taudinaiheuttajalle. Lannoitevalmisteissa salmonellaa ei saa olla todettavissa, *E. Coli* bakteeria on oltava alle 1 000 pmy/g ja Ammatimaisessa kasvihuoneviljelyssä sen on oltava alle 100 pmy/g (MMM 24/11 2011, 25).

3.2 Lääkeaineet

Lääkeainejäämiä tulee jätevedenpuhdistamoille pääasiallisesti kotitalouksilta, mutta merkittäviä kuormittajia ovat myös sairaalat, terveysasemat, lääkkeiden tuotantolaitokset ja vanhainkodit. Lääkeaineanalytiikka on vasta kehitteillä, joten lääkeaineiden havaitseminen on tässä vaiheessa vielä hankalaa. (Fjäder 2016, 17-18) Lääkeaineiden määrää ei ole rajoitettu Suomen lainsäädännössä.

Suomessa on tutkittu yleisimpien antibioottien, kipu-, masennus-, sydän- ja verisuonitautilääkkeiden ja hormonien määrää yhdyskuntalietteissä. Yleisimmät lääkeaineet lietteissä ovat ibuprofeeni, jota käytetään yleisenä tulehduskipulääkkeenä ja enalapriili, jota käytetään sydän- ja verisuonitautilääkkeenä. Eräässä tutkimuksessa ibuprofeenia löydettiin puhdistamolietteistä noin 132-970 µg/kg kuiva-ainetta kohden ja enalapriilia löydettiin 140-1500 µg/kg kuiva-ainetta kohden. Enalapriilin keskiarvo kuitenkin oli vain noin 350 µg/kg kuiva-ainetta kohden. Mielialalääkkeitä löytyi parhaimmillaan noin 70 µg/kg kuiva-ainetta kohden ja hormoneja löytyi parhaimmillaan 55 µg/kg kuiva-ainetta kohden. (Fjäder 2016, 19-22)

Antibiooteista yleisimpiä ovat doksisykliini, siprofloksasiini, ofloksasiini ja tetrasykliini. Näitä on löydetty paljon käsittelemättömistä lietteistä, sekä myös käsitellyistä lietteistä. Osa antibiooteista sitoutuu lietteisiin helposti ja jää jäteveteen. Antibiootteja esiintyy kaikista lääkeaineista eniten. Käsittelemättömissä lietteissä antibiootteja on noin 7,8 mg/kg kuiva-ainetta kohden. Kompostoinnin jälkeen antibiootteja on jäljellä vielä noin 1,5 mg/kg. (Vieno

2015, 67-68) Antibiooteilla on myös yhteisvaikutus yhdyskuntalietteissä elävien bakteerien kanssa. Lietteissä olevat bakteerit voivat kehittää vastustuskyvyn niille antibiooteille, joiden kanssa ne ovat tekemisissä. Antibioottiresistenssin syntymiseen vaikuttaa myös muutkin aineet. Antibioottien lisäksi antibioottiresistenssigeenejä lisäävät myös biosidit, kuten triklosaani ja klooriheksidiini, ja raskasmetallit. (Vieno et al. 2018, 29)

3.3 Mikromuovit

Mikromuoveiksi luokitellaan yleensä alle 5 mm kokoiset muovihiukkaset. Pienimpiä muovihiukkasia, mitä jätevesistä ja puhdistamolietteistä on tutkittu, ovat noin 1-300 μ m kokoisia. Tästä pienempiä hiukkasia on vaikea tutkia suodatus ongelmien takia. Merkittäviä mikromuovi lähteistä jätevedenpuhdistamoille ovat kotitalouksien keinokuidut ja kosmetiikka, kierrätys ja prosessointi, sekä hulevesien mukana kulkeutuva rengaspöly, maalihiukkaset, tiemerkintämassat ja auton osat. Suomessa ei ole tutkittu mikromuovien määrää lietteissä, mutta esimerkiksi Tanskasta mikromuovien pitoisuus mädätetyssä ja kuivatetussa lietteessä oli keskimäärin 3,6 g/kg 20-500 μ m kokoluokassa. (Vieno et al. 2018, 30-31, 34) Mikromuoveja ei rajoiteta Suomen lainsäädännössä.

Mikromuovien vaikutuksia ihmisiin ei tunneta tällä hetkellä kovin hyvin, mutta on todettu, että eliöille mikromuovit voivat aiheuttaa fyysisiä haittoja kuten haavaumia ja kertymistä ruuansulatusjärjestelmään. Muovin monomeerit ja lisäaineet, kuten antimikrobiset yhdisteet palonestoaineet, pehmentimet ja pigmentit voivat lisätä mikromuovien riskiä lietteissä. (Vieno et al. 2018, 64-65)

3.4 Raskasmetallit

Tarkasteltavia metalleja ovat elohopea, kadmium ja lyijy. Metalleja vedenpuhdistamoille päätyy mm. teollisuudesta, hulevesien mukana eri pinnoilta, terästuotteista, laskeumasta, autojen pesusta ja yksityisestä käytöstä, kuten kosmetiikasta (Vieno et al. 2018, 18).

Kadmiumin myrkyllisyys ja karsinogeenisyys on kyetty todistamaan mm. ihmisillä ja vesiympäristön eläimille. Myrkyllisiä vaikutuksia on erityisesti maksalle, munuaisille, lisääntymisjärjestelmälle ja hermostolle. Eläinten lisäksi kasvit, sekä maalla, että vedessä kärsivät myös kadmiumista. Kasvien sadon on todettu vähenevän, kun kadmiumin pitoisuus kasvaa maaperässä, mutta kadmiumin herkkyys vaihtelee paljon. Vesikasveilla puolestaan kasvu hidastuu ja kloroosi lisääntyy. Puhdistamolietteestä valmistetussa maanparannusaineessa kadmiumia on keskimääräin noin 0,68 mg/kg kuiva-ainetta kohden. Yläraja kadmiumille määritellään lannoitevalmistelaisissa ja se on 1,5 mg/kg kuiva-ainetta kohden. Puhdistamoliete pohjaista maanparannusainetta ei saa käyttää, kun peltomaan kadmium pitoisuus on suurempi kuin 0,5 mg/kg. (Vieno et al. 2018, 40-41, 69)

Lyijy on myrkyllinen, karsinogeeninen ja teratogeeninen. Ihmisillä lyijy vaikuttaa keskushermostoon, munuaisiin ja sydän- ja verenkiertoelimistöön. Vaikutuksia on myös lapsilla kehitykseen. Vastaavanlaisia ongelmia on ihmisten lisäksi muilla eläimillä. Kasveille lyijy aiheuttaa yleisesti sadon alenemista monien eri oireiden summana ja vesieliöillä on havaittu akuuttia kuolemista selkärangattomilla ja kaloilla lyijypitoisuuden kasvaessa. Lyijyä puhdistamolietepohjaisessa maanparannusaineessa on keskimäärin 13,9 mg/kg kuiva-ainetta kohden ja lannoitevalmistelaisissa määritelty yläraja on 100 mg/kg kuiva-ainetta kohden. Maanparannusainetta ei myöskään saa käyttää, jos peltomaan lyijypitoisuus on suurempi kuin 60 mg/kg kuiva-ainetta kohden. (Vieno et al. 2018, 41,70)

Alkuaine muodossaan elohopea ei ole kovin vaarallista muuten kuin päästessään suoraan verenkiertoon, mutta epäorgaanisena yhdisteenä ja orgaanisena yhdisteenä elohopeasta tulee myrkyllistä. Ihmisille vaikutuksia on erityisesti mm. munuaisille, maksalle ja aivoille. Elohopea on yhtä myrkyllinen ihmisten lisäksi muille eläimille ja vesieliöille. Kasveille elohopea aiheuttaa mm. veden oton heikkenemistä, juurten kasvun ja taimen kasvun heikkenemistä, sekä kloroosia. Elohopeaa puhdistamolietepohjaisessa maanparannusaineessa on keskimäärin noin 0,36 mg/kg kuiva-ainetta kohden ja lannoitevalmistelaisissa määrätty yläraja on 1,0 mg/kg kuiva-ainetta kohden. Maanparannusainetta ei saa käyttää, kun peltomaan elohopeapitoisuus on suurempi kuin 0,2 mg/kg kuiva-ainetta kohden. (Vieno et al. 2018, 41,70)

3.5 Orgaaniset haitta-aineet

Tässä kappaleessa tarkastellaan yleisimpiä ja haitallisimpia orgaanisia haitta-aineita, joita on löydetty yhdyskuntalietteistä. Orgaaniset haitta-aineet sisältävät satoja tuhansia eri aineita, mutta vain pieni osa niistä on oleellisia yhdyskuntaalietteiden kannalta (Vieno et al. 2018, 20) Orgaanisia haitta-aineita ei rajoiteta Suomen lainsäädännössä.

Yhdyskuntalietteilte oleelliset orgaaniset haitta-aineet voidaan jakaa pääasiassa viiteen eri ryhmään PAH, perfluorattuihin ja fenolisiin yhdisteisiin, ftalaatteihin ja palonestoaineisiin. Orgaanisten haitta-aineiden pitoisuudet vähenevät merkittävästi lietteenkäsittelyn aikana. Aineiden vähentyminen riippuu kuitenkin lietteenkäsittelytavasta ja kaikista pysyvimmät aineet, kuten eräät perfluoratut yhdisteet ja palonestoaineet, pysyvät lietteessä käsittelytavasta riippumatta. Muita kulkeutumiseen ja hajoamiseen vaikuttavia tekijöitä ovat aineiden ominaisuudet, kuten vesiliukoisuus, molekyylikoko, funktionaaliset ryhmät ja niiden varaus. (Vieno et al. 2018, 20-24,48)

Haitalliset vaikutukset vaihtelevat ainekohtaisesti ja vaikutuksia on, sekä ympäristölle, että ihmisille. Esimerkiksi PFOS on perfluoratuista yhdisteistä haitallisin ja se aiheuttaa ihmisille maksavaurioita ja kehityshäiriöistä ja ympäristössä aine on erittäin pysyvä ja biokertyvä. Suomessa PFOS yhdistettä on löytynyt käsitellystä yhdyskuntalietteistä 0,006 mg/kg. (Vieno et al. 2018, 50,74)

Taulukossa 2 on koostetusti taulukoitu tässä kappaleessa käsitellyt haitta-aineet raja-arvoineen, mikäli sellaisia on olemassa Suomen laissa.

Taulukko 2. Haitta-aineiden pitoisuudet ja Suomen lain asettamat raja-arvot

Haitta-aine	Taso keskimäärin	Suomen lain asettama yläraja
E. coli	-	1 000 pmy
Salmonella	-	0 pmy
Ibuprofeeni	132-970 µg/kg	-
Enalapriili	350 µg/kg	-
Mielialalääkkeet	30 µg/kg	-
Antibiootit	7,8 mg/kg	-
Mikromuovit	6,5 g/kg	-
Kadmium	0,86 mg/kg	1,5 mg/kg
Lyijy	13,9 mg/kg	100 mg/kg
Elohopea	0,36 mg/kg	1,0 mg/kg
PFOS	0,006 mg/kg	-

Kuten taulukosta 2 huomataan, suurimmalle osalle haitta-aineista ei ole asetettu Suomen laissa raja-arvoa, mutta ovat kuitenkin ihmiselle ja ympäristölle haitallisia aineita. Esimerkiksi mikromuovien pitoisuus on melko korkea, eikä niiden haittavaikutuksista tiedetä vielä kovinkaan paljon.

4 LIETTEIDEN KÄSITTELY

Tässä kappaleessa tarkastellaan yleisimpiä lietteiden käsittely menetelmiä. Ennen kuin lietettä voidaan hyödyntää sen laatua ja hygieenisyyttä täytyy parantaa, jotta se täyttää sille asetetut kriteerit (Vilpanen, Toivikko 2017, 3).

4.1 Kompostointi

Suomessa hyötykäyttöön menevä yhdyskuntaliete tyypillisesti käsitellään kompostoimalla. Ennen kompostointia saapuva yhdyskuntaliete täytyy kuivata. Liete tyypillisesti kuivataan noin 20% kuiva-ainepitoisuuteen, mutta pienemmillä laitoksilla kuivaus voi jäädä noin 15%:iin. Tukiainetta, joka on siis suurikokoisen puuhakkeen ja turpeen sekoitusta, lisätään lietteeseen noin 1-2 kertaa lietteen tilavuuden verran. Itse kompostointi tapahtuu ensin reaktorissa ja sen jälkeen sitä jälkikypsytetään aumoissa. Reaktorissa syntynyt massa ilmasteetaan, sekoitetaan ja siitä poistetaan syntyneitä kompostikaasuja. Tässä vaiheessa suoritetaan myös kompostimassan hygienisointi, jotta sitä voidaan käyttää viherrakennus ja maanparannusaine tarkoituksissa. Reaktorityypeistä suosituin Suomessa, sekä pienessä, että suuressa mittakaavassa on tunnelikompostointi. (Pöyry 2007, 14-16) Vuonna 2018 kompostointi oli pääasiallinen käsittelytapa 13%:lle yhdyskuntalietteistä (Konola, Toivikko 2019, 8).

4.2 Mädätys

Mädätys on myös yleinen käsittelytapa johtuen biokaasulaitosten yleisyydestä. Mädätys voidaan jakaa kahteen eri päätyyppiin, märkämädätykseen ja kuivamädätykseen. Märkämädätyksessä kiintoainepitoisuus saa olla enintään 15% ja kuivamädätyksessä se on noin 20-40%. Ennen mädätysprosessia liete täytyy ensin sakeuttaa, joko gravitaatiotiivistimessä tai mekaanisella tiivistimellä. Mädätys tapahtuu hapettomassa ja suljetussa reaktorissa ja voidaan suorittaa, joko mesofiilisesti noin 37°C:ssa tai termofiilisesti noin 55°C:ssa. Suomessa suurin osa reaktoreista toimivat mesofiilisesti (Pöyry 2007, 19-20) Pelkkä mädätys ei täytä lannoitevalmisteiden ja viherrakentamisen vaatimia kriteerejä, joten syntyvä mädäte kompostoidaan tai käsitellään jollain muulla tavalla. Kaikki käsittelylaitokset eivät kuitenkaan kä-

sittele mädätettä itse vaan toimittavat sen eteenpäin jollekin toiselle toimijalle, joka käsittelee mädätteen ja toimittaa sen hyötykäyttöön. (Vilpanen, Toivikko 2017, 3) Vuonna 2018 pelkkä mädätys oli pääasiallinen käsittelytapa 25%:lle lietteistä ja mädätys ja kompostointi samassa laitoksessa 49%:lla. (Konola, Toivikko 2019, 8)

4.3 Kalkkistabilointi

Kalkkistabilointi perustuu lietteen pH arvon nostoon, jotta kaikki biologinen toiminta lakkaa ja pH arvo pysyisi korkealla, kunnes liete on saatu hygienisoitua. Stabiloimiseen käytetään poltettua kalkkia. Lietteessä kalkki reagoi veden kanssa nostaa lietteen pH arvon noin 12:een ja lämpötilan noin 60°C. Tätä menetelmää käytetään kuivatulle lietteelle, jonka kiintoainepitoisuus on noin 18-35%, mutta käyttö on myös mahdollista märälle lietteelle. Kalkkistabilointi on käytännössä käytettävissä vain pienillä laitoksilla koska stabiloitua lietettä ei ole kannattavaa kuljettaa pitkälle ja sitä voidaan käyttää pelloilla vain kesäisin. (Pöyry 2007, 36) Todellisuudessa kalkkistabilointi ei kuitenkaan ole muuta kuin väliaikainen varavaihtoehto lietteenkäsittelylaitoksille. (Vilpanen, Toivikko 2017, 3). Vuonna 2018 kalkkistabilointi oli pääasiallinen käsittelytapa alle 1%:lle lietteistä. (Konola, Toivikko 2019, 8).

4.4 Happo-vetyperoksidikäsitteily

Kalkkistabiloinnin lisäksi toinen lannoitevalmistelaisissa hyväksytty kemiallinen käsittelytapa on happo-vetyperoksidikäsitteily, joka tunnetaan toiselta nimeltään myös kemicond-käsittelynä. Kemicond-käsittelyllä voidaan käsitellä ilman esikäsitteilyä käynyttä raakaliettä tai esikäsiteltyä sakeutettua tai mädätettyä lietettä. Prosessissa lietteen pH arvoa lasketaan noin neljään lisäämällä rikkihappoa. Tällöin lietteen geolimäinen rakenne hajoaa ja rautasuolat liukenevat. Tämän jälkeen liete hapetetaan vetyperoksidilla, joka hapettaa kahdenarvoisen ferroraudan kolmiarvoiseksi ferriraudaksi, joka puolestaan hapettaa lietteen fosfaatti-ionit ferrifosfaateiksi. Lopulta liete neutralisoidaan natriumhydroksidilla ja kuivataan mekaanisesti. Kuivatuksen tehostamiseksi lietteen joukkoon lisätään polymeeriä. Lopputuotteenä saadaan rakeistettua ja lähes tarttumaton lietettä, jota voidaan käyttää maanparan-

nusaineena. (Pöyry 2007, 33-34) Vuonna 2018 happo-vetyperoksidikäsittely oli pääasiallinen käsittelytapa 6%:lle yhdyskuntalietteistä. Määdätyksen ja kemiallisen käsittelyn yhteiskäyttöä käytettiin 1%:lle yhdyskuntalietteistä (Konola, Toivikko 2019, 8)

4.5 Terminen kuivaus

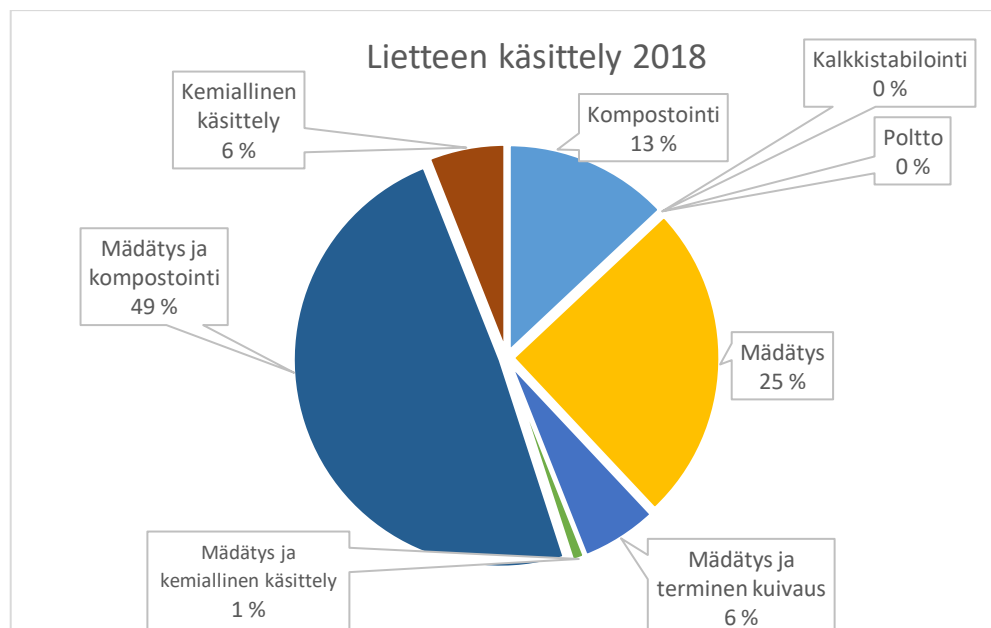
Termisessä kuivauksessa vesi poistetaan lietteestä haihduttamalla, joko suoraan konvektiokuivauksella tai epäsuorasti kontaktikuivauksella. Ennen haihdutusprosessia liete täytyy aluksi esikuivata mekaanisesti esimerkiksi linkoamalla koska tämä on halvempaa kuin pelkkä terminen kuivaus. Kuivaus voidaan suorittaa, joko täyskuivauksena, jolloin kiintoainepitoisuus on yli 85% tai osittaisena kuivauksena, jolloin kiintoainepitoisuus on alle 85%. Kuivauksen lopputuote voidaan, joko rakeistaa, tai granuloida lannoitekäyttöä varten. Vaihtoehtoisesti rakeistus ja granulointi voidaan jättää välistä ja pölymäinen lopputuote voidaan polttaa. (Pöyry 2007, 26-27) Vuonna 2018 termistä kuivausta käytettiin yhdessä määdätyksen kanssa ja sen osuus oli 6% kaikista käsitellyistä yhdyskuntalietteistä (Konola, Toivikko 2019, 8).

4.6 Poltto

Yhdyskuntalietteitä voidaan myös polttaa lietteen- tai jätteenpolttolaitoksissa muun jätteen kanssa. Jotta lietettä voitaisiin polttaa, sitä täytyy ensin kuivattaa esimerkiksi mekaanisesti tai termisesti tai vastaavasti happo-vetyperoksidikäsittelyn jälkeen. Hyvä kuiva-ainepitoisuus vaihtelee laitoksittain, mutta esimerkiksi arinapoltto sen tulisi olla yli 45%. Paras polttotapa lietteelle on kuitenkin leijupolttotekniikka, sillä lietteen ei tarvitse olla niin kuivaa kuin arinapoltoissa. Lietteen polttamisella on kuitenkin suuret rajoitteet, sekä juridisesta, että fyysisestä näkökulmasta. Jos lietteen polttoa tehdään samanaikaisesti muun jätteen kanssa, sen täytyy täyttää jätteenpolton tiukat kriteerit. Lietteen poltosta syntynyttä tuhkaa ei myöskään voida käyttää lannoitevalmisteena, sillä se ei ole listattuna Eviran tyyppinimiluettelossa, vaikka se olisikin yhtä hygieenistä kuin muilla tavoilla käsitelty liete. Lietettä ei myöskään voida polttaa kovin suurina määrinä suhteellisesti. Kaikesta poltetusta jätteestä vain noin 10% saa olla lietettä. (Pöyry 2007, 33-34) Suomessa lietettä on poltettu Fortumin Riihimäen

voimalaitoksessa ja Vapon Haapaveden pienvoimalaitoksessa. Molemmissa laitoksissa lietteen osuus poltettavasta jakeesta on todella pieni. Vapon voimalaitoksessa yhdyskuntaliettä saadaan polttaa vain korkeintaan 1% verran kaikesta poltetusta määrästä ja Fortumin voimalaitoksella liettä saa polttaa 30 kt/a, joka sisältää myös eläinperäisen jätteen. (Vilpanen, Toivikko 2017, 3). Napapiirin Energia ja Vesi Oy on rakennuttanut Rovaniemelle lietteen polttolaitoksen, joka on kirjoitushetkellä koekäytössä. Vuonna 2018 lietteen poltto vastasi alle prosentin kaikista käsitellyistä yhdyskuntalietteistä Suomessa. (Konola, Toivikko 2019, 3,8) Liettä poltettaessa jätteen kanssa ravinteiden talteenotto on haasteellista. Erillisissä lietteen polttolaitoksissa puolestaan tämä on mahdollista (Endev 2017). Riippuen Rovaniemen laitoksen kokemuksista, lietteen poltolla voi olla mahdollisuuksia yleistyä tulevaisuudessa.

Kuvassa 1 havainnollistetaan Suomessa käytetyt yhdyskuntalietteen käsittelytekniikat vuonna 2016 koostetusti.



Kuva 1. Yhdyskuntalietteiden kanssa käytetyt käsittelytekniikat vuonna 2018 (Konola, Toivikko 2019).

5 HYÖTYKÄYTÖN VAIHTOEHDOT

Tässä kappaleessa tarkastellaan millaisia vaihtoehtoja yhdyskuntaliikenteen käsittelylle ja hyötykäytölle nykypäivänä on Suomessa sekä muualla maailmassa.

5.1 Viherrakentaminen ja maisemointi

Viherrakentaminen on osa yhdyskunta- ja kunnallisteknistärakentamista ja se sisällytetään usein muihin rakentamisen vaiheisiin, kuten pohja-, talo-, tie- ja katurakennukseen, mutta useimmiten viherrakentaminen on maarakentamista. Tyypilliseen viherrakennus prosessiin sisältyy maan leikkausta, kuormausta, siirtoa, pengerrystä ja tiivistystä. Tyypillisiä viherrakennus töitä ovat esimerkiksi kasvillisuuden suojaus- ja siirtotyöt, päällystealueiden, kuten kivetysten rakentaminen, kasvualustatyöt ja niihin liittyvät istutus- ja nurmetustyöt ja luonnonmukaisten viheralueiden rakentaminen. Yleisenä tavoitteena viherrakentamisessa on parantaa asuin- ja työympäristön viihtyvyyttä ja toimivuutta. Suurin osa viherrakentamistyöprojekteista sijoittuu kevät-, kesä ja syyskaudelle, johtuen maaperän jäätymisestä talvikaudella. Viherrakennustyöt on myös mahdollista suorittaa talvella, mutta ne ovat usein kalliimpia, pienempiä ja vaativampia, sillä maaperä täytyy sulattaa, joka kuluttaa energiaa ja lisää työmäärää. Tyypillisiä toteuttajia viherrakennus projekteille ovat kunnat ja kaupungit, valtion laitokset, rakennusalan yritykset ja seurakunnat. (Soini 2003, 10-11)

Tulevaisuuden näkökulmasta yhdyskuntaliikenteen hyötykäyttö viherrakentamisessa saattaa olla lisääntymässä, sillä maataloustuotteiden ostajat suhtautuvat negatiivisesti yhdyskuntaliikenteen pohjaisten tuotteiden käyttöön (Maaseudun Tulevaisuus 2017).

Maisemoinnilla tarkoitetaan tässä tapauksessa kaatopaikkojen siistimistä ja peittämistä. Yhdyskuntaliikenteitä voidaan käyttää maisemoinnissa tiivistysrakennemateriaaleina. Tämä tehdään pääasiassa kustannusten pienentämiseksi ja läjitysalueiden säästämisen vuoksi. (SYKE 2008, 12,60) Mitään varsinaista ravinneyhötykäyttöä tällä hyötykäyttötavalla ei saavuteta.

5.2 Maatalous

Yhdyskuntalietteestä voidaan valmistaa lannoitevalmisteita, jotka luokitellaan Eviran mukaan maanparannusaineeksi. Eviran mukaan yhdyskuntalietettä sisältävät tuotteet kuuluvat, joko, orgaanisten maanparannusaineiden, kuten tuorekomposti ja kuivarae, nestemäisinä orgaanisina lannoitteina sellaisenaan käytettävien sivutuotteiden, kuten rejektivesi, joka sisältää korkeimmillaan 10% puhdistamolietteitä tai maanparannusaineena sellaisenaan käytettävien sivutuotteiden tyyppiryhmiin, kuten mädätysjäännökset ja kalkkistabloitu puhdistamoliete. (Paavola et al. 2013, 5-6)

Jos yhdyskuntalietteitä sisältäviä maanparannusaineita on levitetty pellolle, mitä tahansa siellä ei saa viljellä. Viljely on tässä tapauksessa rajoitettu viljoihin, öljykasveihin, kasveihin, joita ei käytetä ihmisravintona tuoreena esimerkiksi tärkkelysperuna ja nurmenperustamiseen suojaviljan kanssa. Viiden vuoden kuluttua levityksestä pellolla voidaan viljellä perunaa, juureksia, vihanneksia ja juuri- ja yrttimausteita. Minkäänlaisia yhdyskuntalietepohjaisia tuotteita ei myöskään saa käyttää luonnonmukaiseen tuotantoon. (Paavola et al. 2013, 23)

Maatalous hyötykäyttö saattaa olla vähenemässä tulevaisuudessa, yritykset ovat laittaneet kieltoon yhdyskuntalietteilä kasvatettua viljaa mm. Viking Malt ei enää osta ohraa pelloilta, joita on lannoitettu yhdyskuntalietepohjaisilla tuotteilla ja myös Hankkija ja Raisio ovat lopettaneet yhdyskuntalietteilä kasvatetun viljan oston. Syyksi tähän perustellaan imago-ongelmaa (Maaseudun Tulevaisuus 2017) Näiden lisäksi myös Fazer Mylly on asettanut välttämissuosituksen jälkeen täyskiellon yhdyskuntalietepohjaisilla tuotteilla kasvatetun viljan. Syyksi tähän perustellaan haitta-aineiden, kuten mikromuovien ja orgaanisten haitta-aineiden tuntemattomia pitoisuuksia. (Yle 2018)

Peltojen lisäksi yhdyskuntalietteitä voidaan myös käyttää metsien hoidossa. Yhdysvalloissa yhdyskuntalietteilä valmistettuja maanparannusaineita on käytetty metsien hoidossa ja sen on huomattu olevan hyväksi metsän kasvulle. (Tchobanoglous et al. 2003, 1609) Suomessa

metsien hoidossa yhdyskuntalietepohjaisia maanparannusaineita ei saa käyttää nykyisen lainsäädännön takia.

5.3 Muut hyötykäyttötavat

Joissakin Itä-Aasian maissa, kuten Japanissa ja Etelä-Koreassa, kuivattua tai poltettua yhdyskuntalietettä käytetään teollisuudessa tiilen ja betoniharkkojen valmistukseen. Erityisesti Japanissa tästä on saatu paljon positiivisia kokemuksia. (Asian Development Bank 2012) Esimerkiksi noin 20% sementistä on korvattavissa yhdyskuntaliete tuhkalla (Pérez-Carrión 2014).

Yhdyskuntalietteitä on myös mahdollista käsitellä pyrolyysin avulla, jolloin lopputuotteeksi saadaan polttoainetta, jota voidaan käyttää esimerkiksi biodieselinä tai dieselin lisäaineena (Fonts et al. 2012, 22). Yhdyskuntalietteen pyrolyysi laboratorio- ja pilotmittakavien kokeita on suoritettu Suomessa vuosina 2012-2015, mutta nestemäisen polttoaineen sijasta tuotettiin kiinteää biohiiltä (Berninger 2018, 6).

6 HYÖTYKÄYTÖN NYKYTILANNE

Hyötykäytön nykytilanteen tarkastelu on suoritettu kyselytutkimuksella Suomalaisille jätehuoltoyrityksille ja tutkimalla olemassa olevaa kirjallisuutta.

6.1 Kyselytutkimus

Tätä kandidaatin työtä varten suoritettiin kyselytutkimus KIVOn eli Suomen jätehuoltolaitosten edunvalvontayhdistyksen jäsenille, jonka jäseniä ovat kunnat ja jätehuoltoyhtiöt. Aikomuksena oli lähettää kysely kaikille 31 jäsenelle, mutta kahteen jäsenistä ei saatu mitään yhteyttä sähköpostijärjestelmä virheiden takia. Kysely toteutettiin sähköpostin välityksellä ja se oli avoinna 4.2.2019-18.2.2019. Kyselyyn vastasi 18 29:stä. Näistä seitsemän ei käsitellyt lietteitä ja loput käsittelivät. Kolme näistä, jotka eivät käsitelleet lietteitä ohjasivat kyselyn niille yhtiöille, jotka käsittelevät heidän toimialueensa yhdyskuntalietteitä. Näistä kolmesta kuitenkin vain kaksi vastasi. Lopullisia vastauksia kyselystä saatiin siis 12 kappaletta. Liitteessä I on esitetty kyselytutkimuksen kaikki kysymykset. Liitteessä II on esitetty kyselyn tulokset koostetusti yrityskohtaisesti. Kysely tutkimuksen kolmanteen kysymykseen ei saatu tarpeeksi vastauksia, jotta sitä voitaisiin huomioida tarpeeksi kattavasti, joten epätarkkuus jätetään tässä tarkastelussa huomiotta.

6.2 Kyselyn tulokset

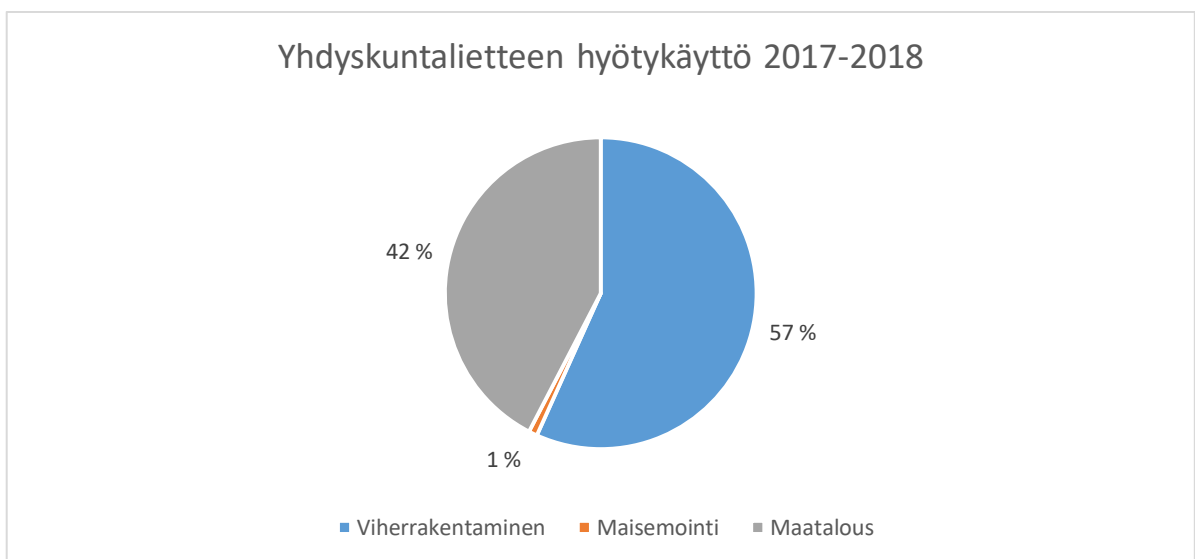
Kyselyyn vastasi 12 yhtiötä 29:tä, jotka käsittelivät yhteensä 41 200 kuiva-aine tonnia yhdyskuntalietteitä yhteensä. Lietteistä suurin osa oli jätevesilietteitä, sekä sako- ja umpikaivolietteitä. Tietoja saatiin vastanneilta satunnaisesti vuosilta 2017 ja 2018, mutta suurin osa tiedoista on vuodelta 2018. Tiedot molemmilta vuosilta on sisällytetty samaan laskelmaan. Paikoitellen vuosilukua ei mainittu, vaan annettiin vuosittainen vaihtelumäärä. Tällaisissa tapauksissa valittiin välin keskiarvo. Esimerkiksi, jos vastaukseksi saatiin, että lietettä laitokselle tuli 300-500 tonnia vuodessa valittiin arvoksi 400 tonnia. Kyselyyn vastanneista osa ei ollut ilmoittanut kuiva-aine osuutta, joten jätevesi/puhdistamolietteille se oletettiin olevan 20% ja sako- ja umpikaivolietteille se oletettiin olevan 2%, molemmat oletukset perustuen

siihen, mitä muut kyselyyn vastanneet vastasivat. Osa vastanneista tilastoi omat lietteensä kuutiomäärinä, joten he toimittivat omat vastauksensa myös kuutiomäärinä. Tämä luo pientä epävarmuutta tuloksiin, sillä tarkkaa tiheyttä ei tiedetä. Tiheyttä on arvioitu taulukon 3 mukaisesti.

Taulukko 3. Yhdyskuntalietteen kuiva-aine pitoisuus suhteessa tiheyteen (Andreoli et al., 14)

Kuiva-aine pitoisuus [%]	Tiheys [kg/m ³]
1	1010
3	1010
5	1010
10	1020
20	1040
30	1070
40	1100

Kuvassa 2 on esitetty hyötykäyttökyselyn tulokset 100% kuiva-aineena ilmaistuna.



Kuva 2. Yhdyskuntalietteiden hyötykäyttökyselyn tulokset 100% kuiva-aineena ilmaistuna

Kuvasta 2 huomataan, että suurin osa yhdyskuntalietteistä päättyy, joko viherrakentamiskäyttöön tai maatalouskäyttöön. Maisemoinnin osuus on hyvin pieni verrattuna näihin kahteen verrattuna. Maisemoinnin voisi sisältää viherrakentamiseen, mutta tulosten vertailtavuuden vuoksi se on pidetty erillisenä osa-alueena. Ravinnehöyrykäytön kannalta kannattavinta olisi

tehdä lietteestä tuote, jota hyödynnettäisiin maataloudessa. Viherrakennuskäytössä ravinteet eivät tule hyödynnetyksi yhtä tehokkaasti, kuin maataloudessa. Suurin osa yhtiöistä suosi maatalous käyttöä, mutta suuri osa kuitenkin menee viherrakentamiseen. Tämä johtuu lähinnä siitä, että HSY:llä käsitellään lietteitä paljon enemmän kuin muilla yhtiöillä. HSY:n lietteiden paino-osuus kaikista kyselyyn vastanneista oli 61%. Kahdella laitoksella käsitellyt lietteet menivät maisemointiin ja määrät olivat melko pieniä.

6.3 Muut tiedonlähteet

Kyselytutkimuksen lisäksi tietoa yhdyskuntalietteiden hyötykäytöstä etsittiin muista tutkimuksista ja tietokannoista. Kyselytutkimuksen ja muiden tiedonlähteiden tuloksia ei yhdistelty päällekkäisyyksien välttämiseksi.

Jäteasetuksen (179/2012) mukaisesti toiminnanharjoittajien on toimitettava tiedot lietteen käsittelystä ja käytöstä viranomaiselle, joka on suurten laitosten kohdalla ELY-keskuksen ylläpitämä YLVA tietojärjestelmä. Vuoteen 2017 asti käytössä oli VAHTI tietojärjestelmä, mutta se korvattiin uudella YLVA järjestelmällä, kun ympäristönsuojelun tietojärjestelmä uudistettiin. VAHTI ja YLVA tietojärjestelmien perusteella tilastokeskus tekee viralliset lietteetilastot. Hyötykäytön tilastoinnin näkökulmasta VAHTI tietojärjestelmä on melko puutteellinen. Lietteiden käsittelijöillä on tietokannassa valittavana kolme hyötykäytön vaihtoehtoa, jotka ovat maanviljely, kaatopaikka ja muu hyötykäyttö. Vaihtoehtoista huolimatta maanviljely on tilastoitu todellista pienemmäksi, johtuen tilastoinnin tarkkuus vaatimuksista. Liete on laskettu hyötykäytettäväksi maatalouteen vain, jos tilastoinnista käy ilmi mihin liete on toimitettu. (Vilpanen, Toivikko 2017, 9-12) Vuonna 2012 yhdyskuntalietteitä käsiteltiin yhteensä 141 200 kuiva-ainetta tonnia ja siitä vain pieni osa meni maatalouteen ja kaatopaikojen maisemointiin. Loput lietteistä hyödynnettiin raaka- tai apuaineena, maa ja vesirakennusmateriaalina, energiana tai viherrakennustarkoituksessa. (Tilastokeskus 2014, 144) Tilastokeskus ei ole tehnyt uutta tilastoa yhdyskuntalietteiden hyötykäytöstä vuoden 2012 jälkeen. VAHTI tietokannasta uusimmat tiedot ovat vuodelta 2015, jolloin Suomessa tuotettiin 125 240 kuiva-ainetta tonnia yhdyskuntalietteitä. Vuonna 2016 puolestaan tuotettiin 120 100 kuiva-ainetta tonnia, mutta nämä tiedot ovat vajavaisia. (SYKE 2019) VAHTI tietojärjestelmästä ei käy ilmi eri lietteiden hyötykäyttö kohteet. YLVA tietojärjestelmä sisältäisi

uusimmat tiedot, mutta tähän järjestelmään on pääsy vain viranomaisilla. Kuvassa 3 havainnollistetaan yhdyskuntalietteiden hyötykäytön osuudet vuoden 2012 tilastokeskuksen tietojen perusteella.



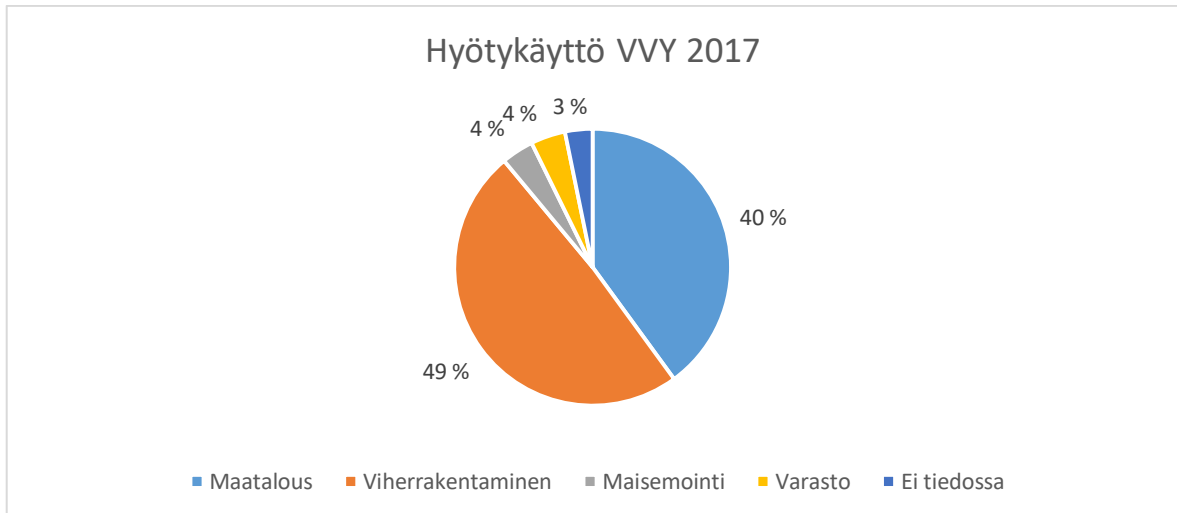
Kuva 3. Yhdyskuntalietteiden hyötykäytön osuudet vuonna 2012. 100% kuiva-aine. (Tilastokeskus 2014)

Kuvasta 3 voidaan nähdä muun hyödyntämisen suuri osuus, joka kertoo tilastointikategorioiden puutteellisuudesta. Tarkkoja osuuksia mm. viherrakentamiselle, energia ja rakennusmateriaali käytölle on mahdotonta sanoa tämän aineiston perusteella. Muun hyödyntämisen osuutta luultavasti kasvattaa myös maatalous käytön aliraportointi, johtuen maatalouskäytön tarkkuus vaatimuksista.

Tilastokeskuksen lisäksi myös Evira kerää tietoa yhdyskuntalietteiden käytöstä. Evira puolestaan kerää tietoa yhdyskuntalietepohjaisten lannoitevalmisteiden valmistuksesta. Koska tietoa kerätään vain lannoitevalmisteista, laitokset, jotka eivät valmista lannoitevalmisteita, eivät ole mukana tässä laskennassa. Esimerkiksi laitokset, joissa käytetään lietteen polttoa ja, jotka eivät käytä syntyvää tuhkaa lannoitteena, ei ole tässä laskennassa mukana. Eviran tiedot ovat myös anonyymejä, joten kattavuuden arviointi on hankalaa. Tämän lisäksi tiedot on toimitettu märkäaine tonneina, mikä vaikeuttaa vertailua ja todellisen liete määrän arviointia. Hyötykäytön osuuksia ei myöskään ole suoraan ilmaistu, vaan toiminnanharjoittajat ovat ilmoittaneet Eviralle, mitä he ovat valmistaneet. Esimerkiksi mädätysjäännöstä, kalkkistabiloitua lietettä ja kuivajauhetta ja -raetta. Näiden lopullista käyttötarkoitusta ei siis täy-

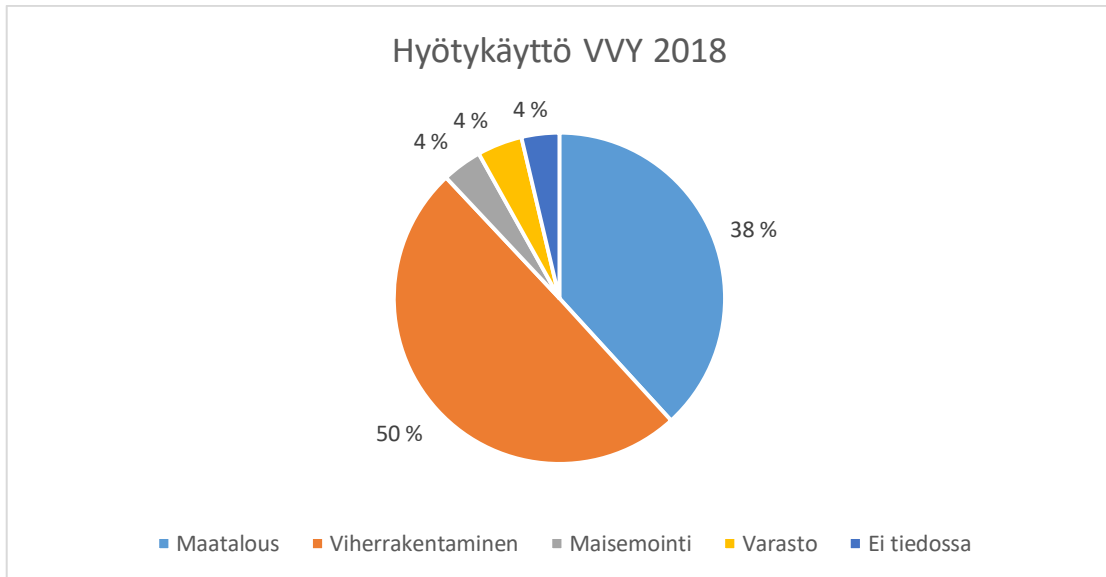
sin tiedetä. Vuonna 2015 Eviran mukaan Suomessa tuotettiin 604 700 märkäaine tonnia yhdyskuntalietteitä, josta noin 48% käytettiin maataloudessa ja vastaavasti vuonna 2016 niitä tuotettiin 572 800 märkäaine tonnia, josta noin 51% käytettiin maataloudessa. (Vilpanen, Toivikko 2017, 8-9)

Yhdyskuntalietteiden määrää, käsittelyä ja hyötykäyttöä on tutkittu VVY:n, eli vesilaitosyhdistyksen, toimesta vuonna 2019. VVY:n kyselyn kartoituksessa tutkijat hyödynsivät biokaasurekisteriä, Eviran lannoitevalmistajien valvontarekisteriä ja valtakunnallisen jätesuunnitelman yhteydessä julkaistua laitoslueteloa. Selvityksessä on mukana 14-18 suurta, yli 3 000 kuiva-ainetonna lietteitä vuodessa käsittelevää, lietteen käsittelylaitosta. Keskikokoisista laitoksista, yli 300 kuiva-ainetonna käsittelevistä laitoksista, on selvityksessä mukana 29-34 ja pienistä, alle 300 kuiva-ainetonna käsittelevistä laitoksista, on mukana 39-41 laitosta. Määrät luokkien välillä vaihtelevat riippuen vuosittaisesta käsittelymäärästä. Esimerkiksi jos laitos käsittelee ensimmäisenä vuonna 3 100 kuiva-ainetonna lietteitä ja toisena vuonna 2 900 kuiva-aine tonnia lietteitä, se laitos käytännössä kuuluu molempiin luokkiin. VVY:n tutkimusta voidaan pitää kattavampana kuin tilastokeskuksen tietoja, sillä alle 300 tonnia käsitteleviä laitoksia ei löydy YLVA tietojärjestelmästä. Selvityksen mukaan suurin osa lietteistä menee, joko viherrakentamiseen, tai maatalous käyttöön. Jäljelle jäävät lietteet, joko menevät maisemointiin, tai ne varastoidaan. VVY:n selvityksen mukaan Suomessa käsiteltiin vuonna 2017 yhteensä 143 000 kuiva-ainetonna lietettä ja vuonna 2016 vastaavasti 138 000 kuiva-ainetonna. Kuvassa 4 esitetään yhdyskuntalietteiden eri hyötökäyttö kohteiden osuudet vuonna 2017.



Kuva 4. Yhdyskuntalietteiden hyötykäytön osuudet vuonna 2017. 100% kuiva-aine. (Konola, Toivikko 2019)

Kuvasta 4 huomataan, että pääasialliset käyttökohteet lietteille ovat viherrakentamien ja maatalouskäyttö. Varastoinnin ja maisemoinnin osuudet ovat yhteensä noin 8% ja muiden hyötykäyttötapaa ei tiedetä. Lietteillä, joiden hyötykäyttötapaa ei tiedetä, viitataan sellaisiin yhdyskuntalietteisiiin, joiden olemassaolo tunnetaan YLVA tietokannan perusteella, mutta joiden hyötykäyttötapa ei ole tiedossa. Maantieteellisesti lietteiden hyötykäyttötavat vaihtelevat merkittävästi. Esimerkiksi Hämeessä kaikki lietteistä menee maatalouteen, kun taas Lapissa ei ole maatalouskäyttöä ollenkaan ja Varsinais-Suomessa ja Uudellamaalla suurin osa lietteistä menee viherrakennukseen. (Konola, Toivikko 2019, 8-9) Kuvassa 5 esitetään yhdyskuntalietteen eri hyötykäyttö kohteet vuonna 2018.



Kuva 5. Yhdyskuntalietteiden hyötykäytön osuudet vuonna 2018. 100% kuiva-aine. (Konola, Toivikko 2019)

Kuvassa 5 voidaan havaita, että merkittävää muutosta edellisvuoteen ei ole tapahtunut. Kokonaislietemäärä on noin 5 000 tonnia pienempi edellisvuoteen verrattuna, johtuen pienemmästä otannasta. Absoluuttisesti hyötykäytön määrä on noussut maisemoinnin, varastoinnin ja tuntemattomien osalta, vaikka tiedot ovatkin edellisvuoteen verrattuna vajavaiset.

6.4 Vertailu ja kattavuus

Tuloksia saatiin kyselytutkimuksesta, Eviralta, VAHTI tietokannasta ja VVYltä. Tässä kappaleessa arvioidaan niiden kattavuutta ja luotettavuutta ja vertaillaan niitä keskenään. Taulukossa 4 on esitetty yhdyskuntaliete määrät ja hyötykäyttökohteet eri lähteistä.

Taulukko 4. Yhdyskuntalietteen määrät ja hyötykäyttökohteet eri vuosilta ja eri lähteistä.

Hyötykäyttö	Kysely (2017,2018) [t]	VAHTI, tilastokeskus (2012) [t]	VVY (2017) [t]	Evira (2015) [Märkäaine t]
Maatalous	17 460	7 060	57 200	290 256
Viherrakentaminen	23 370	-	70 100	-
Maisemointi	370	9 884	5 400	-
Varasto	-	-	5 800	-
Ei tiedossa	-	-	4 600	-
Muu	-	124 256	-	314 444
Yhteensä	41 200	141 200	143 100	604 700

Taulukosta 4 huomataan, että kyselytutkimus kattavuudeltaan oli heikompi muihin verrattuna, mutta hyötykäytön osalta tiedot ovat luotettavampia kuin tilastokeskuksen tuottamat, vaikkakin eivät yhtä kattavat. Kyselytutkimuksessa saavutettiin korkeampi hyötykäyttöaste maataloudelle verrattuna tilastokeskuksen tuloksiin, todistaen tilastokeskuksen tilastoinnin puutteellisuuden. VAHTI tietokannan antamat tulokset eivät sisällä ollenkaan tietoa lietteen hyötykäyttötavoista ja liete tietojen kattavuus pienempien laitosten kohdalla on heikko. Muiden kuin pienten laitosten tiedot ovat kuitenkin hyvin mukana, joten yleisesti kattavuus on hyvä. Eviran tuottama tieto lietteen hyötykäytöstä ja määristä kattaa vain tuotetut maanparannusaineet. Näitä aineita tuotetaan kuitenkin melko paljon, joten yleisesti tietojen kattavuus on hyvä. Tiedon laatua haittaa merkittävästi se, että määrät on ilmoitettu märkäpainona ilman minkäänlaista tietoa kuiva-ainepitoisuuksista. Kaikista selvityksistä ja tietokannoista, lietteen määrän ja hyötykäytön osalta, kattavin ja luotettavin aineisto on VVYn tekemä tutkimus. Mukana on suurin osa kaikista Suomen lietteenkäsittely laitoksista ja kaikista näistä on tietoa lietteen hyötykäytöstä.

6.5 Ravinnehyötykäyttö

Tässä kappaleessa tarkastellaan ravinnehyötykäytön osuutta ja arvioidaan, sitä kuinka paljon fosforin ja typen tarpeesta voitaisiin korvata yhdyskuntalietteillä.

Ravinnehyötykäytön arvioinnissa käytetään kaikkia kolmea fosforin ja typen osuutta, jotka on ilmaistu taulukossa 1. Liete määränä käytetään VVYn saamia tuloksia vuodelta 2017. Arviointiin valittiin vuoden 2017 lietemäärä, eikä vuoden 2018 lietemäärä, koska uudemmat tiedot ovat vajavaisempia, eivätkä täten edusta koko Suomea yhtä kattavasti. Yhtälöllä 1 voidaan laskea fosforin ja typen massa Suomen yhdyskuntalietteistä.

$$m_R = m_L * X_R \quad (1)$$

Missä m_R = yhdyskuntalietteen sisältämä ravinne määrä vuodessa [t/a]

m_L = yhdyskuntalietteen määrä vuodessa [t/a]

X_R = ravinteen massaosuus yhdyskuntalietteessä [kg/t]

Lasketaan ensin fosforin massa käyttäen yhtälöä 1 kolmella eri fosforin arvolla, jotka löytyvät taulukosta 1.

$$m_{P,Lohiniva\ et\ al.} = \frac{143\ 000 \frac{t}{a} * 28,3 \frac{kg_P}{t}}{10^3 \frac{kg}{t}} = 4\ 046,9 \frac{t_P}{a}$$

$$m_{P,Strömberg} = \frac{143\ 000 \frac{t}{a} * 64,4 \frac{kg_P}{t}}{10^3 \frac{kg}{t}} = 9\ 209,2 \frac{t_P}{a}$$

$$m_{P,Phyllis2} = \frac{143\ 000 \frac{t}{a} * 34,92 \frac{kg_P}{t}}{10^3 \frac{kg}{t}} = 4\ 993,6 \frac{t_P}{a}$$

Seuraavaksi lasketaan typen massa käyttäen yhtälöä 1 kolmella eri typen arvolla, jotka löytyvät taulukosta 1.

$$m_{N,Lohiniva\ et\ al.} = \frac{143\ 000 \frac{t}{a} * 36 \frac{kg_N}{t}}{10^3 \frac{kg}{t}} = 5\ 148 \frac{t_N}{a}$$

$$m_{N,Strömberg} = \frac{143\ 000 \frac{t}{a} * 68 \frac{kg_N}{t}}{10^3 \frac{kg}{t}} = 9\ 724 \frac{t_N}{a}$$

$$m_{N,Phyllis2} = \frac{143\ 000 \frac{t}{a} * 59,4 \frac{kg_N}{t}}{10^3 \frac{kg}{t}} = 8\ 494,2 \frac{t_N}{a}$$

Typen ja fosforin määrät on taulukoituna taulukossa 5. Taulukkoon on otettu mukaan epäorgaanisen typen ja fosforin kulutus vuonna 2016, jotta voitaisiin nähdä, kuinka paljon epäorgaanisesta lannoitteesta olisi mahdollista korvata (Marttinen et al. 2017, 9).

Taulukko 5. Yhdyskuntalietteen sisältämät fosfori- ja typpimäärät.

Ravinne	Määrä [t]
Yhdyskuntalietteen fosfori (Lohiniva et al.) [t]	4 046,9
Yhdyskuntalietteen fosfori (Strömberg) [t]	9 209,2
Yhdyskuntalietteen fosfori (Phyllis2) [t]	4 993,6
Epäorgaaninen fosfori Suomen maataloudessa (Marttinen et al.) [t]	11 300,0
Yhdyskuntalietteen typpi (Lohiniva et al.) [t]	5 148,0
Yhdyskuntalietteen typpi (Strömberg) [t]	9 724,0
Yhdyskuntalietteen typpi (Phyllis2) [t]	8 494,2
Epäorgaaninen typpi Suomen maataloudessa (Marttinen et al.)	148 000,0

Kuten taulukosta 5 nähdään, fosforin määrä vaihtelee noin neljän ja yhdeksän tuhannen tonnin välillä riippuen lietteen fosfori pitoisuudesta. Tämän laskelman mukaan, epäorgaanista fosforia voitaisiin korvata parhaimmillaan noin 82% ja pienimmillään noin 36%. Todellinen arvo on kuitenkin todennäköisesti noin 50%, perustuen pitoisuuksien keskiarvoon. Typen määrä puolestaan vaihtelee noin viiden ja kymmenen tuhannen tonnin välillä riippuen typen pitoisuudesta. Parhaimmillaan typpeä voitaisiin siis korvata noin 7% ja pienimmillään noin 3%. Tämä määrä ei ole kovinkaan suuri, eikä sillä voida korvata epäorgaanisesta tyypestä kovinkaan suurta osaa, mutta epäorgaanisesta tyypestä ei ole yhtä suurta puutetta, kuin mitä fosforista on. Tässä laskelmassa oletettiin, että kaikki hyödynnettävissä olevat ravinteet hyödynnettäisiin, mutta todellisuudessa maatalouden käyttöön päätyy vain 40% (Konola, Toivikko 2019, 9). Nykyinen fosforin hyötykäyttö taso on, ravinnepitoisuudesta riippuen, 1 620-3 680 tonnia ja typpeä vastaavasti 2 060-3 890 tonnia. Nykyään epäorgaanista fosforia korvataan yhdyskuntalietteillä parhaimmillaan 33% ja pienimmillään 14% ja typpeä vastaavasti parhaimmillaan noin 3% ja pienimmillään noin 1%. Tämä laskelma ei ota huomioon onko typpi tai fosfori sitoutunut orgaaniseen aineeseen vai onko se liukoisessa muodossa. Liukoisuuteen vaikuttaa erityisesti käsittelytapa, joko positiivisesti tai negatiivisesti (Beringer 2018, 9).

7 YHTEENVETO

Yhdyskuntienjätevedenpuhdistamoilla jäteveden puhdistuksen tarve ei tule poistumaan niin kauan, kun vettä tullaan kuluttamaan. Tämän seurauksen yhdyskuntalietettä tulee aina olemaan ja niille täytyy jotain tehdä. Tässä kandidaatin työssä selvitettiin, mitä kyseisille lietteillä Suomessa nykypäivänä tehdään.

Yhdyskuntalietteet sisältävät monia hyödyllisiä ravinteita, joita voitaisiin hyödyntää esimerkiksi maanviljelyssä. Mahdollisuuksia on erityisesti fosforin hyötykäytössä, mutta myös muiden ravinteiden tarpeita voitaisiin korvata lietteillä. Toisaalta yhdyskuntalietteet sisältävät myös monia haitallisia aineita, kuten mikromuoveja, lääkeaineita, raskasmetalleja, patogeeneja ja orgaanisia haitta-aineita. Näistä kuitenkin vain raskasmetalleja ja osittain patogeeneja rajoitetaan Suomen laissa. Muita haitta-aineita ei rajoiteta ollenkaan ja esimerkiksi mikromuovien määrät lietteissä Suomessa ovat vielä tuntemattomat.

Lietteiden käsittelylle on Suomessa käytössä monta eri tapaa, mutta suosituimmat ovat mädätys ja kompostointi. Muillakin käsittelytavoilla saavutetaan lietteille asetetut hygieenisyyden rajat, mutta mädätys ja kompostointi ovat vakiintuneita ja toimivia tekniikoita. Lietteen poltolla voi olla tulevaisuudessa mahdollisuuksia yleistyä riippuen Rovaniemen polttolaitoksen kokemuksista.

Hyötykäytön osalta suosituimmaksi Suomessa osoittautuivat viherrakentaminen ja maatalous lähteestä riippumatta. Viherrakentamiseen käsiteltyjä lietteitä käytetään noin puolet ja noin 40% maatalouteen. Loput menevät maisemointiin tai varastointiin. Maatalouskäyttö on lähivuosina kärsinyt, kun suuret viljaostajat eivät enää osta viljaa pelloilta, joita on lannoitettu yhdyskuntalietteilä. Tämän seurauksena viherrakennuskäyttö lisääntynee lähivuosina.

Epäorgaanisista lannoitteista fosforia voitaisiin korvata yhdyskuntalietepohjaisilla lannoitteilla noin 36-82% ja typpeä vastaavasti noin 3-7%. Tämän perusteella erityisesti fosforilla on mahdollisuuksia korvata epäorgaanisia lannoitteita.

LÄHTEET

Andreoli C. V. et al. 2007. Sludge Treatment and Disposal. [pdf]. [Viitattu 20.11.2019]. Saatavilla: https://sswm.info/sites/default/files/reference_attachments/AND-REOLI%20et%20al%202007%20Sludge%20Treatment%20and%20Disposal.pdf

Asian Development Bank. 2012. Promoting Beneficial Sewage Sludge Utilization in the People's Republic of China. [pdf]. [Viitattu 23.11.2019]. Saatavilla: <https://www.gwp.org/globalassets/global/toolbox/references/promoting-sustainable-sewage-utilization-in-prc-ADB2012.pdf>

Berninger K. 2018. Puhdistamolieteselvitys Yhteenveto toteutettujen hankkeiden tuloksista. [pdf]. [Viitattu 23.11.2019]. Saatavilla: <https://www.ym.fi/download/no-name/%7B018126E5-DE6A-4F34-9F31-8CB56B533785%7D/142878>

Endev Oy. 2017. Paku-prosessi. [online]. [Viitattu 10.11.2019]. Saatavilla: <https://www.endev.fi/paku-prosessi/>

Fjäder P. 2016. Yhdyskuntajätevesilietteiden maatalouskäytön ja viherrakentamisen riskit RUSSOA I-III Loppuraportti. [pdf]. [Viitattu 10.8.2019]. Saatavilla: https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/169282/SYKEra_43_2016.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Fonts I. et al. 2012. Sewage sludge pyrolysis for liquid production: a review. [pdf]. [Viitattu 23.11.2019]. Saatavilla: <https://www-sciencedirect-com.ezproxy.cc.lut.fi/science/article/pii/S1364032112001657>

Fytili D., Zabaniotou A. 2006. Utilization of sewage sludge in EU application of old and new mechanics. [pdf]. [Viitattu 30.10.2019]. Saatavilla: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2006.05.014>

Konola I, Toivikko S. 2019. Yhdyskuntalietteen käsittelyn ja hyödyntämisen nykytilannekatsaus. [pdf]. [Viitattu 22.11.2019] Saatavilla: https://www.vvy.fi/site/assets/files/3078/yhdyskuntalietteen_ka_sittelyn_ja_hyo_dynta_misen_nykytilannekatsaus_vvy_nr_57.pdf

Lohiniva E. et al. 2001. Lietteiden käsittely Uudet ja käytössä olevat tekniikat. [pdf]. [Viitattu 19.11.2019]. Saatavilla: <https://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2001/T2081.pdf>

Maa- ja metsätalousministeriö (MMM). 2011. Maa- ja metsätalousministeriön asetus lannoitevalmisteista. [pdf]. [Viitattu 28.7.2019]. Saatavilla: <http://www.finlex.fi/data/normit/37638-11024fi.pdf>

Maaseudun Tulevaisuus. 2017. Viljanostajat panivat puhdistamolietteet pannaan – viranomaiset sallivat peltokäytön. [artikkeli]. [Viitattu 22.11.2019]. Saatavilla: <https://www.maaseuduntulevaisuus.fi/maatalous/artikkeli-1.213811>

Marttinen S. et al. 2017. Kohti ravinteiden kierrätyksen läpimurtoa. Nykytila ja suositukset ohjauskeinojen kehittämiseksi Suomessa. [pdf]. [Viitattu 21.11.2019]. Saatavilla: https://jukuri.luke.fi/bitstream/handle/10024/540214/luke-luobio_45_2017.pdf?sequence=12&isAllowed=y

Mikola A. 2017. Lietteiden ravinteiden talteenotto ja hyödyntäminen. [pdf]. [Viitattu 8.6.2019]. Saatavilla: https://www.hsy.fi/repa/fi/teollisetsymbioosit/Documents/INKA-tyopaja_01022017/07_Aalto_yliopisto_Mikola.pdf

Nesme T., Withers P. J. A. 2016. Sustainable strategies towards a phosphorous circular economy. [e-book]. [Viitattu 20.9.2019]. Saatavilla: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10705-016-9774-1>

Paavola T. et al. 2013. Puhdistamolietteen käyttö maataloudessa. [pdf]. [Viitattu 22.11.2019]. Saatavilla: https://www.proagria.fi/sites/default/files/attachment/puhdistamolieteopas_201320032014s.pdf

Pérez-Carrión et al. 2014. Potential use of sewage sludge ash (SSA) as a cement replacement in precast concrete blocks. [artikkeli]. [Viitattu 23.11.2019]. Saatavilla: <http://materconstrucc.revistas.csic.es/index.php/materconstrucc/article/view/1460/1591>

Phyllis2. 2010. sewage sludge #2879. [online]. [Viitattu 19.11.2019]. Saatavilla: <https://phyllis.nl/Browse/Standard/ECN-Phyllis#sludge>

Pöyry Environment Oy. 2007. Lietteenkäsittelyn nykytila Suomessa ja käsittelymenetelmien kilpailukyky -selvitys. [pdf]. [Viitattu 19.10.2019]. Saatavilla: <https://media.sitra.fi/2017/02/27172733/LietteenkC3A4sittely-2.pdf>

Soini T. 2002. Viherrakentajan käsikirja. Viherympäristöliitto ry. ISBN 952-5225-21-6.

Strömberg B. 2006. Miljö- och Förbränningsteknik. Fuel Handbook. [pdf]. [Viitattu 19.11.2019]. Saatavilla: <https://www.osti.gov/etdeweb/servlets/purl/20745827>

SYKE. 2008. Kaatopaikkojen käytöstä poistaminen ja jälkihoito. [pdf]. [Viitattu 22.11.2019]. Saatavilla: https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10138/41544/SYKE_OH_1_2008.pdf?sequence=2

SYKE. 2019. Yhdyskuntien jätevesien puhdistuksen raportit. Lietteiden määrä. [Online]. Viitattu [18.10.2019]. Saatavilla: <https://raportit.ymparisto.fi/ReportServer/Pages/ReportViewer.aspx?%2fLietteiden%20maara>

Tchobanoglous G. et al. 2003. Wastewater Engineering Treatment and Reuse 4th edition. McGraw-Hill Higher Education. ISBN 0-07-112250-8

Tilastokeskus. 2014. Ympäristötilasto Vuosikirja 2014. [pdf]. [Viitattu 18.10.2019]. Saatavilla: http://www.stat.fi/tup/julkaisut/tiedostot/julkaisuluetteloymp_ymp_201400_2014_12020_net.pdf

Vieno et al. 2018. Puhdistamolietteiden sisältämien haitta-aineiden aiheuttamat riskit lannoitekäytössä. [pdf]. [Viitattu 5.8.2019]. Saatavilla: http://jukuri.luke.fi/bitstream/handle/10024/543281/luke-luobio_58_2018.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Vilpanen M., Toivikko S. 2017. Yhdyskuntalietteen käsittelyn ja hyödyntämisen nykytilannekatsaus. [pdf]. [Viitattu 20.11.2019]. Saatavilla: https://www.vvy.fi/site/assets/files/1621/yhdyskuntalietteen_ka_sittelyn_ja_hyo_dynta_misen_nykytilannekatsaus_26092017.pdf

Yle. 2017. Puhdistamolietteellä kasvatettu ruoka ei mene enää kaupaksi – kuluttaja ei halua syödä viemäriin laskemiaan aineita. [artikkeli]. [Viitattu 22.11.2019]. Saatavilla: <https://yle.fi/uutiset/3-10148145>

LIITE I Kyselytutkimuksen kysymykset

Kysymys	
1.	A) Paljonko yhdyskuntalietteitä käsitellään laitoksissanne vuosittain? B) Mikä on keskimääräinen kuiva-aine pitoisuus? C) Mitä lietteitä laitoksissanne käsitellään?
2.	A) Mihin käyttötarkoitukseen käsitelty liete päätyy? B) Jos lietettä päätyy useaan eri paikkaan, kuinka suuri osa päätyy mihinkin tarkoitukseen?
3.	Kuinka paljon arvelette vastauksissanne olevan epätarkkuutta?

LIITE II Kyselytutkimuksen vastaukset

HSY:	1. 87 387 t/a, TS 30%, kuivattu yhdyskuntaliete. Kuiva-aine löytyy dokumentista 25 537 TS/a
	2. Kompostoimalla maatalous/viherrakennus käyttöön 60 278 t, 4 370 t kompostointi VAPO/Envor group. Viikin ja Suomenojan lietteet eri paikkoihin
	3. Ei mainittu
Metsäsairala OY:	1. 300-500 t/a, TS 25%, Jätevedenpuhdistamonliete
	2. Kompostointi --> kasvualueen raaka-aine
	3. "Ei epätarkkuutta"
Perämeren Jätehuolto Oy:	1. 6000-6500 t/a, TS 19,2 (ka), JV-liete
	2. Aumakompostointi --> multaa viherrakentamiseen ja tulevaisuudessa laitoksen sisällä tarvittaessa
	3. Määrävaihtelu 5%
Puhas Oy:	1. 20 t/a, TS = ?, hiekanerotuskaivojen lietettä, teollisuuslietteitä
	2. Kaatopaikan jätettyttöön tai pintarakenteisiin
	3. "Tarkkoja määriä koska punnitus"
Ylä-Savon Jätehuolto:	1. 73 t/a rasvanerotuslietettä, 87 t/a sadekaivolietteitä, 777 t/a hiekanerotuslietettä TS = ?
	2. RE lietteen vesi valutetaan pois ja kiinteä aines kompostoidaan haravointijätteen kanssa. Komposti jätepenkan maisemointiin
	3. Epätarkkuutta ei mainittu
Ekorosk/Pohjanmaan biokaasu Oy:	1. 5 552 t/a, TS 20%, Kuivattu puhdistamo liete 20 603 m ³ , TS 6-8%, Tiivistetty puhdistamoliete 63 055 m ³ , TS 2%, Sako-, umpi ym. Liete 5 393 t/a, mädäte jatkokäsittelyyn
	2. Mädätysprosessissa kaasua omaan käyttöön CHP, mädätysjännös maanparannusaineen raaka-aineksi kokkolan kaupungille
	3. Epävarmuudet mittalaitteistossa (mag. Virtausmittari, autovaaka)
Etelä-Karjalan Jätehuolto:	1. 13 000-15 000 t/a, TS 23%, Jätevesiliete
	2. Viherrakentaminen
	3. Vaailla 20kg tarkkuus 2%/1tn
Savonlinnan Seudun Jätehuolto Oy:	1. 5 380m ³ , TS = ?, Umpikaivoliete 1 174m ³ , TS = ?, Sakokaivoliete 23 396m ³ , TS 3,9%, Ylijäämäliete 3 236 (m ³ ?), TS 22,4%, kuivattua lietettä
	2. Maatalouden lannoitteeksi
	3. "Ei merkittävää epätarkkuutta"
Residuum/NeVe:	1. 7 800 t/a, TS = 24%, puhdistamoliete, sako- ja umpikaivolietteitä
	2. Puhdistamoliete toimitetaan Oulun Biokaasulaitokselle käsiteltäväksi. Rovaniemen lietteenpolttolaitoksen valmistuttua liete tullaan käsittelemään lietteenpolttolaitoksessa. Maatalous käyttö.
	3. Punnituksen aiheuttamat virheet
Lounais-Suomen Jätehuolto:	1. 70 000 m ³ /a, TS = 3,9 kg/m ³ sako- ja umpikaivoliete
	2. Lannoite? Varmasti muitakin
	3. Epävarmuutta ei mainittu
Porin kaupunki:	1. 940 t/a, TS = 22%, puhdistamo-, sadevesi- ja viemärinpuhdistusliete
	2. Maisemointi
	3. Epävarmuutta ei mainittu.
Stormossen:	1. -Yhdyskuntalietettä: 13 800 t -Lietteet Stormossenin prosessivedenpuhdistamosta ja suotovedenpuhdistamosta: 10 600 t Kuiva-ainepitoisuus TS = 16-20 %
	2. Maanparannuskompostia
	3. N.10%