

Eini Hongisto

Teknitaloudellinen kehittämistutkimus fosforin talteenoton liiketoimintamahdollisuuksista jätevesiprosessissa

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Kemiantekniikka

Insinöörityö

7.9.2017

Tekijä(t) Otsikko	Eini Hongisto Teknistaloudellinen kehittämistutkimus fosforin talteenoton liiketoimintamahdollisuuksista jätevesiprosessissa
Sivumäärä Aika	54 sivua + 3 liitettä 7.9.2017
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	Kemiantekniikka
Ohjaaja(t)	Kristian Sahlstedt, Osastopäällikkö (Pöyry Finland Oy) Timo Seuranen, Lehtori (Metropolia AMK)
<p>Tämän työn tarkoituksena oli selvittää ravinnekierrätyksen, erityisesti fosforin talteenottamisen ja kierrätyksen, nykyinen liiketoimintakenttä Suomessa ja osin Euroopassa kirjallisuus- ja kehittämistutkimuksen avulla. Kirjallisuustutkimusosassa tarkasteltiin nykyistä ravinnekiertoa koskevaa lainsäädäntöä, Euroopan eri maiden nykyistä lietteenkäsittelyä koskevia liiketoimintakäytäntöjä, työssä käsiteltävien fosforilähteiden potentiaalia, Suomen kiinnostavimpia ravinnekiertoa koskevia hankkeita sekä olemassa olevia ravinnekierrätykseen liittyviä tekniikoita erityisesti jätevesiprosessin sivuvirtojen käsittelyyn liittyen.</p> <p>Kehittämistutkimusosan tarkoituksena oli määrittää kohdeyrityksen nykyinen ravinteiden talteenottoa koskeva ammattitaidon taso, tuoda esille tämä alaan liittyvä ammatillinen tieto sekä muodostaa käsitys ravinteiden, erityisesti fosforin, kierrätysliiketoiminnan nyky- ja tulevaisuuden trendeistä. Tämä tutkimusosuus toteutettiin haastattelemalla kohdeyrityksen eri liiketoiminta-alojen asiantuntijoita Suomessa ja Euroopassa sekä lisäksi muutamaa ulkopuolista alan asiantuntijaa. Haastatteluiden tavoitteena oli selvittää kohdeyrityksen asiantuntijoiden tietämys ravinnekierron nykytoimintakentästä ja ulkopuolisten asiantuntijoiden kokemus ravinnekierron tilanteesta viranomaisen ja alan kehittäjän näkökulmasta. Lisäksi haastatteluiden tavoitteena oli hahmottaa alan tulevaisuuden kehitystä sekä näkyviä ravinnekierrätyksestä sekä sen liiketoimintamahdollisuuksista.</p> <p>Sidosryhmäkartoituksen tehtävänä on tiivistää ravinnekierron tutkimus-, hallinto-, viranomais- ja liiketoimintakentässä olevat toimijat ja havainnollistaa näin alan monipuolista toimijajoukkoa.</p> <p>Näiden tutkimusosuuksien myötä pystyttiin saamaan kokonaiskuva Suomen ja osin Euroopan maiden fosforin talteenoton ja kierrätyksen liiketoimintakentästä, sen nykytilanteesta sekä tulevaisuuden näkymistä vesi- ja jätehuollon näkökulmasta katsottuna sekä tunnistamaan kohdeyritykselle kuusi yksilöityä fosforin talteenottoon ja kierrätykseen liittyvää liiketoimintamahdollisuutta. Alaan liittyvän tiedon jakamista ja käsittelyä varten perustettiin lisäksi sisäinen intranet-sivusto, joka palvelee globaalin kohdeyrityksen toimintatarpeita tiedonvälityksessä.</p>	
Avainsanat	ravinteiden kierrätys, fosforin talteenotto, liiketoimintamahdollisuus, jätevesiprosessi

Author(s) Title	Eini Hongisto Technical economic development study of the business prospects of P-recovery from waste water treatment processes
Number of Pages Date	54 pages + 3 appendices 7 September 2017
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Chemical engineering
Instructor(s)	Kristian Sahlstedt, Department Manager (Pöyry Finland Oy) Timo Seuranen, Lecturer (Metropolia UAS)
<p>The aim of this study was to investigate the current business environment in the field of nutrient recycling, especially concerning P-recovery, in Finland and other parts of Europe, using literature and development study approaches as study methods. The literature study covered the valid and coming EU legislation as well as the valid national legislation and regulations concerning sewage sludge and recycling of nutrients, the current sludge treatment practices of different European countries, the potential of different P-sources, the most interesting nutrient recycling related projects in Finland and an overview of the latest developments and technologies in sludge treatment regarding the reuse of nutrients in the waste water treatment processes and its side streams.</p> <p>In addition, the second aim of this study was to define the current professional knowledge level of the examined company's experts regarding the nutrient recycling, to make this professional knowledge available for everyone within the company and to form the understanding of the upcoming trends in the field of nutrient recycling, in particular in P-recovery. This development study part was conducted by interviewing the examined company's experts in Finland and Europe as well as a couple of external experts of this particular field. The target of the interviews was to determine the amount and the usability of the knowledge among the company's experts regarding the current developments in the nutrient recycling field as well as to gather the same experiences from the external experts more from point of view of a regulator and a developer of the field. In addition, the interviews were conducted in order to get an overview about the future developments and trends as well as to determine business prospects in the field of nutrient recycling.</p> <p>The aim of the stakeholder overview was to visualize in one picture the versatile stakeholder groups of the nutrient recycling field.</p> <p>As a result of the above mentioned study parts, it was possible to form a comprehensive understanding of Finland's and partly Europe's P-recovery and recycling circumstances, its current and upcoming trends in especially from the water and waste sector point of view as well as to identify six business prospects in the field of P-recovery and recycling for the company that commissioned this thesis. An intranet webpage was also established for the internal communication purposes. The intranet webpage was seen as a good and efficient way to share and modify data in a global company.</p>	
Keywords	nutrient recycling, P-recovery, business prospects, waste water treatment

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Ravinteiden kierrätyksen toimintaympäristö ja nykytilanne	2
2.1	Ravinnekierrätyksen lainsäädäntö Suomessa ja Euroopassa	2
2.1.1	Lainsäädäntö puhdistamolietteen ja biojätteen maatalouskäytöstä	3
2.1.2	Jätevedenpuhdistuslaitosten biojätteen käsittely Euroopassa	8
2.2	Ravinnekierrätykseen liittyvät keskeisimmät hankkeet Suomessa	13
2.3	Fosforivarannot maailmanlaajuisesti	14
2.4	Käsiteltävien fosforilähteiden potentiaali	15
2.4.1	Jätevedenpuhdistamoiden ja biokaasulaitosten lietteet sekä käsittelyjäännökset	17
2.4.2	Biojätteet	20
2.4.3	Tuhkat	21
2.4.4	Lanta	21
3	Ravinteiden talteenottoon ja kierrätykseen liittyvät tekniikat	22
3.1	Jätevedenpuhdistamoista ravinnejalostamoiksi	23
3.2	Käsittelyn lietteen suora lannoitekäyttö	24
3.3	Fosforin talteenotto lietteestä: tekniikat	25
3.3.1	MEPHREC®	25
3.3.2	AirPrex®	26
3.3.3	PHOSPAQ™	28
3.3.4	NuReSys®	28
3.3.5	P-RoC	30
3.3.6	Crystalactor®	31
3.3.7	Muita fosforin talteenottotekniikoita lietteestä tai biokaasureaktorin käsittelyjäännöksestä	33
3.4	Fosforin talteenotto rejektivedestä: tekniikat	33
3.4.1	OSTARA Pearl®	34
3.4.2	Muita fosforin talteenottotekniikoita rejektivedestä	35
3.5	Fosforin talteenotto jätevedestä: prosessit	36
3.5.1	Jälkisaostus	36
3.5.2	Adsorptio	36

3.5.3	MBR ja nanosuodatus	37
3.6	Fosforin talteenotto puhdistamolietteen polttotuhkasta: tekniikat	38
3.6.1	MEPHREC®	38
3.6.2	PAKU-lietteenpolttomenetelmä	38
3.6.3	ASH DEC®	40
3.6.4	LEACHPHOS	41
3.6.5	FULLREC	41
3.6.6	PYREG-pyrolyysitekniikka	42
3.6.7	Muita fosforin talteenottotekniikoita jätevesilietteen tuhkasta	43
3.7	Yhteenveto Euroopassa käytössä olevista fosforin talteenottotekniikoista	44
4	Kehitystutkimusosuus	44
4.1	Haastattelyhteenvedot	45
4.2	Sisäinen tiedon jakaminen	45
4.3	Ravinnekierrätyksen sidosryhmäkartoitus	45
4.4	Tunnistetut liiketoimintamahdollisuudet	46
5	Johtopäätökset	47
	Lähteet	49
	Liitteet	
	Liite 1. Listaus haastatelluista henkilöistä	
	Liite 2. Haastattelurungot	
	Liite 3. Haastatteluiden yhteenveto	

Lyhenteet

AVL	Asukasvastineluku
BAT	Best available technology, paras käyttökelpoinen tekniikka
BioP	Biologinen fosforin poisto; toteutetaan lisäämällä anaerobivaihe aktiivilieteprosessiin.
CE-merkintä	Conformité Européenne; CE-merkinnällä valmistaja vakuuttaa tuotteen täyttävän sitä koskevien EU:n direktiivien vaatimukset.
COD	Chemical Oxygen Demand, kemiallinen hapenpoisto
EBPR	Enhanced biological phosphorus removal, tehostettu biologinen fosforin poisto
EU	Euroopan unioni
Evira	Elintarviketurvallisuusvirasto
HAP	Hydroxyapatite, fosforin kierrätys kalsiumfosfaattina
HSY	Helsingin seudun ympäristöpalvelut-kuntayhtymä
LOI	Loss on ignition, hehkutushäviö
MAP	Magnesium ammonium phosphate, fosforin kierrätys struviittina
MBR	Membrane Bioreactor, kalvobioreaktori; prosessi jossa yhdistyvät biologinen aktiivilieteprosessi ja kalvosuodatus.
MMM	Maa- ja metsätalousministeriö
POP-aineet	Persistent organic pollutant, pysyvä orgaaninen aine
SYKE	Suomen ympäristökeskus

TOC Total organic carbon, orgaaninen kokonaishiili

1 Johdanto

Pöyry on globaalisti toimiva insinööri- ja konsulttitoimisto, jonka liiketoiminta-alueisiin kuuluvat energia-, metsä- ja kemianteollisuus sekä biojalostus, kaivos- ja metalliteollisuus, väyläinfra sekä vesihuolto. Pöyryn liikevaihto vuonna 2016 oli 530 miljoonaa euroa ja henkilöstöä oli yhteensä 5 500. Pöyry Finland Oy on suomalainen tytäryhtiö, joka kuuluu emoyhtiö Pöyry Oyj:hin.

Pöyryn historia ulottuu vuoteen 1958, milloin tohtori Jaakko Pöyry ja hänen kollegansa suunnittelivat Äänekosken sulfaattisellutehtaan metsänomistajien liiton pyynnöstä. Tämän jälkeen Pöyryn liiketoiminta on kasvanut voimakkaasti eri liiketoiminta-alueille sekä eri maanosiin.

Kansainvälisenä monen eri alan asiantuntijana Pöyry voi toimia vahvasti mukana kiertotalouden osa-alueilla. Ravinteiden kierrätyksen alueella nähdään tulevaisuudessa monia liiketoimintamahdollisuuksia. Vahvana teknologia-, prosessi- ja liiketoiminta-asiantuntijana Pöyry voi yhdistää monipuolisesti erityyppistä osaamista ravinteiden kierrätyksen kasvavalla liiketoiminta-alalla.

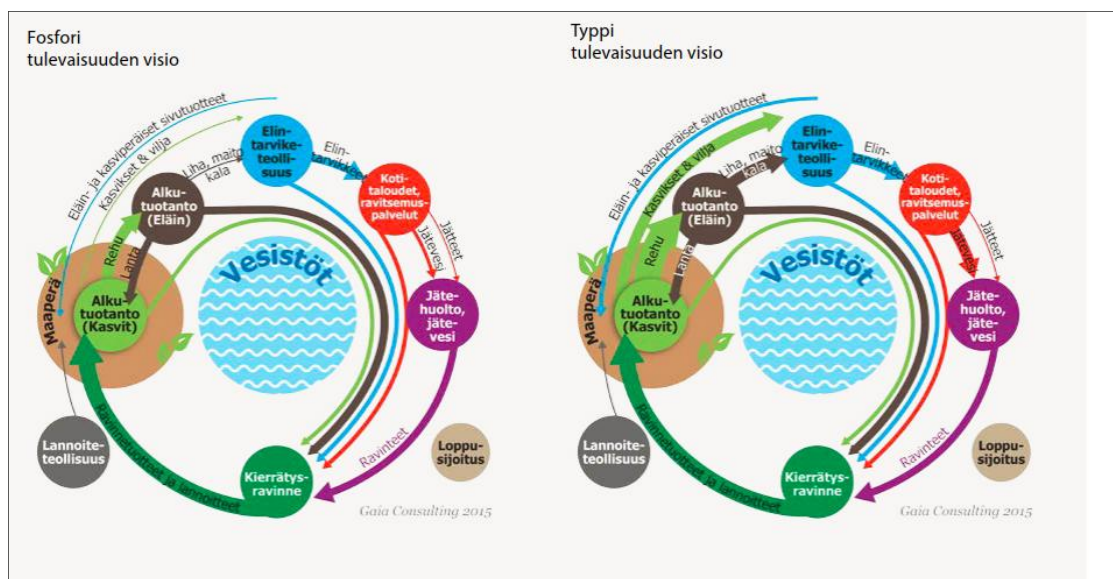
Tämän työn lähtökohtana on keskittyä vesi- ja jätehuoltoliiketoiminnasta kumpuaviin liiketoimintamahdollisuuksiin, mutta yhdistäen kuitenkin muiden liiketoiminta-alueiden asiantuntijoiden näkemykset. Käytännössä tämä tarkoittaa liiketoimintamahdollisuuksia, jotka koskevat jätevedenpuhdistamoiden eri vesi- ja lieteprosesseja kunnallisella puolella ja teollisuudessa sekä biokaasuntuotannon sivuvirtoja.

Työ jakautuu kirjallisuus- ja kehitystutkimusosuuteen, joiden tietojen yhdistämisen lopputuloksena kiteytyy yritykselle yksilöityjä liiketoimintamahdollisuuksia. Ravinteiden kierrätyksen toimintaympäristö ja nykytilanne-luku esittää kattavasti ravinteiden kierrätyksen toimintakentän Suomessa ja osassa Euroopan maita. Ravinteiden talteenottoon ja kierrätykseen liittyvät tekniikat-luku tiivistää erityyppiset fosforin talteenottamisteknologiat. Kehitystutkimusosuus sisältää asiantuntijahaastattelut, niiden yhteenvedon, sidosryhmäanalyysin, sisäisen tiedon jakamisen työkalut sekä määritellyt liiketoimintamahdollisuudet.

2 Ravinteiden kierrätyksen toimintaympäristö ja nykytilanne

Ravinteiden kierrätys ja talteenotto kuuluvat yhtenä kiertotalouden osana keskusteluun, joka parhaillaan vallitsee voimakkaana Suomessa.

Ensimmäisenä toimijana maailmassa Suomen itsenäisyyden juhlarahasto Sitra on yhteistyössä Baltic Sea Action Groupin ja Lappeenrannan teknillisen yliopiston kanssa laatinut tiekartan ravinteiden kiertotaloudesta sekä selvittänyt ravinteiden kierron taloudellisen arvon sekä sen liiketoimintamahdollisuudet Suomelle. Selvityksessä esitetään muun muassa fosforin ja typen ravinnekierrätyksen vaihtoehtoisia virtoja ekosysteemeissä. Nämä virrat ovat esitetty kuvassa 1. Lisäksi selvityksessä esitetään ravinnekierron kustannusvaikutuksia, kun siirrytään perinteisestä ravinnekierrosta enemmän ravinneomavaraisempaan toimintatapaan, jossa tuontiravinteiden määrä oleellisesti vähenee. [Ravinteiden kierron taloudellinen arvo ja mahdollisuudet Suomelle 2015.] Vesi- ja jätehuollon näkökulmasta ajateltuna ravinnekiertoon soveltuvia biomassoja on tarjolla Suomessa ja Euroopassa melko runsaasti.



Kuva 1. Fosforin ja typen kiertotalous tulevaisuudessa [Ravinteiden kierron taloudellinen arvo ja mahdollisuudet Suomelle 2015].

2.1 Ravinnekierrätyksen lainsäädäntö Suomessa ja Euroopassa

Tässä luvussa käsitellään Suomessa ja Euroopan unionissa voimassa olevaa ja osittain tulevaa lainsäädäntöä, joka koskee erityisesti puhdistamolietteen ja biojätteen

maatalouskäyttöä. Sen lisäksi tutustutaan maakohtaisiin jätevesilietteen jatkokäsittelyä koskeviin nykyisiin käytäntöihin.

2.1.1 Lainsäädäntö puhdistamolietteen ja biojätteen maatalouskäytöstä

Eurooppa-oikeudellinen lainsäädäntö

Euroopan unionin liettä ja jätevettä sekä lannoitevalmisteita koskevat direktiivit on sisällytetty kunkin jäsenmaan lainsäädäntöön. Useimmissa maissa säädökset ovat tiukempia kuin direktiivit. Seuraavat direktiivit koskevat jätevesilietteen loppukäsittelyä joko suoraan tai toisen säädöksen, esimerkiksi lannoitevalmistesäädösten kautta:

Jätedirektiivi (2008/98/EC)

Jätedirektiivin tavoitteena on ehkäistä jätteen syntyä sekä edistää sen uudelleenkäyttöä ja kierrätystä. Sillä pyritään myös yksinkertaistamaan olemassa olevaa EU:n jätesääntelyä. Direktiivillä voimistetaan viisiportainen jätehierarchyä, jonka mukaan jätepolitiikassa on noudatettava pääpiirteissään seuraavaa tärkeysjärjestystä: jätteen synnyn ehkäisy, valmistelu uudelleenkäyttöön, kierrätys, muu hyödyntäminen ja loppukäsittely. [Laitinen ym. 2014a.] Jätedirektiivi on pantu täytäntöön kansallisessa jätelaissa (646/2011).

Lietedirektiivi (86/278/ECC)

Lietedirektiivi on Euroopan neuvoston direktiivi ympäristön, erityisesti maaperän, suoje-
lusta. Direktiivi sääntelee puhdistamolietteen käyttöä maataloudessa. Direktiivissä määritellään raja-arvot lietteen levitysmäärille, jolla ehkäistään raskasmetallien ja muiden haitallisten aineiden liian suurien määrien esiintyminen maaperässä.

Suomessa liettedirektiivi otettiin käytäntöön valtioneuvoston päätöksellä puhdistamolietteen käytöstä maanviljelyksessä (282/1994). Tämä päätös kuitenkin kumottiin vuonna 2012 ja nykyisin puhdistamolietteitä koskevat säädökset löytyvät lannoitevalmistelain (539/2006) nojalla annetuissa maa- ja metsätalousministeriön asetuksissa (24/2011, muutokset 12/2012, 7/2013, 21/2015, 5/2016) sekä jäteasetuksessa (179/2012).

Tyypillisesti metalleille asetetut kansalliset raja-arvot ovat useissa EU:n jäsenmaissa lietedirektiiviä tiukempia. Suomessa maataloudessa käytettäville lietevalmisteille sovelletaan lannoitelainsäädännössä (MMM 24/2011) metalleille asetettuja ja lietedirektiiviä tiukempia raja-arvoja. [Laitinen ym. 2014a.]

Nitraattidirektiivi (91/676/EEC)

Nitraattidirektiivi (91/676/EEC) rajoittaa lietteen maatalouskäyttöä, koska sen tavoitteena on suojella vesistöjä maataloudesta peräisin olevan nitraatin aiheuttamalta saastumiselta. Nitraattidirektiivin tarkoituksena on siten suojella veden laatua ja edistää hyviä viljelykäytäntöjä. Suomessa direktiivi on tuotu kansalliseen lainsäädäntöön valtioneuvoston asetuksella maataloudesta peräisin olevien nitraattien vesiin pääsyn rajoittamisesta (Vna 931/2000). [Laitinen ym. 2014a.]

Jätevesidirektiivi (91/271/EEC)

Jätevesidirektiivi liittyy yhdyskuntajätevesien käsittelyyn. Direktiivi koskee yhdyskuntajätevesien keräilyä, käsittelyä ja kuormitusta sekä tiettyjen teollisuudenalojen jätevesien käsittelyä ja kuormitusta. Jätevesidirektiivi asettaa tavoitteita jätevesien jälkikäsittelylle. Lisäksi direktiivi kannustaa kierrättämään jätevesilietettä, jota syntyy jätevesien käsittelyn luonnollisena sivuvirtana. [Hakala 2015.]

Kaatopaikkadirektiivi (99/31/EC)

Kaatopaikkadirektiivin tavoitteena on lisätä jätteiden kierrätystä ja uudelleenkäyttöä sekä vähentää biohajoavien jätteiden sijoittamista kaatopaikoille [Kaatopaikkadirektiivi 1999].

Jätteenpolttodirektiivi (2000/76/EC)

Jätteenpolttodirektiivin mukaan kuivaa jätevesilietettä voidaan polttaa energian tuottamiseksi. Direktiivi asettaa erilaisia standardeja ja tekniikkavaatimuksia, joita tulee noudattaa silloin kun kuivaa jätevesilietettä poltetaan [Hakala 2015].

Euroopan parlamentin ja neuvoston asetus (EY:n) sivutuoteasetus (EY 1069/2009)

EY:n sivutuoteasetus asettaa vaatimuksia erilaisille eläinperäisille sivutuotteille niiden hyödyntämisen suhteen. Näiden vaatimusten tavoitteena on pienentää ihmisten ja eläinten terveydelle aiheutuvia riskejä. Euroopan unionissa erityyppiset eläinperäiset aineet on luokiteltu eri luokkiin. Esimerkiksi 1-luokan tartuntavaarallisimmasta aineksesta ei saa tehdä lannoitteita tai maanparannusaineita Euroopan unionin alueella. Luokkaan 2 kuuluvia sivutuotteita voidaan käyttää lannoitteiden raaka-aineena, jos seokseen lisätään sellaista ainesosaa, mikä estää tuotteen myöhemmän käytön eläinten ruokinnassa. Lannoitetuotteen valmistuksen edellytyksenä on painesterilointi tai jokin muu soveltuva käsittelyvaihe. [Hari & Riiko 2016.]

EU:n lannoiteasetusuudistus (valmistelussa)

Edellä mainittujen direktiivien lisäksi EU:n tasolla on käynnissä EU:n lannoiteasetuksen uudistus. Uudistuksen tavoitteena on luoda tasaveroinen järjestelmä eri raaka-ainelähteistä peräisin oleville lannoitevalmisteille sekä niiden kaupallistamiselle. Nykyisen lannoiteasetuksen mukaan EU:n sisämarkkinoille on pääsy ainoastaan epäorgaanisilla lannoitevalmisteilla. Nykyisen lannoiteasetuksen piiriin eivät toistaiseksi kuulu orgaaniset materiaalit, eläinperäiset ja muut maatalouden sivuvirrat tai biojätteet. Niiden sisämarkkinoille pääsy olisi tärkeää, sillä se mahdollistaisi tuotteiden harmonisoidun kaupan ja liikkuvuuden jäsenmaiden välillä.

Tällä hetkellä kullakin jäsenmaalla on kansallista lannoitteiden sääntelyä esimerkiksi tyyppihyväksyntä-toimintatavan kautta. EU-maiden markkinoille on voinut tuoda lannoitteita ”mutual recognition”-menettelyn kautta. Tämä tarkoittaa sitä, että toisessa EU-maassa markkinoilla olevalle tuotteelle on voitu hakea myyntilupaa toiseen jäsenmaan. Nämä edellä mainitut menettelyt ovat osin sekoittaneet ja pirstoneet markkinoita, mikä on osaltaan ajanut lannoiteasetuksen uudistamiseen pyrkimyksenä yhtenäistää sääntelyä myös orgaanisten lannoitteiden osalta. [Hari & Riiko 2016.]

Uudessa lannoiteasetuksessa tullaan asettamaan uusia yhdenmukaisia vaatimuksia lannoitevalmisteiden turvallisuuden, laadun ja merkitsemisen suhteen sekä säädetään CE-merkittyjen lannoitteiden vapaasta liikkuvuudesta. Uuden lannoiteasetuksen liitteessä määritellään ne ainesosat, joista CE-merkityn lannoitevalmisteen on koostuttava. Ainesosalistauksen lisäksi liitteissä määritellään asetuksen toimialaan kuuluvat toimintoluokat, jotka on määritelty lannoitevalmisteiden erilaisten käyttötarkoitusten mukaan. Eri toimintoluokkaisia tuotekategorioita ovat esimerkiksi orgaaniset lannoitteet,

maanparannusaineet, kasvualustat ja epäorgaaniset lannoitteet. Lannoiteasetusehdotuskeskustelun lähtökohtana on kuitenkin ollut se, ettei puhdistamoliete olisi EU-lannoitteissa sallittu raaka-aine. Uusi lannoiteasetus tulisi voimaan vuonna 2018, mikäli lainsäädäntöprosessi etenee toivotussa aikataulussa. [EU lannoitelainsäädännön muutoksen odotetaan synnyttävän sisämarkkinat kierrätysravinteille 2017.]

Kansallinen lainsäädäntö

Jätelaki ja –asetus (646/2011 ja VNA 179/2012)

Jätelaissa säädetään puhdistamolietteen kuljetuksen yksityiskohdista sekä lietteen määrän, ominaisuuksien ja koostumuksen raportoinnista. Valtionneuvoston asetuksessa (179/2012) määritellään tarkemmin lietteen laadun määrittämisestä ja raportoinnista viranomaisille. Jätelaissa määritellään myös sivutuotteen kriteerit. [Jätelaki 2011.]

Lannoitevalmistelaki (539/2006)

Lannoitevalmistelainsäädäntö on keskiössä puhuttaessa lietteistä valmistettujen lannoitevalmisteiden hyödyntämisestä maataloudessa. Se ohjaa ja asettaa kriteerit lietteitä käsitteleville laitoksille, niistä jalostettujen lannoitevalmisteiden käytölle sekä lietteen levitykselle. Suomessa ei ole toistaiseksi lietepohjaisille lannoitevalmisteille voimassa ohje- tai raja-arvoja haitallisten orgaanisten yhdisteiden osalta. [Kasurinen ym. 2014.]

Lannoitevalmisteiksi voidaan lannoitevalmistelain (539/2006) mukaan lukea epäorgaaniset ja orgaaniset lannoitteet, kalkitusaineet, maanparannusaineet, kasvualustat, mikrobivalmisteet sekä lannoitevalmisteena sellaisenaan käytettävät sivutuotteet. Sellaisenaan lannoitevalmisteena käytettävällä sivutuotteella tarkoitetaan lannoitevalmisteena käytettävää teollisuus-, poltto- tai tuotantolaitosten, biokaasu- tai kompostointilaitosten tai muiden laitosten sekä jätevedenpuhdistamojen tai muun vastaavan toiminnan yhteydessä syntyviä tuotteita. [Lannoitevalmisteet 2017.]

Lannoitevalmistelain tavoitteena on taata elintarviketuotannon ja ympäristön kannalta hyvälaatuiset ja turvalliset lannoitevalmisteet. Lannoitevalmisteella on oltava tyyppinimi, joiden hyväksymisestä ja listauksesta Suomessa vastaa Elintarviketurvallisuusvirasto, Evira. Evira vastaa myös toiminnanharjoittajien ilmoitusmenettelystä ja pitää listaa lan-

noitevalmisteita tuottavista tai käsittelevistä hyväksytyistä laitoksista. [Laitinen ym. 2014b.]

Maa- ja metsätalousministeriön asetukset: MMM:n asetus (24/2011) ja sen muutokset (12/2012, 7/2013, 21/2015, 5/2016) lannoitevalmisteista

Lannoitevalmisteasetuksessa säädetään tarkemmin puhdistamolietteiden käytöstä. Asetuksessa lietteeksi käsitetään sekä yhdyskuntien puhdistamoiden että haja-asutuksen lietteet. Jätevesilietteen maatalouskäyttö on sallittua, mikäli lannoitevalmiste kuuluu määrättyyn tyyppinimiryhmään ja täyttää asetuksen vaatimukset. Vaatimukset koskevat esimerkiksi haitallisten aineiden, kuten metallien, pitoisuuksia ja enimmäiskuormituksia, viljelymaan pH:n tasoa, lannoitettavaksi soveltuvia kasvityyppejä sekä varoikoja puhdistamolietteellä lannoitettujen peltojen käytölle. Haja-asutusalueilla lietteen käytölle on asetettu helpotuksia tietyin ehdoin. Lietevalmisteet eivät ole sallittuja luonnonmukaisessa tuotannossa.

Levitettävän lietteen enimmäismäärä määräytyy sen sisältämien aineiden mukaan ja levitysmäärä on liete-eräkohtaisesti laskettava. Levitettävän lietteen enimmäismäärän määrittäminen voi riippua monesta tekijästä, muun muassa haitallisten raskasmetallien enimmäiskuormituksesta. Raskasmetallit ovat pitkään rajoittaneet puhdistamolietteiden maatalouskäyttöä, vaikkakin niiden pitoisuudet lietteessä ovat viime vuosina selvästi pienentyneet. Muutamille lietteissä esiintyville metalleille, kuten kadmiumille, kuparille, nikkelille, lyijylle, sinkille ja elohopealle, on lietedirektiivissä (86/278/ECC) ja suomalaisessa lannoitelainsäädännössä (MMM 24/11) asetettu raja-arvot. [Laitinen ym. 2014a; Puhdistamolietteiden käyttö maataloudessa 2013.]

Valtioneuvoston asetus maataloudesta peräisin olevien nitraattien vesiin pääsyn rajoittamisesta (931/2000)

EY:n asettama nitraattidirektiivi (91/676/ECC) toteutettiin Suomessa valtioneuvoston asetuksella maatalouden peräisin olevien nitraattien vesien pääsyn rajoittamisesta. Asetuksen tavoitteena on yksityiskohtaisesti määrittää esimerkiksi lannoitteiden levityksestä, levitysajoista ja -määristä ja rajoituksista erilaisilla alueilla. [Laitinen ym. 2014a.]

Valtioneuvoston asetus kaatopaikoista (331/2013)

Valtioneuvoston kaatopaikka-asetus kieltää vuodesta 2016 lähtien lähes kokonaan biohajoavan ja muun orgaanisen jätteen sijoittamisen kaatopaikoille. Kaatopaikoille ei saa viedä sellaista jätettä, jonka orgaanisen aineksen pitoisuudesta johtuva orgaanisen hiilen kokonaismäärä (TOC) tai vaihtoehtoisesti hehikutushäviö (LOI) on suurempi kuin 10 %. Biohajoavaan jätteeseen kuuluu myös yhdyskuntien jätevedenpuhdistamoissa syntyvä jäte. [Laitinen ym. 2014a.]

Ympäristönsuojelulaki ja -asetus (527/2014 ja VNA 713/2014)

Uuden, vuonna 2014 voimaantulleessa, ympäristönsuojelulain tarkoituksena on estää ympäristön pilaantumista. Lain tavoitteena on myös ehkäistä ja vähentää päästöjä sekä poistaa pilaantumisesta aiheutuvia haittoja sekä torjua ympäristövahinkoja. Luonnonvarojen kestävä käyttö, jätteiden määrän ja haitallisuuden vähentäminen sekä jätteistä aiheutuvien haitallisten vaikutusten ehkäiseminen kuuluvat myös ympäristönsuojelulain tavoitteisiin. Lisäksi ympäristönsuojelulainsäädännössä määritellään muun muassa ne toiminnot, joilla on oltava ympäristölupa toiminnan harjoittamiseksi. Näihin toimintoihin kuuluvat esimerkiksi elintarvikkeiden ja rehujen valmistus, eläinsuojat sekä jätevesien käsittely ja jätehuolto. [Ympäristönsuojelulaki 2014.]

Laki eläimistä saatavista sivutuotteista (517/2015) ja maa- ja metsätalousministeriön asetus eläimistä saatavista sivutuotteista (783/2015)

Laki eläimistä saatavista sivutuotteista ja sitä vastaava asetus käsittävät EU:n sivutuoteasetusten (EY 1069/2009) kansalliseen toimeenpanoon liittyvät helpotukset, jotka koskevat sivutuotteiden ja niistä valmistettavien tuotteiden käyttöä ja hävitystä. Laissa säädetään myös valvontaviranomaiset ja heille kuuluvat tehtävät. [Laki eläimistä saatavista sivutuotteista 2015.]

2.1.2 Jätevedenpuhdistuslaitosten biojätteen käsittely Euroopassa

Tässä luvussa käsitellään muutaman Euroopan maan jätevedenpuhdistamoiden lietteen käsittelyä sekä siihen liittyvää kansallista lainsäädäntöä.

Hollanti

Lähes kaikki jätevesilietteiden maatalouskäyttö on ollut kiellettyä Hollannissa jo vuodesta 1991 lähtien. Sen vuoksi jätevesilietteiden käsittelyksi on siellä muotoutunut lietteiden poltto. Hollannissa on myös Euroopan tiukimmat raskasmetallipitoisuusrajat jätevesilietteilteille. Tällä hetkellä jätevesilietteiden polttotuhka käytetään höydyksi sementti- ja asfalttiteollisuudessa. [Hari & Riiko 2016.]

Hollannissa on käytössä sopimus, jonka mukaan sopimukseen sitoutuneet sidosryhmät hyödyntävät prosesseissaan tietyn osuuden kierrätettyä fosforia [Repo 2016].

Belgia

Belgiassa jätevesiliete on perinteisesti viety kaatopaikalle, mutta nykyään poltto on siellä yleistymässä. Jätevesilietteiden maatalouskäytön lainsäädäntö on Belgiassa eurooppalaisen mittapuun mukaan tiukkaa. [Hari & Riiko 2016.]

Saksa

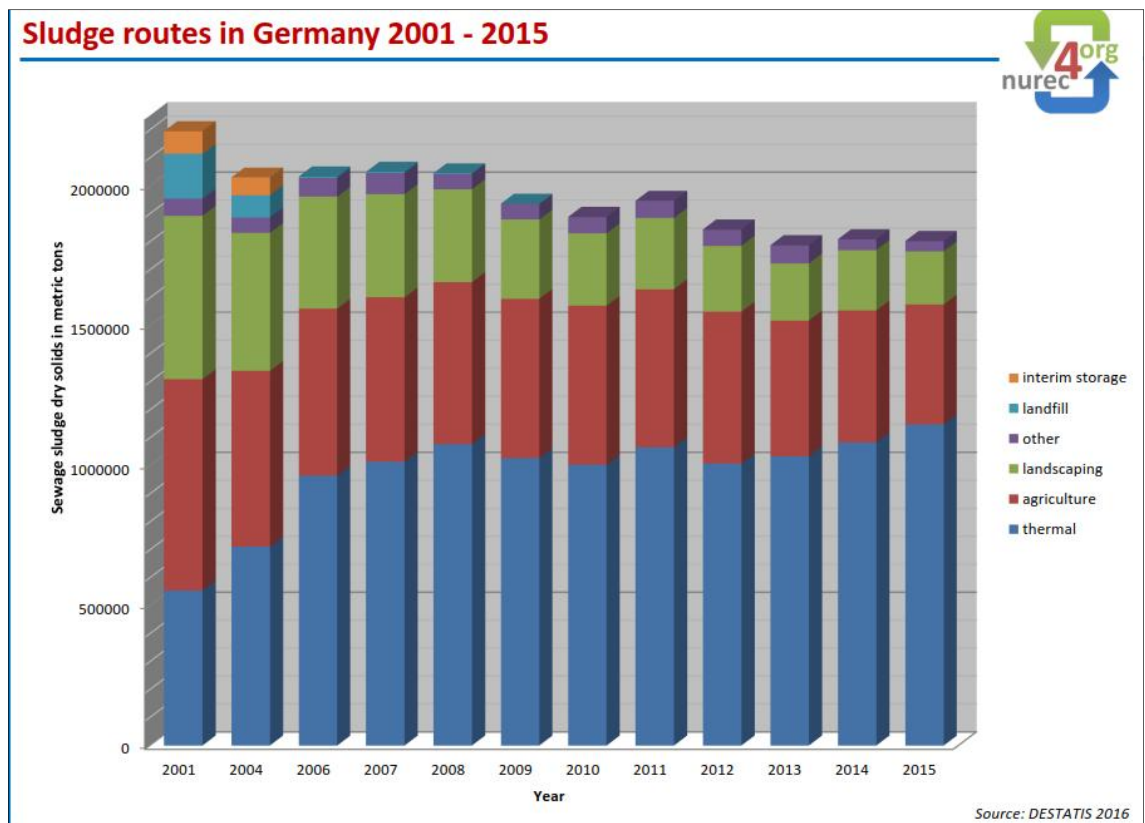
Saksassa jätevesilietteiden käyttöön ja käsittelyyn on tulossa merkittäviä muutoksia. Vuoden 2016 lopussa siellä kiellettiin synteettisillä polymeereillä käsiteltyjen jätevesilietteiden maatalouskäyttö. Jätevesilietteiden maatalouskäyttö on kokonaisuudessaan määrätty lopetettavaksi vuoteen 2025 mennessä. Tuolloin fosforin talteenottaminen tulee pakolliseksi lähes kaikista jätevesilietteilteistä ja sen tuhkista. Lisäksi kaikkien jätevedenpuhdistamoiden tulee vuoden 2019 loppuun mennessä raportoida, miten fosforin erotus niissä tullaan toteuttamaan vuoden 2025 jälkeen. [Hari & Riiko 2016].

Saksassa tämän muutoksen siirtymäajat ovat seuraavat: säännöksen voimaantulon jälkeen yli 100 000 AVL:n jätevedenpuhdistuslaitoksille on määritelty 12 vuoden siirtymisaika ja 50 000 – 100 000 AVL:n laitoksille 15 vuoden siirtymisaika fosforin talteenotossäännöksen toimeenpanemiseksi. Alle 50 000 AVL:n laitoksilla on edelleen lupa jatkaa jätevesilietteiden maatalouskäyttöä. [Verordnung zur Neuordnung der Klärschlammverwertung 2017.]

Tällä hetkellä yhdyskuntajätevesilietteiden polttoon ja maatalouskäyttöön menevä osuus vaihtelee merkittävästi Saksan eri osavaltioissa. Maatalousmaalle levitetään

esimerkiksi Mecklenburg-Vorpommernissa 88 prosenttia ja Schleswig-Holsteinissa 72 prosenttia jätevesilietteistä. Hampurissa ja Berliinissä puolestaan kaikki jätevesiliete menee polttoon. [Hari & Riiko 2016.]

Kuvassa 2 on esitetty Saksan jätevesilietteen määrät (yksikössä tonnia kuiva-ainetta) sekä lietteen hyödyntämismenetelmät vuosina 2001- 2015.



Kuva 2. Saksan jätevesiliettemäärät kuiva-ainetonneina sekä niiden hyödyntämistavat [Kabbe 2017].

Saksassa, samoin kuin Suomessa, kansalliseen lainsäädäntöön on tehty määritelmät eri lannoitetyypeille. Lisäksi kansallinen nitraattidirektiivin soveltaminen määrittää edellytykset lannoitteiden käytölle. Sen mukaan Saksassa käytettyjen lannoitteiden pitää sopia johonkin lannoitevalmisteasetuksessa (Düngemittelverordnung) määritettyyn lannoitetyypin kuvaukseen. [Hari & Riiko 2016.]

Tanska

Tanskassa arviolta puolet yhdyskuntajätevesilietteistä käytetään maataloudessa, lopuosa lietteestä menee polttoon, läjitykseen tai muihin käyttökohteisiin, kuten esimerkiksi sementtiteollisuuden tarpeisiin.

Kansallisena tavoitteena Tanskassa on, että vuonna 2018 jätevesilietteen fosforista 70 prosenttia kierrätetään joko tuhkista tai suoraan lietteestä. Tällä hetkellä kierrätysaste on 55 prosenttia. Käsittlemättömän lietteen levitys ei ole mahdollista, vaan lietteen käsittelyksi tarvitaan joko stabilisointi, kompostointi tai pastörointi. Tanskassa on asetettu raja-arvoja raskasmetallien lisäksi salmonellalle ja orgaanisille haitta-aineille. [Hari & Riiko 2016.]

Ruotsi

Ruotsissa ei ole jätevesilietteiden polttoon suunniteltuja laitoksia. Poltossa lopputuotteen fosforipitoisuus kasvaisi ja haitta-aineet vähenisivät, mutta polton merkittävänä haittapuolena menetetään typpi ja orgaaninen aine. Ruotsissa on kuitenkin noin 20 biologista jätevedenpuhdistamoita, joihin olisi teknisesti mahdollista toteuttaa struviitin tuotanto. Jos näin toimittaisiin, niin kokonaisuudessaan 5 prosenttia jätevesilietteistä voitaisiin käsitellä struviitiksi. [Hari & Riiko 2016.]

Lisäksi Ruotsissa on monia mädätykseen keskittyneitä laitoksia, josta biokaasun tuotannon käsittelyjäännöksenä syntyy ravinnerikasta biomultaa. Biomulta kompostoidaan yhdessä puuhakkeen kanssa ja käytetään yleensä maanrakennukseen. Esimerkiksi vuonna 2012 Ruotsissa tuotettiin mädätysjätteestä 25000 tonnia biolannoitteita ja 1,7 miljoonaa kuutiota biokaasua. Huomioitavaa on, että biokaasulaitoksista 44 prosenttia saa mädätettävän biomassansa jätevedenpuhdistamoilta. [Kestävää liiketoimintaa biojätteistä ja -lietteistä 2014.]

Ruotsin valtiopäivät on asettanut tavoitteeksi, että fosforia talteenotetaan jätevedestä vähintään 60 prosenttia vuoteen 2015 mennessä. Talteenotetusta fosforista puolet olisi käytettävä peltomaan lannoittamiseen. Tämän tavoitteen saavuttamisen helpottamiseksi esimerkiksi Svenkt Vatten on ollut merkittävässä roolissa kehittämässä REVAQ-sertifiointijärjestelmää, jonka avulla pyritään varmistamaan lietteen laatu loppukäyttäjille. [Kestävää liiketoimintaa biojätteistä ja -lietteistä 2014.]

Suomi

Suomen hallituksen uusimpana (kevät 2017) tavoitteena on luoda edellytykset sille, että vähintään 50 prosenttia yhdyskuntajätevesilietteestä on kehittyneen prosessoinnin piirissä vuonna 2025. Hallituksen kärkihankerahoitusta on ohjattu merkittäviä määriä tämän suuntaisten hankkeiden tukemiseen.

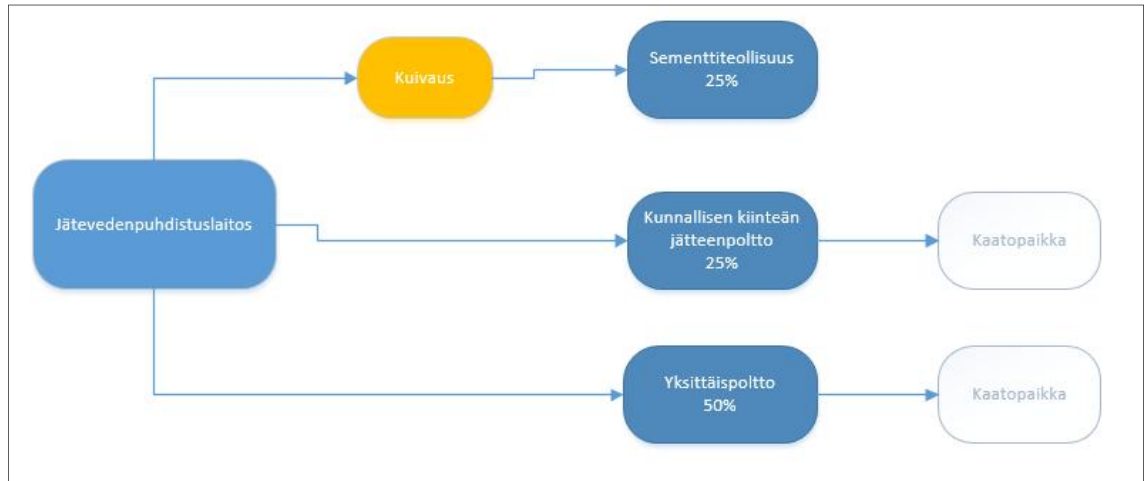
Suomessa jätevesilietepohjaiset ravinnetuotteet koetaan kuitenkin lannoitevalmisteiden käyttäjien keskuudessa usein riskialttiiksi vaihtoehdoksi. Suomen vesilaitosyhdistys on valmistelemassa yhdessä biolaitosyhdistyksen, biokaasuyhdistyksen sekä muiden alan toimijoiden kanssa laatujärjestelmää kierrätyslannoitevalmisteille. Lisäksi vesilaitosyhdistys tulee kartoittamaan riskejä, jotka liittyvät lietelannoitevalmisteisiin. [Toivikko 2017.]

Nykyisin Suomessa lannoitevalmistelaisissa rajataan, että vain sellaisia tuotteita, joiden tyyppinimi kuuluu kansalliseen lannoitevalmisteiden tyyppinimiluetteloon tai jotka ovat EY-lannoitteita, saa tuoda maahan tai valmistaa kaupallistamista varten. Uuden tyyppinimen lisäämistä tyyppinimiluetteloon haetaan Elintarviketurvallisuusvirastolta [Lannoitevalmisteiden kansallinen tyyppinimiluettelo 2017].

Sveitsi

Sveitsi on toiminut Euroopassa edelläkävijämaana jätevesilietteen hyötykäytön osalta. Vuoden 2016 alusta Sveitsi pakollisti ensimmäisenä valtiona maailmassa fosforin talteenoton ja kierrätyksen yhdyskuntalietteestä. Siirtymäaika pakotteen toimeenpanemiseksi on 10 vuotta. [Revidierte Technische Verordnung über Abfälle: Schritt zur Ressourcenschonung 2015.]

Nykyisin jätevesipuhdistamolietteet poltetaan Sveitsissä lähes kokonaan. Kaatopaikkakielto orgaanisille jätteille astui voimaan siellä jo vuonna 2000. Vuodesta 2006 eteenpäin jätevedenpuhdistamolietteitä ei ole käytetty maataloudessa. [Nätörp 2017.] Kuvassa 3 on esitetty Sveitsin jätevesilietteen käsittelyvaihtoehdot.



Kuva 3. Sveitsin jätevesilietteiden käsittelymenetelmät ja loppusijoitus [mukaillen Nättorp 2017].

Itävalta

Itävalta on myös uudistamassa jättesäädöksiään. Vuoden 2017 jättesuunnitelman luonnoksessa (Bundes-Abfallwirtschaftsplan) on asetettu jätevesilietteilte täyskielto maatalous- sekä kompostointikäytössä. Lisäksi kansallisessa jättesuunnitelmassa on määritelty pakollinen fosforin talteenotto yli 20 000 AVL:n jätevedenpuhdistamoille siirtymäkauden ollessa 10 vuotta. Vaihtoehtoisesti jätevedenpuhdistamot voivat kierrättää fosforia jätevedenpuhdistamolla (rajan ollessa < 20g P/kg kuiva-ainetta) tai ne voivat toimittaa jätevesilietteet jätteenpolttolaitoksille, jolloin fosfori talteenotettaisiin jätevesilietetuhkasta. Nämä säädökset tulevat kattamaan 90-prosenttisesti Itävallan jätevesipuhdistamoiden lietteen sisältämän fosforin. [Austria opts for mandatory phosphorus recovery from sewage sludge 2017.]

2.2 Ravinnekierrätykseen liittyvät keskeisimmät hankkeet Suomessa

Ravinnekierrätykseen ja erityisesti fosforin talteenottoon tähtääviä hankkeita on tehty tai on käynnissä moniin eri ravinnelähteisiin sekä toimialoihin liittyen. Monien hankkeiden rahoitus on perustunut eri ministeriöiden ravinteidenkierrätysohjelmien rahoitukseen. Alla olevaan taulukkoon 1 on koottu sellaisia hankkeita, jotka ovat työn kannalta mielenkiintoisimpia hankkeita Suomessa.

Taulukko 1. Ravinnekierätyshankkeita Suomessa.

Fosforin talteenottoon liittyviä hankkeita Suomessa
<p><i>Aalto yliopisto</i> – ravinteiden talteen ottaminen nestemäisistä jätejakeista: Hankkeen tavoitteena on kehittää taloudellisesti kannattava prosessi nestemäisten jätejakeiden ravinteiden kierrätykselle. Ravinteiden talteenottomenetelmä perustuu kalsiumhydroksidin $\text{Ca}(\text{OH})_2$ käyttöön ammoniumtyypin NH_4^+ muuntamiseksi kaasumaiseksi ammoniakiksi NH_3. Ammoniakki erotetaan puoliläpäisevän kalvon läpi. Lopuksi ammoniakki sidotaan rikkihappoon, jolloin syntyy ammoniumsulfaattia. Fosfori saostetaan prosessissa kalsiumsuolan avulla. [Uusi menetelmä muuttaa jätevesien ravinteet lannoitteeksi 2017.]</p>
<p><i>HSY, RAVITA-hanke</i>: fosforin jälkisaostus jätevedenpuhdistamolla. RAVITA-hankkeen tavoitteena on tutkia jälkisaostetun kemiallisen fosforilietteen käsittelyä niin, että lopputuotteena syntyisi mahdollisesti joko lannoiteteollisuuden raaka-aine tai valmiiksi lopputuotteeksi soveltuva tuote. [RAVITA-hanke 2017.]</p>
<p><i>VTT- Resurssi-konttihanke</i>. Hanke on pienen mittakaavan jätevedenkäsittelyratkaisu, jossa sekä yhdyskuntien että teollisuuden jätevesiä on mahdollisuus käyttää nykyistä huomattavasti tehokkaammin hiilen ja ravinteiden lähteinä. Resurssikontti-konsepti koostuu kehitteillä ja käytössä olevista menetelmistä, joita yhdistämällä aineiden puhdistusprosessin sivuvirroista saadaan tehokkaasti talteen ravinteet, biohiili ja puhdas vesi. Projektin tuloksista hyötyvät eritoten kunnalliset jätevesilaitokset, teknologian toimittajat ja kemianteollisuus. [Jätevedestä raaka-aine tyyppien, fosforin ja hiilen tuotantoon 2017.]</p>
<p><i>Valio Oy, lietelantahanke</i>. Hanke pilotoi lehmien lietelannan prosessointia lannoitejakeiksi, biokaasuksi ja vedeksi. Lietelannan prosessoinnin seurauksena lannan käyttö lannoitteena helpottuu ja ravinteiden kierto paranee. Pilottilaitoksen suunnittelutyöt ovat käynnissä. Suunniteltava laitos on mitoitettu noin 50 miljoonalle litralle lietelantaa vuodessa. Määrästä saadaan noin 12 miljoonaa kiloa tiivistä fosforilannoitetta, noin 5,5 miljoonaa kiloa typpilannoite-tiivistettä ja 27,5 miljoonaa litraa puhdasta vettä. Valion pilottilaitoksen avulla testataan kuvailun prosessin toimivuutta, optimaalista mitoitusta ja lannan kuljetuksen logistiikkaa ensimmäisenä maailmassa. [Lehmän lannan ravinteet luontoa vaalien kiertoon ja tehokkaan käyttöön 2017.]</p>
<p><i>UPM:n ja Yara:n kierrätyslannoitehanke</i>. UPM on kehittämässä lannoite- ja kasviravinneyritys Yaran kanssa kierrätyslannoitetta, jonka raaka-aineena ovat sellu- ja paperitehtailta syntyvä liete sekä sen poltossa syntyvä tuhka. Yhteishankkeessa etsitään ravinneratkaisua, jossa kierrätys- ja kivennäisravinteiden suhde on oikea. Näin varmistetaan, että ravinteet siirtyvät kasveihin kasvukauden aikana eivätkä jää pelloille ja huuhtoudu sieltä vesistöihin. [Paperi ja Puu 2017.]</p>

2.3 Fosforivarannot maailmanlaajuisesti

Fosforilannoitteiden osalta Euroopan unioni on tällä hetkellä erittäin riippuvainen EU:n ulkopuolella louhitun raakafosfaatin tuonnista. Yli 90 prosenttia EU:ssa käytetyistä fosforilannoiteista tuodaan lähinnä Marokosta, Tunisiasta ja Venäjältä. Kuvan 4 perusteella voidaan todeta, että Eurooppa on käytännössä riippuvainen EU:n ulkopuolisten tuot-

tajien fosforin myynnistä, lukuun ottamatta Suomea, jossa Yaralla on Siilinjärvellä suuri tuotantolaitos. Maailmanlaajuisesti kuitenkin fosforivarannot ovat hupenemassa. Euroopan komissio on nimennyt raaka-fosforin kriittisten raaka-aineiden listalle [Euroopan parlamentin ja neuvoston asetus. Ehdotus. CE-merkittyjen lannoitevalmisteiden asettamista saataville markkinoilla koskevien sääntöjen vahvistamisesta ja asetusten (EY) N:o 1069/2009 ja (EY) N:o 1107/2009 muuttamisesta 2016].



Kuva 4. Maailman fosfaattikivivarannot vuonna 2005 [Röhling 2007].

2.4 Käsiteltävien fosforilähteiden potentiaali

Maa- ja metsätalousministeriön tekemän raportin mukaan ravinteita muodostuu eniten maataloudessa lantana (fosforista 71 prosenttia ja typestä 78 prosenttia). Merkittäviä ravinnelähteitä ovat myös elintarvike- ja rehuteollisuus (fosforista 14 prosenttia sekä typestä 13 prosenttia) sekä yhdyskuntien puhdistamolietteet (fosforista 11 prosenttia ja typestä vajaat 4 prosenttia). Yhdyskuntien biojätteen osuus fosforista oli noin 3 prosenttia sekä typestä vajaat 5 prosenttia (ks. taulukko 2). Luvut ovat kuitenkin pitkälti arvioita puutteellisen tilastoinnin takia. [Suomesta ravinteiden kierrätyksen mallimaa 2011.]

Taulukko 2. Kokonaisfosforimäärät jätteissä ja sivutuotteissa [mukaiillen Suomesta ravinteiden kierrätyksen mallimaa 2011].

Lanta, jätelaji tai sivutuote	Fosfori (t/a)
Maatalouden lanta	17 300
Elintarvike- ja rehuteollisuuden biojätteet ja sivutuotteet	3 300
Yhdyskuntien biojäte	700
Yhdyskuntien puhdistamoliete	2 800

Ravinteiden neljä pääkäyttäjryhmää ovat maatalous (kasvinviljely), viherrakentaminen, metsätalous ja kalatalous (ks. taulukko 3). Maatalous käyttää fosforista yli 96 prosenttia, pääasiassa rehuissa, lannoitteissa ja lannoitevalmisteissa. [Suomesta ravinteiden kierrätyksen mallimaa 2011.]

Taulukko 3. Kokonaisfosforin käyttömäärät ja kotimaisten kierrätyslannoitteiden osuus eri toimialoilla [mukaiillen Suomesta ravinteiden kierrätyksen mallimaa 2011].

Toimiala	P kokonaiskäyttö (t/a)	Kierrätys-P osuus (%)	Kierrätysmateriaali
Maatalous			
Rehut	24 400	80	Suomessa tuotetut rehut, lihaluujauho
Lannoitteet/ lannoitevalmisteet	33 100	53	lanta ja puhdistamolieteperäiset lannoitevalmisteet
Viherrakentaminen			
Lannoitteet/ lannoitevalmisteet	1 600	66	puhdistamolietepohjaiset lannoitevalmisteet
Metsätalous			
Lannoitteet/ lannoitevalmisteet	500	58	tuhka
Kalankasvatus			
Rehut	160	0	

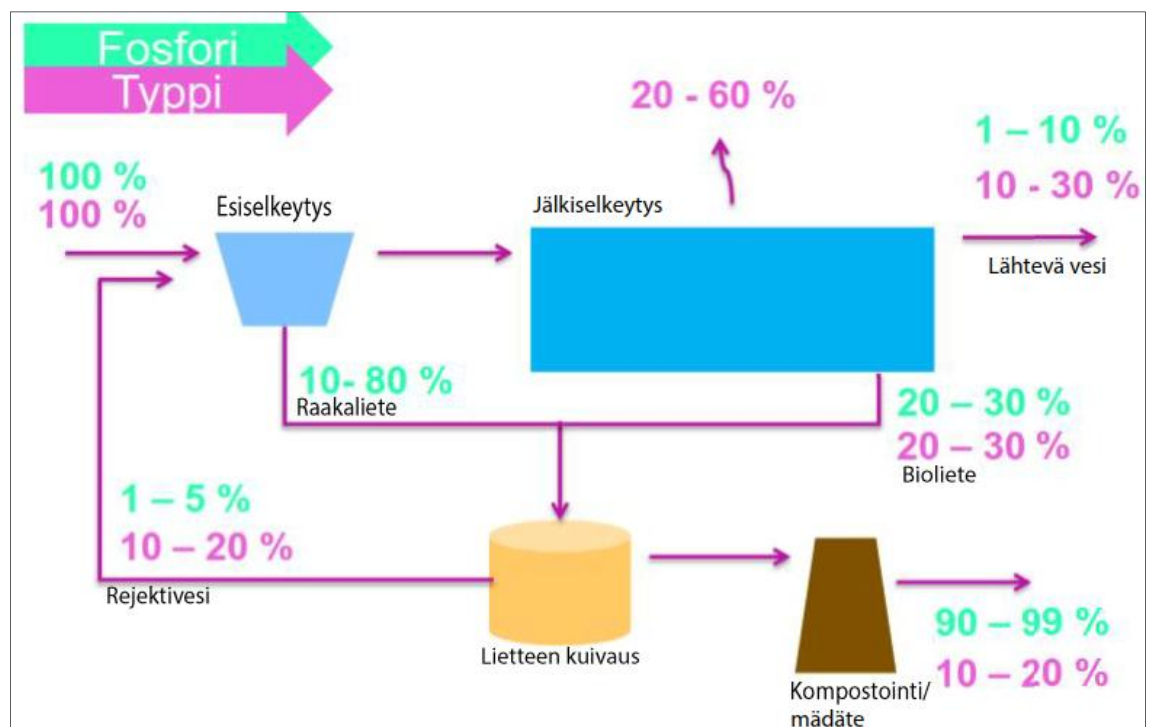
Luonnonvarakeskus (LUKE) julkaisi kesällä 2017 Biomassa-atlas-verkkopalvelun, josta voi etsiä bioraaka-aineiden esiintymistä Suomessa neliökilometrin tarkkuudella. Atlas perustuu avoimeen paikkatietoon, ja se löytyy verkosta maksutta. Biomassa-atlaksen avulla käyttäjä voi tutkia hyödynnettävissä olevia biomassoja ja niiden sijaintia kartalla. Verkkopalvelussa on saatavilla tiedot Suomen metsä-, jäte-, lanta- ja peltobiomassoista. Verkkopalvelu löytyy osoitteesta www.biomassa-atlas.fi. [Biomassa-atlas 2017.]

2.4.1 Jätevedenpuhdistamoiden ja biokaasulaitosten lietteet sekä käsittelyjäännökset

Liete sisältää runsaasti orgaanista ainetta ja ravinteita. Valtaosa syntyneestä lietteestä hyödynnetään nykyisin viherrakentamisessa lannoitteena ja maanparannusaineena. Ennen hyödyntämistä liete tulee käsitellä esimerkiksi mädättämällä, kompostoimalla tai kalkitseamalla. [Laitinen ym. 2014a.]

Kotimainen talousjäte mukaan luettuna puhdistamoliete sisältää suuria määriä fosforia, joka kiertotalousmallin mukaisesti kierrätettynä voisi kattaa noin 20–30 prosenttia EU:n fosfaattilannoitteiden kysynnästä [Euroopan parlamentin ja neuvoston asetus. Ehdotus. CE-merkittyjen lannoitevalmisteiden asettamista saataville markkinoilla koskevien sääntöjen vahvistamisesta ja asetusten (EY) N:o 1069/2009 ja (EY) N:o 1107/2009 muuttamisesta 2016].

Ravinteiden keskimääräiset prosentiosuudet jätevedessä ja lietteessä on esitetty oheisessa kuvassa 5.



Kuva 5. Ravinteiden prosentiosuudet jätevesiprosessissa [Mikola 2017].

Ennen lietteen ensisijaisena käyttökohteena nähtiin loppusijoittaminen, mutta nykyisin ajatusmalli on muuttunut suuntaan, jossa lietteen hyötykäytön nähdään myös sulkevan ravinnekiertoja.

Suomen nykyisen hallituksen yhden kärkihankkeen tavoitteena on kohentaa vesistöjen tilaa kasvattamalla ravinteiden talteenottoa. Tämä saavutettaisiin sillä, että vähintään 50 prosenttia lannasta ja yhdyskuntien jätevesilietteestä tuodaan kehittyneen prosessin piiriin vuoteen 2025 mennessä. Lietteiden koostumus riippuu pitkälti jätevedenpuhdistamolle saapuvien jätevesien koostumuksesta. Puhdistamoille voi tulla yhdyskuntajätevesien lisäksi jonkin verran teollisuuden jätevesiä, kaato-paikkojen suotovesiä sekä hulevesiä, jolloin jäteveden koostumus ja kuormitus voivat vaihdella alueen, mutta myös eri vuodenaikojen mukaan. Jätevedenpuhdistamoiden nykyiset puhdistusprosessit perustuvat lähinnä ravinteiden ja kiintoaineksen poistoon jätevedestä, jolloin erilaiset haitalliset aineet voivat joko kulkeutua puhdistusprosessin läpi tai kiinnittyä lietteeseen. [Fjäder 2016.]

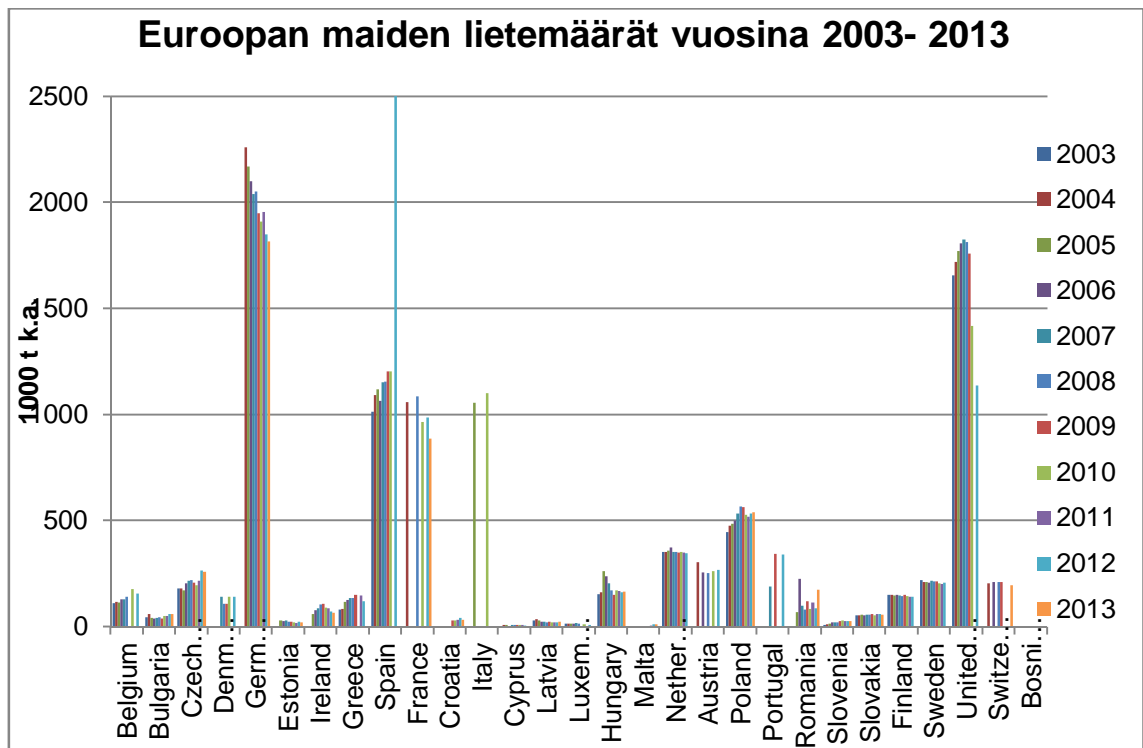
Lietettä muodostuu suomalaisessa jätevedenpuhdistuksessa vuosittain noin 150 000 kuiva-ainetonnia. Lietteiden tosiasiallinen määrä eli märkäpaino oli runsaat miljoona tonnia. [Tilasto lietteiden hyödyntämisestä vuosina 2008–2011 2017.] Suomessa syntyvän yhdyskuntalietteiden raskasmetallipitoisuudet ovat olleet alhaisia, mikä on edesauttanut lietteiden hyödynnettävyyttä maanparannuksessa. Yhdyskuntajätevesilietteestä on hyödynnetty vuosina 2005–2010 maanviljelyksessä ja viherrakentamisessa lähes kaikki. Vuosina 2008–2010 yhdyskuntajätevesilietteiden maatalouskäytön osuus on ollut noin 5 prosenttia (Taulukko 4). Jätevesilietteiden energiahyödyntämisen osuus on ollut koko 2000-luvun ajan hyvin vähäistä. Yhdyskuntien jätevedenpuhdistamoilla syntyvästä lietteestä on sijoitettu kaatopaikoille jatkuvasti vähemmän, noin 1–3 prosenttia. Jättesuunnitelman tavoite lopettaa yhdyskuntien jätevesilietteiden sijoittaminen kaatopaikoille kokonaan vuoteen 2016 mennessä toteutui, kun biohajoavan jätteen kaatopaikkakielto (VNa 331/2013) astui voimaan vuoden 2016 alusta. [Pirkkamaa 2014.]

Taulukosta 4 ilmenee jätevedenpuhdistamoilla syntyvän lietteiden määrät vuosina 1998–2012 ja lietteiden hyödyntämismenetelmät sekä näiden vaihtoehtojen osuudet mitattuna lietteiden kuiva-ainetonneina. Hyödyntämismenetelminä taulukossa on esitetty maanviljely, loppusijoitus kaatopaikalle sekä muu hyödyntäminen.

Taulukko 4. Yhdyskuntien jätevedenpuhdistamoilla syntyvän lietteen käsittely vuosina 1998–2012, yksikkönä t/ ka [mukaillen Pirkkamaa 2014].

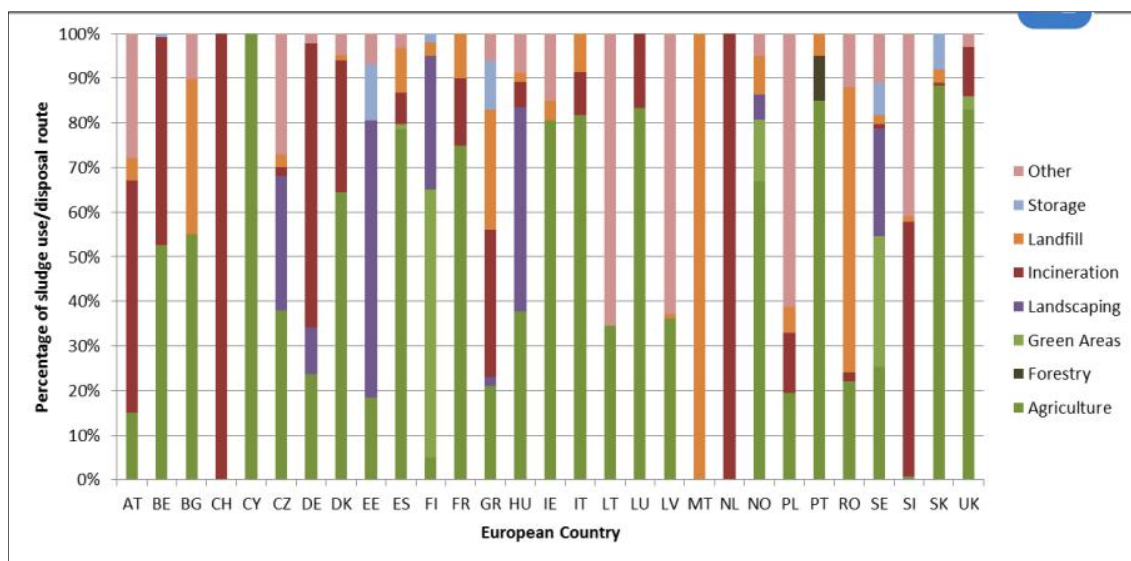
Vuosi	Maanviljely	Muu hyödyn- täminen	Kaatopaikat	Yhteensä
2000	19 000	131 000	10 000	160 000
2001	25 000	125 500	9 400	159 900
2002	22 000	131 100	8 400	161 500
2003	26 000	113 800	9 700	149 500
2004	11 600	133 100	5 200	149 900
2005	4 200	140 400	3 100	147 700
2006	4 600	142 500	1 400	148 500
2007	4 600	141 100	1 300	147 000
2008	7 800	133 100	3 300	144 200
2009	8 400	136 700	3 900	149 000
2010	7 500	132 400	2 800	142 700
2011	3 800	135 400	1 700	140 900
2012	7 100	124 500	9 600	141 200

Euroopan mittakaavassa lietemääriä eri Euroopan valtioissa voidaan vertailla Eurostatin tilastoon kootuilla tiedoilla. Kuvassa 6 on esitetty Euroopan maiden tilastoidut jätevesilietemäärät mitattuna lietteen kuiva-ainetonneina vuosina 2003–2013.



Kuva 6. Euroopan valtioiden lietemäärät vuosina 2003–2013 [Sewage sludge production and disposal from urban wastewater 2017].

Kuvassa 7 on esitetty Euroopan maiden lietteiden eri hyödyntämismenetelmien suhteelliset osuudet maittain.



Kuva 7. Euroopan valtioiden lietteiden eri käsittelyvaihtoehtojen suhteelliset osuudet maittain [Kabbe 2017].

2.4.2 Biojätteet

Yhdyskuntien biojätteisiin luetaan eloperäiset ja maatuivat ruoka- ja muut keittiöjätteet kotitalouksista, ravintoloista, ruokapalveluista ja vähittäiskaupasta sekä biohajoava puutarha- ja puustojäte [Suomesta ravinteiden kierrätyksen mallimaa 2011].

Vuonna 2015 erilliskerättyä biojätettä syntyi 364 602 tonnia, josta kierrätettiin materiaalina 341 247 tonnia, hyödynnettiin energiana 20 639 tonnia ja kaatopaikoille loppusijoitettiin noin 2 700 tonnia. Nykyisin biojätteiden sijoittaminen kaatopaikoille on käynyt harvinaiseksi. Vuonna 2015 enää vajaa prosentti erilliskerätystä biojätteestä päätyi kaatopaikalle. Tämän lisäksi biojätettä käsitellään kotitalouksissa kiinteistöjen omissa kompostoreissa. [Jätetilasto: 2015 2015.]

Suomessa vuosittain syntyvän biojätteen arvioidaan sisältävän noin 700 tonnia kokonaisfosforia. Käsitelty biojäte, joka täyttää lainsäädännön vaatimukset, voidaan hyödyntää esimerkiksi lannoitevalmisteena. Luomutuotantoon soveltuu myös kompostoitu tai mädätetty ruokajäte. [Suomesta ravinteiden kierrätyksen mallimaa 2011.]

Uudessa valtakunnallisessa jätesuunnitelmassa, joka on kesän 2017 ajan lausuntokierroksella, on arvioitu yhdyskuntajätteiden tarvitseman biologisen lisäkapasiteettitarpeen olevan uudet kierrätystavoitteet huomioiden noin 180 000–220 000 tonnia vuonna 2023. Tämä vastaa noin kolmen tai neljän uuden biokaasulaitoksen kapasiteettia, jotka ovat kooltaan samaa luokkaa kuin nykyiset Helsingin seudun kuntayhtymän biokaasulaitokset. Arvio biologisen käsittelykapasiteetin tarpeesta koskee vain yhdyskuntajätteen käsittelyä. [Kierrätyksestä kiertotalouteen, valtakunnallinen jätesuunnitelma vuoteen 2023. Luonnos lausuntokierrosta varten 2017.]

2.4.3 Tuhkat

Suomessa syntyi noin 500 000 tonnia puun ja turpeen polton tuhkia vuonna 2009 [Moi-lanen 2009]. Tästä määrästä vain vajaa 10 prosenttia käytettiin metsien lannoitukseen. Suurin osa metsien lannoitukseen sopivasta tuhkasta päätyy kaatopaikoille tai tuhka odottaa jatkokäyttöä voimalaitosten tonteilla läjitettynä. On arvioitu, että syyt puun ja turpeen tuhkan käytön vähäisyydelle metsälannoitteena liittyvät muun muassa tuhkan raskasmetallipitoisuuksiin ja ravinteiden vähyyteen, liiketoiminnan kehittymättömyyteen ja levitysyrittäjien puutteeseen sekä rinnakkaispolttoon, jolloin metsälannoitteeksi sopivia tuhkia on hankala erottaa muista tuhkalajeista. [Suomesta ravinteiden kierrätyksen mallimaa 2011.]

Tuhkan käyttöä metsälannoitus tarkoituksessa säätelee lannoitevalmistelainsäädäntö. Tällä hetkellä metsätuhkassa pitää fosforin ja kaliumin yhteispitoisuuden olla vähintään 1 prosentti, kalsiumin vähintään 8 prosenttia ja kloorin enintään 2 prosenttia kuiva-aineesta. Tuhkien ravinnepitoisuuksien nosto edellyttää joko raaka-aineen tarkempaa valintaa tai vaihtoehtoisesti ravinteiden lisäystä tuhkiin. [Suomesta ravinteiden kierrätyksen mallimaa 2011.]

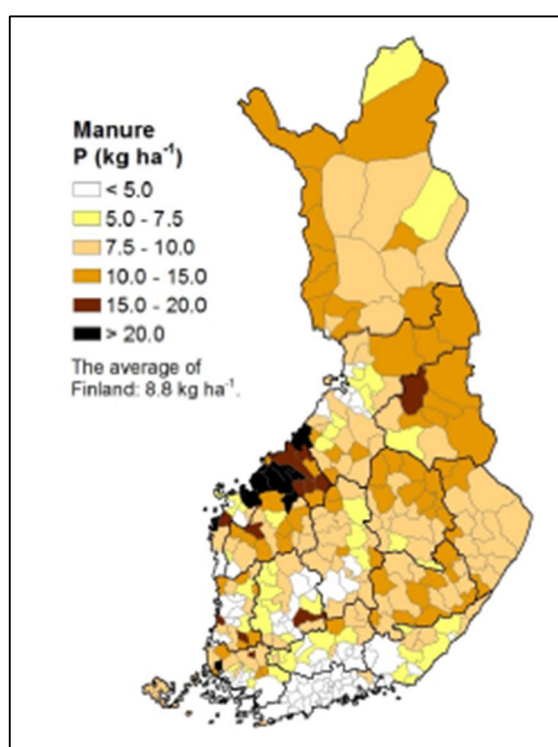
2.4.4 Lanta

Ravinteiden kokonaiskierrätyspotentiaalista on noin 80 prosenttia eläinten lannassa. Lannan kaksi päätyyppiä ovat kuivalanta ja lietelanta. Kuivalantajärjestelmässä eläin-suojaan on rakennusvaiheessa valittu lantajärjestelmä, jossa virtsa erotetaan lannasta jo navetassa. Navetasta poistuu siten tyypirikasta virtsaa ja fosforirikasta sontaa, joka

sisältää myös kuiviketta. Lietelannassa puolestaan ravinteet ovat samassa jakeessa, mikä vähentää mahdollisuuksia ravinteiden optimointiin. [Mikkola 2014.]

Kotieläintuotannon lannan fosfori riittäisi teoriassa kattamaan koko maan kasvien fosforitarpeen. Lantafosforista 42 prosenttia syntyy Pohjanmaalla ja 17 prosenttia Lounais-Suomessa. Kotieläintuotannossa syntyy vuodessa 20 miljoonaa tonnia lantaa, jossa on fosforia 17,5 miljoonaa kiloa. [Ylivainio ym. 2014.]

Kuvassa 8 on esitetty lannan sisältämä fosforin määrä (kg/ha) sijoitettuna Suomen kartalle.



Kuva 8. Lannan sisältämä fosforin määrä Suomessa [Ylivainio ym. 2014].

3 Ravinteiden talteenottoon ja kierrätykseen liittyvät tekniikat

Luvussa 3 keskitytään uusimpiin ravinteiden talteenotto- ja kierrätystekniikoihin, jotka ovat osin pilot- ja laboratoriomittakaavan kehitysvaiheessa. Tässä työssä tekniikat painottuvat erityisesti fosforin talteenotto- ja kierrätystekniikoihin, vaikka usein myös typen talteenotto on mahdollista samoissa prosesseissa.

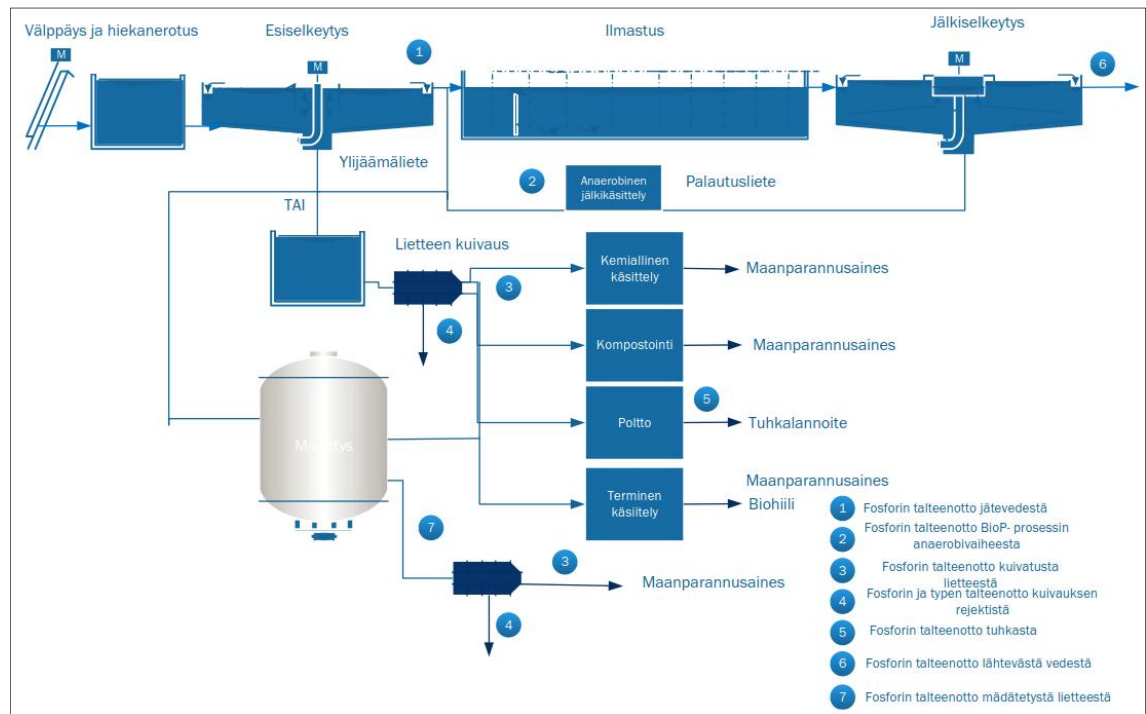
3.1 Jätevedenpuhdistamoista ravinnejalostamoiksi

Kiinnostus ravinteiden kierrätykseen ja talteenottoon jätevesilietteistä on noussut viimeisien 5–10 vuoden aikana selvästi. Kiinnostus fosforin ja typen kierrätystä edistävään kehitykseen johtuu muun muassa seuraavista asioista:

- Kunnallinen jätevesiliete sisältää runsaasti fosforia ja typpeä. Kannustusta näiden ravinteiden kierrätykseen ruokkivat EU:n jätelainsäädännön toimet sekä paikalliset päätökset.
- Maailman mineraalivarat fosforin suhteen ovat ehtymässä, ja EU-komissio on nostanut fosforin kriittisten raaka-aineiden listalle
- Kestävän kehityksen tavoitteet edesauttavat ravinteiden kierrätystä sekä minimoivat siten ravinteiden joutumista jokiin, järviin ja meriin.

Puhdistamolietepohjaisissa ravinnetuotteissa typpi ja fosfori ovat sekä sitoutuneena orgaaniseen ainekseen että liukoisessa muodossa. Fosforin liukoisuus ja käyttökelpoisuus riippuu saostusmenetelmästä, missä fosfori sidotaan lietteeseen. Saostuskemikaalien, kuten rauta- ja alumiinisuolojen, käyttömäärät puhdistusprosessissa vaikuttavat myös fosforin liukoisuuteen. Fosforin määrä ei puhdistusprosessissa juurikaan muutu. Vesiliukoisien fosforin osuus puhdistamolietteistä valmistettujen lannoitevalmisteiden kokonaisfosforista on yleensä alle prosentin, uuttoliuksella voidaan saada osuudeksi 5–10 prosenttia. [Mikkola 2014.]

Kuvassa 9 on tunnistettu jäteveden- ja lietteenkäsittelyprosessista sellaisia prosessivaiheita, joissa fosforin ja typen talteenotto ja kierrätys ovat mahdollisia operaatioita.



Kuva 9. Fosforin talteenottoaikat jätevedenpuhdistusprosessissa [mukailen Mikola 2017; Repo 2016].

Seuraavissa alaluvuissa esitetään lyhyesti tunnetuimpia fosforin talteenottotekniikoita sen mukaan, mistä jätevesi- tai liete-prosessin vaiheesta fosfori otetaan talteen. Syötteinä käsitellään jätevesi, märkä/kuivattu jätevesiliete tai biokaasulaitoksen mädäte, lietteiden kuivauksesta syntyvät rejektivedet sekä jätevesilietteen poltosta syntyvät tuhkat. Kuvassa 9 nämä syötteet vastaavat kohtia 1, 3, 4, 5 ja 7.

3.2 Käsitellyn lietteen suora lannoitekäyttö

Perinteisimmin lietettä on hyödynnetty lietteen jälkikäsittelyvaiheiden, kuten stabilointi- sekä hygienisointivaiheiden, jälkeen kaatopaikkojen maisemointiin, peltolevitykseen sekä viherrakentamiseen. Lannoitevalmistelaisissa käsitellyt jätevedenpuhdistamoiden lietteet kuuluvat sellaisenaan lannoitevalmisteenä käytettävien sivutuotteiden tai orgaanisten maanparannusaineiden ryhmään, jolloin niille on saatu lannoitevalmistelle ominainen tyyppinimi.

Peltolevityksen suhteen tulevaisuuden näkymät lietteen maataloushyödyntämisestä ovat epävakait. Vallalla on kaksi osin vastakkaista näkökulmaa: kiertotalousnäkökulma ja varovaisuusperiaate. Vaikka raskasmetallipitoisuudet lietteessä ovat laskeneet parin

vuosikymmenen aikana murto-osaan aiemmasta, huoli pysyvien orgaanisten haitta-aineiden eli POP-yhdisteiden (muun muassa erilaiset palonestoaineet, pintakäsittelyaineet, muovin pehmentimet, lääkeaineet sekä kosmetiikan sisältämät yhdisteet) aiheuttamista haitoista vaikuttaa asenneilmapiiriin.

Käytännön ongelmia erityisesti maatalouskäytössä ovat kemiallisesti saostetun fosforin huono käytettävyys, lietteen raskasmetallien ja muiden haitta-aineiden siirtyminen lannoitteen mukana sekä lietetuotteen huono imago ja kysyntä [Teknistaloudellinen tarkastelu jätevesien käsittelyn tehostamisesta Suomessa 2016].

3.3 Fosforin talteenotto lietteestä: tekniikat

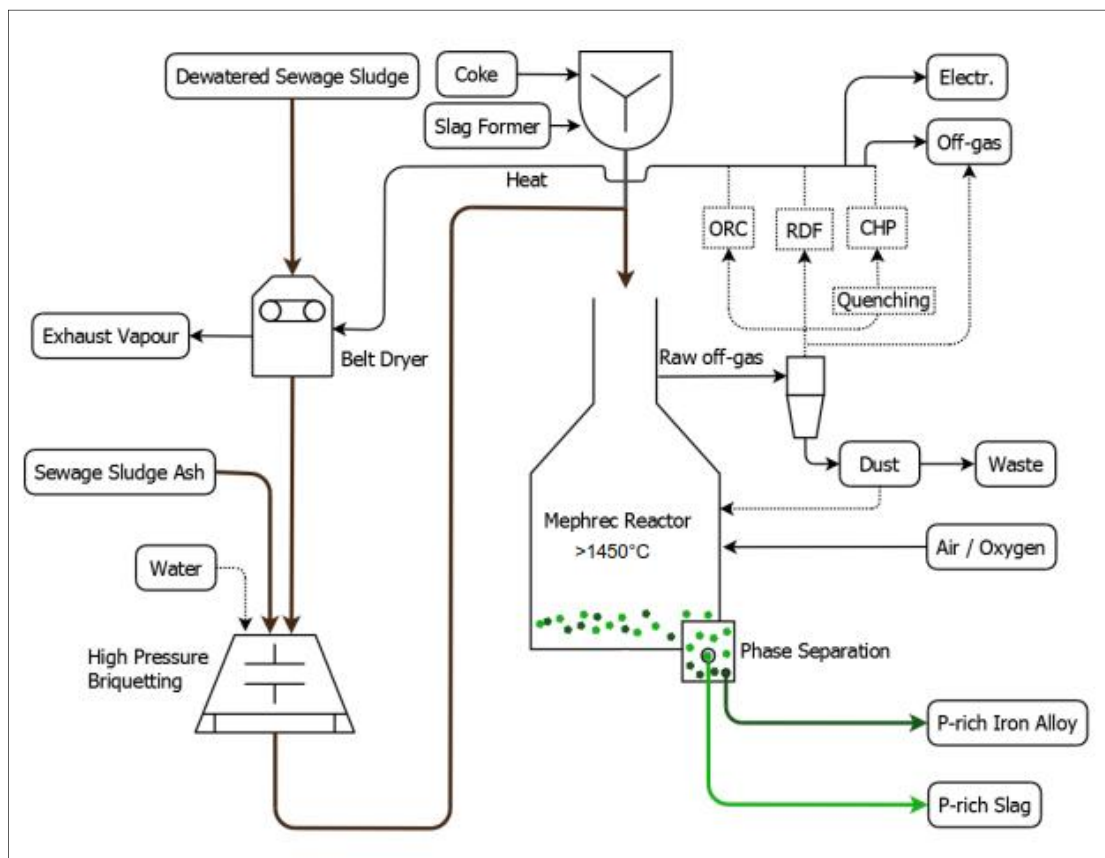
Fosforin talteenotto- ja kierrätysteknologioita on viime vuosina kehitetty kiihtyvään tahtiin. Kiinnostuksen kasvusta indikoi myös vuonna 2016 laadittu lietekysely, jonka mukaan ravinteiden kierrätys jätevesilietteestä koetaan todella tärkeäksi tulevaisuudessa. Tutkimuksessa oli mukana 22 Euroopan maata ja 41 prosenttia kyselyn vastaajista piti ravinteiden kierrätystä todella tärkeänä tulevaisuudessa ja he uskoivat ravinteiden kierrätyksen myös kasvavan seuraavan kymmenen vuoden aikana huomattavasti. [Answers to the sewage sludge questionnaire 2016.]

Yksi ravinteiden talteenoton käytetyimmistä ja yksinkertaisimmista menetelmistä on kiteyttämismenetelmä. Menetelmässä tekniikasta riippuen vesijakeeseen tai lietteeseen lisätään pienissä määrin magnesiumoksidia, jolloin suurin osa fosforista ja huomattava määrä sekä typestä että kaliumista kiteytyy struviittina. Typpi ja fosfori saostuvat siis moolisuhteessa 1:1. Syntyneet kiteet hyödynnetään usein sellaisenaan lannoitteena tai lannoitevalmistuksen raaka-aineena. Seuraavaksi esiteltävissä tekniikoissa useimmissa lopputuotteena on struviitti, joka ottaa vesijakeesta talteen sekä fosforin että typen tietyillä tekniikalle ominaisilla hyötysuhteilla.

3.3.1 MEPHREC®

Mephrec®-prosessin on kehittänyt saksalainen yhtiö Ingitec. Mephrec®-prosessissa kuivattu jätevesiliete, jossa kuiva-ainepitoisuus on vähintään 25 prosenttia, kuivataan hyvin kuivaksi, eli noin 80-prosenttiseksi. Tämän jälkeen seos puristetaan briketeiksi käyttäen apuna kuonaa muodostavia aineita ja koksia. Briketit käsitellään termisesti

kuilu-uunissa, jonka lämpötila on vähintään 1 450–2 000 °C, jolloin fosfori muuttuu mineraaliseksi jauheeksi. Osa raskasmetalleista, kuten elohopea, kadmium, lyijy ja sinkki, haihtuvat ja osa, kuten rauta, kupari, kromi ja nikkeli, muuttuvat nestemäiseen muotoon (ks. kuva 10). Mephrec®-prosessista saadaan tuotettua myös sähköä ja lämpöä. [Teknisloudellinen tarkastelu jätevesien käsittelyn tehostamisesta Suomessa 2016.]



Kuva 10. Mephrec®-prosessin virtauskaavio [P-Recovery Technologies and Products 2015].

3.3.2 AirPrex®

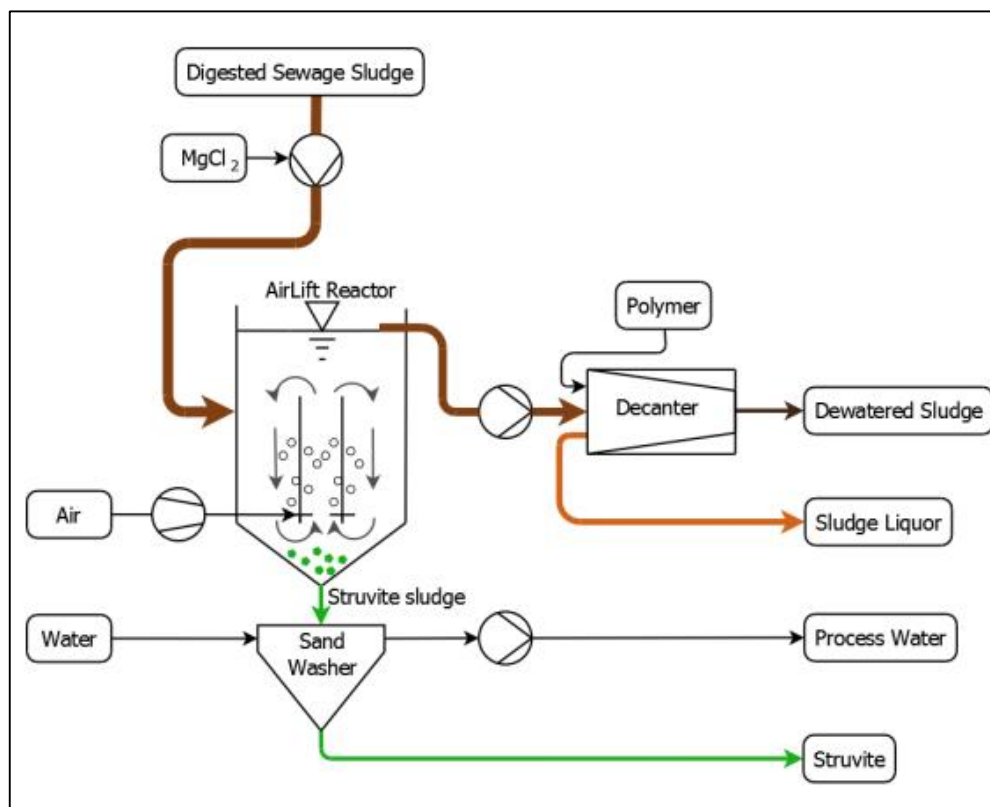
Airprex®-menetelmän on kehittänyt saksalainen Berliner Wasserbetriebe. Prosessissa fosforia poistetaan mädätetystä EBPR-jätevesiliitteestä. Mädätetyssä liitteessä on tällöin riittävästi fosfaatti- ja ammoniumioneja struviitin muodostukseen. Struviitin muodostukseen tarvittava magnesium ($MgCl_2$) lisätään prosessissa ensimmäiseen reaktoriin. Laitteisto muodostuu kahdesta jatkuvatoimisista ja peräkkäisistä sylinterinmuotoisista reaktoreista, joista molemmista poistetaan laskeutuneita struviittirakeita. [Teknisloudellinen tarkastelu jätevesien käsittelyn tehostamisesta Suomessa 2016.]

Ensimmäinen reaktori on kaksiosainen, jonka sisemmässä osassa liete virtaa ylöspäin ilmavirran mukana, ja reaktorin ulompi osa on rakeiden laskeutusta varten. Reaktorin ilmastuksen avulla pH saadaan nousemaan, kun hiilidioksidia poistuu lietteestä. Lisäksi lietteen kierto edesauttaa suurempien struviittirakeiden muodostumista, koska tällöin myös pienemmät rakeet kiertävät lietteen mukana reaktorissa eivätkä pääse laskeutumaan sen pohjalle. Jälkimmäisessä reaktorissa on pienempien struviittirakeiden laskeutuksen vuoro. Struviittia puhdistetaan hiekkapesulla. Struviitin orgaanisen aineksen pitoisuudessa on päästy jopa alle 0,5 painoprosenttia TOC. Fosforinpoiston on huomattu myös parantavan hieman lietteen kuivattavuutta. [Nieminen 2010.]

Airprex®-menetelmä on käytössä täyden mittakaavan jätevedenpuhdistamoilla esimerkiksi Alankomaiden Amsterdamissa ja Emmenissä sekä Saksan Mönchengladbachissa ja Wassmansdorfissa [Teknitaloudellinen tarkastelu jätevesien käsittelyn tehostamisesta Suomessa 2016].

Kustannukset

Waßmannsdorfin AirPrex®-prosessin investointikustannus oli n. 2,5 miljoonaa euroa [Nieminen 2010].



Kuva 11. AirPrex®- prosessin virtauskaavio [P-Recovery Technologies and Products 2015].

3.3.3 PHOSPAQ™

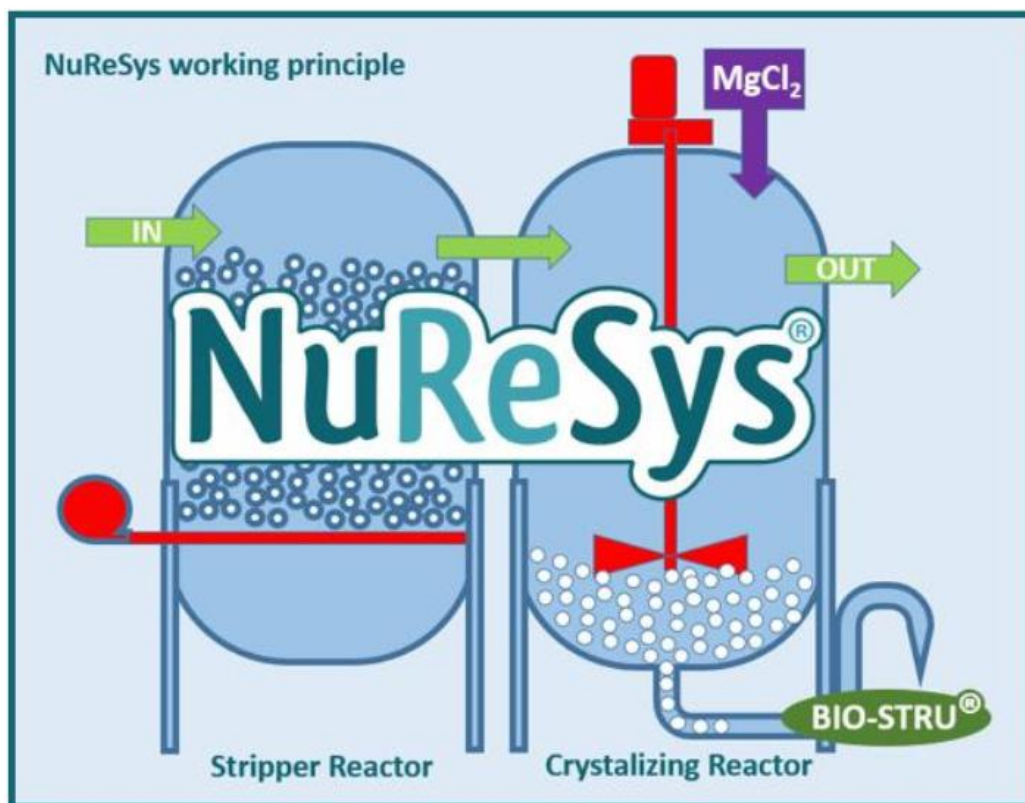
PHOSPAQ™-prosessissa on ilmastettu täyssekoitusreaktori, jossa poistuu fosforia, typpeä sekä hiilidioksidia kemiallisen hapentarpeen eli COD:n poiston yhteydessä. COD:in poistossa syntyvä hiilidioksidi stripataan ilmasyötöllä, jolloin pH:n noustessa fosfori saostetaan struviitiksi magnesiumoksidilisäyksen avulla. Struviitti kerätään reaktorin pohjalta talteen hydrokyklonilla. [PHOSPAQ™ 2017.]

PHOSPAQ-prosessi on käytössä Hollannissa ja Englannissa eri laitoksilla (ks. myös taulukko 6).

3.3.4 NuReSys®

Belgialainen yritys NuReSys on kehittänyt toimivan struviitin kiteytysprosessin mädätetyille lietteelle sekä mädätetyn lietteen kuivauksesta muodostuvalle rejektivedelle. [Nu-reSys Description of the technology 2017].

Kuten muutkin struviitin saostukseen perustuvat prosessit, myös NuReSys®-prosessin edellytyksenä on biologiseen fosforinpoistoon perustuva jätevedenpuhdistamoprosessi. Prosessin toimintaperiaate perustuu kahteen reaktoriin, joissa ensimmäisessä reaktorissa liete stripataan ilmalla, jolloin pH nousee ja CO₂-pitoisuus laskee. Toiseen reaktoriin lisätään magnesiumkloridia, jolloin magnesium reagoi fosforin ja typen kanssa muodostaen struviittirakeita. NuReSys-prosessi poistaa lietteen fosforia 80-prosenttisesti. [NureSys Description of the technology 2017.]



Kuva 12. Struviittikiteyttämisen toimintaperiaate NuReSys® -prosessissa [NureSys Description of the technology 2017].

Kustannukset

Kuvassa 13 on tehty yksinkertaistettu käyttökustannuslaskelma siitä, kuinka paljon maksaa perinteinen rautasulfaatilla toteutettu fosforinpoisto sekä NuReSys®-prosessiin perustuva fosforinpoisto. Laskelman mukaan NuReSys®-prosessiin perustuva fosforinpoisto on noin nelinkertaisesti edullisempaa kuin perinteinen rautasulfaatilla toteutettu fosforinpoisto ja jopa 17-kertaisesti edullisempaa kuin perinteinen fosforinpoisto, kun huomioidaan struviitin myymisestä saatava tuotto sekä vältetään typen poistamisesta aiheutuvat kustannukset. [NuReSys- recovers nature's essentials 2017.]

Effluent Volume	m ³ /day	1.200				
PO4-P IN	mg/l	120	PO4-P OUT	20	to be removed	100
kg P to be removed	kg/day					120
@ mol Fe / P		1 / 1		2 / 1		
Fe to be added	kg/day	631		1.262		
FeCl3 40%	kg/day			3.155		
FeCl3 40%	€/t	200	€/day	631		
Cost to remove 1 kg of P (FeCl3)				5,26		
@ mol Mg / P		1,1 / 1				
MgCl2 32%	€/kg P			0,831		
ratio NaOH / m ³	l/m ³	0,100				
NaOH 29%	€/kg P			0,153		
E-Power installed	KwH	24				
E-Power consumption	€/kg P			0,115		
Maintenance	€/kg P			0,210		
Cost to remove 1 kg of P (NuReSys)				1,309		
(50€/Ton)	Value of struvite			-0,400		
	Avoided cost N removal			-0,600		
	Final Opex			0,309		

Kuva 13. Fosforinpoiston käyttökustannukset per yksi kilogramma poistettua fosforia perinteisellä ja NuReSys®-prosessilla [NuReSys- recovers nature's essentials 2017].

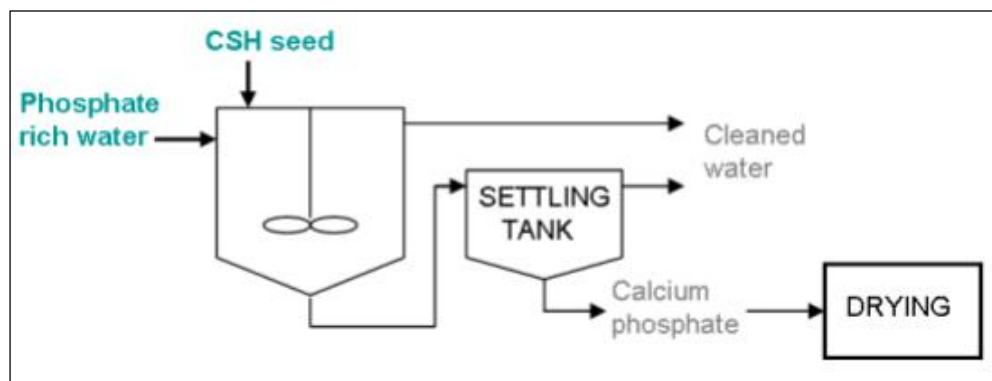
3.3.5 P-RoC

P-RoC-prosessi (Phosphorus Recovery from wastewater by Crystallization of calcium) on kehitetty Saksassa Tekniikan kemian instituutin vesi- ja geotekniikan jaoston ja kolmen eri yliopiston yhteistyönä. Prosessi toteutuu biologisen fosforinpoiston yhteydessä ja siinä käytetään hyödyksi kalsium-silikaattihydraattipellettejä (CSH). Pelletit syötetään reaktoriin anaerobisessa vaiheessa, jolloin soluihin varastoitunut fosfori vapautuu ja sitoutuu suoraan CSH-pelletteihin. Pellettien sisältämä kalsium takaa sen, ettei prosessiin tarvita muuta kemikaalilisäystä. Reaktorissa sekoitetaan fosforipitoista vettä ja CSH-pellettejä parin tunnin ajan, jonka jälkeen lopputuote erotetaan ja kuivataan. Kuivaaminen voi tapahtua esimerkiksi laskeuttamalla. [Teknistaloudellinen tarkastelu jätevesien käsittelyn tehostamisesta Suomessa 2016.]

Syntyneessä lopputuotteessa on vähemmän rautaa, kadmiumia ja uraania kuin luonnon fosfaattikivessä [Berg ym. 2006]. Laboratoriotutkimukset ovat osoittaneet, että lopputuote muuntuu täysin kalsiumfosfaatiksi. Fosforin talteenottoaste on noin 30–45 prosenttia kokonaisfosforikuormasta. [Teknistaloudellinen tarkastelu jätevesien käsittelyn tehostamisesta Suomessa 2016.]

Kustannukset

P-RoC/CSH-prosessin kustannuksiksi on arvioitu kooltaan AVL 45 000 jätevedenpuhdistamolla 2,14-2,90 €/AVL/a [Teknistaloudellinen tarkastelu jätevesien käsittelyn tehostamisesta Suomessa 2016].



Kuva 14. Esimerkki P-RoC/CSH-prosessin prosessikaaviosta [Teknistaloudellinen tarkastelu jätevesien käsittelyn tehostamisesta Suomessa 2016].

3.3.6 Crystalactor®

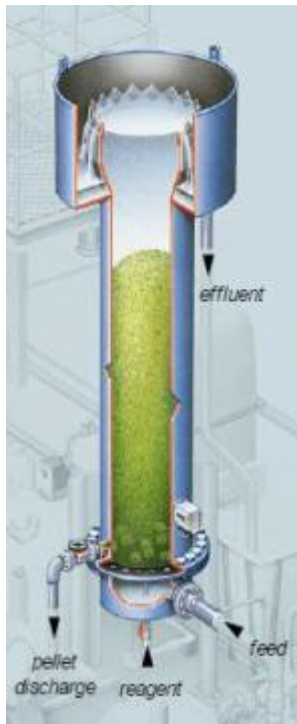
Hollantilainen Crystalactor®-prosessi kehitettiin aluksi veden pehmennykseen. Sen havaittiin kuitenkin soveltuvan muun muassa karbonaattien, halidien, fosfaattien, sulfaattien ja sulfidien kiteyttämiseen. Prosessia on hyödynnetty alumiinin, nikkelin ja sinkin erottamiseen pitkään kemianteollisuuden sivuvirroista, samoin elintarviketeollisuudessa fosfaatin ja ammoniakkin erottamiseen. 1980-luvulla prosessia alettiin soveltaa jätevedenpuhdistuksessa. [Brochure Crystalactor Water Treatment Technology 2017.]

Reaktori on sylinterimäinen leijupetireaktori. Prosessissa vesisyöttö ja prosessikemikaalit pumpataan reaktoriin alaosasta (ks. kuva 15). Syötön avulla toteutetaan myös reaktorin ylöspäin suuntautuva leijupetivirtaus. Painon kasvaessa kiteet laskeutuvat reaktorin alaosaan, josta ne poistetaan. Reaktoriin syötetään uutta siemenkidemateriaalia poistettujen kiteiden tilalle. Reaktorin yläosaan muodostuu selkeä rajapinta puhdistuneen veden ja kiteytysvyöhykkeen välille. Puhdistunut vesi valuu yläosan reunojen yli, josta se voidaan kierrättää takaisin tai pumpata eteenpäin. [Brochure Crystalactor Water Treatment Technology 2017.]

Prosessin päätuote on yleensä kalsiumfosfaatti, mutta vaihtamalla saostuskemikaalia voidaan tuottaa myös sinkkifosfaattia tai struviittia. Siemenkidemateriaalina prosessissa käytetään hiekkaa tai mineraaleja. Reaktorin tilavaatimukset ovat pienet, minkä vuoksi se sopii moniin laitoksiin. Leijupetirakenteen ansiosta reaktiopinta-ala on kuitenkin suuri ja kiteytys siten tehokasta. [Brochure Crystalactor Water Treatment Technology 2017.]

Kustannukset

Ainoa täyden mittakaavan käytössä oleva laitos sijaitsee Geestmerambachtissa, Hollannissa. Tämän laitoksen investointikustannus oli 4,2 miljoonaa euroa. Poistettua fosforikilogrammaa kohden kustannus on noin 7,3 euroa. [Nieminen 2010.]



Kuva 15. Crystalactor®-leijupetireaktori [Brochure Crystalactor Water Treatment Technology 2017].

3.3.7 Muita fosforin talteenottotekniikoita lietteestä tai biokaasureaktorin käsittelyjäännöksestä

Oheisessa taulukossa 5 on esitetty muita kirjallisuudessa esiintyneitä fosforin talteenottotekniikoita, käytössä olevia laitoksia ja niiden lopputuotteita, kun lähteenä ovat lietteet ja biokaasureaktorin käsittelyjäännökset.

Taulukko 5. Muita fosforin talteenottotekniikoita. Ravinnelähteenä lietteet ja biokaasureaktorin käsittelyjäännökset [Kabbe 2017; Nieminen 2010].

Tekniikka	Laitoksia	Talteen otettu materiaali/ tuote
Stuttgart	1 demolaitos, 2 pilottilaitosta Saksassa	Struviitti (happouuton jälkeen)
Gifhorn (seaborne)	1 demolaitos Saksassa (investointikust. 7 557 M€)	Struviitti/ CaP
ANPHOS®	Italiassa ja Hollannissa kuusi referenssikohdetta	Struviitti
EloPhos®	1 laitos Saksassa.	Struviitti
EXTRAPHOS (Budenheim)	1 pilottilaitos Saksassa	DCP
Hitachi-Zosen	2 laitosta Japanissa	Struviitti ja HAP
J-Oil	1 laitos Japanissa	HAP
JSA	1 laitos Japanissa	HAP
Multiform™	4 laitosta Yhdysvalloissa	Struviitti
NASKEO	1 laitos Ranskassa	Struviitti
PHORWater	1 demolaitos Espanjassa	Struviitti
PhosphoGreen	3 laitosta Tanskassa	Struviitti
Swing	1 laitos Japanissa	Struviitti
Aqua Reci®	1 pilottilaitos Ruotsissa	Kalsiumfosfaatti

3.4 Fosforin talteenotto rejektivedestä: tekniikat

Rejektivesien ravinteiden talteenottotekniikat perustuvat myös usein struviittikiteytykseen. Tekniikat voidaan karkeasti jakaa kahteen eri reaktoryyppiin; täyssekoitusreak-

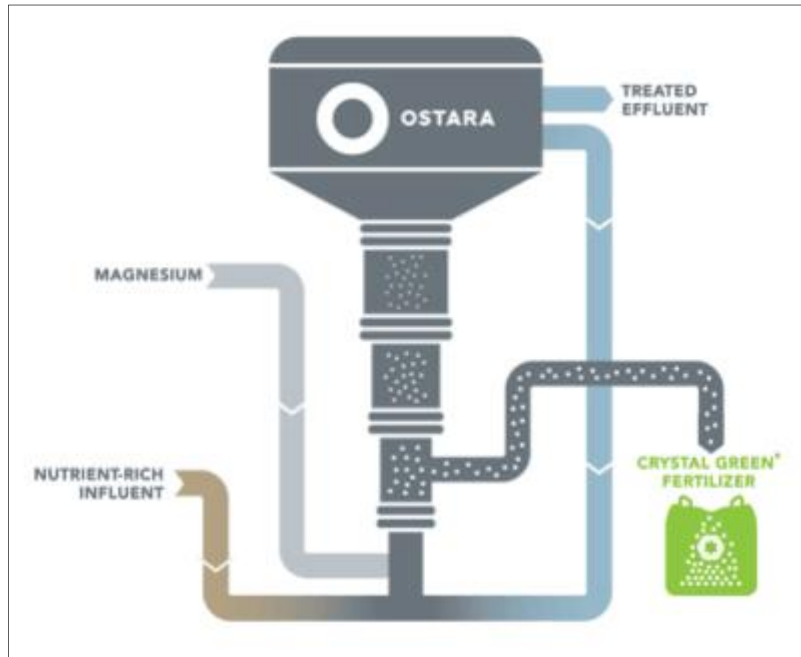
toreihin ja leijupetireaktoreihin. Täyssekoitusreaktoreihin perustuvia tekniikoita ovat esimerkiksi PHOSPAQ™, ANPHOS ja NuReSys®. Leijupetiteknikkaan perustuvia tekniikoita ovat esimerkiksi PHOSNIX ja Ostara Pearl®. PHOSNIX toimii Japanissa ja myy lopputuotetta lannoiteteollisuudelle sekoitettavaksi muihin lannoitetuotteisiin. Ostara Pearl® toimii Pohjois-Amerikassa ja on siellä patentoitu. [Teknitaloudellinen tarkastelu jätevesien käsittelyn tehostamisesta Suomessa 2016.]

3.4.1 OSTARA Pearl®

Pearl®-prosessi sopii parhaiten laitokseen, jossa on biologinen ravinteiden poisto ja aerobinen tai anaerobinen mädätysvaihe. Prosessissa struviitti kiteytetään leijupetireaktorissa kemiallisesti saostamalla käyttäen magnesiumkloridia ja pH säädetään natriumhydroksidilla (ks. kuva 16). Kiteet kasvatetaan prosessiparametrejä säätämällä läpimittaan 1,0–3,5 mm.

Lietteen kuivauksessa erotetusta rejektivedestä voidaan taloudellisesti erottaa 85 prosenttia fosforista ja 10–40 prosenttia ammoniumtypestä. Suuremmat määrät ovat mahdollisia vain taloudellisuuden kustannuksella. Pearl®-prosessin lopputuotteena syntyy Crystal Green® -struviittilannoitetta, joka sisältää 5 prosenttia typpeä, 28 prosenttia fosforia ja 10 prosenttia magnesiumia. [Nutrient Management Solutions 2017.]

OSTARA Pearl® -prosessi on toiminnassa tällä hetkellä 14 laitoksessa pääosin Yhdysvalloissa, mutta myös Englannissa sekä Espanjassa [Kabbe 2017].



Kuva 16. OSTARA Pearl® -prosessi [Nutrient Management Solutions 2017].

Kustannukset

OSTARA tarjoaa prosessin avaimet käteen -kokonaistoimituksena pääomakulujen ollessa noin 2–4 miljoonaa euroa [Nieminen 2010].

3.4.2 Muita fosforin talteenottotekniikoita rejektivedestä

Oheisessa taulukossa 6 on esitetty muita kirjallisuudessa esiintyneitä fosforin talteenottotekniikoita, käytössä olevia laitoksia ja niiden lopputuotteita, kun lähteenä on rejektivesi.

Taulukko 6. Muita fosforin talteenottotekniikoita, ravinnelähteenä rejektivesi. [Kabbe 2017; Nieminen 2010].

Tekniikka	Laitoksia	Talteen otettu materiaali/tuote
PHOSPAQ™	3 laitosta Hollannissa, 1 laitos Englannissa	Struviitti
STRUVIA™	1 laitos Tanskassa	Struviitti
PRISA (Phosphorus Recov-	Pilottimittakaava, Saksa	Struviitti

ery by ISA)		
REM-NUT®, ioninvaihtoprosessi	Pilottimittakaava, Italia	Struviitti

3.5 Fosforin talteenotto jätevedestä: prosessit

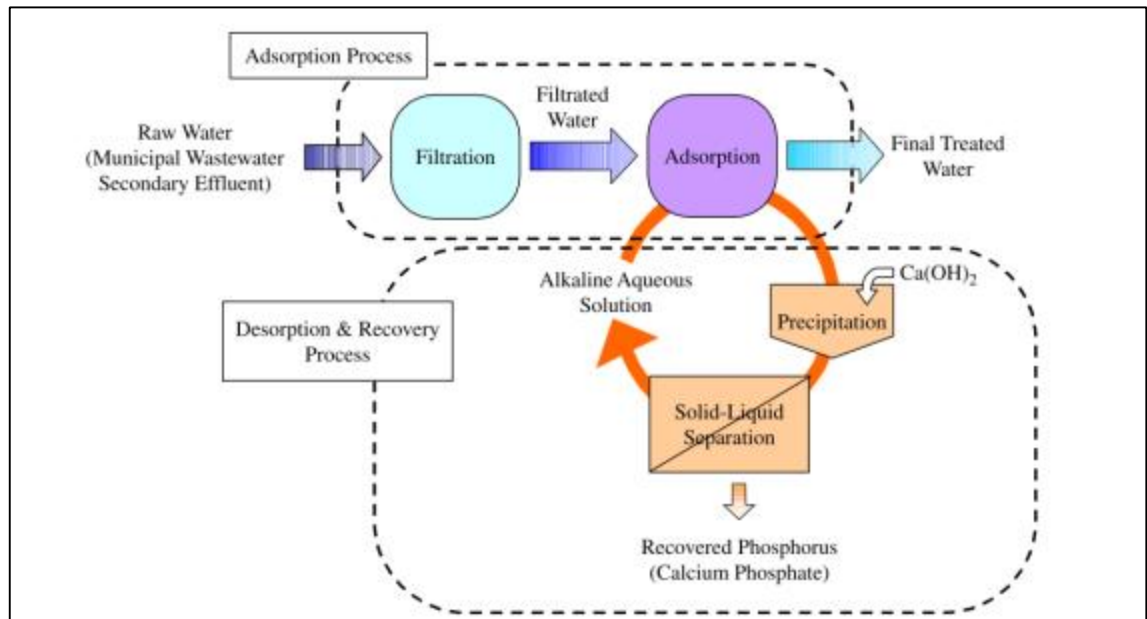
3.5.1 Jälkisaostus

Jälkisaostusta on kokeiltu muun muassa AINEIA:n jätevedenpuhdistamolla Kreikassa. Fosfaattien saostusta kokeiltiin natriumhydroksidilla, kalsiumhydroksilla, magnesiumoksidilla sekä kalsiummagnesiumkarbonaatilla. Tehokkaan saostuksen saavuttamiseen ($P < 1 \text{ mg/l}$) pH piti nostaa yli kymmenen. Rauta- ja alumiinisuoloilla fosfori saatiin saostettua lähes stoikiometrisesti pH:ssa 7–8. Rauta(III)saostuksella sakka sisälsi 29 prosenttia fosforia ja alumiinisaostuksella 16 prosenttia fosforia. [Teknistaloudellinen tarkastelu jätevesien käsittelyn tehostamisesta Suomessa 2016.]

Myös Suomessa on käynnissä Raki-rahoitteinen HSY:n vetämä RAVITA-hanke, jonka päätavoitteina on tutkia jälkisaostetun kemiallisen fosforilietteen käsittelyä niin, että lopputuotteeksi kehittyisi mahdollisesti joko lannoiteteollisuuden raaka-aine tai valmiiksi lopputuotteeksi soveltuva tuote.

3.5.2 Adsorptio

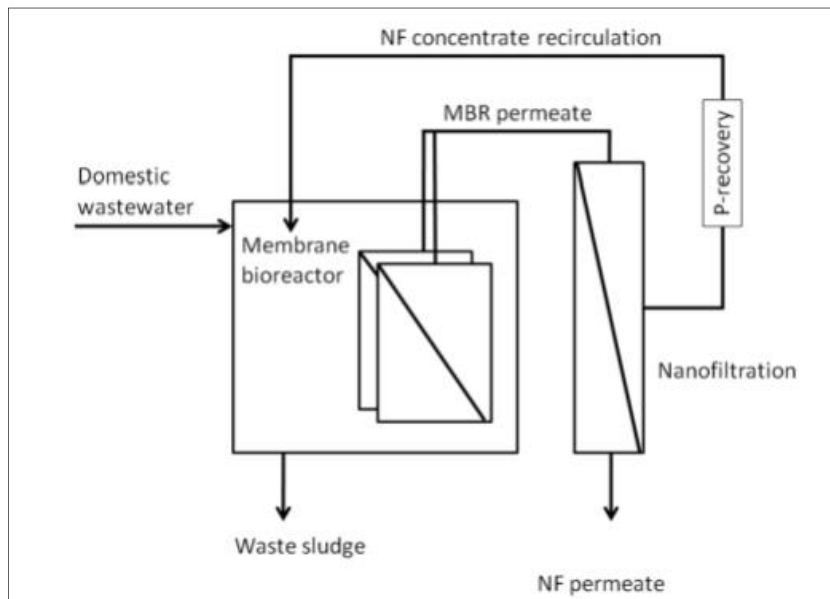
Kreikassa on kokeiltu jälkiselkeytetyn veden fosfaatin väkevöintiä adsorptiolla rautaoksidihydroksidimassaan. Massa on kustannuksiltaan hyvin edullinen. Massa regeneroidaan lipeällä. Tässä Kreikassa tehdyssä kokeilussa fosfaatti saatiin konsentroitua pitoisuuden noin 50 mg/l ja voitiin saostaa kalsiumkloridilla. Menetelmä on kokeiluasteella pilot-mittakaavan laitoksella. [Tolkou ym. 2015.]



Kuva 17. Adsorption toimintaperiaate fosforin talteenotossa [Tolkou ym. 2015].

3.5.3 MBR ja nanosuodatus

Hollannissa tutkittiin vuonna 2014 menetelmää, jossa MBR-prosessin permeaatti suodatettiin nanosuodatuksella (ks. kuva 18). Nanosuodatuksen konsentraatista otettiin talteen fosforia, tässä tapauksessa elektrokemiallisella menetelmällä, jolloin konsentraatti kierrätettiin uudelleen prosessin viipymän kasvattamiseksi ja fosforin edelleen väkevöimiseksi. Menetelmän avulla lähtevän veden fosforipitoisuudeksi saatiin näin noin 1 mg/l. Optimi-pH talteenotolle oli 8,5–9. [Kappel 2014.]



Kuva 18. Fosforin talteenotto nanosuodatuksen konsentraatista [Kappel 2014].

3.6 Fosforin talteenotto puhdistamolietteen polttotuhkasta: tekniikat

3.6.1 MEPHREC®

Mephrec-prosessia voidaan käyttää sekä kuivatun jätevesilietteen, jätevesilietetuhkan sekä kaksin käsittelyyn. Kuonan fosforipitoisuuden on arvioitu olevan välillä 10–25 prosenttia fosforipentoksia. Fosforin talteenottosuhte on jopa 80 prosenttia. Menetelmää testataan teknisessä mittakaavassa Saksassa. [Sustainable sewage sludge management fostering phosphorus recovery and energy efficiency 2015.] Katso myös luku 3.1.1.

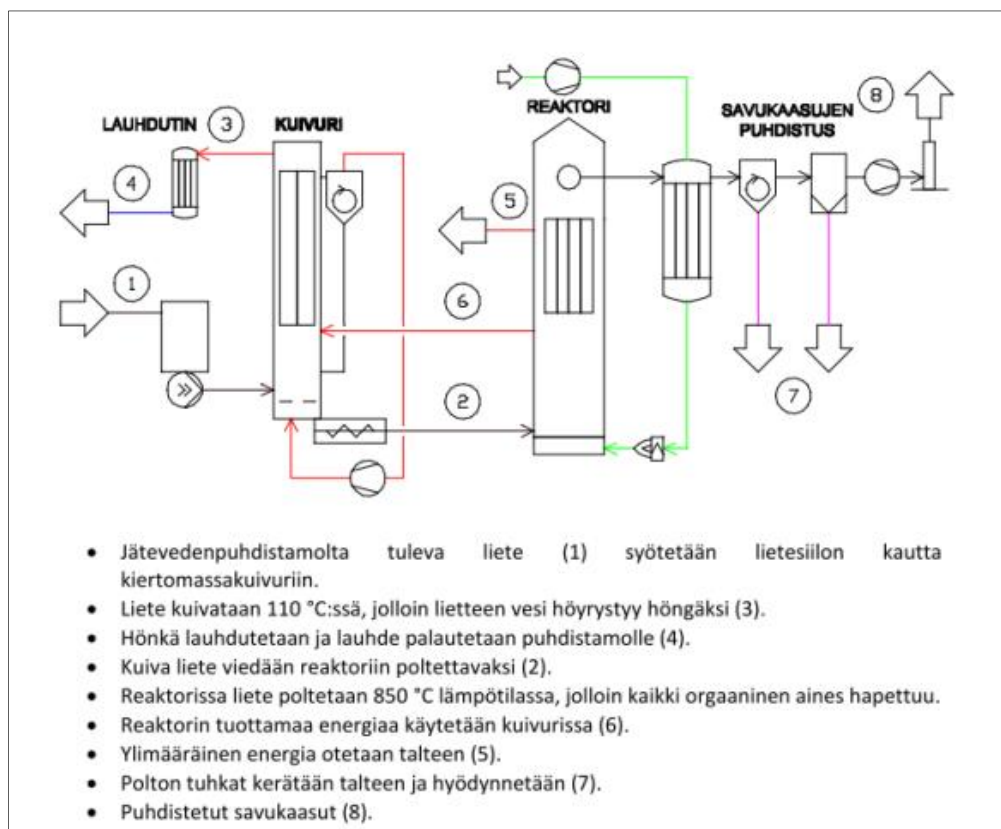
3.6.2 PAKU-lietteenpolttomenetelmä

PAKU-polttomenetelmä perustuu patentoituun lietteen kuivaus- ja polttotekniikkaan ja se on kehitetty Lappeenrannan Teknisessä korkeakoulussa. Sen markkinoinnista vastaa tällä hetkellä Endev-yritys. PAKU-prosessissa lietteen orgaaninen aines poltetaan kiertomassareaktorissa. Polton energia käytetään hyödyksi kiertomassakuivurissa, jossa liete kuivataan yli 95-prosenttiseen kuiva-ainepitoisuuteen ennen sen syöttöä polttoreaktoriin. PAKU-prosessi on tyypillisellä yhdyskuntalietteellä energiaomavarainen, kun syötettävän mekaanisesti kuivatun lietteen kuiva-ainepitoisuus on vähintään 20 prosenttia. Lietteen kuivauksessa muodostuneet hajukaasut ohjataan polttoon (ks.

kuva 19). [Teknistaloudellinen tarkastelu jätevesien käsittelyn tehostamisesta Suomessa 2016.]

Menetelmä soveltuu erityisesti pienille ja keskiuurille jätevedenpuhdistamoille kokoluokassa 5 000–100 000 ALV. Prosessissa fosfori jää tuhkaan. Tuhka sisältää hyvin vähän raskasmetalleja ja se voidaan käyttää lannoitteena. Eviran ja MMM:n antaman lausunnon mukaan prosessin tuhkalle voidaan hakea tyyppinimihyväksyntää. [Teknistaloudellinen tarkastelu jätevesien käsittelyn tehostamisesta Suomessa 2016.]

PAKU-prosessilla on yksi pilottilaitos Suomessa, Kotkassa, ja se on mitoitettu 5 000 ALV:n jätevedenpuhdistamon lietteen poltolle [Prototype plant 2017]. Toinen PAKU-lietteenpolttohanke tullaan toteuttamaan Napapiirin Energia ja Vesi Oy:n Rovaniemen jätevedenpuhdistamolla hallituksen kärkihankerahoituksen turvin [Kärkihankerahoituksella uusia menetelmiä ravinteiden talteenottoon yhdyskuntien jätevedenpuhdistamoilla. 2017].

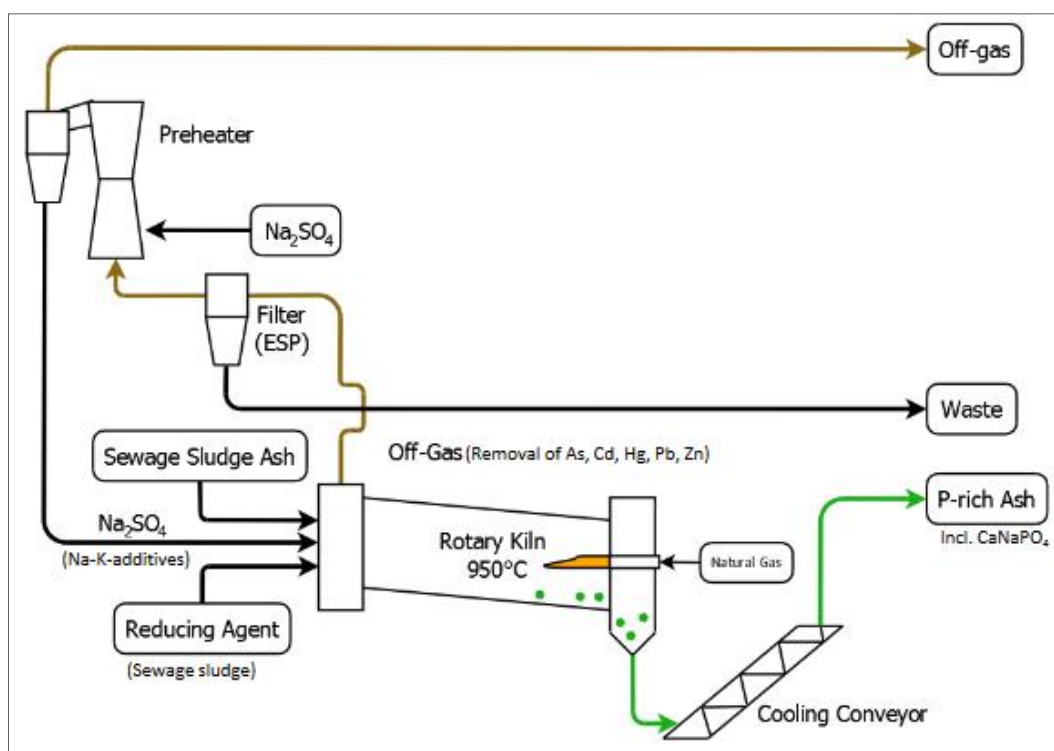


Kuva 19. PAKU-lietteenpolttomenetelmän prosessikaavio ja toimintakuvaus [Teknistaloudellinen tarkastelu jätevesien käsittelyn tehostamisesta Suomessa 2016].

3.6.3 ASH DEC®

ASH DEC® -prosessi on termokemiallinen menetelmä, jossa puhdistamolietetuhkaan sekoitetaan magnesium- ja kalsiumkloridia ja annetaan niiden reagoida keskenään 20–30 minuuttia korkeassa, noin 1000 °C:n, lämpötilassa. Reaktorissa tuhkan raskasmetallit haihtuvat ja ne erotellaan omaksi jätteeksi. Tarvittava kloridimäärä määräytyy tuhkan raskasmetallipitoisuuden perusteella. Reaktiossa fosfori muodostaa lopputuotteeksi kalsinoituja fosfaatteja muun muassa magnesiumin kanssa (ks. kuva 20). Nämä fosfaatit ovat kasville käyttökelpoisissa. ASH DEC® -prosessi soveltuu hyvin myös lietteille, joihin fosfori on saostettu kemiallisesti. [Teknistaloudellinen tarkastelu jätevesien käsittelyn tehostamisesta Suomessa 2016.]

ASH DEC® -prosessia on testattu pilottimittakaavan laitoksessa Leobenissa, Itävallassa. Lähitulevaisuuden suunnitelmissa on useiden uusien laitoksien rakentaminen, jossa erityisesti pyritään kierrätyslannoitustuotteiden valmistukseen. [P-Recovery Technologies and Products 2015.] Outotec toimittaa ASH DEC® -prosessia.

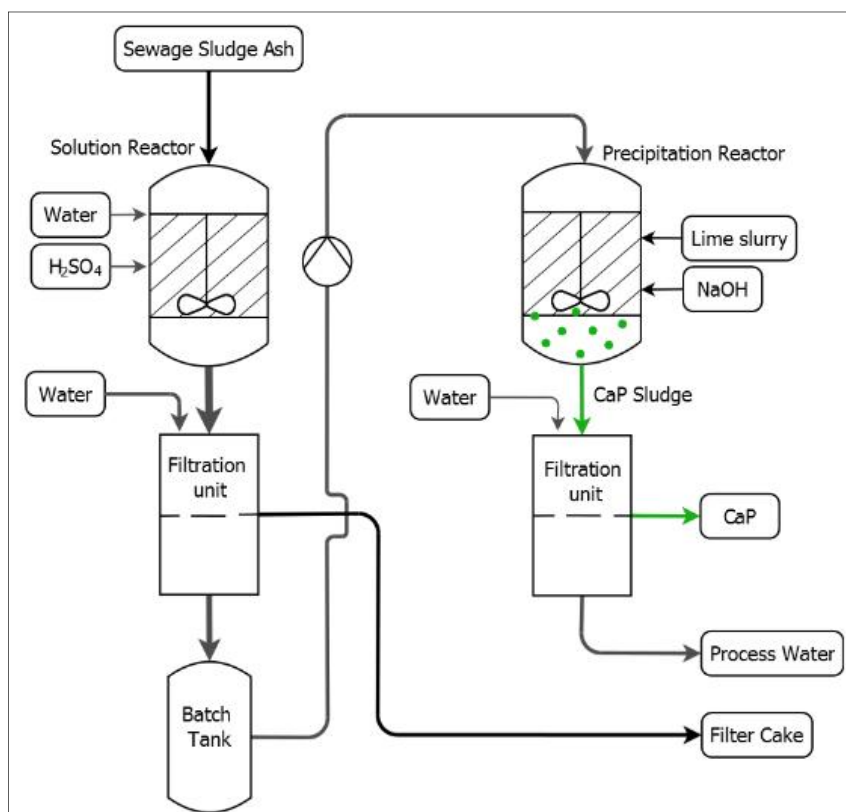


Kuva 20. ASHDEC-prosessin toimintaperiaate [P-Recovery Technologies and Products 2015].

3.6.4 LEACHPHOS

Fosforin erottamista jätevesilietteen tuhkasta leachphos-prosessin avulla testattiin vuonna 2012 Sveitsin Bernissä.

Leachphos-prosessin ensimmäisessä vaiheessa jätevesilietetuhkaa uutetaan laimean hapon kanssa, jonka jälkeen seuraa suodatusvaihe. Suodatettu fosforipitoinen nestejäte pumpataan seuraavaksi toiseen reaktoriin, jossa fosfori saostetaan esimerkiksi natriumhydroksidin avulla. Samalla reaktoriin lisätään kalkkia. Tämän jälkeen fosforipitoinen kalkkiseos suodatetaan uudelleen. Nestemäinen permeaattivirta tarvitsee erilliskäsittelyn. [P-Recovery Technologies and Products 2015.]



Kuva 21. Leachphos- prosessin toimintaperiaate pilottimittakaavassa [P-Recovery Technologies and Products 2015].

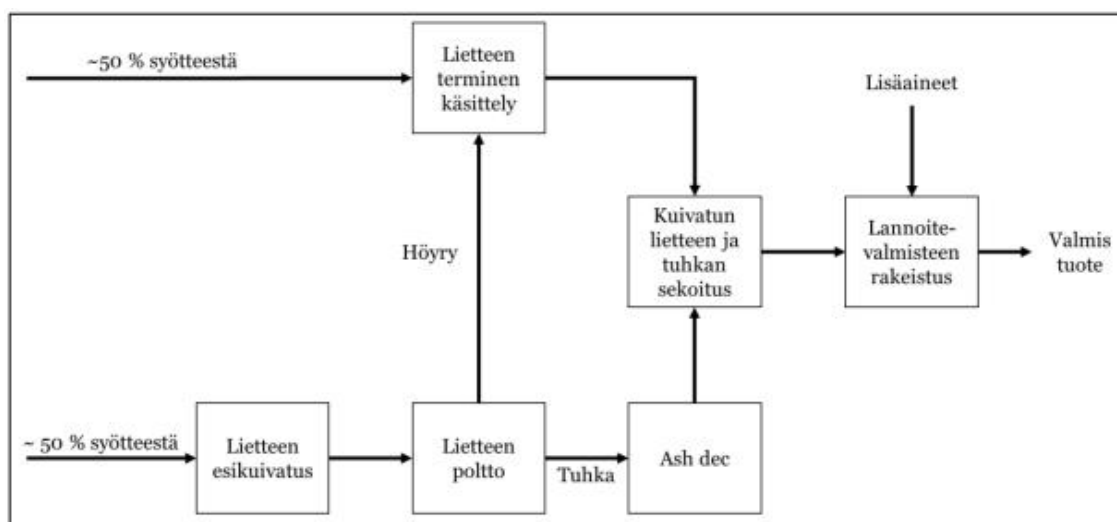
3.6.5 FULLREC

FULLREC-ratkaisu kuuluu termisiin yhdyskuntien jätevesipuhdistamoiden lietteiden ja biokaasulaitosten mädätysjäännösten käsittelymenetelmiin, jonka avulla voidaan saada

myös näiden materiaalien sisältämästä tyystä ja hillestä vähintään 50 prosenttia ja maksimissaan yli 90 prosenttia talteen.

FULLREC-menetelmässä on yhdistetty lietteen poltto ja terminen käsittely. Mädätettyä yhdyskuntalietettä ei polteta kokonaan vaan osa siitä kuivataan ja sekoitetaan lietteen polttotuhkaan. Lopuksi tämä seos rakeistetaan. FULLRECH-prosessin laitetoimittajina ovat Outotec ja Ecolan. (ks. kuva 22) [Anhava 2017.]

FULLREC-prosessilla on referenssikohde Itävallassa, Wienin eteläpuolella [Anhava 2017]. Toista toteutusta kaavaillaan Nokian kaupungin uudelle Eco3-alueelle, jossa on menossa ympäristövaikutusten arviointiohjelma [Koukkujärven bioratkaisun ympäristövaikutusten arviointi 2016].



Kuva 22. Periaatekuva FULLREC-menetelmästä eli lietteen integroidusta termisestä käsittelystä yhdistettynä rakeistukseen lietteen polttotuhkan kanssa [Tuhkan rakeistamislaitos ja jätevesilietteen terminen käsittely. Ympäristövaikutusten arviointiohjelma 2016].

3.6.6 PYREG-pyrolyysitekniikka

Greenlife-yrityksen kehittämä ECO-BIS-prosessi käyttää pyrolyysimenetelmää, joka muuttaa jätevesilietteen myyntikelpoisiksi kierrätysravinteiksi. ECO-BIS-prosessi voidaan lisätä tavalliselle jätevedenpuhdistamolle. Se sijoitetaan heti esikäsittelyvaiheen jälkeen, jolloin sameus ja kiintoaineet poistetaan ESO-BIS-”erottelutekniikalla”. Tekniikan etu on, että primaarilaskeutumisvaihe voidaan korvata ja näin ollen COD-tarve vähenee 70 prosenttia. Tämän ansiosta myös lietteen määrä vähenee merkittävästi.

Erottamisen jälkeen lietteestä erotetaan vesi alipaineistetulla suodatintekniikalla, mikä kuluttaa huomattavasti vähemmän energiaa kuin muut vastaavat tekniikat. Tämän prosessivaiheen jälkeen kuivattu liete hiillytetään pyrolyysitekniikalla (PYREG) hiili-fosfori-lannoitteeksi. [Laitinen ym. 2014a.]



Kuva 23. ECO-BIS-prosessin toimintaperiaate [Laitinen ym. 2014a].

3.6.7 Muita fosforin talteenottotekniikoita jätevesilietteen tuhkasta

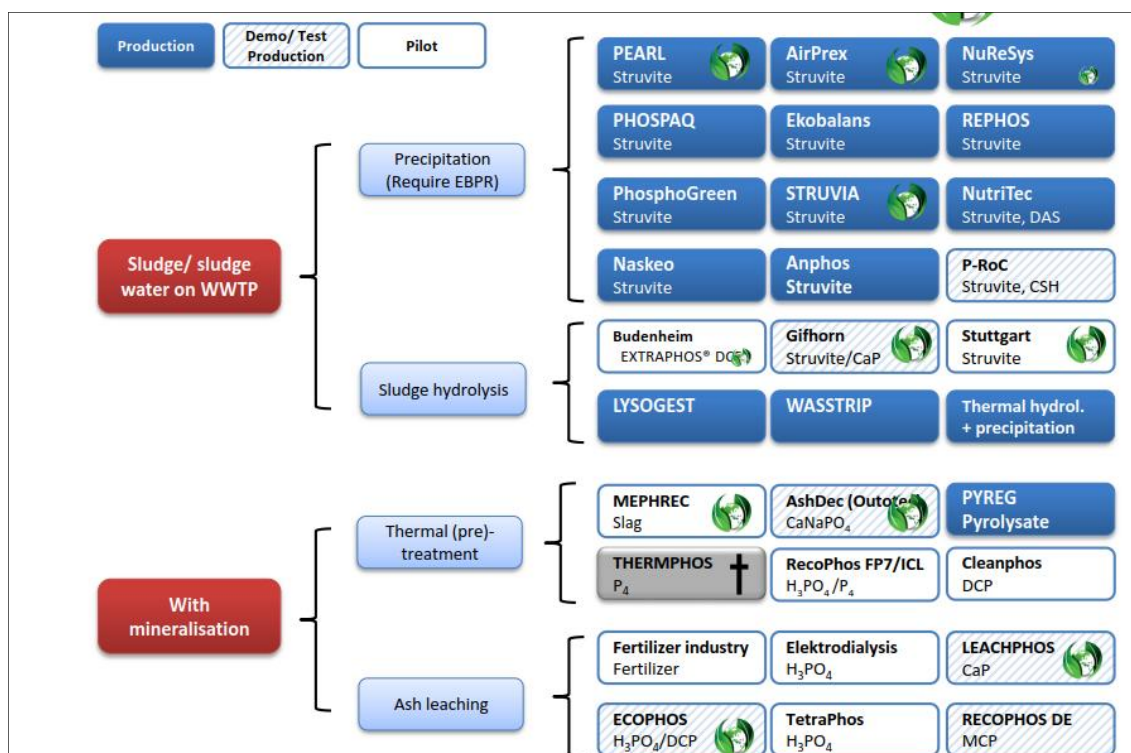
Oheisessa taulukossa 7 on esitetty muita kirjallisuudessa esiintyneitä fosforin talteenottotekniikoita, käytössä olevia laitoksia ja niiden lopputuotteita, kun lähteenä on jätevesilietteen tuhka.

Taulukko 7. Muita fosforin talteenottotekniikoita, ravinnelähteenä jätevesilietteen tuhkat [Kebbe 2017; Teknistoloudellinen tarkastelu jätevesien käsittelyn tehostamisesta Suomessa 2016].

Tekniikka	Laitoksia	Talteen otettu materiaali/ tuote
RecoPhos®	Pilottilaitos Itävallassa	Fosforihappo (H ₃ PO ₄ / P ₄)
EcoPhos	2 laitosta Belgiassa ja Ranskassa.	H ₃ PO ₄ , DCP/ MCP
BioCon-prosessi	1 laitos Ruotsissa	Fosforihappo (H ₃ PO ₄)
METAWATER		HAP
NIPPON PA	2 laitosta Japanissa	Fosforihappo (H ₃ PO ₄)
TetraPhos®	Pilottilaitos Saksassa	Fosforihappo (H ₃ PO ₄)
PASH	Labra-/ pilottimittakaava	Struviitti/ kalsiumfosfaatti

3.7 Yhteenveto Euroopassa käytössä olevista fosforin talteenottotekniikoista

Kuvassa 24 on kootusti esitetty Euroopassa käytössä olevia fosforin talteenottotekniikoita jaoteltuna lietteen ja rejektivesien käsittelytekniikoihin sekä jätevesilietteen poltosta syntyvän tuhkan erityyppisiin käsittelytekniikoihin. Lisäksi tekniikoiden tekninen kypsyyssaste on esitetty kuvassa eri värein.



Kuva 24. Fosforin talteenottotekniikat Euroopassa [Performance of nine technologies for phosphorus recovery from wastewater 2016].

4 Kehitystutkimusosuus

Työn kehitystutkimusosuudessa tarkoituksena oli saada kohdeyrityksen sisäinen eri teollisuuden aloihin kuuluva ravinnekierrätystieto näkyviin ja jakaa tieto yrityksen sisällä kaikille avainhenkilöille. Haastatteluihin valikoitui yhteensä 11 Pöyryn asiantuntijaa eri liiketoimintayksiköistä sekä Euroopan maista. Lisäksi yrityksen ulkopuolisen näkemyksen muodostamiseksi haastateltiin kahta Suomen ravinnekierrätyksen alan kärkeasiantuntijaa. Liitteissä 1, 2 ja 3 ovat esitettyinä tarkemmin haastatellut ihmiset, haastattelukysymykset sekä yksityiskohtaiset haastatteluvastaukset.

4.1 Haastatteluylhteenvedot

Tämän kappaleen tiedot ovat salaisia ja sen vuoksi niitä ei ole julkaistu.

4.2 Sisäinen tiedon jakaminen

Kehitystutkimusosuuden yhtenä tavoitteena oli tiedon jakaminen yrityksen sisällä. Sitä varten kohdeyrityksen intranettiin perustettiin oma Team Site -internetsivusto nimeltään "Nutrient recovery- Pöyry business cases platform", jonne kerättiin muun muassa tämän insinööriyön lähdemateriaalit, aiheeseen liittyvät markkinointimateriaalit sekä haastateltujen henkilöiden ansioluettelot. Sivuston käyttöoikeudet jaettiin kohdeyrityksen alan avainhenkilöille. Jatkossa sivustolle voi kerätä muita aihepiiriin liittyviä tutkimuksia tai raportteja sekä jakaa tiedostoja, mahdollistaen näin yksikkörajat ylittävät hankkeet.

4.3 Ravinnekierrätyksen sidosryhmäkartoitus

Kohdeyrityksen ravinnekierrätyksen liiketoimintaympäristöön oleellisesti liittyvät yleisen tason sidosryhmät on esitetty alla kuvassa 25.



Kuva 25. Ravinnekierätyksen sidosryhmät kohdeyrityksen näkökulmasta.

4.4 Tunnistetut liiketoimintamahdollisuudet

Kirjallisuustutkimuksen tarkoituksena oli selvittää nykyinen ravinnekiertoa koskeva lainsäädäntö, Euroopan eri maiden nykyiset lietteenkäsittelyä koskevat liiketoimintakäytännöt, Suomen tärkeimmät ravinnekiertoa koskevat hankkeet, eri ravinnelähteiden potentiaalit sekä olemassa olevat ravinnekierrätykseen, erityisesti fosforin kierrätykseen, liittyvät tekniikat. Tämän katsauksen avulla muodostettiin kokonaiskuva Suomen ja Euroopan maiden nykytilanteesta sekä tulevaisuuden näkymistä koskien ravinnekierron liiketoimintakenttää.

Haastatteluiden tarkoituksena oli selvittää sekä kohdeyrityksen sisäisten asiantuntijoiden kokemus ja tieto ravinnekierron nykytoimintakentästä että ulkopuolisten asiantuntijoiden kokemus ravinnekierron tilanteesta viranomaisen ja alan kehittäjän näkökulmasta. Lisäksi haastatteluilla hahmoteltiin näkemystä alan tulevaisuuden kehityksestä sekä ravinnekierron ja sen liiketoimintamahdollisuuksien näkymistä erityisesti kohdeyrityksen näkökulmasta.

Sidosryhmäkartoituksen tavoitteena sen sijaan oli tiivistää ravinnekierron tutkimus-, hallinto- ja liiketoimintakentässä olevat toimijat ja havainnollistaa näin alan monipuolisen toimijajoukon.

Teoreettisen ja empiirisen tutkimusosoiden lopputuloksena kohdeyritykselle muotoutui kuusi erilaista liiketoimintamahdollisuutta. Nämä liiketoimintamahdollisuudet ovat yrityssalaisuuden piirissä, eikä niitä sen vuoksi ole julkaistu.

5 Johtopäätökset

Ravinteiden kierrätykseen vaikuttavat monet eri lainsäädännölliset tekijät. Lopullinen kokonaisuus muodostuu erilaisten EU-säädösten ja kansallisten säädösten yhteisvaikutuksesta. Lisäksi eroja on yhdyskuntajätevesilietteiden maatalouskäyttöä koskevassa lainsäädännössä, jonka myötä osassa jäsenmaita jätevesilietteiden maatalouskäyttö on käytännössä kielletty, kun toisissa jäsenmaissa jätevesilietteiden maatalouskäyttö on vielä yleistä.

Lainsäädännön lisäksi löytyy monta muuta ravinteiden kierrätykseen liittyvää tekijää, jotka vaikuttavat ravinnekierrätysliiketoimintaan ja sen tuotteiden menestymiseen tulevaisuudessa. Yksi iso muutostekijä voi olla ajattelumallien kokonaisvaltainen muutos. Toimialojen suurilla toimijoilla ajattelumallin tai bisnesmallin muutos on se voima, jonka avulla ravinnekierrätykseen liittyvät tekniikat ja liiketoimintamallit voivat käytännössä kehittyä ja yleistyä.

Ajattelumallin muutoksen seurauksia voivat olla jätteen ja yleisimmin sivuvirtojen prosessoiminen jopa kannattomaksi kierrätysravinnetuotteeksi, mikäli tästä toiminnasta koituu muita hyötyjä, kuten ylijäämälietteen määrän pienentyminen tai huomattava imagoetu yritykselle. Tulevaisuudessa jätevedenpuhdistamot voidaan nähdä ja markkinoida ravinnetuotetehtaina niiden perustoiminnan, eli jätevedenpuhdistamisen, ohella.

Ravinteiden kierrätyksessä vesi- ja jätehuoltokentällä on jo käytössä erilaisia teknologioita, mutta uusia innovatiivisia ratkaisuja tarvitaan kierrätyksen tehostamiseen ja kustannusten alentamiseen. Keskeiset tutkimustarpeet liittyvät ravinteiden talteenoton ja prosessoinnin teknologisiin ratkaisuihin sekä turvallisten ja helppokäyttöisten kierrätyslannoitteiden kehittämiseen.

Tällä hetkellä ravinteiden kierrätys osana kiertotaloutta on Suomessa ja myös osassa Euroopan maita jyrkässä noususuhdanteessa. Suomessa ravinteiden kierrätyksen ve-toapuna ovat pääasiassa valtion rahoitustuet ja Euroopassa, riippuen sijainnista, ravin-teiden kierrätyksen kasvun taustalla ovat pääasiassa joko maantieteelliseen sijaintiin liittyvät rajoitteet tai kansallisen lainsäädännön pakotteet tai jossakin Keski-Euroopan maissa molemmat. Liiketoiminnallinen näkökulma on tulossa voimakkaammin mukaan ravinteiden kierrätystoimintaan. Tämän muutoksen vetureina ovat joko tiettyjen maan-tieteellisten sijaintien aiheuttama biokaasusyötteiden niukkuus, lainsäädännön muutok-set, ravinteiden kierrätykseen liittyvien teknologioiden yleistyminen sekä niiden kyp-syystason nousu tai kierrätysravinteiden kaupallistamisprosessin onnistuminen Euroo-pan Unionin sisämarkkinoille.

Suomessa yksi mielenkiintoinen suuntaus on teollisuuden sivuvirtojen hyödyntäminen kiertotaloudessa, erityisesti biokaasuliiketoiminnassa. Usein tämäntyyppiseen liiketoi-mintaympäristöön kuuluvat teollisuussymbioosit, jossa teollisuusyritys toimittaa sivuvir-tansa kokonaan ulkopuoliselle toimijalle, joka jalostaa teollisuuden sivuvirroista ravin-nekierrätystuotteita. Monia teollisuussymbiooseja muodostetaan parhaillaan kiertotalo-us-ideologian mukaan eri puolille Suomea, koska tällaisen toiminnan hyödyt ovat mo-lemmille osapuolille ilmeiset.

Lähteet

Anhava, Juhani. 2017. Power point-esitys. Outotec. HSY INKA-seminar. Thermal Processing of Wastewater Sludge. Verkkoaineisto.

<www.hsy.fi/repa/fi/teollisetsymbioosit/Documents/INKA-tyopaja_01022017/10_Outotec_Anhava.pdf>. Luettu 13.3.2017.

Answers to the sewage sludge questionnaire. 2016. Verkkoaineisto. European Federation of national associations of water services (EurEau).

<www.eureau.org/administrator/components/com_europublication/pdf/b01571946428227e09961a208c160bb3-Sewage-Sludge-Situation-and-Trends-2016-short.pdf>. Luettu 11.5.2017.

Austria opts for mandatory phosphorus recovery from sewage sludge. 2017. Verkkoaineisto. European Sustainable Phosphorus Platform (ESPP).

<<http://phosphorusplatform.eu/scope-in-print/news/1396-austria-mandatory-p-recovery>>. Päivitetty 26.1.2017. Luettu 28.4.2017.

Berg, U., Knoll, G., Kaschka, E., Weidler, P.G. and Nüesch, R. 2006. Is phosphorus recovery from waste water feasible? Environmental Technology 28, s. 165–172.

Verkkoaineisto. <www.pap.co.at/uploads/media/Paper_Krakow_2005.pdf>. Luettu 13.4.2017.

Biomassa-atlas. 2017. Verkkoaineisto. Luonnonvarakeskus (LUKE).

<<https://portal.mtt.fi/portal/page/portal/mtt/hankkeet/biomassa-atlas>>. Luettu 1.7.2017.

Brochure Crystalactor Water Treatment Technology. 2017. Verkkoaineisto. Crystalactor. <www.royalhaskoningdhv.com/en/crystalactor/downloads>. Luettu 15.4.2017.

EU lannoitelainsäädännön muutoksen odotetaan synnyttävän sisämarkkinat kierrätysravinteille. 2017. Verkkoaineisto. BSAG (Baltic Sea Action Group).

<www.epressi.com/tiedotteet/maatalous/eu-lannoitelainsaadannon-muutoksen-odotetaan-synnyttavan-sisamarkkinat-kierratysravinteille.html>. Päivitetty 11.4.2017. Luettu 14.4.2017.

Euroopan parlamentin ja neuvoston asetus. Ehdotus. CE-merkittyjen lannoitevalmisteiden asettamista saataville markkinoilla koskevien sääntöjen vahvistamisesta ja asetusten (EY) N:o 1069/2009 ja (EY) N:o 1107/2009 muuttamisesta. 2016. Verkkoaineisto. Euroopan komissio. <<https://ec.europa.eu/transparency/regdoc/rep/1/2016/FI/1-2016-157-FI-F1-1.PDF>>. Luettu 7.5.2017.

Fjäder, Päivi. 2016. Yhdyskuntajätevesilietteiden maatalouskäytön ja viherrakentamisen riskit. RUSSOA I-III Loppuraportti. Suomen Ympäristökeskuksen raportteja 43/2016. Verkkoaineisto. <helda.helsinki.fi/handle/10138/169282>. Luettu 6.5.2017.

Hakala, Sini. 2015. Yhdyskuntajätevesilietteiden käsittelyn tilanne EU-maissa. Kandi-daatiotyö. Ympäristötekniikan koulutusohjelma. Lappeenrannan teknillinen yliopisto. Verkkoaineisto. <www.doria.fi/handle/10024/113051>. Luettu 30.4.2017.

Hari, Leo & Riiko, Kaisa. 2016. Ravinnekierrätyksen eurokiemuroita. Ympäristöministeriö. Verkkoaineisto. <[www.ym.fi/fi-FI/Luonto/Itameri_ja_merensuojelu/Ravinteiden_kierratyksen_karkihanke_star\(39052\)](http://www.ym.fi/fi-FI/Luonto/Itameri_ja_merensuojelu/Ravinteiden_kierratyksen_karkihanke_star(39052))>. Luettu 24.4.2017

Jätelaki 646/2011. 2011. Verkkoaineisto. Ympäristöministeriö (YM). <www.finlex.fi/fi/laki/smur/2011/20110646>. Luettu 13.3.2017.

Jätetilasto: 2015. (liitetaulukko 1). Yhdyskuntajätteet 2015. 2015. Verkkoaineisto. Tilastokeskus. <www.stat.fi/til/jate/2015/jate_2015_2016-12-20_tau_001_fi.html>. Luettu 20.3.2017.

Jätevedestä raaka-aine typen, fosforin ja hiilen tuotantoon. 2017. Verkkoaineisto. VTT. <www.vtt.fi/medialle/uutiset/j%C3%A4tevedest%C3%A4-raaka-aine-typen-fosforin-ja-hiilen-tuotantoon>. Päivitetty 30.1.2017. Luettu 1.5.2017.

Kaatopaikkadirektiivi. Neuvoston direktiivi 1999/31/EY, annettu 26 päivänä huhtikuuta 1999, kaatopaikoista. Euroopan yhteisöjen virallinen lehti. 1999. Verkkoaineisto. Euroopan Unionin neuvosto. <eur-lex.europa.eu/legal-content/en/TXT/?uri=CELEX%3A31999L0031>. Luettu 13.3.2017.

Kabbe, Christian. 2017. Sewage sludge valorization/disposal routes Germany and Europe. P-Prex. Verkkoaineisto. <http://prex.eu/uploads/media/Kabbe_Sludge_routes_Europe_and_DE.pdf>. Luettu 31.3.2017.

Kappel, Christina. 2014. An integrated membrane bioreactor – nanofiltration concept with concen-trate recirculation for wastewater treatment and nutrient recovery. PhD Thesis. University of Twente.

Kasurinen, Ville; Munne, Päivi; Mehtonen, Jukka; Türken, Ayhan; Seppälä, Timo; Mannio, Jaakko; Verta, Matti & Äystö, Lauri. 2014. Orgaaniset haitta-aineet puhdistamolietteisä. Suomen ympäristökeskuksen raportteja 6/2014. Verkkoaineisto. <https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/43224/SYKEra_6_2014.pdf?sequence=1>. Luettu 13.3.2017.

Kestävää liiketoimintaa biojätteistä ja -lietteistä. (BIOLIIKE) Tuotteistamis- ja kansainvälisyys selvitys. 2014. Ahola Piritta ym.(toim.). Laurea Ammattikorkeakoulu. Verkkoaineisto. <<http://docplayer.fi/1890211-Kestavaa-liiketoimintaa-biojatteista-ja-lietteista-bioliike-tuotteistamis-ja-kansainvalisyysseelvitys.html>>. Luettu 2.8.2017.

Kierrätyksestä kiertotalouteen, valtakunnallinen jätesuunnitelma vuoteen 2023. Luonnos lausuntokierrosta varten. 2017.. 2017b. Verkkoaineisto. Ympäristöministeriö (YM). <www.ym.fi/fi-FI/Ymparisto/Jatteet/Valtakunnallinen_jatesuunnitelma>. Päivitetty 13.6.2017. Luettu 31.5.2017.

Koukkujärven bioratkaisun ympäristövaikutusten arviointi. Nokian vesi Oy ja Pirkanmaan jätehuolto Oy. 2016. Verkkoaineisto. Pöyry Finland Oy. <www.ymparisto.fi/KoukkujarvenbioratkaisuYVA>. Luettu 21.4.2017.

Kärkihankerahoituksella uusia menetelmiä ravinteiden talteenottoon yhdyskuntien jätevedenpuhdistamoilla. 2017. Verkkoaineisto. Ympäristöministeriö (YM). <[www.ym.fi/fi-FI/Ajankohtaista/Tiedotteet/Karkihankerahoituksella_uusia_menetelmia\(43082\)](http://www.ym.fi/fi-FI/Ajankohtaista/Tiedotteet/Karkihankerahoituksella_uusia_menetelmia(43082))>. Päivitetty 16.5.2017. Luettu 31.5.2017.

Laitinen, Jyrki; Alhola, Katriina; Manninen, Kaisa & Säylä, Jonne. 2014a. Puhdistamolietteen ja biojätteen käsittely ravinteita kierrättäen. Hankeraportti. Verkkoaineisto. Suomen ympäristökeskus (SYKE). <www.syke.fi/download/noname/%7B75C943EE-6205-42AA-B130-1105133D5FFF%7D/105713>. Luettu 24.4.2017.

Laitinen, Jyrki; Nieminen, Jenni; Saarinen, Risto & Toivikko, Saijariina. 2014b. Paras käyttökelpoinen tekniikka (BAT). Yhdyskuntien jätevedenpuhdistamot. Suomen ympäristö 3/2014. Ympäristöministeriö. Verkkoaineisto. <<https://helda.helsinki.fi/handle/10138/43199>>. Luettu 15.3.2017.

Laki eläimistä saatavista sivutuotteista (517/2015). 2015. Verkkoaineisto. Maa- ja metsätalousministeriö (MMM). <www.finlex.fi/fi/laki/smur/2015/20150517>. Luettu 13.3.2017.

Lannoitevalmisteet. 2017. Verkkoaineisto. Evira. <www.evira.fi/kasvit/viljely-ja-tuotanto/lannoitevalmisteet/>. Päivitetty 16.9.2016. Luettu 15.5.2017.

Lannoitevalmisteiden kansallinen tyyppinimiluettelo. 2017. Verkkoaineisto. Evira. <www.evira.fi/kasvit/viljely-ja-tuotanto/lannoitevalmisteet/lainsaadanto/tyyppinimiluettelo/>. Päivitetty 15.3.2017. Luettu 15.5.2017.

Lehmän lannan ravinteet luontoa vaalien kiertoon ja tehokkaaseen käyttöön. 2017. Verkkoaineisto. Valio. <<https://www.valio.fi/yritys/media/uutiset/lehman-lannan-ravinteet-luontoa-vaalien-kiertoon-ja-tehokkaaseen-kayttoon/>>. Päivitetty 8.2.2017. Luettu 1.5.2017.

Mikkola, Kristiina. 2014. Kristiina Mikkola Consulting & FIANT Consulting Oy. 2014. Taustaselvitys- Lannan ja orgaanisten lannoitevalmisteiden ravinteiden kierrätyksen valtakunnallinen hanke. Loppuraportti. Verkkoaineisto. <www.ym.fi/download/noname/%7B01CBA8C7-FD0F-4511-AEEB.../103971>. Luettu 20.3.2017.

Mikola, Anna. 2017. Lietteiden ravinteiden talteenotto ja hyödyntäminen. Liete workshop – TEKES / INKA / Teolliset Symbioosit 1.2.2017. Verkkoaineisto. <https://www.hsy.fi/repa/fi/teollisetsymbioosit/Documents/INKA-tyopaja_01022017/07_Aalto_yliopisto_Mikola.pdf>. Luettu 20.3.2017.

Moilanen, Mikko. 2009. Metsätuhkan ravinteet takaisin metsään. Verkkoaineisto. <https://www.motiva.fi/files/3014/Metsatuhkan_ravinteet_takaisin_metsaan.pdf>. Luettu 7.5.2017.

Nieminen, Jenni. 2010 Phosphorus Recovery and Recycling from Municipal Wastewater Sludge. Master's Thesis. Aalto University, School of Science and Technology, 2010.

NureSys Description of the technology. 2017. Verkkoaineisto. NureSys, 2017a. <www.nuresys.be/general-description.html>. Luettu 15.4.2017.

NuReSys- recovers nature's essentials. 2017. Verkkoaineisto. NuReSys. <www.phosphorusplatform.eu/images/Conference/ESPC2-materials/Dewaele%20-%20NuReSys%20From%20P%20recovery%20to%20fertilizer%20production.pdf>. Luettu 21.4.2017.

Nutrient Management Solutions. 2017. Verkkoaineisto. Ostara. <<http://ostara.com/nutrient-management-solutions/>>. Luettu 15.8.2017.

Nättorp, Anders. 2017. Regions implementing sustainable phosphorus management Switzerland. Phosphorus flows, policy and perspectives. Verkkoaineisto. <www.phosphorusplatform.eu/images/Conference/ESPC2-materials/Nattorp%20-%20Sustainable%20Phosphorus%20management%20in%20Switzerland.pdf>. Luettu 28.4.2017.

Paperi ja Puu. Creating bioeconomy. 4/2017. UPM ja Yara kehittävät kierrätyslannoitteita. Paperi-insinöörit ry.

Performance of nine technologies for phosphorus recovery from wastewater. Overview from the European P-REX project. 2016. Verkkoaineisto. P-Rex. <https://dakofa.com/fileadmin/user_upload/1000_Anders_Naettorp_Malmoe_v2.pdf>. Luettu 24.4.2017.

PHOSPAQ™ . 2017. Verkkoaineisto. Paques. <<http://en.paques.nl/products/other/phospaq>>. Luettu 14.4.2017.

Pirkkamaa, Juha. 2014. Orgaanisen jätteen keräys ja käsittely Suomessa. Biolaitosyhdistyksen jäsenyritykset kiertotalouden toteuttajina. <https://asiakas.kotisivukone.com/files/biolaitosyhdistys.palvelee.fi/Orgaanisen_jatteen_kerays_ja_kasittely_Suomessa.pdf>. Luettu 6.5.2017.

P-Recovery Technologies and Products. 2015. Verkkoaineisto. P-Rex. <http://p-rex.eu/uploads/media/2_P-REX_Recovery_Technologies_Amsterdam_Herzel.pdf>. Luettu 13.3.2017.

Prototype plant. 2017. Verkkoaineisto. Endev. <<http://endev.fi/prototype-plant/>>. Luettu 14.5.2017.

Puhdistamolietteen käyttö maataloudessa. 2013. Verkkoaineisto. Suomen vesilaitosyhdistys (VVY)
<https://www.proagria.fi/sites/default/files/attachment/puhdistamolieteopas_201320032014s.pdf>. Luettu 20.2.2017.

Ravinteiden kierron taloudellinen arvo ja mahdollisuudet Suomelle. 2015. Sitra. Sitran selvityksiä 99. Multiprint Oy, Helsinki 2015.

RAVITA-hanke. 2017. Verkkoaineisto. Helsingin Seudun Ympäristöpalvelut-kuntayhtymä (HSY). <www.hsy.fi/ravita/fi/etusivulle/Sivut/default.aspx>. Luettu 1.6.2017.

Repo, Eveliina. 2016. Jätevedenpuhdistamosta ravinnejalostamoksi. Kiertotalouden mahdollisuudet Etelä-Savossa –seminaari. 16.2.2016. Verkkoaineisto.
<www.helsinki.fi/ruralia/materiaalit/Tunkiotaloudesta_kohti_16.2.2016/Repo-1602-2016-jatevedenpuhdistamosta-ravinnejalostamoksi.pdf>. Luettu 4.4.2017.

Revidierte Technische Verordnung über Abfälle: Schritt zur Ressourcenschonung. 2015. Verkkoaineisto. Schweizerische Eidgenossenschaft. Medienmitteilung. 4.12.2015.
<<https://www.admin.ch/gov/de/start/dokumentation/medienmitteilungen.msg-id-59785.html>>. Päivitetty 15.09.2016. Luettu 28.4.2017.

Röhling, Simone. 2007. Wie lange reichen die Rohstoffe für die Mineraldüngerproduktion noch aus? Teoksessa: Rohstoffverfügbarkeit für Mineraldünger – Perspektiven unter hohen Energiekosten und begrenzten Ressourcen, Tagung des Verbandes der Landwirtschaftskammer und des Bundesarbeitskreises Düngung, April 24-25, Würzburg, Germany, 2007.
<www.iva.de/sites/default/files/benutzer/uid/publikationen/tb2007.pdf>. Luettu 15.4.2017.

Sewage sludge production and disposal from urban wastewater. 2017. Verkkoaineisto. Eurostat.
<<http://ec.europa.eu/eurostat/tgm/table.do?tab=table&init=1&plugin=1&language=en&pcode=ten00030>>. Luettu 28.4.2017.

Suomesta ravinteiden kierrätyksen mallimaa. Työryhmämuistio, MMM 2011:5. 2011. Maa- ja metsätalousministeriö (MMM). Helsinki 2011.

Sustainable sewage sludge management fostering phosphorus recovery and energy efficiency. 2015. Verkkoaineisto. P-Rex. <http://p-rex.eu/uploads/media/P-REX_D4_1_Comparative_review_of_ash_processes.pdf>. Luettu 24.4.2017.

Teknitaloudellinen tarkastelu jätevesien käsittelyn tehostamisesta Suomessa. Vesilaitosyhdistyksen monistesarja nro 42. 2016. Verkkoaineisto. Suomen vesilaitosyhdistys (VVY). Helsinki 2016. <https://www.vvy.fi/files/5154/Jatevedenkäsittelyn_teknitaloudellinen_selvitys_21042016.pdf>. Luettu 12.2.2017.

Tilasto lietteen hyödyntämisestä vuosina 2008–2011. 2017. Verkkoaineisto. Suomen vesilaitosyhdistys (VVY). <https://www.vvy.fi/vesihuolto_linkit_lainsaadanto/liete>. Luettu 30.3.2017.

Toivikko, Saijariina. 2017. Lietteiden käsittely ja hyödyntäminen tänään ja tulevaisuudessa. Vesihuolto 2017-päivät. 10.5.2017. Verkkoaineisto. <https://www.vvy.fi/koulutus_ja_vesihuoltopaivat/vesihuoltopaivat/esitelmaarkisto/vesihuolto2017>. Luettu 31.5.2017.

Tolkou, A., Zouboulis, A., Raptopoulou, C., Kalaitzidou, K., Mitrakas, M., Palasantza P.A., Noula, A., Christodoulou, A. 2015. Phosphorus Recovery in Wastewater Treatment: Moving from Lab to Pilot Scale Proceedings of the World Congress on New Technologies (NewTech 2015) Barcelona, Spain – July 15 - 17, 2015.

Tuhkan rakeistamislaitos ja jätevesilietteiden terminen käsittely. Ympäristövaikutusten arviointiohjelma 23.6.2016. Ecolan Oy & Outotec Oy. 2016. Verkkoaineisto. Linnunmaa Oy (toim.). <www.ymparisto.fi/download/noname/%7B00844CD9-B3A6-41F2-820A-337B5C4B693D%7D/119705>. Luettu 25.4.2017.

Uusi menetelmä muuttaa jätevesien ravinteet lannoitteeksi. 2017. Verkkoaineisto. Aalto-yliopisto. <www.aalto.fi/fi/current/news/2017-01-11/>. Päivitetty 11.1.2017. Luettu 1.5.2017.

Verordnung zur Neuordnung der Klärschlammverwertung. 2017. Verkkoaineisto. Deutscher Bundestag. 18. Wahlperiode. Verordnung der Bundesregierung. <www.bundesrat.de/SharedDocs/beratungsvorgaenge/2017/0201-0300/0255-17.html>. Päivitetty 29.3.2017. Luettu 30.3.2017.

Ylivainio, Kari; Sarvi, Minna; Lemola, Riitta; Uusitalo, Risto & Turtola, Eila. 2014. Regional P stocks in soil and in animal manure as compared to P requirement of plants in Finland. MTT:n reports 124. Verkkoaineisto. <www.mtt.fi/mttraportti/pdf/mttraportti124.pdf>. Luettu 20.4.2017.

Ympäristönsuojelulaki. 2014. Verkkoaineisto. Ympäristöministeriö (YM). <www.finlex.fi/fi/laki/smur/2014/20140527>. Luettu 13.3.2017.

Listaus haastatelluista henkilöistä

Nimi	Yritys
Mikko Rahtola Hankekoordinaattori	Luonnonvarakeskus (Luke)
Kaisa Riiko Projektikoordinaattori	Baltic Sea Action Group
Karoliina Jaatinen	Pöyry Finland Oy Ympäristöasiantuntija
Martti Surakka	Pöyry Management Consulting, FI, vanhempi konsultti (biokaasulaitokset)
Kari Harmaa	Pöyry Finland Oy, Johtava teknologia-asiantuntija, Paperi- ja sellu- teollisuus
Timo Hermonen	Pöyry Finland Oy, Myyntijohtaja, Kemianteollisuus
Oskari Frösen	Pöyry Finland Oy, Prosessi-insinööri, paperi- ja selluteollisuus
Marina Graan	Pöyry Finland Oy, Projektipäällikkö, vesihuolto
Timo Lehto	Pöyry Finland Oy, Projektipäällikkö, jätehuolto
Antti Harinen	Pöyry Finland Oy, Projektijohtaja, vesihuolto
Jyri Pelkonen	Pöyry Finland Oy, Projektipäällikkö, vesihuolto
David Powlson	Pöyry Management Consulting, UK, Johtaja
Ralf Janyga	Pöyry Deutschland GmbH Vesi-liiketoimintayksikön johtaja

Haastattelurungot

Haastattelurunko Pöyryn asiantuntijat

Ravinnekiertoon liittyvät tehdyt työt kiinnostavimmat/ uusimmat, aikajanana 10 vuotta?

Biojäte

Lietteet

Biokaasulietteet/ Rejektivedet

Jätevesi

Lanta

Missä sinun mielestäsi voisi löytyä Pöyrylle uutta/laajennettua liiketoimintaa ravinnekierron alalla?

Uusia/ kypsiä teknologioita?

Mistä uusista aluevaltauksista asiakkaat ovat viime aikoina puhuneet?

Kysymykset asiantuntijoille (ulkopuoliset)

Lainsäädäntö

- Onko lainsäädännöstä tulossa pakotteita lähivuosina, jotka edistävät ravinteiden kiertämisen kasvua ja liiketoimintaa?
 - Millä aikavälillä?
- Muiden Euroopan maiden tilanne?

Ravinnelähteet

- Parhaimmat / käytetyimmät /kiinnostavimmat?
- Tulevaisuuden näkymät ravinnelähteiden käytön osalta? esim. eriytetty/ yhdistetty eri jakeiden hyötykäyttö, erikoistuneet maat/ maakunnat?

Toimijat/ hankkeet

- Menossa olevia hankkeita? (hallituksen kärkihankkeet piirissä olevat) Onko muita merkittäviä hankkeita?
- Millaiset toimijat/ miltä aloilta ovat nyt eniten ravinnekiertohankkeissa mukana/kiinnostuneita?
- Millaisena näet toimijat/ toimijayhteistyön tulevaisuudessa?

Teknologia

- Teknologian nykytilanne? Onko riittävä/ kannattava?
- Tulevaisuuden teknologiat
- Mitä vaaditaan, että teknologia saavuttaisi kannattavan pohjan?

PÄÄKYSYMYKSET

- Mikä on mielestäsi **potentiaalisin ravinnekierron liiketoimintatapa** nyt ja tulevaisuudessa Suomessa?
- Millä aikataululla?
- Onko taloudellisesti kannattavaa?

Haastatteluiden yhteenveto

Tämän liitteen tiedot ovat salaisia eikä niitä sen vuoksi ole julkaistu.